

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5325802号  
(P5325802)

(45) 発行日 平成25年10月23日(2013.10.23)

(24) 登録日 平成25年7月26日(2013.7.26)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 J 37/21 (2006.01)	HO 1 J 37/21 B
HO 1 J 37/22 (2006.01)	HO 1 J 37/22 5 O 2 H
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66 J

請求項の数 18 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2010-16155 (P2010-16155)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成22年1月28日(2010.1.28)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2011-154919 (P2011-154919A)		東京都港区西新橋一丁目24番14号
(43) 公開日	平成23年8月11日(2011.8.11)	(74) 代理人	100100310
審査請求日	平成24年2月15日(2012.2.15)		弁理士 井上 学
		(74) 代理人	100098660
			弁理士 戸田 裕二
		(72) 発明者	坂 直磨
			茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
			株式会社 日立ハイ
			テクノロジーズ 那珂事業所内
		(72) 発明者	小原 健二
			茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
			株式会社 日立ハイ
			テクノロジーズ 那珂事業所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 観察方法および観察装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定のステップ量ずつ焦点位置をずらして焦点位置の異なる複数の画像を取得し、前記複数の画像から合焦点位置を推定するオートフォーカス手段を備えた荷電粒子線装置において、

第一の倍率及び前記第一の倍率より高倍率の第二の倍率で画像を取得する撮像手段と、前記第一の倍率の画像において選択された領域から画像特徴量を求める合焦点位置解析演算手段と、

前記合焦点位置解析演算手段によって求められた前記画像特徴量に基づいてステップ量を求めるステップ量決定手段と、

前記ステップ量決定手段によって求められたステップ量を用いて前記第二の倍率においてオートフォーカスを実行するオートフォーカス実行手段とを有することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項2】

請求項1に記載の荷電粒子線装置において、前記画像特徴量は前記選択された領域におけるパターンの粗密さまたはパターンエッジの量であることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項3】

請求項1に記載の荷電粒子線装置において、設定された前記ステップ量または前記画像特徴量が予め定められた基準を満たしている

かどうかを判定するステップ量判定手段を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の荷電粒子線装置において、

前記ステップ量判定手段は判定結果を表示することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置において、

前記合焦点位置解析演算手段は、画像特徴量を算出する複数の方法を実行し、

前記ステップ量決定手段は、前記複数の方法のそれぞれを用いて算出された各画像特徴量から得られる複数のステップ量を組み合わせて前記オートフォーカス実行手段で用いるステップ量を設定することを特徴とする荷電粒子線装置。

10

【請求項 6】

請求項 5 に記載の荷電粒子線装置において、

前記複数の方法により得られる画像特徴量の各々が、前記オートフォーカス実行手段で用いるステップ量に与える寄与を設定可能であることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置において、

さらにオートフォーカスパラメータ設定画面を有し、

前記ステップ量が前記画像特徴量を用いて自動的に設定されるモードを選択可能であることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 8】

20

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置において、

前記第一の倍率の画像は第一の倍率で撮像した画像に対応する C A D データのパターンレイアウト画像であることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の荷電粒子線装置において、

前記合焦点位置解析演算手段は、

前記パターンレイアウト画像を複数の領域に分割し、

当該分割された前記複数の領域のそれぞれで画像特徴量を算出し、

予め設定された基準を満たす画像特徴量を持つ領域を前記複数の領域から選択し、

前記ステップ量決定手段は、前記選択された領域から算出される画像特徴量に基づいてステップ量を算出することを特徴とする荷電粒子線装置。

30

【請求項 10】

請求項 9 に記載の荷電粒子線装置において、

前記合焦点位置解析演算手段は、前記 C A D データを隣接領域と重複部をもつ複数の領域に分割することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 11】

所定のステップ量ずつ焦点位置をずらして焦点位置の異なる複数の画像を取得し前記複数の画像から合焦点位置を推定するオートフォーカス手段を備えた荷電粒子線装置に接続された情報処理装置において、

前記荷電粒子線装置から得られる低倍画像に対応した C A D データから選択された領域の画像特徴量を求める焦点位置解析演算手段と、

40

前記合焦点位置解析演算手段によって求められた画像特徴量に基づいてステップ量を求めるステップ量決定手段と、

前記ステップ量決定手段によって求められたステップ量を前記荷電粒子線装置に送出するステップ量送出手段と、を有することを特徴とする情報処理装置。

【請求項 12】

第一の倍率で画像を取得し、

前記第一の倍率の画像において選択された領域から画像特徴量を求め、

焦点位置の異なる複数の画像を取得する際の焦点位置変化量であるステップ量を、前記画像特徴量に基づいて求め、

50

前記第一の倍率より高倍率の第二の倍率において、前記ステップ量ずつ焦点位置をずらして複数の画像を取得することでオートフォーカスを実行することを特徴とする荷電粒子線を用いた観察方法。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の荷電粒子線を用いた観察方法において、

前記画像特徴量は前記第一の倍率で取得された画像から選択された領域におけるパターンの粗さまたはパターンエッジの量であることを特徴とする荷電粒子線を用いた観察方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 に記載の荷電粒子線を用いた観察方法において、

さらに、設定された前記ステップ量または前記画像特徴量が予め定められた基準を満たしているかどうかを判定することを特徴とする荷電粒子線を用いた観察方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 4 に記載の荷電粒子線を用いた観察方法において、

さらに、判定結果を表示することを特徴とする荷電粒子線を用いた観察方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 4 に記載の荷電粒子線を用いた観察方法において、

複数の方法を用いて画像特徴量を算出し、前記複数の方法のそれぞれを用いて算出された各画像特徴量から得られる複数のステップ量を組み合わせることでオートフォーカスに用いるステップ量が設定可能であることを特徴とする荷電粒子線を用いた観察方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 4 に記載の荷電粒子線を用いた観察方法において、

前記第一の倍率の画像は第一の倍率で撮像した画像に対応する C A D データのパターンレイアウト画像であることを特徴とする荷電粒子線を用いた観察方法。

【請求項 1 8】

所定のステップ量ずつ焦点位置をずらして焦点位置の異なる複数の画像を取得し、当該複数の画像から合焦点位置を推定するオートフォーカス方法において、

第一の倍率で画像を取得し、

前記第一の倍率で取得された画像から画像特徴量を求め、

焦点位置の異なる複数の画像を取得する際の予め決められたステップ量を前記画像特徴量に基づいて求め、

前記第一の倍率より高倍率の第二の倍率において、前記ステップ量を用いて焦点位置をずらして複数の画像を取得することでオートフォーカスを実行する、ことを特徴とするオートフォーカス方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、半導体デバイス製造過程で生じた欠陥をレビューするための走査型電子顕微鏡を用いた試料の観察方法及びその装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

半導体デバイスの製造工程において、デバイスの動作不良となる欠陥を観察する目的として、光学式検査装置または電子線式検査装置によって検出した欠陥の位置の画像を、走査型電子顕微鏡を応用したレビュー S E M 装置により解像度高く再検出する自動欠陥観察が行われている。このようなレビュー S E M 装置は、半導体デバイス回路パターンの微細化や、それに伴う欠陥のサイズの微小化により、検査装置が検出した欠陥を高解像度で信頼性の高い自動欠陥観察ができることが求められている。

【0 0 0 3】

レビュー S E M 装置の自動欠陥観察については、例えば、次のようなものが知られている。レビュー S E M は、指定された欠陥の中から一つを選択し、ウェーハ内の欠陥部位が

10

20

30

40

50

存在するチップに隣接したチップの同部位を第1の倍率設定で撮像する。この部位は欠陥部位と同じパターンが形成されている部位であり、この画像を低倍参照画像と呼ぶ。次に、ステージを移動させ、概欠陥位置が光学系の視野中央に位置するようにステージを移動させる。その後、参照画像撮像時と同様に第1の倍率設定での画像を撮像する。この画像を低倍欠陥画像と呼ぶ。そして、これらの第1の倍率設定での欠陥画像と参照画像から欠陥部位を特定し、第1の倍率設定の撮像に比べ高倍率である第2の倍率設定で欠陥部位の撮像を行う。この画像を高倍欠陥画像と呼ぶ。このように、レビューSEM装置では、第1の倍率設定の低倍画像と第2の倍率設定の高倍画像とを段階的に撮像する。

【0004】

高倍欠陥画像から欠陥を詳細に観察することを主な目的とするレビューSEM装置では、第2の倍率設定で高倍欠陥画像を撮像する際は、観察領域における合焦位置を自動で算出する自動焦点位置合せ（以下、オートフォーカス）が行われる。特に、半導体ウェーハには高さ方向の変動や帯電があるのが一般的であり、観察領域毎に合焦位置が異なる。レビューSEM装置で高解像度の画像を撮像するためには、毎回オートフォーカスによって電子ビームの焦点位置を合焦位置に設定する必要がある。ここで、合焦位置とは焦点が試料表面やパターン欠陥や異物に設定され、高解像度の画像が撮像可能な焦点位置のことを言う。

10

【0005】

オートフォーカスの処理は、例えば次のようにして行われる。所定のオートフォーカス条件に基づいて、焦点位置の異なる画像を複数枚取得し、その取得したそれぞれの画像において、焦点の鮮鋭度を定量化した指標である焦点測度を算出する。焦点測度が最大となる焦点位置を推定し設定する。一般的に、焦点測度は、画像中に撮像されたエッジ部の鮮鋭度を用いる場合が多く、焦点測度の値も合焦位置に近いほど大きくなる。

20

【0006】

なお、オートフォーカス条件は、オートフォーカス精度とオートフォーカスに要する時間のバランスを変更するパラメータとして、焦点位置の異なる画像を複数枚取得する際の焦点位置変化量（以下、ステップ量）がある。

【0007】

オートフォーカスのステップ量は、細かくすればするほど、焦点位置の異なる画像をより多く撮像し合焦位置の推定値の誤差は小さくなるが、撮像対象の欠陥やパターンの材料や構造によっては、画像のコントラストが得られず、エッジ鮮鋭度が低下し、十分な焦点測度が得られない場合がある。また、必要以上に細かいステップ量で焦点位置を変化させて多数の画像を取得すると、画像取得枚数に比例して、オートフォーカスに要する時間が増大する。このことから、オペレータはオートフォーカスの精度とオートフォーカスに要する時間のバランスを考慮して設定する。さらに、オペレータはステップ量の最適な設定を決定するのに、試行錯誤を繰り返す必要があり、オートフォーカスで使用するステップ量の条件設定の自動化が望まれている。

30

【0008】

従来、オートフォーカス条件を自動で決定する方法として、特開2009-194272号公報（特許文献1）では観察対象の座標上に予め登録された複数個の座標位置でオートフォーカスを行い、各点での焦点位置とフォーカスずれ量に基づいて、オートフォーカスの探索範囲を自動で決定する手法が記載されている。

40

【0009】

また、低倍画像から得られる情報を用いて、高倍画像取得時のオートフォーカス条件を決定する手法として、特開2005-285746号公報（特許文献2）では、取得した低倍画像の領域内で、エッジ強度が閾値以上の領域を求め、エッジ強度大の画素数が一定以上含む領域をオートフォーカス用領域として設定し、オートフォーカスを実行する手法が示されている。

【0010】

また、特開平10-050245号公報では（特許文献3）では、電子ビームの最大有

50

効走査間隔を設定し、この最大有効走査間隔と設定倍率に基づく実際の走査間隔とを比較し、実際の走査間隔が最大有効走査間隔以上の場合は、電子ビームの走査方向における倍率を高めて実際の走査間隔を最大有効走査間隔以下とするようにしたオートフォーカスの手法が示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】特開2009-194272号公報

【特許文献2】特開2005-285746号公報

【特許文献3】特開平10-050245号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

上記の従来技術では、オートフォーカスのステップ量は予め設定された固定の値であり、オートフォーカス実行領域内のパターンの粗密さやコントラストを考慮していないため、オートフォーカス実行領域内のパターンの種類によっては、十分なオートフォーカス精度が得られない場合がある。この理由を以下に説明する。

【0013】

オートフォーカス処理は、焦点位置の異なる画像から得られた焦点測度値をガウス関数などの関数で近似し、近似関数の最大値を合焦点位置として設定する。このとき、オートフォーカスを行う視野内のパターンの粗密さによって、近似関数の広がりが増えるので、オートフォーカスのステップ幅を固定していると問題が生じることがある。近似関数の広がりが極端に小さい場合や大きい場合は、近似関数を推定する際に当てはめ誤差が生じ、結果としてオートフォーカスの精度が劣化してしまう。

20

【0014】

さらに詳細に説明すると、オートフォーカス実行領域内のパターンが密になるに従って、近似関数の広がりが狭まるため、焦点測度分布の合焦点位置近傍に含まれる焦点測度計測点（画像を撮像して焦点測度を計測する点。以下、焦点測度計測点とする。）が減少し、近似関数の当てはめ誤差（フィッティングの誤差）が大きくなる。一方、オートフォーカス実行領域内のパターンが疎になるに従って、近似関数の広がりは広がるため、焦点測度値に僅かなばらつきが生じると、近似関数の当てはめ誤差が大きくなる。またこの場合には近似関数の推定に要求される精度に対して焦点測度計測点が多くなるので、撮像時間が増大しスループットが落ちてしまうことも考えられる。

30

【0015】

本発明の目的は、低倍画像から得られる焦点測度分布の近似曲線の広がりに対し、適切な数の焦点測度の計測点を得られるようにオートフォーカスのステップ量を設定することである。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記目的を達成するために、本発明では、第一の倍率で撮像した画像またはこれに対応するレイアウト画像の一部から得られる画像特徴量を用いてステップ量の補正値を算出し、焦点測度分布の近似曲線の広がりに対して最適なステップ量に補正する。

40

【0017】

オートフォーカスのステップ量は一般的には光学系の焦点深度等に依存して決められているが、本発明では、予め決められたステップ量を、算出された画像特徴量を用いて焦点測度分布の近似関数の広がりに対して最適なステップ量に補正し設定する。ステップ量が補正された後、補正後のステップ量ずつ焦点位置をずらして第二の倍率で複数の画像を取得しオートフォーカスが実行される。あるいは、予め定められたステップ量を補正するのではなく、画像特徴量を用いて最適なステップ量を直接求めても構わない。また、画像特徴量を求めるための画像としては、観測対象試料を実際に撮像して得られる画像データで

50

あっても、観測対象試料の設計データないしレイアウトデータから合成される合成画像であつても、いずれでも構わない。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、オートフォーカスする領域のパターンの種類がオートフォーカスに与える影響を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の実施形態である電子顕微鏡の概略構成である。

【図2】本発明における画像取得の手順を示すフローチャートである。

10

【図3(A)】低倍画像における欠陥位置と画像特徴量取得領域を示す図である。

【図3(B)】低倍画像における欠陥位置と画像特徴量取得領域を示す図である。

【図4】オートフォーカスのステップ量と焦点測度分布の関係である。

【図5(A)】焦点測度分布の広がりステップ間隔が不適切な例である。

【図5(B)】焦点測度分布の広がりステップ間隔が適切な例である。

【図6】焦点測度分布の広がりパターン線幅サイズの関係図である。

【図7】オートフォーカス条件設定のGUI画面図である。

【図8】CADデータからオートフォーカスを実行する場合のフローチャートである。

【図9】CADデータの分割領域の設定例である。

【発明を実施するための形態】

20

【0020】

(実施例1)

以下、本実施例の実施形態を図面を用いて説明する。図1は、電子顕微鏡の概略構成を示す縦断面図である。走査型電子顕微鏡を半導体ウェーハに形成された回路パターンの欠陥観察に使用できるように改良したレビューSEM装置の撮像装置8は、電子ビームEBの発生から半導体ウェーハWFまでの間が真空に保たれ、電子源9、コンデンサレンズ10、11、偏向走査用コイル12、対物レンズ13、非点収差補正コイル27、XYステージ15、検出器25が設けられている。また、真空装置の外部には、記憶装置16、ディスプレイ17、入力装置18、画像演算部20、A/D変換部21、電子光学系制御部22、ステージ制御部23、高電圧安定化電源24が設置され、全体制御部19には、合

30

【0021】

電子顕微鏡には必要に応じて検査装置32やCADデータベースサーバ33がネットワーク31を介して接続されている。

【0022】

検査対象となる半導体ウェーハWFは、XYステージ15に搭載される。全体制御部19からの制御信号がステージ制御部23に送られ、ステージ制御部23からXYステージ15に送られ、XYステージ15がX、Y方向に移動制御される。電子源9から発射された電子ビームEBは、コンデンサレンズ10、11、対物レンズ13によって収束され、偏向走査用コイル12によって半導体ウェーハWF上をスキャンされることにより、検査対象の半導体ウェーハWFに照射され、この照射によって半導体ウェーハWFから得られる二次電子や反射電子が検出器25で検出され、A/D変換部21でアナログ信号からデジタル信号へ変換処理されて、半導体ウェーハWFのデジタル画像データが生成され、ディスプレイ17に表示される。欠陥検出処理などの画像処理は画像演算部20で行われる。オペレータは入力装置18において欠陥観察条件やオートフォーカス条件の入力項目を入力する。

40

【0023】

半導体ウェーハWFの欠陥座標データは、検査装置32からネットワーク31を介して全体制御部19に送られる。全体制御部19では、送られた欠陥座標データに基づいて、欠陥が撮像装置8の視野に入るようにステージ制御部23にステージ移動命令を送り、X

50

Yステージ15が移動される。

【0024】

電子ビームEBのオートフォーカスでは、対物レンズ13やコンデンサレンズ10などの光学条件で倍率と焦点位置を独立に設定することができる。本実施例においては、対物レンズ13の励磁強度によって制御される。対物レンズ13はインレンズ方式、アウトレンズ方式、およびシュノーケル方式（セミインレンズ方式）など、様々な形態をとることができる。また、半導体ウェーハWFに負の電圧を印加して、一次電子ビームを減速させるリターディング方式も可能である。

【0025】

一般的に電子顕微鏡は高倍率になるにつれて焦点深度が浅くなる。また、半導体ウェーハWFの形状歪み等による観察位置による高さ変動がある。このため欠陥のSEM像を撮像するためには、SEM像の撮像の前にこのオートフォーカスが行われる。本実施例の実施形態では、オートフォーカスを実行する手段が全体制御部19に備えられている。オートフォーカスを行う領域の画像特徴量解析は、全体制御部19に設けられた合焦位置解析演算部26で実行される。合焦位置解析演算部26には、取得した画像特徴量からステップ量を決定するステップ量決定部も含まれている。なお、オートフォーカスの結果はディスプレイ17へ表示されてもよいし、ログ情報として記憶されてもよい。特に、後に説明する画像特徴量取得領域等のオートフォーカスに用いた情報を、半導体の製造ラインを流れてくるロットや検査日時と対応可能な状態でログに残しておくことで、欠陥検出率が低下したときのエラー原因の究明に役立てることができる。すなわち欠陥検出率が低下した際、オートフォーカス実行領域の選択、補正值の上限値下限値の設定等に問題があったかどうかを撮像の後から判定することができるので、高倍画像の撮像が正確にできていたかどうか過去にさかのぼって分析することができる。

【0026】

次に、図2に、前述の装置での実施を例にとり、本実施例における自動欠陥観察時の画像取得の手順を示すフローチャートを示す。

【0027】

光学式または電子線式の検査装置32によって検出した各欠陥の座標位置情報である欠陥座標データをネットワーク31を介してレビューSEMに入力する（ステップ101）。

【0028】

次に、欠陥データに基づくXYステージの移動により、欠陥が存在するチップに隣接したチップの同位置へ撮像装置8の視野を移動し（ステップ102）、低倍参照画像を取得する（ステップ103）。同様に、XYステージの移動により、欠陥が存在するチップに撮像装置8の視野を移動し（ステップ104）、低倍欠陥画像を取得する（ステップ105）。ステップ103とステップ104を行う際に、オートフォーカスを実行してもよいが、一般にSEMにおいては、倍率が低いほど焦点深度は大きくなるため、当該倍率で十分な焦点深度が得られているならば、必ずしもオートフォーカスを行う必要はない。また、ウェーハ内での高さ変化が大きい場合や、帯電の影響が大きいサンプルであれば、ステップ102を行う前に、ステージ座標とフォーカスを関連付けたフォーカスマップを予め作成しておき、そのフォーカスマップに基づいてステージ座標のフォーカス値を決定することによって、低倍画像取得時のオートフォーカス（以下、低倍用オートフォーカス）を行わないことも可能である。

【0029】

次に、図3(A)に示すように、合焦位置解析演算部26は、低倍画像200中から、欠陥位置201の部分画像と画像特徴量取得領域202を特定する（ステップ106）。本実施例では、画像特徴量取得領域202は低倍画像の一部分から選ばれる。画像特徴量取得領域202の大きさは高倍欠陥画像の撮像領域と同等程度である場合が多いが、予め設定されたオートフォーカスを行う倍率に相当する領域でもよいし、オートフォーカスに要する時間を短縮する目的で、高倍欠陥画像の撮像領域より小さい領域でもよい。

## 【 0 0 3 0 】

また、画像特徴量取得領域 2 0 2 は、通常、図 3 ( A ) に示す通り欠陥位置 2 0 1 を含むよう選択されるが、少なくともパターンまたは異物や欠陥の一部が含まれているならば、図 3 ( B ) に示すように、欠陥位置 2 0 1 や高倍欠陥画像の撮像領域 2 0 3 から離れた位置でもよい。例えば、欠陥サイズが極端に大きな場合に欠陥位置を含むように画像特徴量取得領域 2 0 2 を選択すると適切な粗密情報が得られなくなるため、このような場合は、欠陥位置を外して画像特徴量取得領域 2 0 2 を選択した方がよい。あるいは、画像特徴量取得領域 2 0 2 は、低倍画像取得時の電子線の走査方向に対して回転していてもよい。この場合、合焦位置解析演算部 2 6 により、低倍画像 2 0 0 から切出された特徴量取得領域 2 0 2 の回転処理が実行される。

10

## 【 0 0 3 1 】

更に、選んだ画像特徴量取得領域 2 0 2 によっては画像サイズが異なり、画像特徴量取得領域から得られるパターン粗密等の画像特徴量も異なってしまうことがある。このような場合には画像特徴量取得領域の画像サイズでパターン粗密等の画像特徴量を規格化することで、オートフォーカスごとに異なった領域が選ばれても同じ基準でステップ量を補正することができる。また、画像特徴量取得領域 2 0 2 はオペレータが手動で指定してもよいし、自動で選ばれるようにしてもよい。自動で選択することでオペレータの負担を軽減することができる。

## 【 0 0 3 2 】

次に、ステップ 1 0 7 において、低倍画像の中からオートフォーカス領域内のパターンの粗密さを合焦位置解析演算部 2 6 で計算し、その結果から最適な高倍用オートフォーカスのステップ量を決定する。

20

## 【 0 0 3 3 】

以下に、ステップ 1 0 7 における低倍画像を用いた高倍用オートフォーカスのステップ量を決定する方法について、詳細に説明する。なお、本実施例では、低倍画像として低倍欠陥画像を用いているが、低倍参照画像を用いてもよい。決定方法のポイントは、低倍画像から選択した画像特徴量取得領域内のパターンの粗密さや画像に含まれるパターンのエッジ量等の画像特徴量を定量化した値を用いて高倍用オートフォーカスのステップ量を決定する点にある。

## 【 0 0 3 4 】

ここで、合焦位置を推定するために必要な、オートフォーカスのステップ量と焦点測度分布の関係について、図 4 を用いて述べる。一般に知られているオートフォーカス処理では、焦点位置の異なる画像から得られた焦点測度計測点 4 0 1 の焦点測度分布をガウス関数や二次関数などの関数で近似し、その近似関数 4 0 2 のピーク位置、たとえば最大値を合焦位置 4 0 3 とする。

30

## 【 0 0 3 5 】

しかし、図 5 ( A ) に示す焦点測度分布においては、焦点測度のステップ間隔 4 1 0 が焦点測度の広がり 4 1 1 に対して相対的に広いため、近似関数 4 1 2 の当てはめ誤差が生じ、近似関数から推定した合焦点位置 4 1 3 と実際の合焦点位置 4 1 4 とで焦点位置差が生じる。そこで、図 ( B ) に示すように、焦点測度分布を関数で良く近似し、近似関数 4 2 0 の当てはめ誤差を小さくし、合焦位置 4 2 1 を精度良く推定するためには、焦点測度のステップ間隔 4 2 2 を近似関数 4 2 0 の焦点測度の広がり 4 2 3 に対し、ステップ間隔 4 2 2 を相対的に十分密にする必要がある。すなわち、近似関数 4 2 0 のピーク部分に十分な数の焦点測度計測点が含まれるようにステップ量を定める必要がある。このようにステップ量を設定することで近似関数の当てはめ誤差を小さくし、オートフォーカスの精度を上げることができる。

40

## 【 0 0 3 6 】

一方、焦点測度のステップ間隔が焦点測度の広がりに対して十分である場合は、必要以上に密にする必要はない。必要以上に密とすると、オートフォーカスにて取得する画像枚数が増加するため、オートフォーカスに要する時間が増大する。さらには荷電粒子線を用

50

いた装置の場合には、複数回撮像することで照射電子線によって試料にダメージを与えてしまうことも考えられる。したがって、近似曲線を精度よく推定するのに必要十分な数の焦点測度計測点を得るため、適切なオートフォーカスのステップ量を決定することが重要である。この場合には適切なステップ量に補正することで、オートフォーカスに要する時間を短縮し、短時間で要求する精度の焦点合わせが可能になる。

【 0 0 3 7 】

近似関数の広がり、たとえば、ガウス関数による近似であれば、山型の関数の広がり程度を表す指標として、統計量の半値全幅や標準偏差等で定義することができる。

【 0 0 3 8 】

ここで、焦点測度分布の近似関数の広がり、オートフォーカス実行領域（オートフォーカス実行領域を画像特徴量取得領域に設定した場合には画像特徴量取得領域）内の画像特徴量によって変化する。これを図6を用いて説明する。

【 0 0 3 9 】

以下では画像特徴量の一つとしてパターンの粗密さを例にあげる。図6はある倍率とステップ量において、画像内の線幅サイズの異なる1:1のライン&スペースパターンにてオートフォーカスを行ったときに得られた焦点測度分布の近似関数の広がり、1:1のライン&スペースパターンの線幅サイズの関係を示している。

【 0 0 4 0 】

これより、倍率が一定であっても、パターンの粗密さ、すなわち1:1のライン&スペースパターンの線幅が画像602, 画像603, 画像604と大きくなると、近似関数の広がりが増大することがわかる。一般的に電子光学系の焦点深度は光学条件から決まることが知られており倍率が一定であれば変化しないが、図6の関係からパターンの粗密さが変わると、みかけ上、焦点深度が変化するといえる。また、パターンの粗密さと近似関数の広がりとの関係は一次式で良く近似することができる(601)。

【 0 0 4 1 】

本実施例ではこの点に着目して、画像特徴量取得領域内のパターンの粗密さから、焦点測度分布の近似関数の広がり、最適なステップ量に補正するための補正值を決定する。このため、全体制御部19内にはステップ量決定部が設けられており、合焦位置解析演算部26で算出された画像特徴量に基づき上記補正值ないしは適切なステップ量を決定する。

【 0 0 4 2 】

ここで、粗密さを定量化する代表的な4つの方法について以下に述べる。なお、以下の4つの方法において、画像特徴量取得領域における画像の特徴量を用いて近似関数の広がり、最適なステップ量の補正值を決定してもよいし、画像特徴量取得領域における画像の特徴量と近似関数の広がりとの関係の単調性を前提として画像の特徴量を適当に規格化することで直接ステップ量の補正值としてもよい。

【 0 0 4 3 】

方法(1)

画像の明度値のヒストグラムの平均値、すなわち画像の平均明るさを求めることによって、画像の粗密さを定量化する。画像内のパターンが密であるときは、エッジが多く明るい傾向がある。また、画像内のパターンが疎であるときはエッジが少なく暗くなる傾向がある。したがって、画像において、明度値のヒストグラムから平均値を $\mu_b$ とすると、ステップ量の補正值 $RF_b$ は式[1]で表すことができる。

$$RF_b = k_1 \times \mu_b + k_2 \quad \dots \text{式 [ 1 ]}$$

【 0 0 4 4 】

この式において、 $k_1$ と $k_2$ は定数で、粗密さの異なるパターンの評価によりあらかじめ決定された定数である。 $k_1$ と $k_2$ は以下の2つの条件から決められる。まず予め近似曲線の広がり、最適なステップ量の補正值 $RF_b$ を1として、予め決められた基準のパターンより密パターンのときは $RF_b$ が1より小さい値となり、疎パターンのときは1より大きくなるよう決められる。さらに $k_1$ または $k_2$ のどち

10

20

30

40

50

らから一方を補正值  $RF_b$  の閾値として設定する。すなわち検査対象に含まれるパターンで最も密な部分または最も粗な部分に対しても補正值  $RF_b$  が適切な範囲になるように閾値条件を課す。なお、補正值  $RF_b$  の閾値は予め固定値が設定されていてもいいし、オペレータが指定できるようにしてもよい。

【0045】

方法(2)

画像の明度値のヒストグラムの分散、すなわちコントラストを求めることによって画像の粗密さを定量化することができる。画像内のパターンが密であるときは、エッジを多く含んでおり、コントラストが高い傾向がある。一方、画像内のパターンが疎であるときはエッジが少なくコントラストが低い傾向がある。画像の粗密さから決定される補正值  $RF_c$  は明度値のヒストグラムの分散を  $\sigma$  とすると、式[2]で表すことができる。式[2]において  $k_3$  と  $k_4$  は定数であって、値は  $k_1$ 、 $k_2$  と同様に決められる。

$$RF_c = k_3 \times \sigma + k_4 \quad \dots \text{式[2]}$$

【0046】

方法(3)

SEM像にエッジ検出フィルタと呼ばれる空間フィルタを施すことによって、画像全体の平均値を算出し、粗密さを評価する。エッジ検出フィルタとしては、一次微分フィルタのソルベルフィルタやグラディエントフィルタ、二次微分フィルタのラプシアンフィルタ等が知られている。画像にエッジが多く含まれる場合、エッジ検出フィルタ処理後の画像の平均値は大きくなり、エッジが少ない場合は、平均値は小さくなる。したがって、ステップ量の補正值  $RF_e$  は平均値を  $\mu_e$  とすると、式[3]で表すことができる。式[3]における  $RF_e$  はSEM像の粗密さを反映するものである。また、式[3]において  $k_5$  と  $k_6$  は定数であり、値は  $k_1$ 、 $k_2$  と同様に決められる。

$$RF_e = k_5 \times \mu_e + k_6 \quad \dots \text{式[3]}$$

【0047】

方法(4)

画像の空間周波数を評価する。空間周波数が高ければ、エッジなどの突然の変化が生じ、画像中のパターンは密である傾向にある。一方、空間周波数成分が低ければ、パターンが疎である傾向がある。したがって、ステップ量の補正值  $RF_f$  は、画像中に最も多く含まれる空間周波数の成分を  $f$  とすると、式[4]で表すことができる。式[4]における補正值は、画像中のパターンの粗密さを反映したものである。また、式[4]において  $k_7$  と  $k_8$  は定数であって、値は  $k_1$ 、 $k_2$  と同様に決められる。

$$RF_f = k_7 \times f + k_8 \quad \dots \text{式[4]}$$

【0048】

本実施例の合焦位置解析演算部26には、以上説明した4つの方法の少なくとも一つあるいは複数を実行するための手段がハードウェアまたはソフトウェアの形で実装される。ハードウェア実装の場合は、各計算式を実行するチップが設けられる。ソフトウェア実装の場合は、全体制御部19または合焦位置解析演算部26が持つプロセッサにより、上記の各計算式を実行するためのプログラムが実行される。

【0049】

次に、最適なステップ量を決定する方法について述べる。

【0050】

一般的な電子顕微鏡のオートフォーカスのステップ量は、以下の式[5]に示されるように、電子光学系の倍率や加速電圧に依存して決定される。

$$S = k_9 \times A \times M^K / B \quad \dots \text{式[5]}$$

【0051】

ここで、 $S$  はステップ量、 $M$  は倍率、 $B$  は加速電圧に依存する対物レンズの電子ビームに対する感度係数である。 $A$  と  $K$  はそれぞれ電子光学条件によって異なる定数である。また、電子顕微鏡によってはオペレータがステップ量またはステップ量に相当するオートフォーカス精度とオートフォーカスに要する時間のバランスを変更するパラメータとして複

10

20

30

40

50

数の  $k_9$  を選択できるようにしている。

【 0 0 5 2 】

オートフォーカスの条件設定は例えば図 7 のような G U I 画面上で行われる。例えば、オートフォーカスの条件設定画面 7 0 1 には、オートフォーカス時の倍率を設定する倍率設定欄 7 0 2 , 焦点位置をどの程度の範囲動かして撮像するかを設定する焦点位置振幅設定欄 7 0 3 , オートフォーカスに使う画像領域のサイズを設定する画像サイズ設定欄 7 0 4 , 焦点位置をずらしていくときの刻み幅であるステップ量を設定するステップ量設定欄 7 0 5 等が表示される。ステップ量設定欄 7 0 5 においては通常、操作性の観点から、このパラメータの種類は少なく、精度優先 (Fine plus) , 精度と速度のバランス重視 (Fine) , 速度優先 (Normal) のそれぞれの場合に対応して  $k_9$  が 1 より小さい値のとき、 1 のとき、 1 より大きい値のときと 3 種類、またはいずれかの 2 種類有している。

10

【 0 0 5 3 】

本実施例では、上記の種類に加え、自動設定を意味する A u t o を選択できるように装置を構成し、A u t o が選択されると、式 [ 5 ] の  $k_9$  に 1 が設定され、次の段階の式 [ 6 ] に示したステップ量  $S$  を算出する式に基づいて、最適なステップ量  $S$  が設定されるようになる。

$$S = R F_b \times S \quad \dots \text{式 [ 6 ]}$$

【 0 0 5 4 】

ここで、上記式 [ 6 ] では、ステップ量  $S$  補正值として、式 [ 1 ] の粗密さから決定される補正值  $R F_b$  を用いているが、式 [ 2 ] ~ 式 [ 4 ] のいずれを使用しても良いことは言うまでもない。また、上記式 [ 6 ] では、式 [ 5 ] から定まるステップ量を式 [ 6 ] で補正しているが、与えられた  $A$  ,  $M$  ,  $K$  ,  $B$  および  $R F$  を用いて  $S$  を直接計算してもよいことは明らかである。

20

【 0 0 5 5 】

なお、本実施例においては、必ずしも、従来のステップ量または、ステップ量に相当するオートフォーカス精度とオートフォーカスに要する時間のバランスを変更するパラメータが存在する必要はない。また、この場合は初期値として A u t o を選択した状態となるため、電子顕微鏡において、オペレータがこのパラメータを変更する手段を設けなくてもよいので、オートフォーカスの条件設定画面 7 0 1 にステップ量設定欄 7 0 5 が表示されていなくてもよい。

30

【 0 0 5 6 】

ステップ量の補正值を決定する際は、式 [ 1 ] ~ 式 [ 4 ] のいずれかひとつのみによって算出する必要はなく、例えば、式 [ 7 ] のように複数の算出式を組み合わせてもよい。複数の算出式を組み合わせることにより、補正值の精度はより向上する。 $k_{10}$  は複数の算出式を組み合わせる場合の補正係数であり、4 つの方式を均等に組み合わせた場合、 $1 / 4$  になる。

$$S = S \times ( R F_b + R F_c + R F_e + R F_f ) \times k_{10} \quad \dots \text{式 [ 7 ]}$$

【 0 0 5 7 】

また、式 [ 8 ] のように、それぞれの方法で求めた粗密さから決定される補正值に対して重み付けをして補正值に与える寄与を変えてもよい。

40

$$S = S \times ( k_{11} \times R F_b + k_{12} \times R F_c + k_{13} \times R F_e + k_{14} \times R F_f ) \times k_{10} \quad \dots \text{式 [ 8 ]}$$

【 0 0 5 8 】

たとえば、ベタ膜ウエーハやベアウエーハにおいては、画像内に半導体回路パターンが存在しないため、欠陥や異物が極めて小さい場合、粗密の変動要因としてはノイズが主成分になる場合が多く、方法 ( 1 ) や方法 ( 2 ) ではステップ量の適切な補正值を算出することは困難な場合がある。一方、方法 ( 3 ) や方法 ( 4 ) においては、補正值を算出することが容易である。そのため、式 [ 8 ] の  $k_{13}$  と  $k_{14}$  は  $k_{11}$  と  $k_{12}$  の値より大きな値に設定すると補正值の精度向上の効果が得られる。

【 0 0 5 9 】

50

これらの重み係数は入力装置 12 においてオペレータが設定してもよいし、観察対象ごとに重み係数の組が固定値としてあらかじめ全体制御部 19 内のメモリあるいはレジスタなどに格納されており、ステップ量決定部により参照される。オペレータが必要に応じてモードを選択すると、選択されたモード情報に基づき、ステップ量決定部が適切な重み係数の組を設定し、設定された組み合わせに基づきステップ量を補正する。以上のように、複数の方法で得られた画像特徴量を組み合わせることで、観察対象が変わっても適切な補正值が得られ、観察対象によるオートフォーカスの時間・精度の影響を低減できる。

#### 【 0060 】

図 2 のフロー中で S が適切かどうかを判定する処理を実行してもよい。S が予め定められた基準を満たしているかどうかの判定は全体制御部 19 の中に設けられたステップ量判定手段によって行われ、S を判定するステップは、図 2 のオートフォーカスのステップ量決定ステップ 106 の後に設けられる。例えば、ステップ 106 とステップ 107 の間で補正後のステップ量 S の妥当性を確認すれば、オートフォーカス失敗をオートフォーカス実行前に防止できる。また、ステップ 108 の実行後にステップ量の判定を行えば、オートフォーカス実行後に観察結果の妥当性が検証できる。

#### 【 0061 】

次に、S の妥当性を判定する具体的な手法について説明する。合焦点位置の精度向上にとっては、焦点測度分布の近似曲線の峰部に十分な数の焦点測度計測点が含まれることが重要である。補正值  $RF_0$  とそれに対応する焦点測度分布の広がりを含め、この関係によって判定対象の補正值  $RF_0$  に対応する焦点測度分布の広がりを推定し、補正後のステップ量 S で焦点位置をずらして撮像する場合にこの焦点測度分布の広がり中に焦点位置が N 個以上含まれているかを判定する。判定方法は焦点測度分布の広がりを FW とすると式 [ 9 ] で表すことができる。N 個以上含まれている場合、適切として、次のステップに進むようにする。N 個以下の場合、不適切として、ステップ 106 へ戻り画像特徴量取得領域を変更し、再度ステップ 107 を実行する。または、粗密さから決定される補正值 RF を小さい値へ変更して、次のステップ 108 へ進むようにしてもよい。判定の閾値 N の例としては、例えば N = 5 を採用するケースが多い。出願人の経験によれば、焦点測度分布の広がりを半値全幅とすると、N が 5 以上の値であれば、焦点測度分布を関数で良く近似することができるケースが多い。これにより良好なオートフォーカス精度を得ることが可能である。

$$FW / S \quad N \quad \dots \text{式 [ 9 ]}$$

#### 【 0062 】

また、ステップ量判定手段として、式 [ 1 ] ~ 式 [ 4 ] から定まる補正值に対して上限値や下限値を設けてもよい。上限値を設けることにより、補正值が極端に小さい値となった場合、S が小さくなり、オートフォーカスに要する時間が増大してしまうことを避けることが可能になる。一方、下限値を設けることにより、補正值が極端に大きい値となった場合、オートフォーカスにおける、焦点測度計測点が不足し、焦点測度分布への関数近似の当てはめ誤差が生じ、オートフォーカス精度が劣化することを避けることができる。ステップ量に対して上限値や下限値を設けても、同様の効果が得ることができる。なお、以上説明した閾値 N や上限値、下限値の値は、全体制御部 19 内のメモリあるいはレジスタに格納されており、必要に応じてステップ量判定手段により参照される。

#### 【 0063 】

以上のような判定手段を設けることで、最適なステップ量に設定されていることが保証される。なお、判定結果をディスプレイ等に表示すればオペレータが補正後のステップ量の適切さを確認することができる。判定によって補正したステップ量が適切でないことがわかった場合には警告メッセージを画面に表示してオペレータに確認および再調整を促してもよい。

#### 【 0064 】

次に、式 [ 6 ] で決定したステップ量 S で、オートフォーカスを行う (ステップ 108)。ここでは、電子光学系制御部 22 より、S のステップ間隔に相当する対物レンズ

13の励磁強度を変更して、焦点位置の異なる画像を複数枚取得し、合焦位置解析演算部26に保存する。次に、保存した画像を、合焦位置解析演算部26で、焦点の鮮鋭度を定量化した指標である焦点測度を算出し、焦点測度分布の関数近似を経て、焦点測度が最大となる焦点位置を推定し、電子光学系制御部22より対物レンズ13の励磁強度を合焦位置に設定する。

**【0065】**

次に、高倍欠陥画像を取得する(ステップ109)。ステップ109の終了後は、次に撮像すべき座標位置があるかどうかを判定し、ある場合には次の欠陥位置に視野移動を行い、ない場合は撮像を終了する。以上、低倍画像を用いて高倍用オートフォーカスのステップ量を決定する方法を用いた自動欠陥観察時の画像取得の手順を示すフローを説明した。

10

**【0066】**

本実施例の荷電粒子線装置あるいは観察方法により、オートフォーカス実行領域に形成されたパターンの種類によって、オートフォーカスの所用時間が増大したり、オートフォーカス精度が低下するといった影響を低減できる。ひいては画像の取り直しによる観察速度(スループット)の低下が抑制される。さらに、オペレータによるステップ幅の調整作業が不要になるため、電子ビームのオートフォーカスの条件設定に要するオペレータの負担を低減し、オペレータの経験やスキルに依存せずに、安定した試料観察が可能となる。

**【0067】**

(実施例2)

20

本実施形態では、半導体ウェーハ上のパターンのレイアウト情報であるCADデータを用いたオートフォーカスのステップ量を決定する機能を備えた荷電粒子装置、特に欠陥レビュー装置について説明する。装置のハードウェア構成としては、図1とほぼ同様であるため、重複する部分については説明を省略し、必要に応じて図1の構成要素を引用する。

**【0068】**

はじめに、図8のフローチャートを用いて、観察対象試料上に存在する欠陥の高倍画像を取得する装置動作について説明する。装置のオペレータが、入力装置18により欠陥座標データおよびCADデータの読み込みを指示すると、欠陥座標データとCADデータそれぞれが検査装置32およびCADデータサーバ33から、ネットワーク31を介してレビューSEMに入力される(ステップ701)。ここで、欠陥座標データとは、光学式または電子線式の検査装置32によって検出された各欠陥のIDと座標位置座標情報とが格納されたデータファイルであり、CADデータとは、レビュー対象のウェーハ上に形成されたパターンのレイアウト情報である。入力されたCADデータは全体制御部19を介して記憶装置16へ格納される。欠陥座標データあるいはCADデータは、レビューSEMに入力される前に必要に応じてレビューSEMで処理可能なデータ形式に変換される。例えば、レイアウト情報から配線パターンの画素データ(パターンレイアウト画像)を合成する合成処理などである。

30

**【0069】**

次に合焦位置解析演算部26において、欠陥データに定義されている欠陥位置座標とCADデータの設計レイアウトとの原点合せが実行される(ステップ710)。ステップ710の原点合せでは、CADデータにおいて位置を表すデータの座標系の原点と座標軸と、欠陥データにおいて位置を表すデータの座標系の原点と座標軸を一致させることで、両データ間で、同一位置情報を同じデータで表すことができる。

40

**【0070】**

平行して、ステップ702から706の処理も装置内で実行されるが、処理の内容は実施例1と同様であるので、説明は省略する。

**【0071】**

次に、CADデータから、低倍画像の視野サイズに対応する領域のパターンレイアウト画像を抽出する(ステップ711)。この処理は、合焦位置解析演算部26により実行される。あるいは、CADデータを切出すための専用の処理部を設けても良い。ステップ7

50

10にて原点合せを行っているため、欠陥座標位置から、その低倍画像に対応するCADデータのレイアウト画像を容易に得ることができる。なお、オートフォーカス実行領域が低倍画像取得時の電子線の走査方向に対して回転している場合、低倍画像に対応するパターンレイアウト画像も回転して抽出する。また、レビューSEMでは、欠陥データに記載された欠陥位置座標と実際の欠陥位置座標間の誤差を低減することを目的として、ウェーハに形成されたデバイスのパターンを用いてレビューSEMと検査装置のステージ座標位置を校正するアライメント(ウェーハアライメント)を行う。それだけでは座標の校正が不十分な場合には、欠陥を用いて、検査装置が出力した欠陥座標位置とレビューSEMで測定した欠陥座標位置をもとに高精度なアライメント(ファインアライメント)を行う。ステップ711のパターンレイアウト画像抽出では、前述のウェーハアライメントやファインアライメントによる校正結果が加味されているのは言うまでもない。

10

## 【0072】

次に、ステップ712にて、低倍画像に対応するパターンレイアウト画像から、オートフォーカス実行領域を特定する。この処理も合焦位置解析演算部26により実行される。オートフォーカス実行領域には、適切な焦点測度値を算出できるパターンが含まれることが望ましい。以下、適切なオートフォーカス実行領域の特定方法を説明する。なお、以下では画像特徴量として粗密さから決定される補正值を用いた例を説明するが、実施例1に記したとおりパターンエッジ量など他の画像特徴量を用いてもよい。

## 【0073】

次に、オートフォーカス実行領域特定方法の具体的な手法について、図9を用いて説明する。オートフォーカス実行領域を特定するに際しては、まず低倍画像に対応するパターンレイアウト画像を1個以上の領域に分割し、それぞれの分割領域について、ステップ量の補正值を算出する。図9では、低倍のパターンレイアウト画像を等間隔で9個に分割した例を示す。CADデータを用いて補正值を定量的に算出する方法としては、たとえば分割領域の画像の輝度(明るさ)平均値または空間周波数を用いる。前述の方法(3)または(4)に類似しているが、CADデータに対して空間フィルタ処理は施さない。CADデータから合成される画像は線画、すなわち2値画像であり、空間フィルタを施したSEM画像と類似している。つまり、SEM画像は階調をもつ画像であるがエッジ強調処理を施せば線画として取り扱うことができ、両者はそれぞれパターンのエッジを線として表しているので同等に扱うことができる。

20

30

## 【0074】

パターンレイアウト画像の分割領域の粗密さから決定される補正值 $RF_{An}$ は、画像の輝度平均値または空間周波数を $A$ とすると、式[10]で表すことができる。式において $k_{20}$ と $k_{21}$ は定数であり、 $n$ は分割した領域の数である。

$$RF_{An} = k_{20} \times A + k_{21} \quad \dots \text{式 [ 10 ]}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

## 【0075】

すなわち、補正值 $RF_{An}$ は、分割領域毎に算出された粗密の指標(輝度平均値または空間周波数など)に所定の係数を掛け算して加重平均したものに等しいことになる。なお、画像の輝度平均値や空間周波数以外のパラメータであっても、パターンの粗密を表現できる指標であれば何を使用しても良い。例えば、EDA(Electronic Design Automation)ツールやホットスポットと呼ばれる設計パターン起因による危険箇所を検出するためのシミュレーターを用いれば、CADデータからパターンの配置密度を計算することができる。

40

## 【0076】

次に、それぞれの分割領域で算出した粗密さから決定される補正值に対して上限または下限の閾値を予め規定しておき、その条件を満たす分割領域を適当に選択して最もオートフォーカスを実行するのに適したオートフォーカス実行領域とする。閾値を規定しておく理由はオートフォーカス実行領域内のパターンが極端に疎であったり、密であったりすると、焦点測度分布の近似関数の広がりに変化が生じ、オートフォーカスの精度が劣化して

50

しまうためである。

【 0 0 7 7 】

上述の通り、図 9 には、低倍のパターンレイアウト画像を等間隔に 9 個に分割した例が示されている。図 9 のパターンレイアウト画像全体を 5 0 1、9 個の分割領域の各々を 5 0 2、粗密さから決定される補正値をそれぞれ、 $R F_{A_n}$  ( $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ )、予め規定した上限と下限の閾値をそれぞれ  $P_1, P_2$  とすると、合焦位置解析演算部 2 6 は、9 個の分割領域について算出された補正値が、以下の式 [ 1 1 ] を満たしているかどうかを判定する判定処理を順次実行し、式 [ 1 1 ] を満たす分割領域をオートフォーカス実行領域として設定する。

$$P_2 < R F_{A_n} < P_1 \quad \dots \text{式 [ 1 1 ]} \quad 10$$

【 0 0 7 8 】

複数の分割領域が式 [ 1 1 ] を満たす場合や式 [ 1 1 ] を満たす補正値を有する分割領域が存在しない場合、 $(P_1 + P_2) / 2$  で求まる値に最も近い粗密さから決定される補正値を有する分割領域をオートフォーカス実行領域とする。

【 0 0 7 9 】

なお、ウェーハ上のパターンの材質や構造あるいは電子光学条件によっては、実際の観察で得る SEM 像でのパターンエッジの見え方が変化することがある。そのような場合には、上限と下限の閾値  $P_1, P_2$  をユーザーによって変更可能なパラメータとしてもよい。例えば、電子光学条件や観察対象のウェーハ上のパターンの材質や構造に対応する閾値  $P_1, P_2$  の一覧表、すなわちテーブルを内部で保持し、ユーザーが電子光学条件や観察対象のウェーハ上のパターンの材質や構造を設定または入力することによって、テーブルから自動的に選択および決定するようにする。

【 0 0 8 0 】

分割領域の面積は高倍オートフォーカス実行領域の大きさと同様以下の大きさが望ましいが、低倍画像のサイズは、必ずしも高倍オートフォーカス実行領域の大きさの整数倍とは限らないため、隣接領域間でオーバーラップ領域が発生するように低倍画像を分割する場合もある。また、ステップ 7 1 0 の原点合せの際に、低倍画像とレイアウト画像で多少の位置ずれが生じることがある。あるいは、高倍でのオートフォーカス実行領域が低倍画像領域に比べ、極端に小さい場合、各分割領域の粗密さから決定される補正値がばらついてしまい、誤ったオートフォーカス実行領域を特定してしまうことがある。そこで、原点合わせで生じる誤差程度のオーバーラップが隣接領域間で生じるようにパターンレイアウト画像を分割し、原点合わせの際に誤差が発生しても誤差が吸収されるようにしてもよい。なお、分割領域が 1 個の場合、すなわち分割無しの場合、本ステップ 7 1 2 では、パターンレイアウト画像を 1 個以上の領域に分割する手順をスキップし、ステップ量の補正値の算出処理のみ実行される。

【 0 0 8 1 】

次にステップ 7 1 3 において、ステップ 7 1 2 で決定した補正値に基づいて、ステップ量  $S$  を決定する。ステップ量  $S$  は、予め画像の平均値と粗密さから決定される補正値の関係を表す式 [ 1 0 ] を用いて粗密さから決定される補正値を用いて、式 [ 1 2 ] により決定する。 $S$  は式 [ 5 ] によって与えられる。

$$S = R F_{A_n} \times S \quad \dots \text{式 [ 1 2 ]} \quad 40$$

$$n = 1, 2, 3 \dots$$

【 0 0 8 2 】

次に、ステップ 7 1 3 で決定したステップ量  $S$  で、オートフォーカスを実行する (ステップ 1 0 7)。ここでは、電子光学系制御部 2 2 より、ステップ間隔に相当する対物レンズ 1 3 の励磁強度を変更して、焦点位置の異なる画像を複数枚取得し、合焦位置解析演算部 2 6 に保存する。次に、保存した画像を、合焦位置解析演算部 2 6 で、焦点の鮮鋭度を定量化した指標である焦点測度を算出し、焦点測度分布の関数近似を経て、焦点測度が最大となる焦点位置を推定し、電子光学系制御部 2 2 より対物レンズ 1 3 の励磁強度を合焦位置に設定する。

## 【 0 0 8 3 】

なお、ステップ 7 1 0 と 7 1 1 と 7 1 2 と 7 1 3 の処理は、ステップ 7 0 7 を実行する前であればいつでもよく、ステップ 7 0 2 を実行する前に処理してもよい。言うまでも無く、ステップ 7 0 2 ~ 7 0 6 と並列に処理してもよい。また 7 1 0 と 7 1 1 と 7 1 2 と 7 1 3 の処理は必ずしもレビュー SEM 本体で実行する必要は無く、ネットワーク 3 1 を介した外部の処理装置、例えば、ネットワークに接続されたワークステーションなどの情報処理装置で行ってもよい。

## 【 0 0 8 4 】

なお、本手法は低倍用オートフォーカスのオートフォーカス実行領域とステップ量の算出にも適用することができる。図 8 のフローでは、低倍参照画像や低倍欠陥画像取得時に低倍用オートフォーカスを実行しない処理となっているが、ウェーハ表面の帯電によるデフォーカスが生じるとき等、必要に応じて、低倍画像取得時に低倍用オートフォーカスを実行してもよい。低倍用オートフォーカスの実行領域とステップ量は、ステップ 7 1 2 のオートフォーカス実行領域のサイズを予め設定されている低倍用オートフォーカスの実行領域のサイズへ置き換えれば決定できる。

## 【 0 0 8 5 】

最後に、高倍欠陥画像を取得する(ステップ 7 0 8)。ステップ 7 0 8 の終了後は、次に撮像すべき座標位置があるかどうかを判定し、ある場合には次の欠陥位置に視野移動を行い、ステップ 7 0 2 から 7 0 8 および 7 1 0 から 7 1 3 の処理を継続する。ない場合は撮像を終了する。

## 【 0 0 8 6 】

以上、半導体ウェーハ上のパターンのレイアウト情報である CAD データを用いたオートフォーカス実行領域の特定する方法とオートフォーカスのステップ量を決定する方法を用いた自動欠陥観察時の画像取得の手順を示すフローを説明した。CAD データを使用することにより、低倍画像を撮像しなくても、高倍欠陥画像のオートフォーカスの最適な実行領域とステップ量の条件を自動で決定することができるので、低倍画像を撮像しない自動欠陥観察やホットスポットレビューと呼ばれる自動危険点観察においては特に効果が得られる。また、ステップ量の算出は、観察前または観察時の高倍オートフォーカス実行前までに並列処理すればよいので、装置負荷を低減する効果も得られる。

## 【 0 0 8 7 】

以上述べたように、本実施例の実施態様では、CAD データから低倍画像に対応するレイアウト画像の粗密さを用いてオートフォーカスの実行領域とステップ量を決定する構成とし、さらに、ステップ幅の設定を不要にした。なお、上記実施例は、最も効果が得られる実施形態として、電子顕微鏡を応用したレビュー SEM 装置の場合で説明したが、オートフォーカス機能を有した荷電粒子線装置、例えば CD - SEM などであっても同様の効果を得ることができる。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 8 8 】

8 撮像装置

9 電子源

10, 11 コンデンサレンズ

12 偏向走査用コイル

13 対物レンズ

15 XY ステージ

16 記憶装置

17 ディスプレイ

18 入力装置

19 全体制御部

20 画像演算部

21 A / D 変換部

10

20

30

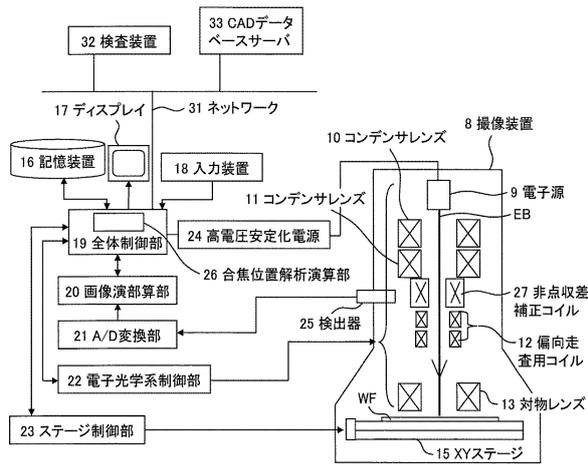
40

50

- 2 2 電子光学系制御部
- 2 3 ステージ制御部
- 2 4 高電圧安定化電源
- 2 5 検出器
- 2 6 合焦位置解析演算部
- 2 7 非点収差補正コイル
- 3 1 ネットワーク
- 3 2 検査装置
- 3 3 CADデータベースサーバ

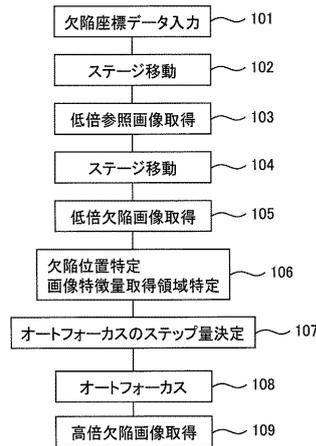
【図1】

図1



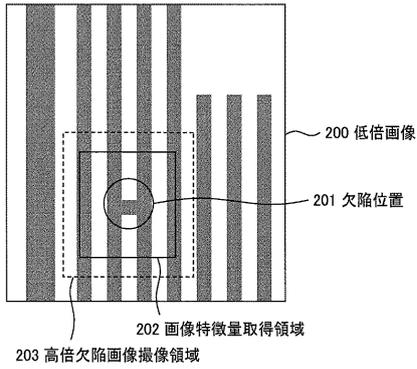
【図2】

図2



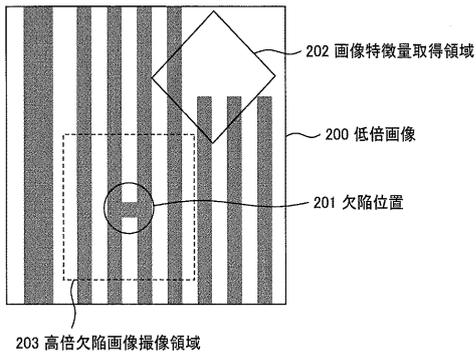
【図3(A)】

図3(A)



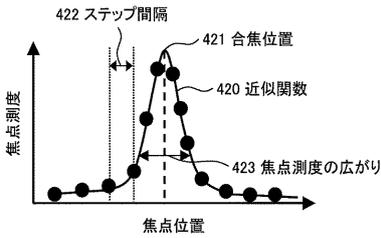
【図3(B)】

図3(B)



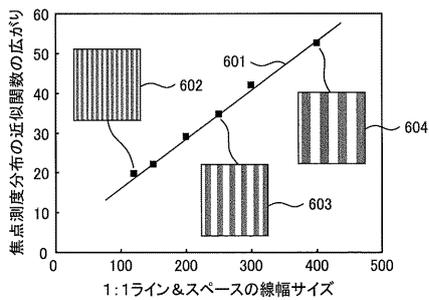
【図5(B)】

図5(B)



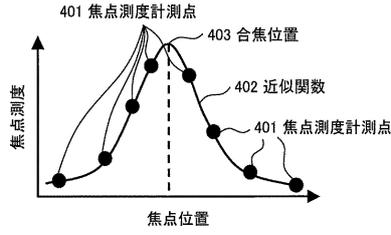
【図6】

図6



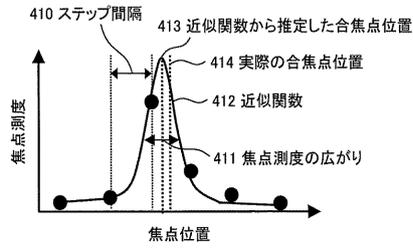
【図4】

図4



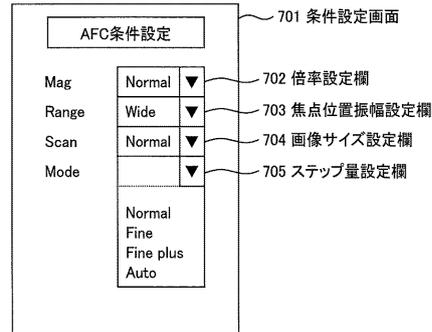
【図5(A)】

図5(A)



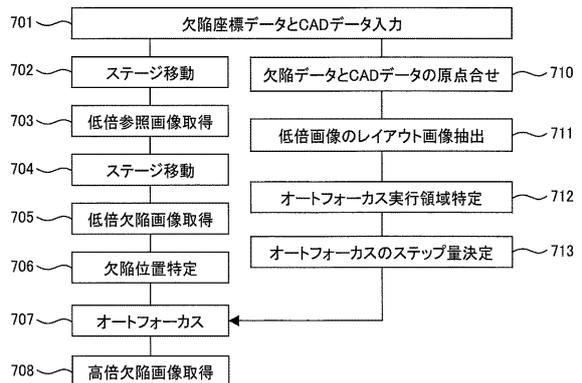
【図7】

図7

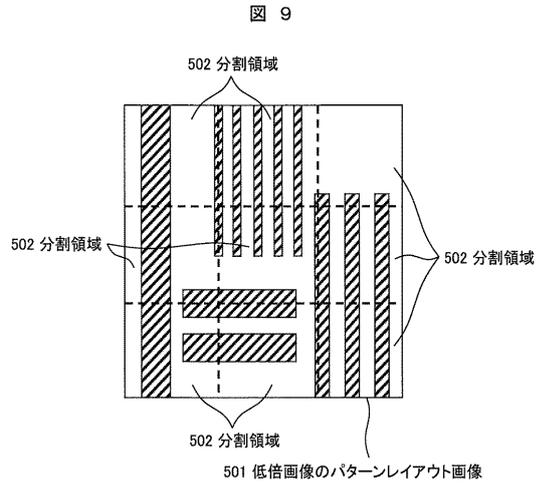


【図8】

図8



【 図 9 】



---

フロントページの続き

審査官 遠藤 直恵

- (56)参考文献 特開2007-200595(JP,A)  
特開2005-285746(JP,A)  
特開2006-310223(JP,A)  
特開2005-063678(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/21  
H01J 37/22  
H01L 21/66