

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第1区分

【発行日】平成20年8月14日(2008.8.14)

【公開番号】特開2008-97902(P2008-97902A)

【公開日】平成20年4月24日(2008.4.24)

【年通号数】公開・登録公報2008-016

【出願番号】特願2006-276058(P2006-276058)

【国際特許分類】

H 01 J 37/153 (2006.01)

H 01 J 37/21 (2006.01)

【F I】

H 01 J 37/153 B

H 01 J 37/21 B

【手続補正書】

【提出日】平成20年6月27日(2008.6.27)

【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】

電子ビームを試料に照射し、該試料から放出される反射電子や後方散乱電子を含む二次電子を検出することによって前記試料を観察評価する電子ビーム装置であって、

前記電子ビームの非点収差調整を行う非点収差調整手段を備え、

前記試料に形成されたパターンの画像から得たフォーカス値を最大にする補正電圧を前記非点収差調整手段に与えることを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項2】

請求項1に記載の電子ビーム装置であって、前記非点収差調整手段が前記電子ビームの光軸を中心として対向する複数対の電極又はコイルを備えることを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項3】

請求項2に記載の電子ビーム装置であって、

前記非点収差調整手段が多極子からなる電極を有し、

前記電極は、前記試料に形成されたパターンの画像のうち縦方向のラインのフォーカスを調整するための第1の補助電極と、横方向のラインのフォーカスを調整するための第2の補助電極とを有し、

前記非点収差調整手段は、前記第1の補助電極の電圧を調整することにより縦方向のラインフォーカスを調整し、該縦方向のラインフォーカスがベストフォーカスとなったときの電圧を固定した状態で前記第2の補助電極の電圧を調整することにより横方向のラインフォーカスを調整することを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項4】

請求項3に記載の電子ビーム装置であって、

前記非点収差調整手段は、前記パターンのラインよりも線幅の小さいラインを有する第2のパターンの画像から得たフォーカスを最大にする補正電圧を与え、

前記非点収差調整手段は、前記縦方向のベストフォーカス値と前記横方向のベストフォーカス値との平均値を、前記第2のパターンの縦方向のフォーカス調整の初期値に設定する

ことを特徴とする電子ビーム装置。

【請求項 5】

電子ビームを試料に照射し、該試料から放出される電子、反射電子、後方散乱電子等の二次電子を検出して前記試料を観察評価する方法であって、

前記試料に形成されたパターンの画像から得たフォーカス値を最大にする補正電圧を求めて前記電子ビームの非点収差調整を行うことを特徴とする方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法であって、

前記パターンがライン又はスペースを含み、

前記ラインが前記試料に縦横に形成された配線であることを特徴とする方法。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の方法であって、

前記試料に形成されたパターンの画像のうち縦方向のラインのフォーカスを調整するための第 1 の補助電圧を調整することにより縦方向のラインフォーカスを調整し、該縦方向のラインフォーカスがベストフォーカスとなったときの電圧を固定した状態で、横方向のラインのフォーカスを調整するための第 2 の補助電圧を調整することにより横方向のラインフォーカスを調整することを特徴とする方法。

【請求項 8】

請求項 5 ~ 7 のうちのいずれか一つに記載の方法であって、オートフォーカス機能を利用して自動的に行うことを行ふことを特徴とする方法。

【請求項 9】

請求項 5 ~ 8 のうちのいずれか一つに記載の方法を用いて、プロセス途中の前記試料の評価を行うことを特徴とする方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】電子ビーム装置及び該装置を用いた非点収差調整方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、最小線幅が $0.1 \mu m$ 以下のパターンが形成されたウエハ又はマスク等の試料を高スループットで且つ高い信頼性をもって観察検査するための電子ビーム装置及び外装値を用いた非点収差調整方法に関する。

【背景技術】

【0002】

電子ビームを試料に照射し、試料から放出される二次電子、反射電子又は後方散乱電子を検出することによって試料の観察評価を行う装置及び方法は公知である（例えば特許文献 1 参照）。

【0003】

こうした試料表面観察評価装置において、高倍率で観察を行うためには非点収差調整は必須である。これは、電子ビームが円形アーチャ等を通過した後、いずれかの回転方向に楕円形に変形して長径方向がスポットからずれてしまう結果、像がぼけるからである。こうした像のぼけを補正するためには、8 極子 ~ 12 極子等のレンズによって電界又は磁界を印加して電子ビームの長径方向を狭めることにより電子ビームをスポット状に形成すればよい。例えば特許文献 2 は磁界を用いて非点収差を調整する方法を開示している。

【0004】

具体的には、図 8 の (A) に示すように、電子ビームが楕円形に変形し、試料表面上で

の断面形状が方位角 の方向に細長く変形している場合、図1の(B)に示すように、方位角 の方向に位置する一対の対向する電極R₁、R₂に最適な電圧を割り当てることにより、電子ビームの断面形状をスポット状になるよう調整することができる。したがって、例えば、図9に示すように電子ビームの長径方向 を0°、45°、90°、135°、180°、225°、270°及び315°に設定することができる場合には、それらの角度をなす線上に互いに対向する電極を配置し、調整されるべき電子ビームの断面形状に沿う線上で対応する一対の電極に印加する電圧を最適化することにより、例えば橢円形に変形した電子ビームを断面円形又はスポット状のビームに変えることができる。

【0005】

方位角 と電極に印加する電圧Vとを最適に設定するために、従来は、テストパターン中に存在する放射状又は輪環状のパターンを見ながら、このパターンが全ての方位方向においてシャープになるように印加電圧Rを調整していた。例えば特許文献3は円形パターンを用いて非点収差補正を行うSEMを開示している。

【0006】

しかしながら、従来の非点収差調整を自動的に行うためのアルゴリズムは複雑であるうえ、分かりにくいという問題がある。なぜなら、非点収差によるパターンのぼける方位角をオートフォーカス機能を用いて抽出することはできないからである。また、各種のウエハのファイン調整の際に、このテストパターンを予め観察しなければならないが、検査対称となるウエハにテストパターンが存在しないような場合には、ウエハ毎の非点収差調整は不可能であるという問題もある。

【特許文献1】特開2001-22986号公報

【特許文献2】特開平10-247466号公報

【特許文献3】特開平10-247466号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は上記の課題を解決するために提案されたものであり、本発明の目的は、調整用のテストパターンを予め用意する必要がなく、ウエハ毎に非点収差調整を行うことができる電子ビーム装置及び該装置を用いた非点収差調整方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記の課題を解決するために、請求項1の発明は、

電子ビームを試料に照射し、該試料から放出される反射電子や後方散乱電子を含む二次電子を検出することによって前記試料を観察評価する電子ビーム装置であって、

前記電子ビームの非点収差調整を行う非点収差調整手段を備え、

前記試料に形成されたパターンの画像から得たフォーカス評価値を最大にする補正電圧を前記非点収差調整手段に与えることを特徴とする電子ビーム装置、
を提供する。

【0009】

請求項2の発明は、前記非点収差調整手段が前記電子ビームの光軸を中心として対向する複数対の電極又はコイルを備えることを特徴とする。

請求項3の発明は、

前記非点収差調整手段が多極子からなる電極を有し、前記電極は、前記試料に形成されたパターンの画像のうち縦方向のラインのフォーカスを調整するための第1の補助電極と、横方向のラインのフォーカスを調整するための第2の補助電極とを有し、

前記非点収差調整手段は、前記第1の補助電極の電圧を調整することにより縦方向のラインフォーカスを調整し、該縦方向のラインフォーカスがベストフォーカスとなったときの電圧を固定した状態で前記第2の補助電極の電圧を調整することにより横方向のラインフォーカスを調整することを特徴とする。

【0010】

請求項 4 の発明は、前記非点収差調整手段が、前記パターンのラインよりも線幅の小さいラインを有する第 2 のパターンの画像から得たフォーカスを最大にする補正電圧を与え、前記非点収差調整手段が、前記縦方向のベストフォーカス値と前記横方向のベストフォーカス値との平均値を、前記第 2 のパターンの縦方向のフォーカス調整の初期値に設定することを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

また、上記目的を達成するために、請求項 5 の発明は、電子ビームを試料に照射し、該試料から放出される電子、反射電子、後方散乱電子等の二次電子を検出して前記試料を観察評価する方法であって、

前記試料に形成されたパターンの画像から得たフォーカス評価値を最大にする補正電圧を求めて前記電子ビームの非点収差調整を行うことを特徴とする方法、を提供する。

【 0 0 1 2 】

請求項 6 の発明は、前記パターンがライン又はスペースを含み、前記ラインが前記試料に縦横に形成された配線であることを特徴とする。

請求項 7 の発明は、前記試料に形成されたパターンの画像のうち縦方向のラインのフォーカスを調整するための第 1 の補助電圧を調整することにより縦方向のラインフォーカスを調整し、該縦方向のラインフォーカスがベストフォーカスとなったときの電圧を固定した状態で、横方向のラインのフォーカスを調整するための第 2 の補助電圧を調整することにより横方向のラインフォーカスを調整することを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

請求項 8 の発明は、請求項 5 ~ 7 のうちのいずれか一つに記載の方法を、オートフォーカス機能を利用して自動的に行うことを行つことを特徴とする。

請求項 9 の発明は、請求項 5 ~ 8 のうちのいずれか一つに記載の方法を用いて、プロセス途中の前記試料の評価を行うことを特徴とする。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 4 】

図 1 は、本発明に係る電子ビーム装置の一つの実施の形態である写像投影型電子ビーム装置の構成を概略的に示す図である。図において、電子ビーム装置 100 は、電子ビーム射出部 101、一次光学系 102、二次光学系 103、二次電子検出部 104 及び非点収差調整部 105 を備えている。電子ビーム射出部 101 は、電子銃 1 とウェーネルト電極 2 とアノード 3 とを備え、電子銃 1 から放出された電子ビームはアノード 3 によって加速されて一次光学系 102 に入る。

【 0 0 1 5 】

一次光学系 102 は、静電レンズ 4、正方形開口 5、複数段の四極子レンズ 6、E × B 分離器 7 及び対物レンズ 8 を備えており、E × B 分離器 7 によって電子ビームの進行方向を変更して一次電子ビームを X Y ステージ S 上のウエハ W に垂直になるよう進行させ、対物レンズ 8 によって電子ビームを所望の断面形状に形成してウエハ W に照射する。X Y ステージ S は、直交する 2 つの方向 X、Y に対して移動可能であり且つそのうちの一つの方向に関して回転できるよう支持されており、これによってウエハ W の表面は電子ビームによって走査される。

【 0 0 1 6 】

電子ビームの照射によってウエハ W から放出された、反射電子や後方散乱電子を含む二次電子は二次光学系 103 を通過して二次電子検出部 104 に入射する。二次光学系 103 は対物レンズ 8、E × B 分離器 7、第 1 段のコンデンサ・レンズ 9 及び第 2 段コンデンサ・レンズ 10 を備える。そして、二次電子検出部 104 は、蛍光板 11、T D I 12、M C P 13、検出器 14 及び画像処理部 15 を備えている。蛍光板 11 は入射した二次電子を光信号へ変換し、この光信号を T D I 12 によって電気信号へ変換して検出器 14 に伝達する。検出器 14 は受け取った二次電子の強さに対応した電気信号を生成して画像処理部 15 に送り、画像処理部 15 は受け取った電気信号を A / D 変換してデジタル画像信

号を形成する。こうした動作はウエハWの走査期間を通じて行われ、その結果、画像処理部15はウエハWの画像を出力することができる。

【0017】

非点収差調整部105は非点収差制御器16と非点収差調整器17とを備え、画像処理部15からの出力が非点収差制御器16に与えられる。非点収差調整器17は、二次光学系103の光軸に垂直な平面内に前記光軸を中心として互いに対向する複数対の、例えば2対以上の電極又はコイルを備える多極子である。電極又はコイルの対の数が大きい方が非点収差調整の精度が上がる。

【0018】

一方、図2は、本発明に係る電子ビーム装置の他の実施の形態である走査型電子ビーム装置の構成を概略的に示す図である。図において、電子ビーム装置200は、電子ビーム射出部201、電子光学系202、二次電子検出部203及び非点収差調整部204を備えている。電子ビーム射出部201は、電子源21とウェーネルト電極22を備え、電子源21から放出された電子ビームはウェーネルト電極22を通過して電子光学系202に入る。

【0019】

電子光学系202は、正方形開口23、複数段の四極子レンズ24及び走査コイル25を備えており、走査コイル25に印加する電圧を調整して電子源21からの電子ビームの進行方向を変更して電子ビームをX YステージS上のウエハWに入射させる。X YステージSは、直交する2つの方向に対して移動可能であり且つそのうちの一つの方向に関して回転できるよう支持されており、これによってウエハWの表面は電子ビームによって走査される。

【0020】

電子ビームの照射によってウエハWから放出された、反射電子や後方散乱電子を含む二次電子は二次電子検出部203に入射する。二次電子検出部203は、ウエハWから放出された二次電子を受け取って二次電子の強さに対応した電気信号へ変換する検出器26と、検出器26から出力された電気信号を処理して画像化する画像処理部27とを備えている。検出器26は受け取った二次電子の強さに対応した電気信号を生成して画像処理部27に送り、画像処理部27は受け取った電気信号をA/D変換してデジタル画像信号を形成する。こうした動作はウエハWの走査期間を通じて行われ、その結果、画像処理部27はウエハWの画像を出力することができる。

【0021】

非点収差調整部204は非点収差制御器28と非点収差調整器29とを備え、画像処理部27からの出力が非点収差制御器28に与えられる。非点収差調整器29は、電子光学系202の光軸に垂直な平面内に前記光軸を中心として互いに対向する複数対の、例えば2対以上の電極又はコイルを備える多極子である。

【0022】

図1及び図2に示す電子線装置において非点収差調整を実施するために、本発明は、ウエハWに形成された配線パターンのうち、縦横に走るラインを同時に観察することができるパターン、例えば、直交する2つの方向に走るライン及びスペースを有するパターンを利用する。こうしたパターンの一例は、図3の(A)に示すような、ラインとスペースの幅がそれぞれ180nmであるボックス・パターンである。そこで、このようなパターンに電子ビームを照射し、画像処理部15、27から該パターンのデジタル画像を得る。その結果、図3の(B)に示すように、画像処理部15、27から、電子ビームの断面形状がX軸方向に長径を持つ橙円31であることを示すデジタル画像が出力されたとき、非点収差調整器17、29のうちのX軸上の1対の電極又はコイルに適宜の大きさの補正電圧を印加して電子ビームの非点収差調整を行う。これにより電子ビームの断面形状を橙円31よりも長径が短い橙円32を経て円33に調整することができる。なお、図3において、幅dはY軸方向のパターンの鮮鋭度を表す。

【0023】

同様に、画像処理部 15、27 から、電子ビームの断面形状が X 軸に垂直な Y 軸の方向に長径を持つ橢円であることを示すデジタル画像が出力されたときには、非点収差調整器の Y 軸上の一対の電極又はコイルに適正な補正電圧を印加することにより、その断面形状を円とすることができます。

【0024】

しかし、実際には、電子ビームの断面形状は X 軸方向又は Y 軸方向という一つの軸方向においてのみ変形している訳ではなく、例えば図 4 に示すように、或る方位角 θ の方向に傾斜した橢円形 41 に変形するのが一般的である。そこで、図 1 及び図 2 に示す電子ビーム装置においては、画像処理部 15、27 から出力される画像を観察しながら、非点収差調整器 17、29 を用いて、まず、橢円形 41 の断面形状の電子ビームに対して X 軸方向の非点収差調整を実施し、電子ビームの断面形状を Y 軸方向に長径を有する橢円形 42 になるよう調整することにより、Y 軸方向のラインの解像度を上げる。次いで、橢円形 42 の断面形状を有する電子ビームに対して Y 軸方向の非点収差調整を実施して電子ビームの断面形状を円形 43 とする。これによって電子ビームは理想的なラウンドビームを得ることができ、電子ビームに対する非点収差調整が完了する。図 4 において、X 軸方向の幅 d_x は Y 軸方向のラインの鮮鋭度を表し、Y 軸方向の幅 d_y は X 軸方向のラインの鮮鋭度を表している。

【0025】

なお、上では X 軸方向の非点収差調整を実施してから Y 軸方向の非点収差調整を実施するように説明したが、逆に、Y 軸方向の非点収差調整を実施してから X 軸方向の非点収差調整を実施して電子ビームの断面形状を円形 43 とするようにしてもよい。

【0026】

そこで、図 4 に示す橢円形 41 の断面形状を有する電子ビームに対して上述のプロセスで非点収差調整を行うために、以下のステップを順に実施する。なお、以下の説明では、電子ビーム形の X 軸方向の補正を行うと、撮像されたパターンのうち縦のラインがクリアとなり、Y 軸方向の補正を行うと横のパターンがクリアになる点に留意されたい。

【0027】

(1) ラインとスペースの幅が比較的大きい(例えばライン幅 180 nm の)パターンを有するウエハに電子ビームを照射し、その静止像を所定の解像度で取得する。

(2) 所得された静止像の中の、縦横に走る又は直交するラインを持つボックス・パターン(例えば、図 3 の(A)に示すような或る幅のライン及びスペースを持つボックス・パターン)に移動する。

【0028】

(3) 電子ビーム装置のオートフォーカス機能を用いて、当該ボックス・パターンについて、縦方向のラインが最もクリアに見えるときのフォーカス値 F_v を求める。具体的には、非点収差調整器 28 の多極子のうち縦方向の非点収差を補正する補正電圧 V_x を振って縦方向のラインが最もクリアに見えるときのフォーカス値 F_{v1} を求める。

【0029】

(4) 次に、横方向のラインが最もクリアに見えるときのフォーカス値 F_h を求める。具体的には、 F_{v1} のときの縦方向の補正電圧である V_{x1} を固定した状態で、非点収差調整器 28 の多極子のうち横方向の非点収差を補正する補正電圧 V_y を振って横方向のラインが最もクリアに見えるときのフォーカス値 F_{h1} を求める。

【0030】

照射ビーム形が円形であるならば、 F_{v1} と F_{h1} は一致しているはずであるが、観察対象のライン幅が例えば 180 nm のように比較的大きいため、このオーダーでビーム形が歪んでいると考えられる。そこで、次のステップとして、更に幅の小さいラインを有するパターン像を取得し、取得した像に基づいて電子ビームの非点収差を補正する。

【0031】

(5) ラインとスペースの幅が(1)よりも小さい(例えばライン幅 150 nm の)パターンを有するウエハに電子ビームを照射し、その静止像を所定の解像度で取得する。

(6) 取得された静止像の中の、縦横に走るラインを持つボックス・パターンに移動する。

【0032】

(7) 電子ビーム装置のオートフォーカス機能を用いて、当該ボックス・パターンについて、縦方向のラインが最もクリアに見えるときのフォーカス値 F_v を求める。上述したように、照射ビーム形が円形であるならば、 $F_v 1$ と $F_h 1$ は一致しているはずであるから、求めるフォーカス値は $F_v 1$ と $F_h 1$ の間にあると考えられる。したがって、ここでは $F_v 1$ と $F_h 1$ の平均値 $F_o = (F_v 1 + F_h 1) / 2$ を初期値として補正電圧 V_x を振り、縦方向のベストフォーカス値 $F_v 2$ を求める。

【0033】

(8) 次に横方向の調整を行う。 $F_v 2$ のときの X 軸方向の補正電圧である V_{x2} を固定した状態で、非点収差調整器 28 の多極子のうち横方向の非点収差を補正する補正電圧 V_y を振って横方向のラインが最もクリアに見えるときのフォーカス値 $F_h 2$ を求める。

【0034】

以下、更に線幅の小さい(例えば 130 nm の)ボックス・パターンについて(5)から(8)のプロセスを繰り返して電子ビームの非点収差を補正する。このプロセスは実際の検査対象の線幅等を考慮して繰り返される。

【0035】

なお、本実施の形態では、非点収差調整器 28 の多極子、すなわち補正電極として 4 極子のものを用いたが、8 極子、12 極子である場合には、X 軸及び Y 軸の直交する 2 軸だけでなく多軸方向において補正が可能であるから、1 つのボックス・パターンのみで電子ビーム形を十分に円形のものに補正することができる場合がある。

【0036】

一般に、非点収差調整が不十分なときには差 $F (= F_v 1 - F_h 1)$ は或る値を持つが、非点収差調整が進むにつれて差 F は減少していく、X 軸方向及び Y 軸方向のパターンの解像度が上がっていく。図 5 は、補正電圧 V_x 、 V_y の大きさとオートフォーカス評価値 F_h 又は F_v との相関を示している。図から、オートフォーカス評価値は或る補正電圧値において最大になることが分かる。

【実施例】

【0037】

オートフォーカス機能を利用して、上記のステップにより、ライン及びスペースの幅が 180 nm、150 nm、130 nm のボックス・パターンを用いて順に非点収差調整を行ったときの F_v と F_h との推移を図 6 に示す。なお、図において「180 L&S 調整後」は、ラインとスペースの幅が 180 nm であるボックス・パターンについて非点収差調整を行った後の状態であることを示し、「150 L&S 調整後」及び「130 L&S 調整後」も同様の意味である。図 6 に示すように、ライン幅の小さいボックス・パターンを用いて非点収差調整する毎に F_v と F_h との差 F が小さくなり、130 nm のライン幅のボックス・パターンでの非点収差調整後に差 F がゼロに収束して XY 両方向において良好な解像度が得られた。

【0038】

図 7 は、図 6 における調整を行ったときの各ボックス・パターンにおける V_x 、 V_y を示している。なお、図中の $R = \tan^{-1} (V_y / V_x)$ であり、R は強度である。図 7 において、 V_x 、 V_y の単位はボルトであり、R の単位は度である。以上の 3 つの異なるライン幅のボックス・パターンを用いた非点収差調整を完了するのに約 20 秒を要しただけであった。

【産業上の利用可能性】

【0039】

上記の説明から理解されるように、本発明は、試料に形成されたパターンから取得した画像のオートフォーカス評価値を利用して非点収差調整のための最適な補正電圧を求めるようにしたので、従来よりも簡単なアルゴリズムで且つ迅速に非点収差調整を完了するこ

とができる。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1】本発明に係る電子ビーム装置の一つの実施の形態の構成を概略的に示す図である。

【図2】本発明に係る電子ビーム装置の他の実施の形態の構成を概略的に示す図である。

【図3】(A)はボックス・パターンの一例を示し、(B)は一つの方向に広がった電子ビームの断面形状が非点収差調整時に補正電圧と共にどのように変化するかを示す概念図である。

【図4】一般的な電子ビームの断面形状を示す図である。

【図5】図1及び図2に示す電子ビーム装置における補正電圧値とオートフォーカス評価値との相関関係を示すグラフである。

【図6】図1及び図2に示す電子ビーム装置を用いて行った非点収差調整時の、パターンのライン幅とフォーカス値との関係を示すグラフである。

【図7】図6における非点収差調整時に用いた補正電圧値と方位角とを示すグラフである。

【図8】(A)及び(B)は非点収差調整を説明する概念図である。

【図9】方位角と補正電圧とに応じて電子ビームの断面形状がどのように変化するかを示す概念図である。

【符号の説明】

【0041】

100、200：電子ビーム装置

101、201：電子ビーム射出部

102：一次光学系

103：二次光学系

104、203：二次電子検出部

105、204：非点収差調整部

14、26：検出器

15、27：画像処理部

16、28：非点収差制御器

17、29：非点収差調整器

202：電子光学系