

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4220358号
(P4220358)

(45) 発行日 平成21年2月4日(2009.2.4)

(24) 登録日 平成20年11月21日(2008.11.21)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 B 15/00	(2006.01)	GO 1 B 15/00	B
GO 1 N 23/225	(2006.01)	GO 1 N 23/225	
HO 1 L 21/66	(2006.01)	HO 1 L 21/66	J

請求項の数 8 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2003-397364 (P2003-397364)	(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
(22) 出願日	平成15年11月27日(2003.11.27)	(74) 代理人	100080001 弁理士 筒井 大和
(65) 公開番号	特開2005-156436 (P2005-156436A)	(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
(43) 公開日	平成17年6月16日(2005.6.16)	(72) 発明者	諸熊 秀俊 茨城県ひたちなか市市毛882番地 株式 会社日立ハイテクノロジーズ内
審査請求日	平成17年11月2日(2005.11.2)	(72) 発明者	穴戸 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体パターン計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

予め、半導体製造プロセスにおける評価対象パターンの形状の変動範囲に対応する複数の異なる断面形状データを作成し、該複数の断面形状データを用いて電子線シミュレータにより複数のSEM画像信号を生成し、該複数のSEM画像信号のそれぞれから算出されるパターン寸法と前記複数の断面形状データにおける真のパターン寸法との差を計測誤差として求めて前記断面形状データと関連付けて記憶しておく第1ステップと、

実際の寸法計測時には、評価対象パターンを走査型電子顕微鏡で撮像して得た画像信号から評価対象パターンの寸法計測を行うと共に、前記評価対象パターンの画像信号について二次電子信号量が側壁の傾斜角に応じて変化することを利用して、比較的信号量の小さい部分と大きい部分とを分けることにより前記評価対象パターンの断面形状情報を取得して、前記評価対象パターンの寸法計測結果と、前記評価対象パターンの断面形状情報を用いて前記第1ステップで予め求めて記憶しておいた前記評価対象パターンの断面形状データと計測誤差との関係に基づいて、前記計測した評価対象パターンの寸法計測の誤差を補正する第2ステップとを有することを特徴とする半導体パターン計測方法。

【請求項2】

請求項1記載の半導体パターン計測方法において、計測対象の断面構造の情報と、前記断面構造のSEM観察あるいはSEM観察を模したシミュレーションにより得られる電子線画像および/あるいはその波形を並べて表示し、指定した画像処理条件により検出されるパターンの位置を、前記断面構造および前記電

子線画像あるいは前記波形上に表示することにより画像処理条件の調整を行うことを特徴とする半導体パターン計測方法。

【請求項 3】

請求項 1 記載の半導体パターン計測方法において、

前記評価対象パターンの断面形状データと前記計測誤差との関係は、関数の形でデータベースに記録することを特徴とする半導体パターン計測方法。

【請求項 4】

請求項 1 記載の半導体パターン計測方法において、

前記走査型電子顕微鏡から照射される電子線と測定試料表面とのなす角が異なる複数の電子線信号を用いて、前記評価対象パターンの断面形状評価を行うことを特徴とする半導体パターン計測方法。

10

【請求項 5】

予め、半導体製造プロセスにおける評価対象パターンの形状の変動範囲に対応する複数の断面形状を持つサンプルを作成し、走査型電子顕微鏡を用いて該複数の断面形状サンプルの複数の SEM 画像信号を取得し、該複数の SEM 画像信号のそれぞれからパターン寸法を算出し、また、前記複数の SEM 画像信号を取得した前記複数の断面形状サンプルのパターン断面形状および寸法を、断面 SEM、FIB、TEM あるいは AFM あるいはスキュットロメトリを用いて計測し、前記 SEM 画像信号から算出されたパターン寸法と、前記断面 SEM、FIB、TEM あるいは AFM あるいはスキュットロメトリにより計測された複数の断面形状サンプルのパターン寸法との差を計測誤差として求めて前記断面形状計測の結果と関連付けて記憶しておく第 1 ステップと、

20

実際の寸法計測時には、評価対象パターンを走査型電子顕微鏡で撮像して得た画像信号から評価対象パターンの寸法計測を行うと共に、前記評価対象パターンの画像信号について二次電子信号量が側壁の傾斜角に応じて変化することを利用して、比較的信号量の小さい部分と大きい部分とを分けることにより前記評価対象パターンの断面形状情報を取得して、前記評価対象パターンの寸法計測結果と、前記評価対象パターンの断面形状情報を用いて前記第 1 ステップで予め求めて記憶しておいた前記評価対象パターンの断面形状計測の結果と計測誤差との関係に基づいて、前記計測した評価対象パターンの寸法計測の誤差を補正する第 2 ステップとを有することを特徴とする半導体パターン計測方法。

【請求項 6】

請求項 5 記載の半導体パターン計測方法において、

計測対象の断面構造の情報と、前記断面構造の SEM 観察あるいは SEM 観察を模したシミュレーションにより得られる電子線画像および / あるいはその波形を並べて表示し、

指定した画像処理条件により検出されるパターンの位置を、前記断面構造および前記電子線画像あるいは前記波形上に表示することにより画像処理条件の調整を行うことを特徴とする半導体パターン計測方法。

30

【請求項 7】

請求項 5 記載の半導体パターン計測方法において、

前記評価対象パターンの断面形状計測の結果と前記計測誤差との関係は、関数の形でデータベースに記録することを特徴とする半導体パターン計測方法。

40

【請求項 8】

請求項 5 記載の半導体パターン計測方法において、

前記走査型電子顕微鏡から照射される電子線と測定試料表面とのなす角が異なる複数の電子線信号を用いて、前記評価対象パターンの断面形状評価を行うことを特徴とする半導体パターン計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置の製造技術に関し、特に、半導体の製造工程において、ウェーハ上に形成された回路パターンの加工形状の良否を、回路パターンの電子線像を用いて評価

50

する方法及びそのシステムに適用して有効な技術に関する。

【背景技術】

【0002】

本発明者が検討したところによれば、現在、半導体の製造プロセスにおいて、計測専用の電子顕微鏡（測長SEM）を用いたパターン寸法の計測・管理が一般的に行われている。パターン寸法の計測は、取得した測長SEM画像に対して、画像処理技術を施すことにより、自動化が図られることで、操作者の熟練が不要となり、また個人差による計測ばらつきも低減されるようになった。このようなパターン計測の対象は、主にレジストや絶縁膜、ポリシリコンなどのパターンであり、配線の幅や円形の穴径などを計測する。

【0003】

図14(a), (b), (c)に計測手法の一例を示す。SEMの画像信号は、パターンの形状や材質に応じて変化し、特にパターンのエッジ部分で明るく光る。図14は、配線形状パターンの信号波形の処理例である。図中の信号波形において、信号量の大きい2つのピークが配線のエッジ部分に相当し、このエッジ位置を図14に示すような手法により確定することで、対象パターンの寸法を計測する。図14(a)の手法はピークの最大傾斜位置を検出する方法（最大傾斜法）、図14(b)は所定のしきい値（ th ）でエッジ位置検出を行うしきい値法、図14(c)はエッジ部と基材部に直線を当てはめ、これらの交点を検出する直線近似法である。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記のような、SEM画像と、画像処理技術を用いた従来の寸法計測手法では、画像信号波形のピークや位置や信号量あるいはその変化の状態を利用して計測位置を決めている。しかし、これらの手法では、計測された寸法が、実際の断面においてどの部分に対応するものなのか（パターンのトップ部分か、ボトム部分か、それ以外かなど）を正確に知ることができない。特に、パターンの断面形状が変化する場合には、パターンの断面形状に応じて、計測される寸法の持つ誤差が異なってしまうという問題がある。

【0005】

図15は、2002年、Villarubia（“Scanning electron microscope analog of scatterometry”, Proc.SPIE 4689, pp.304-312）らによって示された、パターン断面形状の変化が計測に与える影響の一例である。図15では、しきい値法（しきい値50%）により寸法計測を行った場合に、パターン側壁が垂直な場合（図15の左側）と傾斜している場合（図15の右側）で、計測される場所と実際の断面のボトム位置との誤差が異なることを示すシミュレーションの例である。このような位置のずれは、従来の測長SEMにおける計測アルゴリズムが、パターン断面形状の違いにより、信号波形がどのように変化するかを考慮していないことにより生じている。

【0006】

図16は、2003年、Villarubia（“A Simulation Study of Repeatability and Bias in the CD-SEM”, Proc.SPIE 5038, pp.138-149）らによって示された、パターン側壁傾斜角（図16の横軸と、各種画像処理アルゴリズム（max. Deriv.、Regression、Sigmoid、Model-Based Lib.）によるパターン寸法計測誤差（図16の縦軸）の関係を示しており、この計測誤差がパターン断面形状およびアルゴリズムに依存して変化していることが示されている。半導体製造プロセスの微細化に伴い、このような、パターン形状に応じた計測誤差がプロセス制御に与える影響は大きくなっており、このような誤差を解消し、誤差の小さい寸法計測を実現する必要がある。また、プロセスの高精度化のためには、単に、誤差の小さい寸法計測を実現するだけでなく、図15に示したような、断面形状の違いの定量的な評価も実現する必要がある。

【0007】

すなわち、前記図15に関する技術の課題に対して、前述のVillarubiaら

10

20

30

40

50

においては、改善技術として電子線シミュレーションを用いた計測手法を提案している。これは、パターン断面形状の違いを考慮した信号波形を電子線シミュレーションにより生成し、ライブラリを作成しておき、実際のSEMの信号波形をこのライブラリの中の波形と比較し、類似波形から実際のパターン断面形状を推定し、正しい寸法を算出するものである。図16のModel-Based Lib.が計測誤差の評価結果であり、他の手法よりも高精度な計測が可能である。このように、本手法は、断面形状による計測誤差を低減することができ、またその断面形状の評価も可能であるが、予め、さまざまな断面形状に対するSEMの信号波形をライブラリとして作成する必要がある。高精度な計測には、十分な量のデータを有するライブラリ作成が必要であり、データ量が大きくなり、作成にも時間がかかるという問題がある。また、計測の際には、作成された波形を実際の波形と比較する必要があり、従来の計測手法に比べ、計算時間がかかるという問題がある。本発明は、彼らの手法に比べ、比較的計算量が少ない別の計測手法の一つである。

10

【0008】

すなわち、本発明の目的は、従来の手法(図15に関する技術)では困難であった、上記のようなパターンの断面形状の変化に対しても安定で高精度なパターン寸法計測手法を実現し、さらに上記のような改善手法(図16に関する技術)に比べて、比較的計算量を少なくして計算時間がかからないようにすることにある。また、併せて、パターン断面形状の変化を定量的に評価する手法を実現することも目的とするものである。さらに、これらの高精度な計測結果に基づいて、高精度なプロセス制御を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

20

【0009】

本発明による半導体パターン計測方法では、予め、所定の画像処理手法におけるパターンの断面形状と計測誤差との関係性を評価しておき、実際の寸法計測時には、走査型電子顕微鏡の画像信号から評価対象パターンの寸法計測を実施し、予め評価しておいたパターンの断面形状と計測誤差との関係性に基づいて、評価対象パターンの寸法計測の誤差を補正することを特徴とするものである。また、チルト画像を用いたパターン形状評価によっても、同様にパターン形状を評価し、形状に依存した寸法計測誤差を補正することにより、高精度な計測を実現するものである。

【0010】

具体的には、走査型電子顕微鏡により得られる評価対象パターンの電子線画像を用いて評価対象パターンの寸法を計測する半導体パターン計測方法に適用され、所定の画像処理手法によって検出されるパターンの端部の位置と、実際の前記パターンの端部の位置の間の偏差、すなわち計測誤差と、前記パターンの断面形状との関係性を予め評価・記録したデータベースを構築し、実際の寸法計測のときには、評価対象パターンの断面形状の評価と、前記所定の画像処理手法によるパターン端部の位置検出を行い、前記の予めデータベースに記録されたパターン断面形状と計測誤差の関係から、前記断面形状を持つパターンを計測した場合の計測誤差を推定し、この計測誤差を補正するものである。

30

【0011】

さらに、前記半導体パターン計測方法において、断面形状が、側壁の傾斜角、パターン上部の角の丸み、パターン底部の角の丸みのうちのいずれか1つ、あるいはこれらの組み合わせとするものである。また、データベースを、電子線シミュレーションにより構築したり、断面計測あるいはAFM計測あるいはスキュッタロメトリによる計測のいずれかにより構築するものである。また、計測時における断面形状の評価を、SEM画像から算出される画像特徴量を用いて行ったり、スキュッタロメトリにより行うものである。

40

【0012】

また、前記半導体パターン計測方法において、計測対象の断面構造情報と、この断面構造のSEM観察あるいはSEM観察を模したシミュレーションにより得られる電子線画像および/あるいはその波形を並べて表示し、指定した画像処理条件により検出されるパターン端部の位置を断面構造および電子線画像あるいは波形上に表示することにより、画像処理条件の調整を行うものである。また、ノイズあるいはSEMの装置パラメタによる変

50

動が小さい寸法計測画像処理アルゴリズムあるいは画像処理パラメタを用いるものである。また、断面形状と寸法計測誤差の関係を関数の形でデータベースに記録するものである。

【 0 0 1 3 】

また、前記半導体パターン計測方法において、パターンの断面形状と、実画像あるいは電子線シミュレーションにより得られた信号波形の関係を記録しておき、寸法計測の画像処理アルゴリズムおよびパラメタの決定後、断面形状と信号波形の組み合わせから、断面形状と寸法計測誤差の関係を算出し、データベースに記録するものである。また、走査型電子顕微鏡から照射される電子線と測定試料表面とのなす角が異なる複数の電子線信号を用いて断面形状評価を行うものである。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、パターン立体形状に依存した寸法誤差を排除した高精度な計測が実現可能となる。また、その結果、高精度なプロセス管理および制御が可能となる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 5 】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一の機能を有する部材には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【 0 0 1 6 】

20

(第 1 の実施の形態：基本構成)

全体の処理の流れ

図 1 は、本発明による第 1 の実施の形態に係る、測長 SEM 200 (図 2 に概略構成を図示) 上に構築したパターン計測システムを用いた計測手順の概念図である。本実施の形態の一例においては、自動計測を行うための計測条件および手順を記録した計測レシピを作成する計測レシピ作成時 (図 1 (a)) と、実際に計測対象パターンを計測する計測時 (図 1 (b)) の 2 つのステップが必要である。

【 0 0 1 7 】

まず、図 1 (a) の計測レシピ作成時の手順について説明する。計測レシピ作成時には、計測対象パターンの断面形状と寸法計測誤差の関係を記録したデータベース 401 を作成する。図 1 の例では、電子線シミュレーションを用いる方法について説明する。

30

【 0 0 1 8 】

始めに、計測対象の断面形状のデータを作成する (ステップ 1001)。これは、実際の半導体製造プロセスにおいて、計測対象パターンの断面形状がどのように変化するかを想定して、代表的な形状のモデルを作成しておく。図 1 では簡単のため、断面形状データとして、側壁の傾斜角のみが変動する場合を考える。実際のパターンの側壁傾斜角の変動範囲を考慮して、たとえば側壁傾斜角が 80 度から 95 度の範囲で変化するならば、その範囲内で数個から十数個の側壁傾斜角の断面形状データを作成する。なお、図 1 では、配線パターンの片方の側壁部分のみのデータの例を示している。パターン寸法が小さい場合には、隣の側壁部分の考慮が必要となるが、このデータベース 401 の構築については、第 5 の実施の形態において詳細を述べる。

40

【 0 0 1 9 】

さらに、これらの断面形状データに対して、電子線シミュレータを用いて、得られる SEM 画像信号を生成する (ステップ 1002)。電子線シミュレーションは、実際に計測を行う際の電子線照射条件 (加速電圧など) に対する二次電子信号をモンテカルロ法などの手段により計算すればよい。次に、このようにして得られた SEM の画像信号のシミュレーション結果に対して、実際に計測を行う場合に使用する画像処理を施し、パターンエッジの位置を検出する (ステップ 1003)。アルゴリズムの設定方法については、別途、第 4 の実施の形態において詳細を説明する。

【 0 0 2 0 】

50

そして、シミュレーションであるから、検出されたエッジ位置と実際のエッジ位置（たとえば、パターンボトムエッジの位置）とのずれ（誤差： $W(\)$ ）は容易に算出することができる（ステップ1004）。このようにして、使用している寸法計測アルゴリズムが、断面形状の変動に対してどのような誤差を持つのか、その関係を知ることができる。レシピ作成時には、このようにして得られたパターン断面形状とエッジ位置検出誤差の関係をデータベースに登録しておく（ステップ1005）。

【0021】

図1では、側壁傾斜角と計測誤差の関係を模式的にグラフで表示しているが、実際のデータベースは、作成されたデータの組をそのまま記録して、作成されたデータ以外の側壁傾斜角についてはデータを補間して利用するか、あるいはこれらデータ組から関係式を関数の形で算出し、その結果である関数を記録して利用すればよい。

【0022】

続いて、このデータベースを利用して、実際に計測を行う手順（図1（b））について説明する。計測は、従来のSEMによる寸法計測と同様に所望の計測位置のSEM画像を取得して行う（ステップ1006）。次に、得られたSEM画像から対象パターンの寸法（線幅 W' ）および側壁傾斜角の推定値（左エッジ l 、右エッジ r ）を求める（ステップ1007）。この側壁傾斜角の推定については、別途詳述する。次に、この線幅 W' の誤差を、推定された側壁傾斜角と、レシピ作成時に作成したデータベースを用いて推定し、 $W = W' - W(l) - W(r)$ により、補正を行う（ステップ1008）。このようにして補正された寸法計測結果を出力すれば、パターン断面形状の変動による誤差の少ない寸法を得ることが可能となる（ステップ1009）。

SEM本体のシステムブロック図

図2は、本パターン形状評価システムで用いる測長SEM200の構成図である。この測長SEM200は、電子銃201、コンデンサレンズ203、偏向器204、E×B偏向器205、対物レンズ206、二次電子検出器207などから構成され、A/D変換器208を介して画像処理部300に接続されている。

【0023】

図2において、電子銃201より出た一次電子線202はコンデンサレンズ203で収束され、ビーム偏向器204、E×B偏向器205、対物レンズ206を経てステージ101上に置かれたウェーハ100上に焦点を結んで照射される。電子線が照射されると、ウェーハ100からは二次電子が発生する。試料ウェーハ100から発生した二次電子は、E×B偏向器205により偏向され、二次電子検出器207で検出される。偏向器204による電子線の二次元走査、あるいは偏向器204による電子線のX方向の繰り返し走査と、ステージ101によるウェーハ100のY方向の連続的な移動に同期してウェーハから発生する電子を検出することで、二次元の電子線像が得られる。二次電子検出器207で検出された信号は、A/D変換器208によってデジタル信号に変換され、画像処理部300に送られる。

【0024】

この画像処理部300は、デジタル画像を一時記憶するための画像メモリと、画像メモリ上の画像からのラインプロファイルや特徴量の算出を行うCPUを有する。さらにまた、検出した画像あるいはラインプロファイルあるいは算出されたパターン形状情報などを保存するための記憶媒体301を有する。画像処理部には表示装置302が接続され、必要な装置の操作、検出結果の確認等をグラフィカルユーザーインターフェース（以下、GUIと表記する）によって実現できるようになっている。

立体形状情報の取得

次に、画像処理部300で行う立体形状情報の算出手順を図3～図7を用いて説明する。パターンの断面形状変動の主な種類として、図3に示すように、パターン幅（トップ、ボトム、あるいは任意の高さなど）、高さ、側壁傾斜角、角の丸み（トップ、ボトム）などが考えられる。ここで、計測すべき寸法は幅であり、本発明の説明では特にことわりのない限りボトムの幅 W を計測するものとする。SEM画像を用いて、このパターン幅 W を

計測する際に、影響が大きな形状変動を考慮して前記図1の計測誤差補正を行う必要がある。

【0025】

ここで、ゲート絶縁膜をストッパとするゲート配線のエッチングのように、異種材料膜をストッパとしてパターンを形成する場合には、パターン高さは露光・エッチングによるパターン形成工程前の成膜工程において、その厚みが管理されているため、その変動は十分に小さく、寸法計測に与える影響は小さい。そこで、このようなパターンの場合には、残りの側壁傾斜角および角の丸みの変動が、SEM画像を用いた寸法計測に比較的大きな影響を与える。但し、これらの変動が計測結果に与える影響の大きさは、計測に用いる画像処理アルゴリズムに依存して異なる。ここで、計測に用いる画像処理アルゴリズムとは、前記図14に示したような画像処理手法のことを指し、対象パターンに応じて適切なものを選択する必要がある。

10

【0026】

この側壁傾斜角および角の丸みを定量評価する方法について以下に説明する。まず、図4(a), (b)に示すように、S/Nを改善するために、取得した電子線画像001について、各ラインの1ライン波形002をNライン平均することにより、滑らかなラインプロファイル003を作成する。このラインプロファイル003は、パターン側壁の形状に応じた信号量を示す。

【0027】

この信号量とパターン断面形状の関係の詳細について、図5を用いて説明する。SEMの二次電子信号量は、側壁の傾斜角に応じて変化し、傾斜角が大きい程、二次電子信号量は増大することが知られている。このため、図5(a)のように、断面形状010に裾引きがなく、側壁全体が比較的高い傾斜角を保っている場合には、ラインプロファイル011はボトムエッジから急激に増加するが、図5(b)のように、断面形状020に裾引きがある場合には、比較的高傾斜角である高傾斜角部分(上部)022に比べ、裾引き部分023の二次電子信号量は小さくなる。また、トップの角に丸みがある場合にも、角に相当する部分の信号量変化は、丸みがない場合に比べなだらかなものとなる((a)より(b)の方がなだらかな)。これは、表面の傾斜角の変化が緩やかであることと、角が丸まることによりエッジ効果による急激な信号量増加が抑制されるためである。

20

【0028】

これらの関係を利用して、以下の手順にて、断面形状情報を取得する。まず、比較的信号量の小さい部分と大きい部分を分けることで、試料(ウェーハ)上面から観察したSEM像だけで、高傾斜角部分022と裾引き部分023、トップのラウンディング(丸み)部分024を分ける(図5(b)参照)。図6は図5(b)の詳細説明、図7は図5(a)の詳細説明である。図6に示すように、得られたラインプロファイル021の一次微分波形025を作成すると、元のラインプロファイル021で急激に明るさが変化しているところで極値(DLP1、DLP2)を持つ波形となる。このため、これら極値DLP1、DLP2の間の部分が、側壁の中でも比較的傾斜角の高い高傾斜角部分022に相当する。

30

【0029】

そこで、この極値間の距離を傾斜角の指標値Tとする。これに対して、エッジ部分の微分波形の外側の極値(DLP1)から微分波形がゼロになる点(DZ1)、すなわち下地と同じ明るさになる点までの間は、比較的傾斜角が低い裾引き部分を表すため、これらの距離を裾引きの指標値Fとする。また、エッジ部分の微分波形の内側の極値(DLP2)から微分波形がゼロになる点(DZ2)、すなわちトップ部分と同じ明るさになる点までの間は、比較的傾斜角が低いトップの丸まり部分を表すため、これらの距離をラウンディングの指標値Rとする。

40

【0030】

同様に、図5(a)の形状について指標値を求めた結果を図7(一次微分波形015)に示す(裾引きおよびラウンディングの指標値は図示せず)。図6と図7を比べてわかる

50

ように、傾斜角指標値 T は、パターン高さ H が一定であれば、 $\tan(\quad)$ に比例し、 \quad が垂直に近づくほど値が小さくなる。逆テーパでは側壁部分の情報なくなり、エッジ効果による部分のみが検出されるため、傾斜角指標値 T は一定値に留まる。対して、裾引きの指標値 F は、裾引きが大きいほど大きな値を、ラウンディングの指標値 R は丸まりが大きいほど大きな値をとる。このように、これらの指標値により、パターンの立体形状情報を得ることができる。

【0031】

なお、側壁傾斜角 θ は、次の(式1)で求めることができる。

【0032】

$$\theta = 90 - \arctan((T - T_0) / H) \quad (\text{式1})$$

ここで、 T_0 は側壁傾斜角が90度(垂直)の場合に観測される傾斜角指標値である。

【0033】

上記の実施の形態では、一次微分の値を用いて、信号波形を高傾斜角部分と低傾斜角部分に分割したが、適当なしきい値を用いて信号量そのものの値により、プロファイル波形の領域分割を行っても同様の結果を得ることができる。

【0034】

以上のようにして、得られるパターン断面の立体形状情報を取得し、予め作成しておいた、立体形状の変動とその変動が原因で生じる寸法計測の誤差との関係のデータベースの情報を組み合わせることにより寸法計測誤差を低減する。前述の図1の例であれば、寸法計測時に得られた計測対象パターンのSEM画像から、(式1)により側壁傾斜角 θ を推定して、データベースを参照して、寸法計測誤差を補正すればよい。

【0035】

また、傾斜角 θ そのものを用いる代わりに、傾斜角を表す画像特徴量(傾斜角指標値 T)を用いてもよい。この場合は、レシピ作成時の電子線シミュレーション結果に対しても、図5~図7と同様に、傾斜角を表す画像特徴量を算出し、実際の θ の代わりに、この傾斜角を表す画像特徴量と計測誤差の関係をデータベースに記録すればよい。このように、実際の形状よりも、寸法計測時に用いるのと同じ画像特徴量を用いてデータベースを構築した方が、より安定した結果が得られる。

【0036】

なお、前記図1の実施の形態では、パターン断面形状情報として側壁傾斜角 θ のみを用いているが、ここで説明したようなパターン角部分の丸みの変動が大きい場合や、使用する寸法計測画像処理アルゴリズムが角の丸みの変動の影響を受けやすい場合には、これらの指標値による評価を組み合わせる必要がある。このとき、形状パラメタと計測誤差の関係は、前記図1のような二次元ではなく、多次元の対応とすればよい。このとき、電子線シミュレーションに入力する角の丸みは、たとえば、角部の曲率半径で与えればよい。形状パラメタとしては、シミュレーションに入力した曲率半径をそのまま用いてもよいし、電子線シミュレーションにより得られたSEM画像信号波形から算出された画像特徴量(裾引きおよびラウンディングの指標値 F 、 R)を用いてもよい。

【0037】

また、上記の実施の形態では、断面形状情報(たとえば側壁傾斜角)と計測誤差の関係をデータベースに記録したが、後日、画像処理条件を変更する可能性がある場合には、断面形状と電子線シミュレーションにより得られたSEM信号波形との組み合わせを記録しておき、画像処理条件決定時に、断面形状と寸法計測誤差の関係を算出して、これらの関係もデータベースに追加するようにすればよい。

【0038】

以上、図1~図7を用いて、第1の実施の形態を詳細に説明したが、本実施の形態によれば、パターン側壁傾斜角などの断面形状の変動に対しても、パターン寸法計測の誤差を補正することが可能となり、高精度な寸法計測が実現できる。ひいては、高速に微細化の進む半導体パターンに対しても、高精度な計測およびこれらの計測結果を利用した高精度なプロセス制御の実現が可能となる。第1の実施の形態で、データベース構築のために行

10

20

30

40

50

うシミュレーションは、起こり得る断面形状変動全てについて細心に行う必要はなく、シミュレーション結果によりライブラリを作成する方式に比べてシミュレーションの計算数は少なくてもよい。また、SEM画像から推定された立体形状情報をもとにデータベースを参照するだけであるため、計測時における計算量は少なくてもすむといった利点がある。

【0039】

(第2の実施の形態：実サンプルによるデータベース構築またはAFM)

次に、図8を用いて、第2の実施の形態について説明する。前記第1の実施の形態では、電子線シミュレーションを利用して、パターン断面形状と寸法計測誤差の関係のデータベースを構築したが、第2の実施の形態においては、実際にさまざまな形状のパターンを作成し、実際にSEMで観察したこれらのパターンの画像を用いてデータベースを構築する例を示す。

10

【0040】

図8は、データベース構築部分の手順を示している。始めに、複数の加工条件(レジストパターンなら露光条件、エッチングパターンならエッチング条件など)により実際に起こり得るプロセス変動を模したパターンを形成する(ステップ1020)。さらに、これらパターンのSEM画像を実際の計測時と同じ条件で取得し(ステップ1021)、所定の画像処理条件により各エッジの位置検出(寸法計測)を行う(ステップ1022)。次に、これらのエッジ位置検出誤差を評価するために、実際の断面形状を断面SEMやFIB、TEMなどを用いて計測する(ステップ1023)。このようにして得られた断面形状および(真の)パターン寸法を用いて、線幅計測誤差を算出し(ステップ1024)、これらの誤差と断面形状(たとえば側壁傾斜角)の関係をデータベースに記録すれば(ステップ1025)、前記第1の実施の形態で行ったのと同様に、断面形状変動による誤差を排除した高精度な寸法計測を実現するためのデータベースの構築が可能となる。なお、実断面形状の評価は、断面観察以外にもAFMなどを用いても、もちろんよい。

20

【0041】

第2の実施の形態では、前記第1の実施の形態に比べ、サンプル作成や評価のためのコストは多く必要となるが、電子線シミュレーションの性能に依存せず、より信頼性の高い結果が得られるという利点がある。

【0042】

(第3の実施の形態：スキュッタロメトリ利用)

30

次に、図9を用いて、第3の実施の形態について説明する。前記第1の実施の形態では、電子線シミュレーションを利用して、パターン断面形状と寸法計測誤差の関係のデータベースを構築し、SEM画像から得られる画像特徴量を用いて、対象パターンの立体形状の評価を行ったが、第3の実施の形態においては、データベース構築および計測時のパターン断面形状評価をスキュッタロメトリ(散乱光を用いた形状評価手法)により行う例を示す。

【0043】

データベース構築は、前記第2の実施の形態と同様に行い、断面形状評価(ステップ1030)を断面観察やAFMではなく、スキュッタロメトリを用いて行う。計測時には、始めにスキュッタロメトリによる断面形状評価を行い(ステップ1031)、その後、前記第1の実施の形態と同様にSEMによる寸法計測および誤差補正を実施する。なお、データベースの構築は前記第1の実施の形態と同様に、電子線シミュレーションによって行ってもよい。

40

【0044】

スキュッタロメトリは、SEMよりも詳細な断面形状の情報を得ることができるが、ある程度広い面積内のパターンの平均的な情報しか得ることができない。しかし、多数のトランジスタを並べて形成するような場合には、これらの寸法ばらつきを、評価する必要があり、平均的な寸法評価では不十分である。そこで、第3の実施の形態のように、組み合わせれば、前記第1の実施の形態で述べた利点に加え、より信頼性の高い断面形状情報を用いて、所望の位置における局所的なパターン寸法を高精度に計測することが可能

50

となるという利点がある。

【 0 0 4 5 】

(第4の実施の形態：画像処理条件設定 + G U I、補正を前提として、安定な条件で計測)

次に、第4の実施の形態について、図10を用いて説明する。前記第1の実施の形態では、寸法計測を行うための画像処理アルゴリズムについて、特に詳細を述べていないが、第4の実施の形態に示す手法を用いて、画像処理アルゴリズムの選択および計測位置の指定を行えば、さらに信頼性の高い計測が可能となる。

【 0 0 4 6 】

始めに、計測位置設定のための画面表示について図10を用いて説明する。図10に示すように、計測対象パターンの断面構造402と、そのSEM画像403あるいはその信号波形404を1つの画面に並べて表示し、指定した画像処理条件における計測結果405を両方の画像上に表示する。このとき、SEM画像403は実際の画像でも、前記第1の実施の形態で用いたような電子線シミュレーション画像でも、どちらでもかまわない。このように並べて表示することで、現在の画像処理条件により、信号波形404および実際の断面構造402上のどの部分が計測されているのかを容易に確認することができる。ここで、実際に計測したい断面構造上の位置の設定はマウスポインタ406により容易に行えることとする。この計測位置と実際に計測された位置およびこれらの差は計測結果405として画面に表示する。また、このときの画像処理条件407も併せて表示する。

【 0 0 4 7 】

次に、この画面を用いた画像処理条件の設定方法について説明する。本発明では、寸法計測結果の断面形状依存性を補正する。このため、たとえ、寸法計測誤差が大きくとも、断面形状との関係が安定していれば補正は容易である。そこで、しきい値法など、前記図14に示した従来手法の他に、画像信号に特徴のある点として、画像信号の極大値、極小値、微分信号の極大値、極小値、ゼロとの交差などを用いたパターンエッジ検出を行い、これらのうちから、寸法計測結果が安定な条件を採用する。アルゴリズムの決定は、実際の電子線照射時にも発生する、照射する電子ビーム径の変動やランダムなノイズを考慮した電子線シミュレーションを実施し、これらの変動に対して安定な寸法計測アルゴリズムを選択することにより実現できる。

【 0 0 4 8 】

よって、本実施の形態による画像処理アルゴリズムおよび条件の設定を行えば、前記第1の実施の形態で述べた利点に加え、さらに安定な誤差補正および高精度計測の実現が可能となる。

【 0 0 4 9 】

(第5の実施の形態：DBの作り方、波形DB + 条件変更)

次に、第5の実施の形態について図11を用いて説明する。本発明では、SEMにより得られる電子線画像を用いた計測を行う。電子線画像の取得時には、照射された一次ビームが計測対象である固体内で拡散し、二次電子を発生する。図11(a)、(b)に示すように、固体内での照射電子の拡散長408に対して配線幅が小さければ、パターン端の信号波形が持つ情報は反対側のエッジの影響を受けるため、寸法を考慮した電子線シミュレーションを行う必要がある。たとえば、1keV前後の加速電圧であれば、拡散長は数十ナノメートルであるため、寸法が100nmをきるようなパターンでは注意が必要である(図11(b))。一方、拡散長408に対してパターン寸法が十分大きければ、寸法を考慮する必要はない(図11(a))。

【 0 0 5 0 】

そこで、第5の実施の形態では、予めシミュレーションあるいは実験により、画像取得時の条件における計測対象パターン内での電子の拡散長408を調べておき、それよりも小さな寸法のパターンでは、寸法を考慮したシミュレーションあるいは実サンプル評価の結果を用いたデータベースを構築し、またそれよりも大きな寸法のパターンでは、寸法にかかわらず、片側エッジのみを考慮したシミュレーションあるいは実サンプル評価結果を

10

20

30

40

50

用いたデータベースを構築する。このとき、データベースは左右どちらかのエッジについて作成し、反対側のエッジについては、データを反転させて用いればよい。寸法が小さい場合も、反対側のエッジの形状が与える影響はあまり大きくないため、パターン寸法を考慮する必要はあるが、左右対称の形状を想定して、片方のエッジについてのみ電子線シミュレーション波形を生成すればよい。すなわち、シミュレーションの入力データとしては、代表的な寸法（例えば設計寸法）のパターンを形成するが、シミュレーションは片側のエッジ分だけを行えばよい。

【0051】

このように、第5の実施の形態により、適宜、電子線照射条件および評価対照寸法を考慮してデータベースを構築することにより、さらに高精度で信頼性の高い寸法計測が可能となる。特に、比較的大きなパターンに対しては、異なる寸法のパターンに対しても、同じデータベースを用いて誤差の補正および寸法計測が可能であるといった利点がある。

【0052】

（第6の実施の形態：チルト像利用、逆テーパ対応）

次に、図12、図13を用いて第6の実施の形態について説明する。前記第1の実施の形態では、通常のSEM画像を用いていたため、90度を超える側壁傾斜角、すなわち逆テーパに対応することができなかった。そこで、図12に示すように、本実施の形態で用いる測長SEMは、XY平面内において移動可能で、更にチルト機能を備えたチルトステージ102を有し、通常のtop-down view像の他、チルト像を得ることができる。他の構成については、前記実施の形態1と同様である。

【0053】

チルト像においては、左側のレジスト側壁相当部は画素数が増し、右側の側壁相当部の画素数は減少する（チルトステージの傾斜が試料にとって右上がりの場合）。そこで、本実施の形態で着目するのは、画素数が増加する側の側壁相当部のラインプロファイルである。図13(a)、(b)のように、ビームに対して計測対象を所定の角度傾けることにより、前記第1の実施の形態で示した傾斜角を表す画像特徴量（傾斜角指標値T）に傾斜角に応じたオフセットを生じることとなり、逆テーパであっても、傾斜角の推定が可能となる。また、本実施の形態において、チルト角の異なる複数の画像を取得し、ステレオ視の原理によりパターンの断面形状を推定することもできる。このようにチルト角の異なる複数の画像を用いることで、パターン高さ（あるいは深さ）の計測が可能となるため、エッチストップのないパターンに対しては、パターン高さ変動による寸法計測誤差の考慮も可能となる。なお、ステージをチルトさせる代わりに、電子光学系のカラムをチルトさせても、あるいは照射電子線の偏向角度を変えることによって、試料（ウェーハ）への入射角度を変えるようにしても、もちろん良い。

【0054】

本実施の形態による立体形状評価を、前記第1および第2の実施の形態と組み合わせて用いれば、これまでの実施の形態で述べたのと同様の効果に加え、チルト画像を用いることにより、top-down viewでは計測不可能な逆テーパの側壁を持つパターンや高さが変動するパターンの計測も可能となる。

【0055】

なお、本発明においては、前述した実施の形態で、配線状のパターンを対象としたが、穴や溝などのパターン形状についても、同様に寸法計測誤差の補正および高精度な計測が可能であることは言うまでもない。

【0056】

（第7の実施の形態：プロセスモニタ・制御）

次に、本発明の寸法計測および断面形状評価方法を用いたプロセス管理およびプロセス制御の実施の形態について説明する。これまでの実施の形態では、SEM200上にパターン形状評価および寸法計測機能を搭載していたが、SEM200は画像取得が行えればよく、これらの機能はネットワークで接続されたシステム上にあってもよい。図17は、ネットワークで接続されたシステムの例を示している。本発明を実現するSEMは、各種

10

20

30

40

50

製造装置、デバイス特性評価装置と全てネットワーク上でつながっており、これらは装置管理システム500およびQCデータ収集・解析システム501に接続されている。着工の来歴は、着工来歴管理システム504により管理されている。

【0057】

異常監視システム502は、これらの異常を監視し、表示・連絡手段503を介して製造ライン管理者505は製造ラインの状態を容易に確認できるようになっている。本発明の寸法計測は生産ライン内にある既存のSEMを用いて実施することができる。製造装置とネットワーク上でつながっているため、予め正常な寸法および形状変動の範囲を設定しておき、これらを超過する異常が発生した場合には警告をライン管理者に速やかに連絡できる。また、関連する製造装置を登録しておけば、自動で着工を停止することも可能であり、不良の作り込みを防止することができる。

10

【0058】

また、本発明の寸法計測および立体形状評価結果について、その目標値と目標値からのずれ量を補正するためのプロセス条件（エッチング条件や露光条件）を予めQCデータ収集・解析システム501あるいは装置管理システム500に登録しておき、パターン寸法および形状の変動を補正するよう、装置管理システム500によりプロセスを管理することも可能である。このように、プロセス変動を補正するように装置を管理することにより、常に精度の高いパターンの加工が可能となり、半導体製造ラインの歩留まり向上を図ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

20

【0059】

【図1】(a)、(b)は本発明による第1の実施の形態に係るパターン計測システムを用いた寸法計測手順を示す概念図である。

【図2】本発明による第1の実施の形態において、寸法計測に用いるSEMを示す構成図である。

【図3】本発明による第1の実施の形態において、パターンの断面形状変動の種類を示す説明図である。

【図4】(a)、(b)は本発明による第1の実施の形態において、パターンの定量評価を示す説明図である。

【図5】(a)、(b)は本発明による第1の実施の形態において、パターン形状（順テーパー、裾引き）の評価手順を示す説明図である。

30

【図6】本発明による第1の実施の形態において、パターン形状（裾引き）の評価手順を詳細に示す説明図である。

【図7】本発明による第1の実施の形態において、パターン形状（順テーパー）の評価手順を詳細に示す説明図である。

【図8】本発明による第2の実施の形態において、データベース構築手順を示す概念図である。

【図9】(a)、(b)は本発明による第3の実施の形態において、寸法計測手順を示す概念図である。

【図10】本発明による第4の実施の形態において、画像処理条件設定のための表示画面を示す説明図である。

40

【図11】(a)、(b)は本発明による第5の実施の形態において、固体内における電子の拡散状態を示す説明図である。

【図12】本発明による第6の実施の形態において、寸法計測に用いるチルト像取得機能を有するSEMを示す構成図である。

【図13】(a)、(b)は本発明による第6の実施の形態において、寸法計測に用いるチルト画像を示す説明図である。

【図14】(a)、(b)、(c)は本発明に対する参考技術において、SEM画像を用いた寸法計測手法を示す説明図である。

【図15】本発明に対する参考技術において、パターン側壁が垂直な場合と傾斜している

50

場合の誤差を示す説明図である。

【図16】本発明に対する参考技術において、パターン側壁傾斜角とパターン寸法計測誤差の関係を示す説明図である。

【図17】本発明による第7の実施の形態において、ネットワークで接続された製造ラインのシステムを示す構成図である。

【符号の説明】

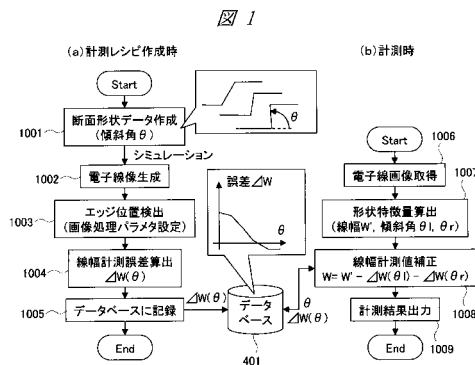
【0060】

001 ... 電子線画像、002 ... 1ライン波形、003 ... ラインプロファイル、010 ... 断面形状(順テーパ)、011 ... ラインプロファイル(順テーパ)、015 ... 一次微分波形(順テーパ)、020 ... 断面形状(裾引き)、021 ... ラインプロファイル(裾引き)、022 ... 高傾斜角部分、023 ... 裾引き部分、024 ... ラウンディング部分、025 ... 一次微分波形(裾引き)、100 ... ウェーハ、101 ... ステージ、102 ... チルトステージ、200 ... SEM、201 ... 電子銃、202 ... 一次電子線、203 ... コンデンサレンズ、204 ... 偏向器、205 ... E x B 偏向器、206 ... 対物レンズ、207 ... 二次電子検出器、208 ... A / D 変換器、300 ... 画像処理部、301 ... 記憶媒体、302 ... 表示装置、401 ... データベース、402 ... 断面構造、403 ... SEM画像、404 ... 信号波形、405 ... 計測結果、406 ... マウスポインタ、407 ... 画像処理条件、408 ... 拡散長、500 ... 装置管理システム、501 ... QCデータ収集・解析システム、502 ... 異常監視システム、503 ... 表示・連絡手段、504 ... 着工来歴管理システム、505 ... 製造ライン管理者。

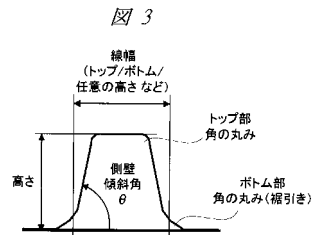
10

20

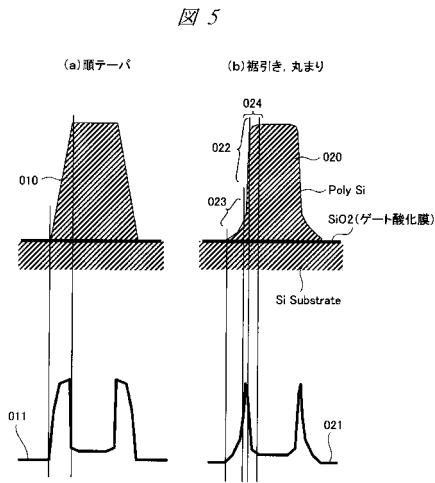
【図1】



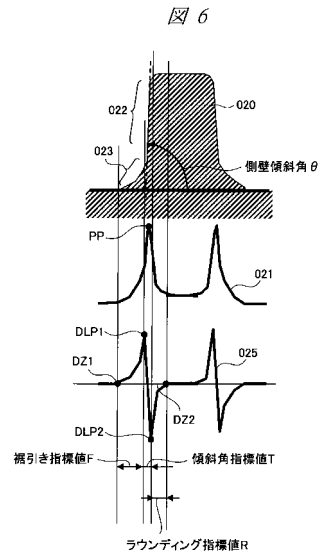
【図3】



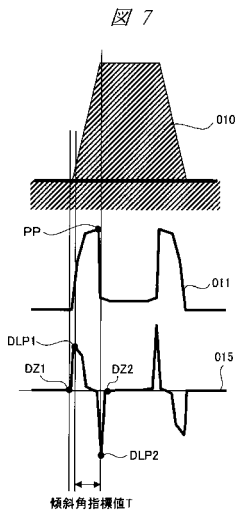
【 図 5 】



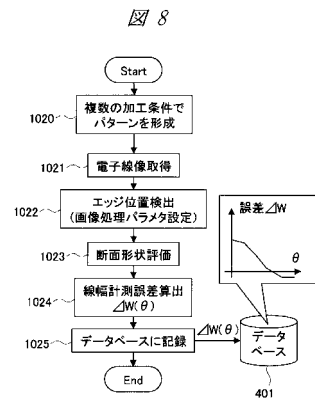
【 図 6 】



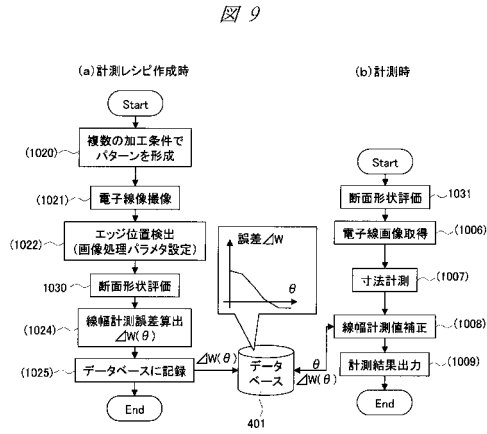
【 図 7 】



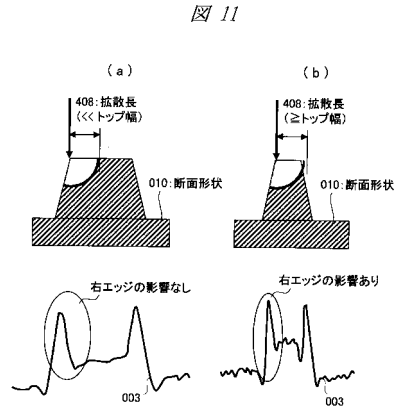
【 図 8 】



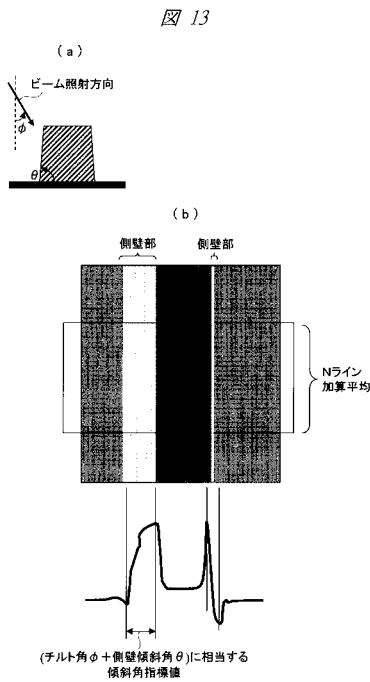
【図9】



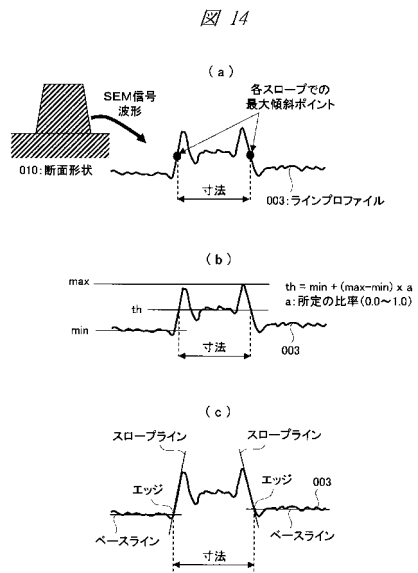
【図11】



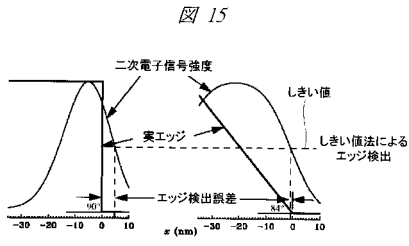
【図13】



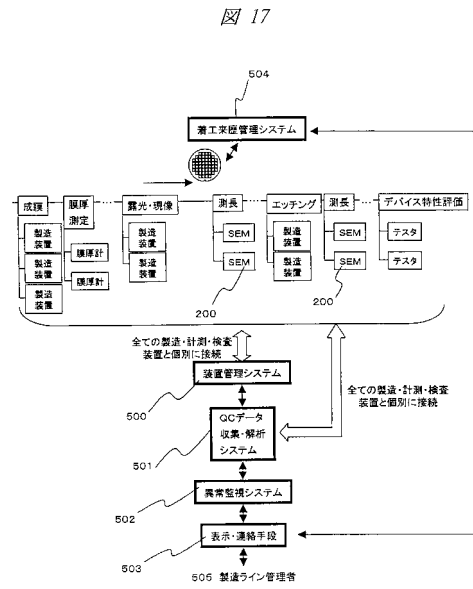
【図14】



【図15】

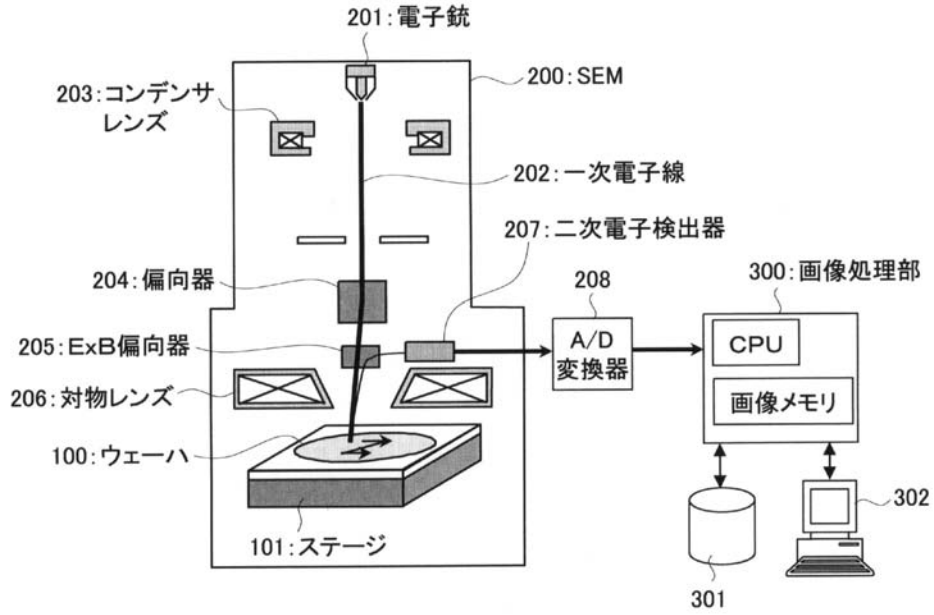


【図17】



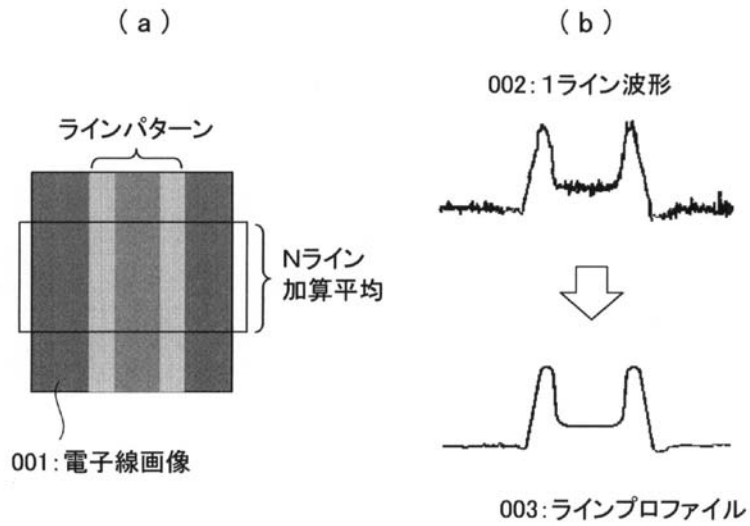
【図2】

図2



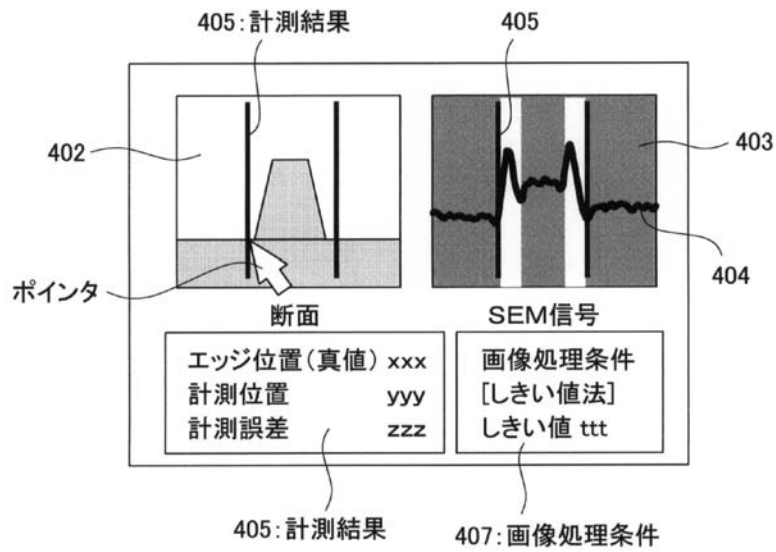
【 図 4 】

図 4



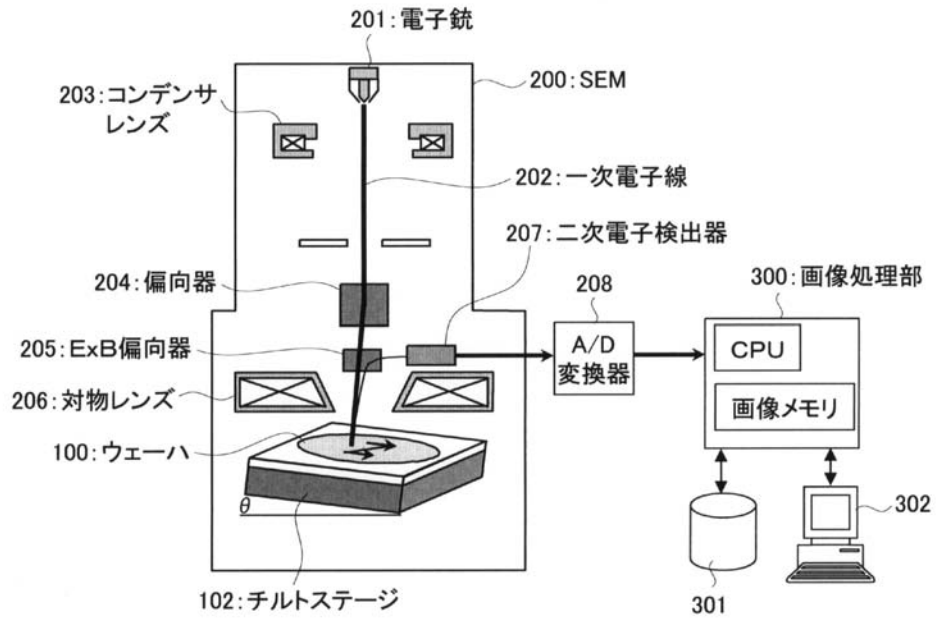
【 図 10 】

図 10



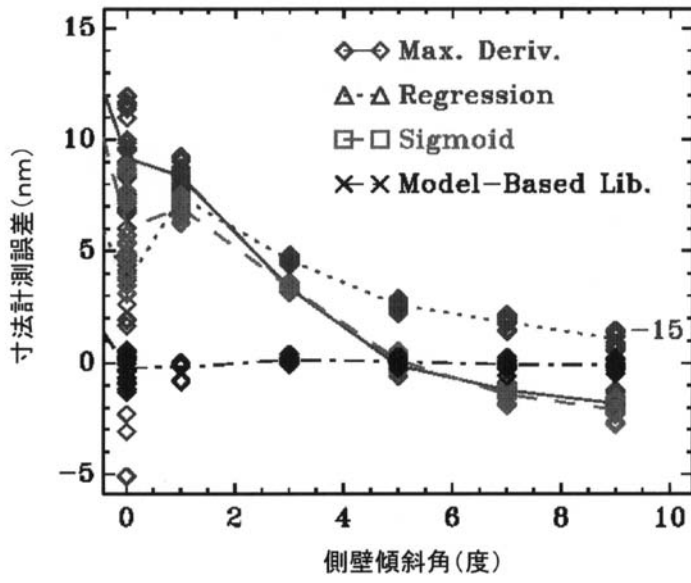
【図12】

図 12



【 図 16 】

図 16



フロントページの続き

(72)発明者 高木 裕治

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

審査官 大和田 有軌

(56)参考文献 特開2005-077192(JP,A)

特開2003-100828(JP,A)

特開昭63-148112(JP,A)

特開昭61-290312(JP,A)

特開2005-069953(JP,A)

特開2004-219343(JP,A)

特開2004-022617(JP,A)

特開2003-173948(JP,A)

J.S.Villarrubia, et al., "A Simulation Study of Repeatability and Bias in the CD-SEM", Proceedings of SPIE, 2003年 2月24日, Vol.5038, p.138-149

J.S.Villarrubia, et al., "Scanning electron microscope analog of scatterometry", Proceedings of SPIE, 2002年 3月 4日, Vol.4689, p.304-312

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 15/00 - 15/08

G01N 23/00 - 23/227

H01J 37/00 - 37/295

H01L 21/66