

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6470654号
(P6470654)

(45) 発行日 平成31年2月13日(2019.2.13)

(24) 登録日 平成31年1月25日(2019.1.25)

(51) Int.Cl.			F I		
HO 1 J	37/22	(2006.01)	HO 1 J	37/22	5 O 2 H
HO 1 J	37/09	(2006.01)	HO 1 J	37/09	A
HO 1 J	37/28	(2006.01)	HO 1 J	37/28	B
HO 1 J	37/04	(2006.01)	HO 1 J	37/04	A
HO 1 J	37/147	(2006.01)	HO 1 J	37/147	B

請求項の数 12 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2015-146549 (P2015-146549)
 (22) 出願日 平成27年7月24日(2015.7.24)
 (65) 公開番号 特開2017-27829 (P2017-27829A)
 (43) 公開日 平成29年2月2日(2017.2.2)
 審査請求日 平成29年12月13日(2017.12.13)

(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
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 圓山 百代
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
 式会社日立製作所内
 (72) 発明者 福田 宗行
 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株
 式会社日立ハイテクノロジーズ内
 (72) 発明者 数見 秀之
 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株
 式会社日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

荷電粒子源と、変形照明絞りと、レンズと、演算部と、記憶部とを備え、前記荷電粒子源から発生した荷電粒子線を前記変形照明絞りと前記レンズとを介して試料上に照射して発生する信号を検出して画像を取得する荷電粒子線装置であって、

前記演算部は、前記荷電粒子線のビームプロファイルを推定するビーム演算処理を実行するビーム演算処理部と、前記推定されたビームプロファイルを用いて前記画像を鮮鋭化する鮮鋭化処理を実行する鮮鋭化処理部とを備え、

前記鮮鋭化処理は、前記推定されたビームプロファイルを前記推定されたビームプロファイルとは別に仮定された第二のビームプロファイルに変換する処理であ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であって、

前記ビーム演算処理は、

前記変形照明絞りの開口形状と、

該荷電粒子線装置の光学系倍率、荷電粒子線加速電圧、前記レンズの強さ、のいずれかを含む光学条件で決まる照射条件を入力値として演算して前記ビームプロファイルを推定する処理であり、

前記鮮鋭化処理は、前記推定されたビームプロファイルを用いた前記画像のデコンボリューション処理であり、

前記記憶部は、前記推定されたビームプロファイルを記憶するもの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であって、

前記第二のビームプロファイルは、円形開口絞りをを用いた場合の円形ビームプロファイル、ガウシアンビームを用いた場合のガウシアンビームプロファイル、前記画像の画素サイズの 1 倍から 5 倍のサイズの画素ビームプロファイルのいずれかであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置であって、

前記鮮鋭化処理は、

第一の条件で取得された第一の画像を用い、前記鮮鋭化処理部により前記第一の条件に対応する第一の光学伝達関数を算出し、

前記鮮鋭化処理部により前記第一の画像のフーリエ画像を算出し、

第二の条件で取得された第二の画像を用い、前記鮮鋭化処理部により前記第二の条件に対応する第二の光学伝達関数を算出し、

前記鮮鋭化処理部により前記第二の画像のフーリエ画像を算出し、

前記鮮鋭化処理部により第一の光学伝達関数と第二の光学伝達関数が交差する空間周波数を算出し、

前記空間周波数を境界として光学伝達関数を複数の領域に分割し、

前記複数の領域において、第一の光学伝達関数と第二の光学伝達関数のうち利得の高い方の条件に該当するフーリエ画像を第一のフーリエ画像と第二のフーリエ画像から選択して全領域に関して接合した鮮鋭フーリエ画像を形成し、

前記鮮鋭フーリエ画像に逆フーリエ変換をかける処理であることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の荷電粒子線装置であって、

前記第一の条件または前記第二の条件は、該荷電粒子線装置の光学系倍率、前記変形照明絞りの前記試料に対して平行な方向での回転、前記変形照明絞りの開口形状、のいずれかを変化させたものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置であって、

前記変形照明絞りとは別に円形開口絞りと、前記変形照明絞りを前記荷電粒子線が照明されない位置に退避する可動機構とを有す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であって、

前記変形照明絞りは同一平面上に複数種類の変形照明用の開口を有し、

前記複数種類の開口から一種類の開口を選択する選択手段が更に設けられていることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の荷電粒子線装置であって、

前記選択手段は、前記変形照明絞り用の可動機構部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 7 に記載の荷電粒子線装置であって、

前記選択手段は、前記変形照明絞りよりも上流に配置された第一偏向器と、前記変形照明絞りよりも下流に配置された第二偏向器とを含むことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 10】

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置であって、

前記演算部は比較処理部を含み、

10

20

30

40

50

前記比較処理部は、

第一の照射条件にて前記荷電粒子線装置にて取得された第一の入力画像に対して、第一の照射条件を入力値として前記ビーム演算処理部で求めた第一の推定ビームプロファイルを使用して前記鮮鋭化処理を行って得られた第一の再構成画像と、
第二の照射条件にて前記荷電粒子線装置にて取得された第二の入力画像に対して、第二の照射条件を入力値として前記ビーム演算処理部で求めた第二の推定ビームプロファイルを使用して前記鮮鋭化処理を行って得られた第二の再構成画像と、が同一であることを比較するものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 1 1】

荷電粒子源と、変形照明絞りと、対物レンズと、演算部及び記憶部を含む制御部と、表示部を含む入出力部とを備え、前記荷電粒子源から発生した荷電粒子線を前記変形照明絞りと前記対物レンズとを介して試料上に照射して発生する信号を検出して画像を取得する荷電粒子線装置であって、

前記演算部は、前記荷電粒子線のビームプロファイルを推定するビーム演算処理を実行するビーム演算処理部と、前記推定されたビームプロファイルを用いて前記画像を鮮鋭化する鮮鋭化処理を実行する鮮鋭化処理部とを備え、

前記表示部は、前記推定されたビームプロファイルを用いて鮮鋭化された前記画像の再構成画像と、

第 1 条件で取得した第 1 画像に対応する第 1 再構成画像と、

第 2 条件で取得した第 2 画像に対する第 2 再構成画像と、

前記第 1 再構成画像と前記第 2 再構成画像との比較結果と、

を表示するものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の荷電粒子線装置であって、

前記表示部は、

第 1 条件で取得した第 1 画像及び第 2 条件で取得した第 2 画像と、

前記第 1 画像及び前記第 2 画像の光学伝達関数において各空間周波数領域において利得の大きな部分を用いて得られる鮮鋭化画像と、

を表示するものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスや磁気ディスクの製造プロセスにおいて、試料上に電子線やイオンビームなどの荷電粒子線（以下、一次ビーム）を照射し、発生した二次電子等の二次荷電粒子の信号を取得し、試料上に形成されたパターンの形状や寸法を測定する荷電粒子線測長装置、欠陥の有無を調べる荷電粒子線検査装置などが用いられている。このような荷電粒子線装置としては、従来、走査電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：SEM）式の装置が使用されてきた。

【0003】

近年では、半導体デバイスの微細化は限界に近づきつつあり、微細化に代わる高集積化への取り組みとしてデバイス構造の三次元化が推進されている。三次元デバイスの検査、計測を行う際には、凹凸を有する試料表面の一番高い部分と低い部分の情報を両方ともに取得することが要求されるため、SEMの焦点深度を深くする必要がある。焦点深度とは、観察の際のジャストフォーカスからのずれの許容範囲のことである。フォーカスのずれによる電子ビームのボケは電子ビームの試料上開き角が大きいくほど増大するので、焦点深度を深くするためには開き角を小さくする必要がある。しかし、開き角を小さくすると、電子の波動性により生じ、開き角に反比例して小さくなる回折収差が増大し、分解能が劣化

10

20

30

40

50

するという物理的制約がある。すなわち、焦点深度と分解能はトレードオフの関係にある。

【0004】

ここで、投影露光装置においては、焦点深度を向上するための手段として、光学系の光軸上に遮光板のある開口絞りを配置する変形照明技術が提案されている。例えば特許文献1においては、輪帯開口や四重極開口に加え、様々な有効光源形状を形成する開口の例が示されている。また、特許文献2には、これらの変形照明のうち、輪帯照明を荷電粒子線装置に応用した例が示されており、輪帯開口アパチャを通過した電子ビームをプローブ状に集束する方法が示されている。この方法によれば、分解能の向上と焦点深度の向上の両立を可能とする走査形荷電粒子顕微鏡が提供できる。

10

【0005】

また、光学写真の高解像化手法としてデコンボリューション法がある。デコンボリューション法は、取得した画像からビームプロファイルの情報のみを除去することにより、元の画像を鮮鋭化する手法である。たとえば特許文献3には、撮像カメラ光学系の瞳面において、瞳面内座標に対して3次関数で与えられる位相分布を与えることによって焦点ずれに対する点像のぼけを均一化し、均一なぼけをデコンボリューション法によって除去して光学系の被写界深度や焦点深度を拡大する方法が示されている。なお、特許文献3に示されている輪帯構造は回転対称な位相分布のことであり、特許文献1や2に示されている輪帯開口とは異なるものであることに注意が必要である。また、特許文献4には、荷電粒子線装置にデコンボリューションを施した例が示されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2004-63988公報

【特許文献2】特開2002-124205号公報

【特許文献3】特開2014-197115号公報

【特許文献4】特開2005-302359公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

発明者等は、微細で大きな段差を有する試料であっても良好な試料表面の画像を取得するために、光分野で有効であった輪帯開口アパチャに着目し、それを備えた特許文献2に記載の荷電粒子線装置について検討した。その結果、焦点深度は改善されるものの、分解能は(定義によらず)劣化することを見出した。そこで、分解能劣化の原因やその低減策について更に検討した。

30

【0008】

例えば輪帯照明や四重極照明等の変形照明を使用した際に形成されるビームプロファイルは、通常照明と比較してメインピークが細くなる一方でサイドローブが高い形状となる。このため、取得されるSEM画像の見た目の分解能が劣化すると考えられ、この解決手段としてSEM画像からビームプロファイルの情報を除去するデコンボリューション法が有効と考えられる。しかしながら、デコンボリューション法では、画像を形成するビームプロファイルをあらかじめ取得しておくことが必須であるが、SEMのビームプロファイルは直接計測する手法がない。また、ノイズの多いSEM画像ではデコンボリューション法を適用した場合には高周波ノイズを増大するという課題がある。

40

【0009】

本発明の目的は、焦点深度の向上および分解能の維持・向上の両立が可能な荷電粒子線装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するための一実施形態として、荷電粒子源と、変形照明絞りと、レンズ

50

と、演算部と、記憶部とを備え、前記荷電粒子源から発生した荷電粒子線を前記変形照明絞りと前記レンズとを介して試料上に照射して発生する信号を検出して画像を取得する荷電粒子線装置であって、

前記演算部は、前記荷電粒子線のビームプロファイルを推定するビーム演算処理を実行するビーム演算処理部と、前記推定されたビームプロファイルを用いて前記画像を鮮鋭化する鮮鋭化処理を実行する鮮鋭化処理部とを備え、前記鮮鋭化処理は、前記推定されたビームプロファイルを前記推定されたビームプロファイルとは別に仮定された第二のビームプロファイルに変換する処理であることを特徴とする荷電粒子線装置とする。

【0011】

また、荷電粒子源と、変形照明絞りと、対物レンズと、演算部及び記憶部を含む制御部と、表示部を含む入出力部とを備え、前記荷電粒子源から発生した荷電粒子線を前記変形照明絞りと前記対物レンズとを介して試料上に照射して発生する信号を検出して画像を取得する荷電粒子線装置であって、

前記演算部は、前記荷電粒子線のビームプロファイルを推定するビーム演算処理を実行するビーム演算処理部と、前記推定されたビームプロファイルを用いて前記画像を鮮鋭化する鮮鋭化処理を実行する鮮鋭化処理部とを備え、

前記表示部は、前記推定されたビームプロファイルを用いて鮮鋭化された前記画像の再構成画像と、第1条件で取得した第1画像に対応する第1再構成画像と、第2条件で取得した第2画像に対する第2再構成画像と、
前記第1再構成画像と前記第2再構成画像との比較結果とを表示するものであることを特徴とする荷電粒子線装置とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、焦点深度の向上および分解能の維持・向上の両立が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1の実施例に係る荷電粒子線装置（電子線観察装置）の全体概略構成を説明するための図である。

【図2】荷電粒子線装置で用いる照明用開口形状を示す平面図であり、Aは従来の円形開口絞りの開口形状、B乃至Hは第1の実施例に係る荷電粒子線装置で用いる各種変形照明絞りの開口形状の例を示す。

【図3】第1の実施例に係る荷電粒子線装置におけるビームプロファイル推定用フローチャートである。

【図4】第1の実施例に係る荷電粒子線装置の表示装置におけるビームプロファイル推定画面を示す図である。

【図5】第1の実施例に係る荷電粒子線装置における試料観察のフローチャートである。

【図6】第1の実施例に係る荷電粒子線装置の表示装置における試料観察画面を示す図である。

【図7】第1の実施例に係る荷電粒子線装置における寸法計測手順を示すフローチャートである。

【図8】第3の実施例に係る荷電粒子線装置の表示装置における試料観察画面を示す図である。

【図9】第3の実施例に係る荷電粒子線装置における光学伝達関数を示す図であり、Aは2種類の条件における光学伝達関数を、Bは鮮鋭化処理後の光学伝達関数を示す。

【図10】第3の実施例に係る荷電粒子線装置における鮮鋭化フローチャートである。

【図11】第4の実施例に係る荷電粒子線装置（電子線観察装置）の概略構成を説明する図であり、Aは円形開口絞り及び変形照明絞りを使用する場合、Bは変形照明絞りを退避させ円形開口絞りのみを使用する場合、Cは円形開口絞りを退避させ変形照明絞りのみを使用する場合、D～FはAの部分拡大図であり、Dは一次ビームが放射状に広がりながら円形

10

20

30

40

50

開口絞り及び変形照明絞りに照射される場合、Eは一次ビームが円形開口絞りと変形照明絞りとの間にクロスオーバーが形成される場合、Fは円形開口絞りと変形照明絞りとの間にレンズが配置されている場合を示す。

【図12】第5の実施例に係る荷電粒子線装置における変形照明絞りの平面図である。

【図13】第6の実施例に係る荷電粒子線装置（電子線観察装置）の概略構成を説明する図であり、Aは偏向器1301～1303を動作させていない場合、Bは偏向器1301～1303を動作させた場合を示す。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明の数々の実施例について、図面に基づき詳細に説明する。なお、実施例を説明するための全図において、同一の要素には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。以下、電子線を使用した試料の観察・検査装置における実施例を示すが、イオンビームを使用する場合、また、計測装置や一般的な電子顕微鏡の場合においても本発明の効果は失われない。

【実施例1】

【0015】

本発明の第1の実施例に係る荷電粒子線装置について、図1乃至図7を用いて説明する。

まず、荷電粒子線装置構成について電子線観察装置を例に説明する。図1は、本実施例に係る電子線観察装置の概略全体構成を示す図である。電子源101から電子線102が引出される下流方向には、変形照明絞り103、検出器104、走査偏向用偏向器105、対物レンズ106が配置されている。更に、電子光学系には、一次ビームの中心軸（光軸）調整用アライナ、収差補正器等も付加されている（図示せず）。なお、本実施例における対物レンズ106は励磁電流によってフォーカスを制御する電磁レンズである例を示すが、静電レンズまたは電磁レンズと静電レンズの複合であってもよい。ステージ107は上にウェハ、すなわち試料108を載置して移動する構成となっている。電子源101、検出器104、走査偏向用偏向器105、対物レンズ106、ステージ107の各部には制御装置109が接続し、さらに制御装置109にはシステム制御部110が接続している。

【0016】

システム制御部110は、機能的には記憶装置111、演算部112が配置され、表示装置を備えた入出力部113が接続されている。また、図示していないが、制御系、回路系以外の構成要素は真空容器内に配置しており、真空排気して動作させていることは言うまでもない。また、真空外からウェハをステージ上に配置するウェハ搬送系が具備されていることも言うまでもない。

【0017】

なお、システム制御部110は、より具体的には、演算部112である中央処理部や記憶装置111である記憶部を備えた構成とし、この中央処理部を上述の演算部112として記憶装置111に記憶されたプログラム等を実行させることにより、欠陥検査や寸法計測にかかわる画像処理、あるいは制御装置109等の制御を行うことができる。本明細書において、このシステム制御部110、入出力部113、制御装置109等をも含め、制御部と総称する場合がある。更に、入出力部113は、キーボードやマウス等の入力手段と、液晶表示デバイスなどの表示手段が、入力部、出力部として別構成とされていても良いし、タッチパネルなどを利用した一体型の入出力手段で構成されていても良い。なお、符号120は、ビームプロファイルを推定するビーム演算処理部、符号121は、推定されたビームプロファイルを用いて画像を鮮鋭化する鮮鋭化処理部、符号122は第一の推定ビームプロファイルを使用して鮮鋭化処理を行って得られた第一の再構成画像と第二の推定ビームプロファイルを使用して鮮鋭化処理を行って得られた第二の再構成画像とが同一（許容範囲内）であるかを比較する比較処理部である。

【0018】

10

20

30

40

50

次に、本実施例の電子線観察装置を用いて実施される画像観察に関して説明する。電子源 101 から放出された電子線 102 は対物レンズ 106 によってそのフォーカスを制御され、試料 108 上にビーム径が極小になるように集束される。走査偏向用偏向器 105 は電子線 102 が試料 108 の定められた領域を走査するように制御装置 109 により制御される。試料 108 の表面に到達した電子線 102 は、表面付近の物質と相互に作用する。これにより、反射電子、二次電子、オージェ電子等の二次的な電子が試料から発生し、取得すべき信号となる。本実施例においては信号が二次電子である場合について示す。電子線 102 が試料 108 に到達した位置から発生した二次電子 114 は検出器 104 により検出される。検出器 104 から検出される二次電子 114 の信号処理が、制御装置 109 から走査偏向用偏向器 105 に送られる走査信号と同期して行われることにより SEM 画像が形成され、試料 108 の観察が実施される。なお、本実施例においては、検出器 104 は対物レンズ 106 や走査偏向用偏向器 105 より上流に配置したが、配置の順序は入れ替わっていてもよい。また、図示しないが電子源 101 と対物レンズ 106 の間には電子線の光軸を補正するアライナが配置され、電子線の中心軸が絞りや電子光学系に対してずれている場合に補正できる構成となっている。

10

【0019】

ここで、本実施例においては電流制限電子源 101 から試料 108 の間には変形照明絞り 103 が設けられており、これにより所望の電子線を選択し、絞りを通させるように構成している。電子線装置の光学系に収差がないと仮定する場合、電子線の試料上のビームプロファイル形状は変形照明絞り 103 の開口形状のパワースペクトル（フーリエ変換の絶対値の 2 乗）として一意に定まる。

20

【0020】

【数 1】

$$P = |FT(A)|^2 \quad \dots (1)$$

【0021】

(1) 式において、A は絞り形状、P はビームプロファイルであり、FT はフーリエ変換を示す。回折収差はビームプロファイルの拡がりの寸法で表され、(1) 式に対して波長 と開き角 の比を掛けて伸び縮みさせることで得られる。(1) 式から、変形照明絞り 103 が様々な開口形状となることで回折収差を制御することができる。

30

【0022】

変形照明絞り 103 の開口形状の例を図 2 の B ~ H に示す。なお、図 2 の A は従来使用されている円形開口である。図 2 の B 及び C が輪帯開口、D が四重極開口、E が四角開口、F が楕円開口、G 及び H は更に複雑な開口形状の場合である。いずれの場合であっても、電子線 102 が変形照明絞り 103 に到達した際に、遮蔽部 201 に到達した電子線は遮蔽され、開口部 202 に到達した電子線のみが変形照明絞り 103 を通過する。図 2 の A の円形開口は中心に対して回転対称な開口形状であり、方向依存性のないビームプロファイルを形成するのに用いる。図 2 の B 及び C の輪帯開口は、中央遮蔽部 203 を持ち、電子線の中心が遮蔽され、外側の電子線のみを選択する。この中央遮蔽部 203 を中空に配置するため、中央遮蔽部支持部 204 が遮蔽部 201 と中央遮蔽部 203 を接続している。図 2 の B は中央遮蔽部支持部 204 が 4 本の場合、図 2 の C は中央遮蔽部支持部 204 が 3 本の場合をそれぞれ示している。なお、図 2 の B または C に示した中央遮蔽部 203 の大きさと、中央遮蔽部支持部 204 の大きさ及びその本数は一例であり、様々な変形を取り得、その形状に応じて形成されるビームプロファイルも変化する。図 2 の D の四重極開口は、図 2 の B 及び C の輪帯開口と同様に外側の電子線のみを選択し、中央遮蔽部支持部 204 の代わりに選択する電子線を四箇所限定している。図 2 の B、C、D のいずれの場合も中心を遮蔽し、外側の光のみを選択的に使用することでフォーカスがずれた状態でも電子線の位相が揃い、焦点深度が向上する。また、図 2 の A、B、C が方向依存性のないビームプロファイルを形成するのに対し、D、E、F は方向依存性のあるビームプロファイルを形成するために用いられる。図 2 の D、E はビームプロファイル形状が四角

40

50

に近くなるため、半導体デバイス等のように、試料のパターンの形状が四角形である場合に用いられ、図2のFは水平方向と垂直方向の回折収差の大きさが変わるために、例えば、ラインアンドスペースのように、一次元の形状を持つ試料の観察に使用する。そのほかに、図2のG、H等のような複雑な形状をとることも可能である。なお、(1)式には回折収差の影響のみを示したが、電子線観察装置を構成する各種光学素子が発生する収差を考慮すれば、収差の影響を考慮したビームプロファイルを計算できる。

【0023】

このように、変形照明絞り103の開口形状に応じて所望のビームプロファイルを得ることができるが、このビームプロファイルの拡がりはナノメートルオーダーで非常に小さいため、実際に形状を確認或いは測定することができない。そこで、本実施例では以下に示す2種類の条件を使用する方法にてこのビームプロファイルを推定する。ビームプロファイルを推定する手順に関して、図3及び4を使用して説明する。図3はビームプロファイルを推定するためのフローチャートである。オペレーターは、表示装置を備えた入出力装置113を介してビームプロファイルの推定を開始する(図3中ステップS301)。表示装置には図4に示すようなビームプロファイル推定画面が現れる。以下、特に断らない場合は図4を参照する。オペレーターは条件選択部401における条件1及び条件2の二つの条件を選択し、決定ボタン402を押下する(ステップS302)。本実施例においては、この二つの条件は変形照明絞り103の種類と各種光学条件の組合せとした。なお、本実施例においては開口条件と光学条件をそれぞれ直接選択する例について示したが、これらを組合せた条件として別途記憶装置111に保存しておき、プルダウンから選択できるようにしてもよい。変形照明絞り103の選択に関しては、図4においては、条件1に円形開口、条件2に輪帯開口を選択した場合を示した。また、光学条件は、レンズのフォーカス条件や、電子ビームのビーム電流、開き角、加速電圧、及び光軸調整の結果などをまとめたものであり、事前に調整、設定された結果が記憶装置111に保存されている。条件が選択されると、システム制御部110から制御装置109を介して電子線観察装置に制御信号が送られ、所望の開口条件及び光学条件が設定される。同時に、変形照明絞り103の種類に応じて、事前に設定され、記憶装置111に記憶されている開口の大きさ等の開口形状のパラメータがパラメータ表示部403に表示される。オペレーターは必要に応じてパラメータ表示部403に変形照明絞り103のパラメータを変更、修正、入力する(ステップS303)。各パラメータの入力を完了すると、オペレーターは推定開始ボタン404を押下し、ビームプロファイル推定ルーチンを開始する(ステップS304)。なお、ビーム推定ルーチンはビーム演算処理部120にて実行される。ビームプロファイル推定ルーチンにおいては、これまでのステップで設定された条件1及び2の条件にてSEM画像(405(1)及び405(2))が1枚ずつ取得される(ステップS305)。

【0024】

続いて、これまでのステップで設定した条件におけるビームプロファイルが演算部112内のビーム演算処理部120により計算されて仮定され、このビームプロファイルとSEM画像405(1)及び405(2)を元に、演算部112内の鮮鋭化処理部121により鮮鋭化処理が施され、画像が406(1)及び406(2)として再構成される(ステップS306)。この再構成画像406(1)及び406(2)は、推定したビームプロファイルの影響が除去されている。従って、もしステップS306においての推定したビームプロファイルが実際のビームプロファイルと一致しているならば、再構成画像406(1)及び406(2)からは変形照明絞り103の情報は全て除去されて、試料108の条件のみが残り、両者は同じ画像となる。そこで、演算部112内の比較処理部122は再構成画像406(1)及び406(2)から比較用パラメータを抽出し(ステップS307)、閾値と比較する(ステップS308)。閾値を超えている場合には、演算部112は前回値を参考に閾値が小さくなるようにパラメータ表示部403の変形照明絞り103のパラメータをフィードバックし(ステップS309)、ビームプロファイル仮定による画像再構成SEM画像取得ステップ(ステップS306)に戻る。ステップS30

10

20

30

40

50

8にて閾値以下となったら、結果表示部407に結果が表示される。必要に応じて、保存条件設定ボックス408内で、条件1及び条件2を保存するかどうかを選択した上でファイル名を入力し、完了ボタン409の押下によりビームプロファイルの推定を完了する(ステップS310)。

【0025】

なお、このビームプロファイル推定フローにおいては試料に関して特に記述していないが、ビームプロファイル推定用の試料を電子線観察装置内に常備してもよい。また、二つの条件で観察する場所は同一の座標であってもよいし、同一のパターンが配置されている別の座標であってもよい。

【0026】

本実施例におけるビームプロファイル推定フローにおいては再構成画像406(1)と406(2)の比較用パラメータ抽出方法について特定していないが、例えば、2枚の画像の差画像を形成した場合には、2枚の画像が似ているほど差画像全体が暗くなるので、そのピーク値や画像のコントラスト等を比較用パラメータとしてもよい。あるいは、2枚の画像の相互相関をとった場合、2枚の画像が似ているほど相関が高く、ピーク値が大きくなるため、このピーク値の逆数、或いはピーク値に-1を乗じたものを比較用パラメータとしてもよい。そのほかにも、2枚の画像の近さを評価する手段であれば比較用パラメータとして採用できる。なお、本実施例においては、2つの条件による画像の取得のうち、両方を同時に実施する構成としたが、同一の試料、同一の視野で観察するのであれば、2つの条件のうち1つの条件はあらかじめ記憶装置111に保存しておいてもよい。

【0027】

次に、推定したビームプロファイルを元にして画像鮮鋭化を行う方法について説明する。なお、画像鮮鋭化処理は、鮮鋭化処理部にて実行される。ビームプロファイルの推定フローにおけるSEM画像405(1)及び405(2)にも同様の鮮鋭化処理を施し、再構成画像406(1)及び406(2)を取得した。本実施例においては、鮮鋭化手法としてデコンボリューション処理を行った。SEM画像は試料情報とビームプロファイルのコンボリューションとして表現され、フーリエ変換の性質を使用すると試料情報とビームプロファイルの積算で表すことができる。

【0028】

【数2】

$$I = FT^{-1}(FT(S) FT(P)) \quad \dots (2)$$

【0029】

ただし、IはSEM画像、Sはビームプロファイル情報を含まない試料情報、Pはビームプロファイルである。FTはフーリエ変換、 FT^{-1} は逆フーリエ変換を表している。従って、再構成画像、すなわちビームプロファイル情報を含まない試料情報は、(2)式の両辺からビームプロファイル分をデコンボリューションすることで得られる。この処理は、SEM画像SとビームプロファイルPをフーリエ変換したものを除算して逆フーリエ変換することで行う。

【0030】

【数3】

$$S = FT^{-1} \left(\frac{FT(I)}{FT(P)} \right) \quad \dots (3)$$

【0031】

このデコンボリューションにより、取得したSEM画像を鮮鋭化することができた。また、ビームプロファイル推定手法においても、再構成画像406(1)、または406(2)が得られた。以上より、ビームプロファイルを推定し、それを使用することで、取得したSEM画像を鮮鋭化することができた。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

次に、本実施例において試料を観察する手順に関して、図 5 及び 6 を使用して説明する。図 5 は試料を観察するためのフローチャートである。オペレーターは、表示装置を備えた入出力装置 1 1 3 を介して試料の観察を開始する（図 5 中ステップ S 5 0 1）。表示装置には図 6 に示す試料観察画面が現れる。以下、特に断らない場合は図 6 を参照する。オペレーターは条件読み出し条件設定部 6 0 1 からあらかじめ決定され記憶装置 1 1 1 に保存されている条件ファイルを選択し、設定ボタン 6 0 2 を押下することで所望の開口条件及び光学条件を設定する（ステップ S 5 0 2）。ここで読み出される条件は上述したビームプロファイル推定フローにて保存した条件である。条件が選択されると、システム制御部 1 1 0 から制御装置 1 0 9 を介して電子線観察装置に制御信号が送られ、所望の絞り及び光学条件が設定される。各種条件が設定された後、画像制御パネル 6 0 3 と画像取得ボタン群 6 0 4、鮮鋭化選択チェックボックス 6 0 5 がアクティブとなる。オペレーターは、鮮鋭化を実行するかどうかを鮮鋭化選択チェックボックス 6 0 5 により選択する（ステップ S 5 0 3）。また、画像制御パネル 6 0 3 内に示されたフォーカス、非点、倍率、コントラストなどの SEM 像の条件を決定する各種パラメータを必要に応じて設定する（ステップ S 5 0 4）。オペレーターが画像取得ボタン群 6 0 4 のうちのいずれかを押下すると、SEM 画像 6 0 6、或いは SEM 画像 6 0 6 と鮮鋭化画像 6 0 7 の両方のいずれかに画像が表示される（ステップ S 5 0 5）。なお、鮮鋭化を実行することを選択した場合は上述した画像鮮鋭化手法により実施する。オペレーターは、画像の調整が十分かどうかを判断し、必要に応じてパラメータ設定ステップ S 5 0 4 と SEM 画像取得ステップ S 5 0 5 を繰り返して微調整を行う（ステップ S 5 0 6）。このステップは省略してもよい。また、本実施例においては、鮮鋭化選択ステップ S 5 0 3 を行ってからパラメータ設定ステップ S 5 0 4、画像取得ステップ S 5 0 5 を実施したが、これらのステップは順不同である。オペレーターは、SEM 画像、鮮鋭化画像をそれぞれ保存するかどうかチェックボックス 6 0 8 (a) 及び 6 0 8 (b) から選び（ステップ S 5 0 7）、画像保存ボタン 6 0 9 を押下して SEM 画像または鮮鋭化画像を保存し（ステップ S 5 0 8）、画像取得のフローを完了する（ステップ S 5 0 9）。本実施例においては、図 3 及び 4 で説明したビームプロファイル推定と図 5 及び 6 で説明した試料観察は別々に実施する構成とした。従って、あらかじめビームプロファイルを推定しておくことにより、試料観察の際に再びビームプロファイルを推定する必要はなく、記憶装置 1 1 1 に保存されているビームプロファイルを呼び出して鮮鋭化処理を行うことで、リアルタイムに画像鮮鋭化を行うことが可能である。

【 0 0 3 3 】

次に、本実施例の構成を取得した SEM 画像を元に半導体デバイスの寸法を計測する測長 SEM に適用し、寸法を計測する手順に関して図 7 に示すフローを用いて説明する。オペレーターは、入出力部 1 1 3 を通じて計測のための画面（図示せず）を開き、手順を開始する（ステップ S 7 0 1）。オペレーターは、計測したい試料内のチップの配置、計測したいデバイスのチップ内の座標、大体の寸法、材料、チップの数など、計測に必要な条件を全て示したレシピを設定し、登録する（ステップ S 7 0 2）。このレシピに応じて、システム制御部 1 1 0 はあらかじめ記憶装置 1 1 1 に登録されている開口条件や光学条件から適切なものを選択し、計測が開始される（ステップ S 7 0 3）。システム制御部 1 1 0 は、レシピに対応した座標における SEM 画像を取得し（ステップ S 7 0 4）、上述の鮮鋭化手法により画像を鮮鋭化する（ステップ S 7 0 5）。得られた鮮鋭化画像の測定すべき領域を選択して寸法を計測し（ステップ S 7 0 6）、得られた SEM 画像、鮮鋭化画像、寸法のうち、必要な情報を記憶装置 1 1 1 内に保存する（ステップ S 7 0 7）。システム制御部 1 1 0 はレシピ内に示された全ての点を計測したかどうかを判定し、終了するまでステップ S 7 0 4 から S 7 0 7 までを繰り返し実行する（ステップ S 7 0 8）。全ての点を計測した後、計測を完了する（ステップ S 7 0 9）。なお、計測に際して記憶装置 1 1 1 に保存されているビームプロファイルを呼び出して鮮鋭化処理を行うことで、リアルタイムに画像鮮鋭化を行うことが可能であり、スループットを低下する原因にはならな

10

20

30

40

50

い。また、本実施例においては画像取得、鮮鋭化、寸法計測の一連のフローをリアルタイム処理とする例を示したが、画像取得を先に行い、それ以外を後で実施するなど、オフライン作業を含むフローとなってもよい。

【0034】

本実施例によれば、変形照明絞りをを用いた場合のビームプロファイルを推定し、更に画像の鮮鋭化を行うことにより、焦点深度の向上および分解能の維持・向上が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。これにより、高段差のある試料であっても高分解能な観察が可能であり、また高精度な寸法計測が可能となる。

【0035】

なお、本実施例においては、光軸調整などの光学系の設定は全て別途実施されており、オペレーターが直接設定する例に関しては示していない。しかし、ビームプロファイル推定や試料の観察などの前にオペレーターが実施しても構わないし、画像から測定された鮮鋭度をもとに制御系にフィードバックする等の方法で、自動的に実施、判断するようにしてもよい。尚、図4にその一例を示したビームプロファイル推定画面や図6に示した試料観察画面は、この例に限定されることなく、色々な変形を取りうることは言うまでもない。

【実施例2】

【0036】

本発明の第2の実施例について説明する。なお、実施例1に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【0037】

実施例1においては、画像鮮鋭化の手法として(3)式のデコンボリューションを用いた例に関して説明した。本実施例においては、デコンボリューションを使用する代わりに、ビームプロファイルを任意の鮮鋭ビームのプロファイルに変換する例に関して示す。電子線観察装置の構成、ビームプロファイルの推定、試料観察、寸法計測の手順に関しては実施例1と同一であるため、本実施例においてはそれらの説明を省略し、画像鮮鋭化の方法のみ述べる。鮮鋭ビームプロファイルを P_s 、鮮鋭化画像を I_s とすると、本実施例における鮮鋭化画像 I_s は P_s と試料情報 S のコンボリューションにより得られるため、(3)式を利用して、以下の処理で得ることが可能である。

【0038】

【数4】

$$I_s = FT^{-1}(FT(S) FT(P_s)) \\ = FT^{-1}\left(FT(I) \frac{FT(P_s)}{FT(P)}\right) \dots (4)$$

【0039】

なお、 I は取得したSEM画像、 P は取得画像のビームプロファイル(推定ビームプロファイル)であり、実施例1において説明した方法であらかじめ推定してある。ここで、 I_s は鮮鋭ビームプロファイル P_s の情報を含むが十分分解能が高く、鮮鋭化された画像となる。鮮鋭ビームプロファイル P_s としては、本実施例における電子線観察装置構成で最も分解能を高くなる光学条件における円形開口絞りのビームプロファイルや、得たい分解能に対してその分散が同等以下であるガウス分布のビームプロファイル等、オペレーターが最適な形状を決めてよい。或いは、SEM画像がボケて見えないように、画素サイズと同程度幅を持つビームプロファイル、すなわちビームプロファイルの半値幅が画素サイズの1から5倍程度となるように決めてもよい。従って、取得したSEM画像 I 、推定してあるビームプロファイル P 、任意の鮮鋭ビームプロファイル P_s をパラメータとして(4)式により画像鮮鋭化が可能である。この手法は、SEM画像のノイズが多く、画像のノイズが目立つようになる場合に(S/N が30以下)、ノイズを拡大せずに鮮鋭化できる方法として特に有効である。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

本実施例においても、変形照明絞りをを用いた場合のビームプロファイルを推定し、更に画像の鮮鋭化を行うことにより、焦点深度の向上および分解能の維持・向上が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。これにより、高段差のある試料であっても高分解能な観察が可能であり、また高精度な寸法計測が可能となる。なお、本実施例においては、光軸調整などの光学系の設定は全て別途実施されており、オペレーターが直接設定する例に関しては示していないが、ビームプロファイル推定や試料の観察などの前にオペレーターが実施しても構わないし、画像から測定された鮮鋭度をもとに制御系にフィードバックする等の方法で、自動的に実施、判断するようにしてもよいことに関しては実施例 1 と同様である。

10

【実施例 3】

【 0 0 4 1 】

本発明の第 3 の実施例について用いて説明する。なお、実施例 1 又は 2 に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【 0 0 4 2 】

実施例 1 においては、画像鮮鋭化の手法として (3) 式のデコンボリューションを用いた例に関して説明し、実施例 2 においては、ビームプロファイルを鮮鋭ビームのプロファイルに変換する例に関して説明した。本実施例においては、2 種類の画像を取得し、その情報を複合する方法に関して示す。電子線観察装置の構成、ビームプロファイルの推定手順に関しては実施例 1 と同一であるため、本実施例においては説明を省略する。

20

【 0 0 4 3 】

図 8 を用いて本実施例における試料鮮鋭化の方法及び試料観察方法を説明する。図 8 は本実施例に係る荷電粒子線装置の表示装置における試料観察画面であり、図 6 に示す試料観察画面との違いは、SEM 画像が 8 0 1 (a) 及び 8 0 1 (b) の 2 枚取得される点である。試料を観察する手順について図 5 の試料観察のフローを用いて説明する。実施例 1 と同様に、オペレーターは、表示装置を備えた入出力装置 1 1 3 を介して試料の観察を開始すると (ステップ S 5 0 1) 、図 8 に示す試料観察画面が現れる。読み出し条件設定部 6 0 1 からあらかじめ決定され記憶装置 1 1 1 に保存されている条件ファイルを選択し、設定ボタン 6 0 2 を押下することで所望の開口条件及び光学条件を設定する (ステップ S 5 0 2) 。ここで、実施例 1 と異なり、読み出される条件は上述したビームプロファイル推定フローにて保存した条件が 2 つ選択される。条件が選択されると、システム制御部 1 1 0 から制御装置 1 0 9 を介して電子線観察装置本体に制御信号が送られ、所望の絞り及び光学条件が設定される。各種条件が設定された後、画像制御パネル 6 0 3 と画像取得ボタン群 6 0 4 、鮮鋭化選択チェックボックス 6 0 5 がアクティブとなる。オペレーターは、鮮鋭化を実行するかどうかを鮮鋭化選択チェックボックス 6 0 5 により選択する (ステップ S 5 0 3) 。本ステップにおいて、鮮鋭化しないことを選択する場合は実施例 1 で鮮鋭化しないことを選択した場合と同様であるので、ここでは鮮鋭化することを選択した場合に関して示す。オペレーターは各種パラメータを必要に応じて設定する (ステップ S 5 0 4) 。オペレーターが画像取得ボタン群 6 0 4 のうちのいずれかを押下すると、SEM 画像 8 0 1 (a) 及び 8 0 1 (b) と鮮鋭化画像 8 0 2 の両方のいずれかに画像が表示される (ステップ S 5 0 5) 。オペレーターは、画像の調整が十分かどうかを判断し、不十分と判断した場合にはパラメータ設定ステップ S 5 0 4 と SEM 画像取得ステップ S 5 0 5 を繰り返して微調整を行う (ステップ S 5 0 6) 。十分と判断した場合には、このステップは省略してもよい。また、本実施例においては、鮮鋭化選択ステップ S 5 0 3 を行ってからパラメータ設定ステップ S 5 0 4 、画像取得ステップ S 5 0 5 を実施したが、これらのステップは順不同である。オペレーターは、SEM 画像、鮮鋭化画像をそれぞれ保存するかどうかチェックボックス 8 0 3 (a) 、8 0 3 (b) 、及び 8 0 3 (c) から選び (ステップ S 5 0 7) 、画像保存ボタン 6 0 9 を押下して SEM 画像または鮮鋭化画像を保存し (ステップ S 5 0 8) 、画像取得のフローを完了する (ステップ S 5 0 8) 。本実施例においては、図 3 及び 4 で説明したビームプロファイル推定と試料観察は別々に実施

30

40

50

する構成とした。従って、あらかじめビームプロファイルを推定しておくことにより、試料観察の際に再びビームプロファイルを推定する必要はなく、記憶装置 111 に保存されているビームプロファイルを呼び出して鮮鋭化処理を行うことで、リアルタイムに画像鮮鋭化を行うことが可能である。

【0044】

次に、本実施例における画像鮮鋭化の方法に関して図9及び図10を用いて説明する。上述したとおり、本実施例においては、2種類の条件を使用し、同じ場所のSEM画像を2枚取得する。なお、条件としては、荷電粒子線装置の光学系倍率、変形照明絞りの試料に対して平行な方向での回転、変形照明絞りの開口形状のいずれかを変化させたものである。図9はこの2種類の条件のビームプロファイルをフーリエ変換し、空間周波数領域の情報に変換したものである。これは光学伝達関数と呼ばれ、各空間周波数における情報の伝達の能力、すなわち利得を示し、利得が高いほど情報を伝達できる。なお、図9においては、簡単のために空間周波数を一次元で示したが、実際にはSEM画像の座標は二次元であるため、光学伝達関数の空間周波数軸も二次元である。図9のAに示した例では、条件1と条件2の光学伝達関数は2箇所交差する点を持っている。このときの空間周波数を1及び2と呼ぶ。1よりも下の空間周波数領域(領域A)においては条件1の方が利得が高く、 v_1 から v_2 までの領域(領域B)では条件2の方が利得が高く、 v_2 以上の領域(領域C)では再び条件1の方が利得が高くなる。従って、領域A及びCにおいては条件1、領域Bにおいては条件2の光学伝達関数を選択したものが図9のBの鮮鋭化条件である。この条件では、条件1及び条件2それぞれのSEM画像よりも鮮鋭化されたSEM画像が得られる。この条件1及び2としては、試料上の開き角や光学系全体の倍率を変えた条件、絞りの種類を変えた条件が考えられる。また、図2のD~Hのように、開口形状が回転対称でなく、異方性がある場合においては、光学伝達関数にも異方性があるため、方向の違いを採用してもよい。

【0045】

次に、条件1及び条件2のSEM画像が取得された後の鮮鋭化フローを図10に示す。まず、鮮鋭化が開始されると(ステップS1001)、演算部112は条件1及び条件2の光学伝達関数を計算して交差点を求め、その交差点の空間周波数を境界として領域を分割し、更にその領域は、光学伝達関数の利得が高い方として設定する(ステップS1002)。次に、演算部112は、SEM画像1及び2のフーリエ変換画像を取得し(ステップS1003)、この2つのフーリエ変換画像をステップ1002で設定された領域で分割する(ステップS1004)。演算部112は、ステップS1004で分割された条件1及び条件2のフーリエ変換画像のうち、ステップS1002にて利得が高い方の条件を選択する。更に、各領域のフーリエ変換を接続することで鮮鋭フーリエ変換画像を取得する(ステップS1005)。演算部112はこの鮮鋭フーリエ変換画像に逆フーリエ変換処理を施すことで鮮鋭化画像を取得し(ステップS1006)、一連の鮮鋭化処理を完了する(ステップS1007)。

【0046】

本実施例においても、変形照明絞りをを用いた場合のビームプロファイルを推定し、更に画像の鮮鋭化を行うことにより、焦点深度の向上および分解能の維持・向上が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。これにより、高段差のある試料であっても高分解能な観察が可能であり、また高精度な寸法計測が可能となる。なお、本実施例においては、光軸調整などの光学系の設定は全て別途実施されており、オペレーターが直接設定する例に関しては示していないが、ビームプロファイル推定や試料の観察などの前にオペレーターが実施しても構わないし、画像から測定された鮮鋭度をもとに制御系にフィードバックする等の方法で、自動的に実施、判断するようにしてもよいことに関しては実施例1及び2と同様である。

【実施例4】

【0047】

本発明の第4の実施例について用いて説明する。なお、実施例1乃至3の何れかに記載

10

20

30

40

50

され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【 0 0 4 8 】

実施例 1 から 3 においては、変形照明絞り 1 0 3 を 1 段含む例について示した。実際の荷電粒子線装置においては円形開口絞りを使用することが通常条件であり、必要な場合のみ変形照明絞りを使用する方が構成として望ましい。そこで、本実施例においては、図 1 の構成における変形照明絞り 1 0 3 のほかに円形開口絞りを別途備え、通常は円形開口絞りを選択し必要な場合に変形照明絞りを使用する例に関して説明する。ビームプロファイルの推定、試料観察、寸法計測の手順、及び画像鮮鋭化手法に関しては実施例 1 ~ 3 と同一であるため、本実施例においてはそれらの説明を省略する。

10

【 0 0 4 9 】

図 1 1 は本実施例における電子線観察装置の概略構成を示す図である。なお、本実施例においては光学系を構成する部分に関してのみ示し、その他の部分に関しては実施例 1 から 3 と同様である。例えば、各部には制御装置 1 0 9 が接続し、さらに制御装置 1 0 9 にはシステム制御部 1 1 0 が接続し、システム制御部 1 1 0 は、機能的には記憶装置 1 1 1、演算部 1 1 2 が配置され、表示装置を備えた入出力部 1 1 3 が接続されている。ステージ等に関する省略している。図 1 1 において、図 1 と異なる点は、電子線観察装置が円形開口絞り 1 1 0 1 を備えている点である。変形照明絞り 1 0 3 は可動機構に搭載されており、電子線 1 0 2 が照射されない位置に退避可能である。変形照明絞り 1 0 3 が退避しており、円形開口絞り 1 1 0 1 のみに電子線 1 0 2 が照射され、電子線 1 0 2 が円形開口絞り 1 1 0 1 によって選択され、通過した状態が図 1 1 の B である。円形開口絞り 1 1 0 1 は可動機構に搭載されており電子線 1 0 2 が照射されない位置に退避可能であってもよい。円形開口絞り 1 1 0 1 が退避しており、変形照明絞り 1 0 3 のみに電子線 1 0 2 が照射され、電子線 1 0 2 が変形照明絞り 1 0 3 によって選択され、通過した状態が図 1 1 の C である。

20

【 0 0 5 0 】

ここで、図 1 1 の A に示すように、円形開口絞り 1 1 0 1 と変形照明絞り 1 0 3 をともに退避しないで使用してもよい。円形開口絞り 1 1 0 1 と変形照明絞り 1 0 3 の両方によって電子線 1 0 2 が選択される場合においても焦点深度の向上および分解能の維持・向上の効果は失われないが、本実施例においては、特に、円形開口絞り 1 1 0 1 によって選択された電子線 1 1 0 2 が十分な拡がりを持ち、変形照明絞り 1 0 3 によってのみ電子線 1 0 2 から電子線 1 1 0 3 として選択される例に関して示す。円形開口絞り 1 1 0 1 を退避せず最終的に電子線 1 0 2 が変形照明絞り 1 0 3 によってのみ選択される場合に関して、図 1 1 の D ~ F を使用して説明する。図 1 1 の D は、図 1 1 の A における円形開口絞り 1 1 0 1 及び変形照明絞り 1 0 3 付近の電子線 1 0 2 の拡大図である。本図を用いて変形照明絞り 1 0 3 のみにより電子線 1 0 2 を選択する場合を説明する。円形開口絞りの半径を R_c 、変形照明絞りの開口において最も外側を通過する点における光軸 1 1 5 からの距離を R_o とし、絞り間距離を L とする。円形開口絞り 1 1 0 1 を通過した電子線 1 1 0 2 が変形照明絞り 1 0 3 より十分拡がっており変形照明絞り 1 0 3 によって選択されて電子線 1 1 0 3 となるためには、円形開口絞り 1 1 0 1 の半径 R_c は幾何的に次式で表現される最小半径 $R_{c \min}$ 以上である必要がある。

30

40

【 0 0 5 1 】

【 数 5 】

$$R_c \geq R_{c \min} = R_o + \frac{L}{\tan \theta} \quad \dots (5)$$

【 0 0 5 2 】

ここで、 θ は図 1 1 の D に示した変形照明絞り 1 0 3 によって選択された電子線 1 1 0 3 が変形照明絞り 1 0 3 に対してなす角である。(5) 式のように円形開口絞り及び変形照明絞りの開口の大きさを規定することにより、円形開口絞り 1 1 0 1 を退避させず、変

50

形照明絞りのみ可動機構に搭載して円形開口絞りと変形照明絞りを切り替えることができた。なお、図11のDにおいては、円形開口絞り1101は変形開口絞り103に対して上流に配置する例に関して示したが、円形開口絞り1101を下流側に配置する場合においても(5)式におけるLの正負を反転させることで記述可能である。また、図11のDにおいては、角度 θ が鋭角である場合に関して示したが、角度 θ は鈍角であってもよい。

【0053】

円形開口絞り1101と変形開口絞り103の間にクロスオーバー1104を形成する場合にも(5)式は成立する。この場合の変形照明絞り103のみにより電子線102を選択する場合を説明するための図11のAにおける円形開口絞り1101及び変形照明絞り103付近の電子線102の拡大図を図11のEに示す。図11のEより、(5)式における R_o あるいは R_c 及び $R_{c_{min}}$ のいずれか一方の正負が反転した場合であることは幾何的に明らかである。

10

【0054】

また、円形開口絞り1101と変形開口絞り103の間には、1段以上のレンズがあってもよい。この場合に関して示したものが図11のFである。この場合に関しては、図11のDやEのように角度 θ 及び絞り間距離Lで考えると式が煩雑になるため、レンズ1105の倍率をM、円形開口絞りの最小開口半径を $R_{c_{min}}$ 、物面開き角を α 、物面からレンズ1105までの距離をa、変形照明絞りの開口において最も外側を通過する点における光軸115からの距離を R_o とした場合の条件を考える。図11のFより、幾何的に円形開口絞り1101とレンズ1105の距離 L_c 、レンズ1105と変形照明絞り103の距離は次式で決定されることが分かり、かつ、円形開口絞りの開口半径 R_c は $R_{c_{min}}$ 以上である必要がある。

20

【0055】

【数6】

$$L_c = a - \frac{R_{c_{min}}}{\tan \alpha}, L_o = M a - \frac{R_o}{\tan \left(\frac{\alpha}{M} \right)}, R_c \geq R_{c_{min}} \quad \dots (6)$$

【0056】

(6)式のように円形開口絞り及び変形照明絞りの開口の大きさを規定することにより、円形開口絞り1101を回避させず、変形照明絞りのみ可動機構に搭載して円形開口絞りと変形照明絞りを切り替えることができた。なお、本実施例においては、円形開口絞り1101は変形開口絞り103に対して上流に配置する例に関して示したが、円形開口絞り1101を下流側に配置する場合においても記述可能である。また、本実施例においては、レンズ1105が物点を持ち、実像を結ぶ条件で記載したが、物点がない場合やレンズ1105の強さが弱く実像を結ばない条件であっても、仮想物面や仮想像面を定義し、(6)式と同様に条件式を求めることができる。

30

【0057】

なお、本実施例において、円形開口絞りの半径として最小開口半径 $R_{c_{min}}$ を選択する場合、円形開口絞り1101の径と変形照明絞りの開口において最も外側を通過する点における光軸115からの距離が一致するため、同一の開き角の条件として決定することが可能である。

40

【0058】

また、本実施例においては、円形開口絞り1101を選択する場合と変形照明絞り103の一方を選択する場合において、レンズ等の光学素子の強さを変えない前提で記述してきたが、これらを変化させ、異なる光学条件を形成することも可能である。

【0059】

本実施例においても、変形照明絞りをを用いた場合のビームプロファイルを推定し、更に画像の鮮鋭化を行うことにより、焦点深度の向上および分解能の維持・向上が可能な荷電

50

粒子線装置を提供することができる。これにより、高段差のある試料であっても高分解能な観察が可能であり、また高精度な寸法計測が可能となる。また、円形開口絞りと変形照明絞りとを備えることにより、通常は円形開口絞りを選択し必要な場合に変形照明絞りを使用することができる。

【実施例 5】

【0060】

本発明の第5の実施例について用いて説明する。なお、実施例1乃至4の何れかに記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【0061】

実施例4では、円形開口絞りを使用することを通常条件とし、必要な場合にのみ変形照明絞りを使用するための構成として、変形照明絞り103と円形開口絞り1101が光軸115に沿って縦方向に並んでいる場合に関して示した。本実施例においては、変形照明絞りがその同一平面内に複数種類の変形照明絞り用の開口を有し、かつ、可動機構に搭載されており、この可動機構によって開口を選択することで絞りを切り替えることができる構成である場合に関して説明する。ビームプロファイルの推定、試料観察、寸法計測の手順、及び画像鮮鋭化手法に関しては実施例1～3と同一であるため、本実施例においてはそれらの説明を省略する。

【0062】

本実施例における電子線観察装置構成は図1と同様であるが、変形照明絞り103は可動機構に搭載されており、同一平面内に複数種類の変形照明絞り用の開口を有している。本実施例における変形照明絞り103の開口が配置されている平面を図12に示す。図12には、4つの開口が配置されており、それぞれ円形開口、中央遮蔽部支持部が4本の輪帯開口、中央遮蔽部支持部が3本の輪帯開口、四重極開口が配置されている例を示したが、どのような組み合わせであってもよい。各開口の間隔は、電子線102が変形照明絞り103を照射する範囲に対して十分離れている。例えば、本実施例において使用した可動絞り機構の間隔は2.5mmであり、可動絞り機構のノッチに合わせて動かすことで2.5mmの送り量で位置が切り替えられるため、絞りの開口を切り替えることができる。このようにして使用したい開口が電子線102によって照射されるように可動機構を動かすことで変形照明絞りを選択できた。なお、本実施例においては、可動絞り機構を手動で動かすことで変形照明絞りを選択、切り替える例に関して示したが、モータなどの自動可動機構に接続され、制御部により絞りを切り替える構成であってもよい。

【0063】

以上より、通常は円形開口絞りを選択し必要な場合に変形照明絞りを使用することができる。

【0064】

本実施例においても、変形照明絞りをを用いた場合のビームプロファイルを推定し、更に画像の鮮鋭化を行うことにより、焦点深度の向上および分解能の維持・向上が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。これにより、高段差のある試料であっても高分解能な観察が可能であり、また高精度な寸法計測が可能となる。また、所望の変形照明を容易に選定することができる。

【実施例 6】

【0065】

本発明の第6の実施例について用いて説明する。なお、実施例1乃至3及び5の何れかに記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【0066】

実施例4では、円形開口絞りを使用することを通常条件とし、必要な場合にのみ変形照明絞りを使用するための構成として、変形照明絞り103と円形開口絞り1101が光軸115に沿って縦方向に並んでいる場合に関して示し、実施例5では同一平面内の複数種

10

20

30

40

50

類の変形照明絞り用の開口を可動機構によって選択、切り替える場合に関して示した。本実施例においては、実施例 5 と同様に変形照明絞り 103 の同一平面内に複数種類の開口を有しており、開口電子線の偏向によって選択する場合に関して示す。ビームプロファイルの推定、試料観察、寸法計測の手順、及び画像鮮鋭化手法に関しては実施例 1 ~ 3 と同一であるため、本実施例においてはそれらの説明を省略する。

【0067】

図 13 は本実施例における電子線観察装置の概略構成を示す図である。なお、本実施例においては光学系を構成する部分に関してのみ示し、その他の部分に関しては実施例 1 から 3 と同様である。例えば、各部には制御装置 109 が接続し、さらに制御装置 109 にはシステム制御部 110 が接続し、システム制御部 110 は、機能的には記憶装置 111、演算部 112 が配置され、表示装置を備えた入出力部 113 が接続されている。ステージ等に関する省略している。図 13 における図 1 と異なる部分は、三段の偏向器 1301 ~ 1303 が配置されている点である。図 13 の A に関しては、偏向器 1301 ~ 1303 は動作させておらず、電子線 102 は図 1 と同様の軌道を通過している。図 13 の B は偏向器 1301 ~ 1303 を動作させた場合である。変形照明絞りより上流に配置されている偏向器 1301 によって電子線 102 は紙面右の方向に大きく偏向されて変形照明絞り 103 を照明する。これにより、変形照明絞り 103 上の光軸に沿った位置以外に配置されている開口を選択して通過することが可能となる。変形照明絞り 103 を通過した後、電子線 102 は偏向されたままの状態であるので、これをもとの軌道に戻すため、絞りより下流に配置されている偏向器 1302 及び 1303 を使用する。なお、絞りより下流に配置する偏向器は 1 段でもよいが、偏向器の縦方向の配置によらず、偏向器 1301 による軌道の変化を補正し元の軌道に戻すために、本実施例においては 1302 及び 1303 の 2 段とした。また、本実施例においては、絞りより上流の偏向器は偏向器 1301 の 1 段のみとしたが、絞りに対して垂直に照射したい場合にはもう 1 段追加し、2 段の構成としてもよい。

【0068】

以上より、通常は円形開口絞りを選択し必要な場合に変形照明絞りを使用することができた。

【0069】

本実施例においても、変形照明絞りを用いた場合のビームプロファイルを推定し、更に画像の鮮鋭化を行うことにより、焦点深度の向上および分解能の維持・向上が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。これにより、高段差のある試料であっても高分解能な観察が可能であり、また高精度な寸法計測が可能となる。また、同一平面上に配置された複数種類の変形照明絞り用の開口の一種類の開口に一次ビームを偏向し元の軌道に戻すための偏向器を備えることにより、所望の絞りを機械的に移動することなく容易に選定することができる。

【0070】

なお、本発明は以下の実施形態を含む。

(1) 荷電粒子源と、変形照明絞りと、対物レンズと、演算部及び記憶部を含む制御部と、表示部を含む入出力部とを備え、前記荷電粒子源から発生した荷電粒子線を前記変形照明絞りと前記対物レンズとを介して試料上に照射して発生する信号を検出して画像を取得する試料観察システムであって、

前記演算部は、前記荷電粒子線のビームプロファイルを推定するビーム演算処理を実行するビーム演算処理部と、前記推定されたビームプロファイルを用いて前記画像を鮮鋭化する鮮鋭化処理を実行する鮮鋭化処理部とを備えることを特徴とする試料観察システム。

(2) 前記(1)の試料観察システムにおいて、

前記変形照明絞りの開口形状は、輪帯開口であることを特徴とする試料観察システム。

【産業上の利用可能性】

【0071】

本発明は、荷電粒子線装置、特に荷電粒子線を利用した高感度、高効率な観察・検査お

よび計測技術として有用である。

【符号の説明】

【0072】

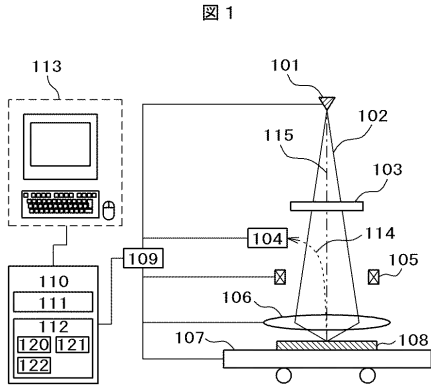
101...電子源、102...電子線、103...変形照明絞り、104...検出器、105...走査偏向用偏向器、106...対物レンズ、107...ステージ、108...試料、109...制御装置、110...システム制御部、111...記憶装置、112...演算部、113...入出力部、114...二次電子、115...光軸、120...ビーム演算処理部、121...鮮鋭化処理部、122...比較処理部、201...遮蔽部、202...開口部、203...中央遮蔽部、204...中央遮蔽部支持部、S301...ビームプロファイル推定開始ステップ、S302...条件選択ステップ、S303...パラメータ設定ステップ、S304...ビームプロファイル推定ルーチン開始ステップ、S305...SEM画像取得ステップ、S306...ビームプロファイル仮定による画像再構成SEM画像取得ステップ、401...条件選択部、402...決定ボタン、403...パラメータ表示部、404...推定開始ボタン、405(1)...条件1におけるSEM画像、405(2)...条件2におけるSEM画像、406(1)...条件1における再構成画像、406(2)...条件2における再構成画像、407...結果表示部、408...保存条件設定ボックス、409...完了ボタン、S501...観察開始ステップ、S502...条件設定ステップ、S503...鮮鋭化選択ステップ、S504...パラメータ設定ステップ、S505...SEM画像取得ステップ、S506...ビーム微調整判断ステップ、S507...保存画像選択ステップ、S508...観察完了ステップ、601...条件設定部、602...設定ボタン、603...画像制御パネル、604...画像取得ボタン群、605...鮮鋭化選択チェックボックス、606...SEM画像、607...鮮鋭化画像、608(a)...チェックボックス、608(b)...チェックボックス、609...画像保存ボタン、S701...開始ステップ、S702...レシピ設定ステップ、S703...計測開始ステップ、S704...SEM画像取得ステップ、S705...画像鮮鋭化ステップ、S706...寸法計測ステップ、S707...情報保存ステップ、S708...終了判定ステップ、S709...計測完了ステップ、801(a)...SEM画像、801(b)...SEM画像、802...鮮鋭化画像、803(a)...チェックボックス、803(b)...チェックボックス、803(c)...チェックボックス、S1001...開始ステップ、S1002...光学伝達関数分割ステップ、S1003...フーリエ変換画像取得ステップ、S1004...フーリエ変換画像分割ステップ、S1005...鮮鋭フーリエ変換画像取得ステップ、S1006...鮮鋭化画像取得ステップ、S1007...完了ステップ、1101...円形開口絞り、1102...電子線、1103...電子線、1104...クロスオーバー、1105...レンズ、1301...偏向器、1302...偏向器、1303...偏向器。

10

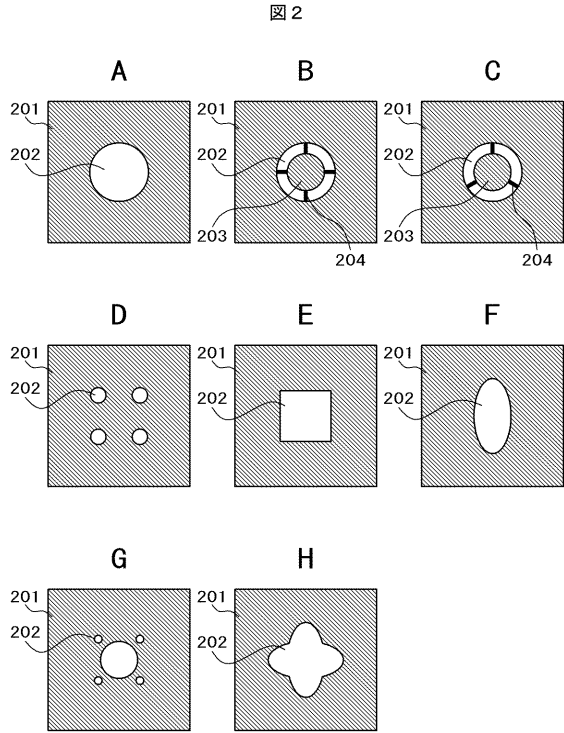
20

30

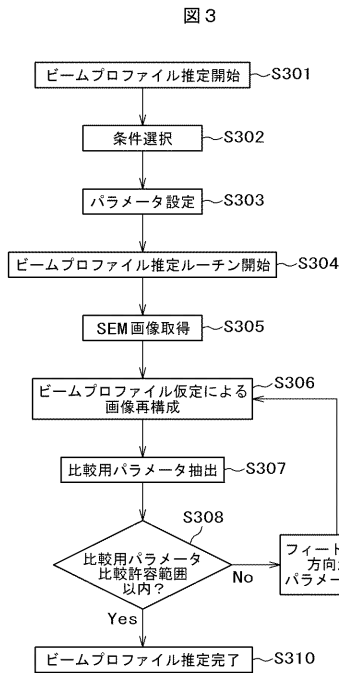
【図1】



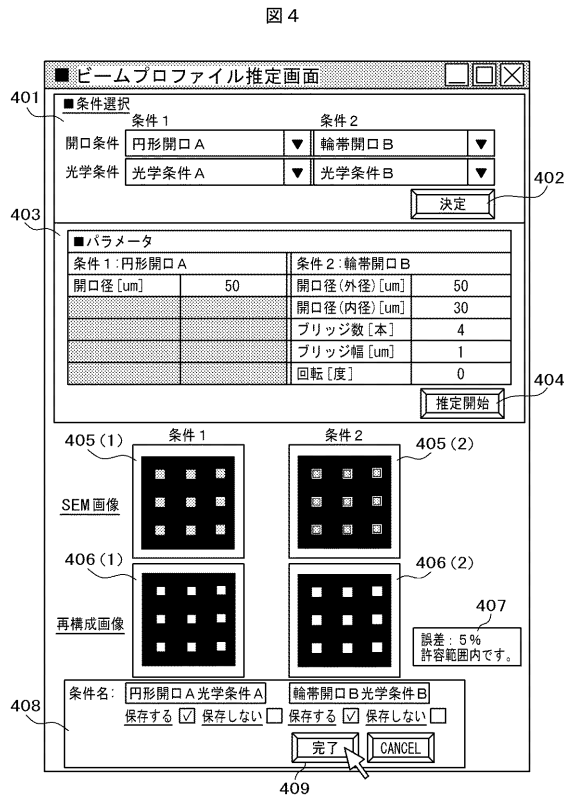
【図2】



【図3】

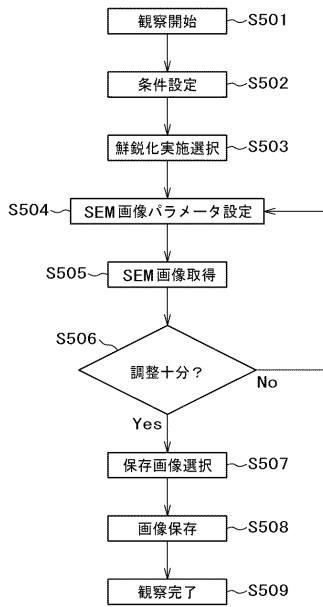


【図4】



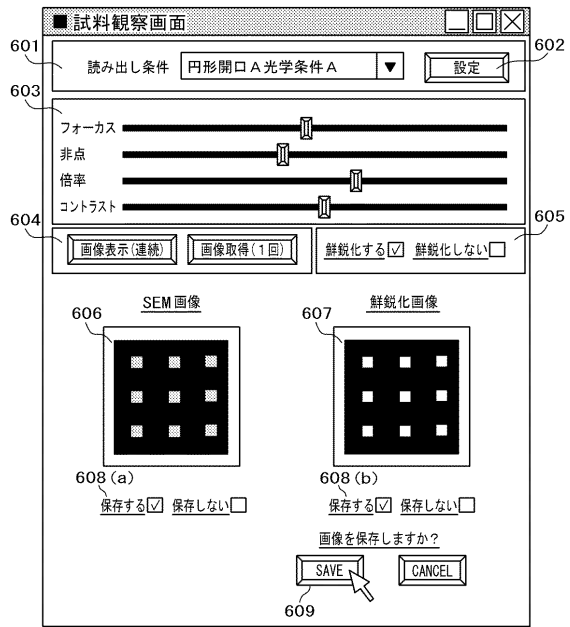
【図5】

図5



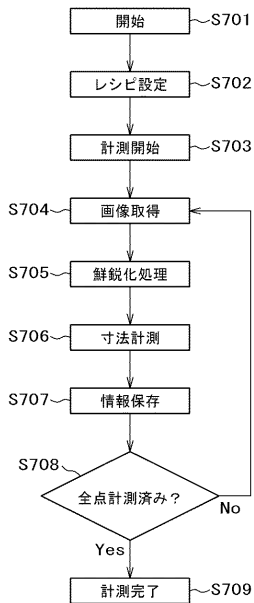
【図6】

図6



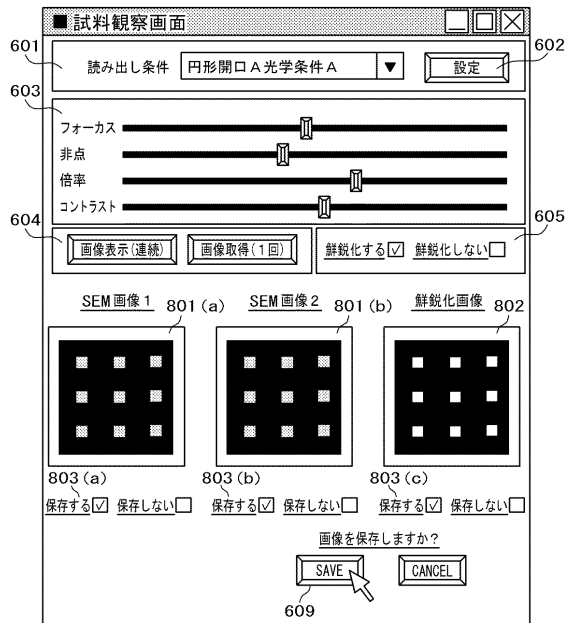
【図7】

図7



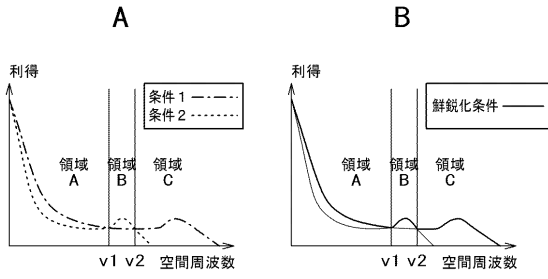
【図8】

図8



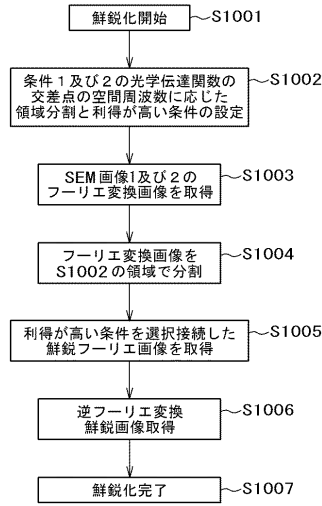
【図9】

図9



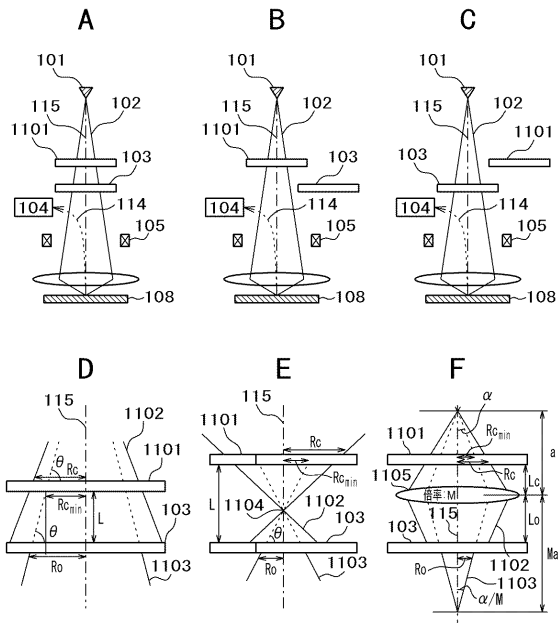
【図10】

図10



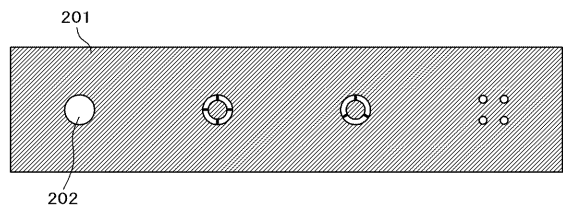
【図11】

図11



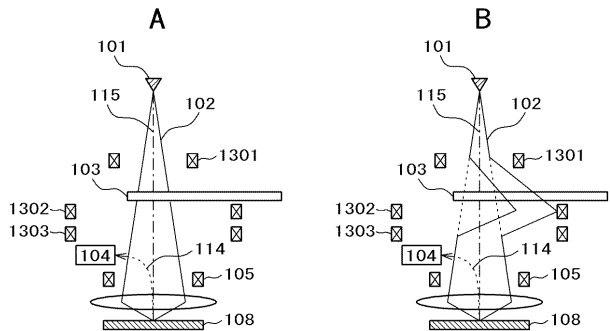
【図12】

図12



【図13】

図13



フロントページの続き

(72)発明者 浜田 宏一

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

(72)発明者 谷本 明佳

東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 特開平11-040096(JP,A)

特開2010-040381(JP,A)

特開2002-124205(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37