

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7059402号
(P7059402)

(45)発行日 令和4年4月25日(2022.4.25)

(24)登録日 令和4年4月15日(2022.4.15)

(51)国際特許分類		F I			
H 0 1 J	37/22	(2006.01)	H 0 1 J	37/22	5 0 1 Z
H 0 1 J	37/26	(2006.01)	H 0 1 J	37/26	
H 0 1 J	37/20	(2006.01)	H 0 1 J	37/20	C
			H 0 1 J	37/22	5 0 1 J

請求項の数 15 (全20頁)

(21)出願番号	特願2020-565128(P2020-565128)	(73)特許権者	501387839 株式会社日立ハイテク 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
(86)(22)出願日	平成31年1月11日(2019.1.11)	(74)代理人	110001678 特許業務法人藤央特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/000643	(72)発明者	土橋 高志 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
(87)国際公開番号	WO2020/144838	(72)発明者	玉置 央和 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
(87)国際公開日	令和2年7月16日(2020.7.16)	(72)発明者	三瀬 大海 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株 式会社日立ハイテク内
審査請求日	令和3年6月1日(2021.6.1)	審査官	右 高 孝幸

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 荷電粒子線装置及びその制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料を保持し移動する、移動機構と、
前記試料の画像を取得するために前記試料に照射される荷電粒子を放出する、荷電粒子源と、
前記移動機構を制御して前記試料を移動し、前記試料の画像を取得する、制御部と、を含み、
前記制御部は、
基準配置状態における前記試料の前記荷電粒子による基準画像を取得し、
前記基準配置状態と異なる目標配置状態における前記試料のゴール画像を、前記基準画像から演算により生成し、
複数の異なる配置状態それぞれに前記試料を前記移動機構により移動し、前記複数の異なる配置状態それぞれにおける前記試料の前記荷電粒子による候補画像を取得し、
前記候補画像それぞれと前記ゴール画像との比較結果を生成する、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、
前記制御部は、前記比較結果に基づき前記試料を移動する、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、
前記試料の移動は前記試料の傾斜移動を含む、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であって、
前記制御部は、
前記移動機構により前記試料を一定方向において傾斜移動し、異なる傾斜角度それぞれにおける傾斜画像を取得し、
前記傾斜画像の特徴量に基づき、前記傾斜画像から基準傾斜角度における傾斜画像を前記基準画像として選択し、
前記目標配置状態の傾斜角度と前記基準傾斜角度との差に基づき、前記基準画像から前記ゴール画像を生成する、荷電粒子線装置。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の荷電粒子線装置であって、
前記制御部は、
前記試料の異なる第 1 領域及び第 2 領域の前記荷電粒子による第 1 基準画像と第 2 基準画像とを、イメージシフトによって取得し、
前記目標配置状態における前記第 1 領域及び第 2 領域の第 1 ゴール画像及び第 2 ゴール画像を、前記第 1 基準画像及び前記第 2 基準画像から演算により生成し、さらに、前記第 1 ゴール画像及び前記第 2 ゴール画像の位置関係を特定し、
前記複数の異なる配置状態の各配置状態において、前記第 1 領域及び前記第 2 領域の前記荷電粒子による第 1 候補画像及び第 2 候補画像をイメージシフトによって取得し、さらに、前記第 1 候補画像と前記第 2 候補画像の位置関係を取得し、
前記第 1 ゴール画像及び前記第 2 ゴール画像の位置関係と、前記第 1 候補画像と前記第 2 候補画像の各ペアの位置関係との、比較結果を生成する、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、
前記試料の移動は前記試料の回転移動を含む、荷電粒子線装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の荷電粒子線装置であって、
前記目標配置状態は、前記基準配置状態から所定角度回転された配置状態であり、
前記制御部は、前記移動機構を制御して前記試料を回転し、
前記複数の異なる配置状態は、それぞれ異なる回転角度を有する、荷電粒子線装置。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置であって、
前記試料の移動は前記試料のシフト移動を含む、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であって、
前記ゴール画像は、前記基準画像における一部の拡大像であり、
前記制御部は、
前記移動機構を制御して前記試料をシフトし、
前記複数の異なる配置状態はそれぞれ異なるシフト量を有する、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、
前記制御部は、前記比較結果として、前記候補画像それぞれと前記ゴール画像との間の相関値を計算する、荷電粒子線装置。

【請求項 11】

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置であって、
前記制御部は、前記比較結果を出力デバイスにおいて出力する、荷電粒子線装置。

【請求項 12】

請求項 1 に記載の荷電粒子線装置であって、
前記制御部は、前記複数の異なる配置状態において、前記目標配置状態に最も近い配置状態を前記比較結果に基づき決定する、荷電粒子線装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 3】

荷電粒子線装置の制御方法であって、
前記荷電粒子線装置は、
試料を保持し移動する、移動機構と、
前記試料の画像を取得するために前記試料に照射される荷電粒子を放出する、荷電粒子源と、を含み、
前記制御方法は、
基準配置状態における前記試料の前記荷電粒子による基準画像を取得し、
前記基準配置状態と異なる目標配置状態における前記試料のゴール画像を、前記基準画像から演算により生成し、
複数の異なる配置状態それぞれに前記試料を前記移動機構により移動し、前記複数の異なる配置状態それぞれにおける前記試料の前記荷電粒子による候補画像を取得し、
前記候補画像それぞれと前記ゴール画像との比較結果を生成する、制御方法。

10

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の制御方法であって、
前記比較結果に基づき前記試料を移動する、制御方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 3 に記載の制御方法であって、
さらに、前記比較結果を生成する前に、イメージシフトによって前記試料の異なる位置の前記荷電粒子による候補画像を取得する、制御方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線装置及びその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

STEM/TEM観察では電子線を照射する試料の方位によって得られる画像の解像度が変わる。照射する電子ビームの進行方向に試料構造を並べることで、電子顕微鏡観察では画像の滲みを抑えた高解像度の画像が得られる。試料の方位は観察試料によっては試料外観でわかる場合もあるが、集束イオンビーム装置等で作成した試料の場合には外観と内部の結晶方向が異なり、そのままではわからない。外観で試料方位の判断がつかない場合は電子ビームを照射することで得られる回折図形を用いて試料方位のズレ量や方向を算出する。

30

【0003】

回折図形から試料の方位を見極める方法として、特許文献1では回折図形に対し円フィッティングを行い円の中心から強度の強い0次と呼ばれるスポットの方向へ試料を傾斜する方法が開示されている。特許文献2では複数の角度に対し回折図形の取得を行い、各々の回折図形を円近似する。近似円の半径が最も小さくなる角度を最適な試料方位とする方法が開示されている。特許文献3では試料の方位が合うときに回折図形の強度分布が等方的に広がることを利用して、回折図形が等方的となる方向へ試料を傾斜する方法が開示されている。特許文献4では複数の傾斜角度で準備した試料の回折図形を参照画像とし、現在の回折図形との比較から試料の方位を同定する方法が開示されている。

40

【0004】

以上の特許文献1～4では回折図形から試料方位を算出する方法が開示されているが、試料傾斜においては試料方位の算出だけでなく、算出した方位へ試料ステージを移動することも必要となる。一般に目標となる試料傾斜の精度は、必要とする試料の解像度(分解能)にもよるが0.2度程度となる。試料ステージにはバックラッシュや視野逃げがあるため、この精度で試料の方位をステージの傾斜を用いて合わせるのは容易ではない。通常、ステージによる傾斜角調整を行った後に回折図形を再度取得し試料方位の確認を複数回くりかえす。この作業では試料の傾斜方向を動かすたびに視野逃げが発生するため、電子顕

50

微鏡の観察倍率を下げ、低倍率の試料像によって視野逃げを確認・補正する作業を繰り返し行う。

【0005】

このような複数回の手間のかかる調整作業を自動的に試みる方法として特許文献2では、事前にステージの傾斜にともなう移動量を記録しテーブルを作成することで、試料傾斜時の視野逃げを補正しながら試料像を見ずに方位を調整する方法が開示されている。しかしながら、視野逃げには事前にステージ移動量のテーブルを作成するオープンループな手法で補正可能なものだけではなく、特許文献5に開示されるような再現性の悪い視野逃げもあるため、この方法だけでは視野逃げを回避することは難しい。

【0006】

特許文献5では試料傾斜に伴う再現性の悪い視野逃げを補正するため、試料傾斜時に試料像を観察して移動量を記録しステージへフィードバックする方法が開示されている。しかし、特許文献5では3次元観察を行うため基本的に試料傾斜方向は一定であり、ステージのバックラッシュの影響は少なく、回折図形を用いて試料傾斜を確認しながら観察試料の試料方位を高精度に導き出す手法としては不十分といえる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】国際公開第2016/006375号

特開2010-212067号公報

特開2014-170751号公報

米国特許第9978557号

特開2009-110734号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献5によると試料方位を調整する際のバックラッシュは最大で1度近くある。また我々が調査した条件では視野逃げ量は最も大きな場合で10 μ m以上である。サブnmの観察を行う電子顕微鏡において、このような条件下で回折図形と試料位置を複数回確認しながら調整することは時間的に大きな損失となっている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一態様の荷電粒子線装置は、試料を保持し移動する、移動機構と、前記試料の画像を取得するために前記試料に照射される荷電粒子を放出する、荷電粒子源と、前記移動機構を制御して前記試料を移動し、前記試料の画像を取得する、制御部と、を含む。前記制御部は、基準配置状態における前記試料の前記荷電粒子による基準画像を取得し、前記基準配置状態と異なる目標配置状態における前記試料のゴール画像を、前記基準画像から演算により生成し、複数の異なる配置状態それぞれに前記試料を前記移動機構により移動し、前記複数の異なる配置状態それぞれにおける前記試料の前記荷電粒子による候補画像を取得し、前記候補画像それぞれと前記ゴール画像との比較結果を生成する。

【発明の効果】

【0010】

本発明の一態様は、荷電粒子線装置において高精度な試料移動を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】透過電子顕微鏡の説明図である。

【図1B】計算機の説明図である。

【図2】ステージ傾斜の課題を解決するためのフロー図である。

【図3】傾斜画像シリーズの例である。

【図4】特徴量の抽出結果である。

10

20

30

40

50

- 【図5】特徴量へフィッティングを行った結果である。
 【図6】ゴール画像の例である。
 【図7】計算機画面に表示するGUIである。
 【図8】相関値変化を3次元表示した表示例である。
 【図9】低倍率の試料像である。
 【図10】クローズアップ領域を拡大して観察した試料像である。
 【図11A】ゴール画像の例である。
 【図11B】傾斜移動後の試料像の例である。
 【図12】ステージ回転を実施するためのフロー図である。
 【図13】試料像の例である。
 【図14】ゴール画像の例である。
 【図15】ステージ回転後の試料像の例である。
 【図16】視野移動と拡大を実施するためのフロー図である。
 【図17】試料像の例である。
 【図18】ゴール画像の例である。
 【図19】視野移動と拡大を行った後の試料像の例である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、実施例を図面に基づいて説明する。なお、以下に説明する実施例は特許請求の範囲にかかる発明を限定するものではなく、また実施例の中で説明されている特長の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

【実施例1】

【0013】

図1Aに、本実施例で用いる透過電子顕微鏡(TEM、Transmission Electron Microscopy)の基本構成図を示す。荷電粒子源の例である電子源801から放出された電子線は、第1、第2コンデンサレンズ802で縮小され、コンデンサ絞り803で放射角を制限される。さらに、電子線は、軸ずれ補正用偏向器804、スティグメータ805、イメージシフト用偏向器806での軸調整を経て、対物レンズ808前磁場で平行に試料814に照射される。

【0014】

試料814は、試料ステージ815上で保持される。試料814は、試料ステージ815に固定される試料ホルダにより保持されてもよい。試料ステージ815、試料ホルダ又はこれらの組み合わせは、試料814を保持し移動する移動機構の例である。通常、TEMでは、対物レンズ808の後磁場の影響により、回折図形は対物レンズ808と中間レンズ809の間に位置する後ろ側焦点面に形成され、中間レンズ809、投射レンズ810で拡大されCCDカメラ812によって検出される。

【0015】

計算機816は、複数の制御回路を使用して、装置制御を実行する。複数の制御回路は、電子銃制御回路901、照射レンズ制御回路902、コンデンサ絞り制御回路903、軸ずれ補正用偏向器制御回路904、スティグメータ制御回路905、イメージシフト用偏向器制御回路906、対物レンズ制御回路907、中間レンズ制御回路909、投射レンズ制御回路910、CCDカメラ制御回路911、試料ステージ制御回路912を含む。計算機816は、被制御部それぞれの値を上記制御回路901~912を通して取り込み、被制御部それぞれの値を上記制御回路901~912を通して送る事で、任意の電子光学条件を作り出す。

【0016】

図1Bは、計算機816の構成例を示す。計算機816は、例えば、プロセッサ110、メモリ120、補助記憶装置130、入出力デバイス140及びネットワークインタフェース145を含む。これら構成要素は、バスによって互いに接続されている。メモリ120、補助記憶装置130又はこれらの組み合わせは記憶装置である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

メモリ 1 2 0 は、例えば半導体メモリから構成され、主にプログラムやデータを一時的に保持するために利用される。メモリ 1 2 0 が格納するプログラムは、例えば、オペレーティングシステムの他、透過電子顕微鏡の各構成要素を制御するプログラム及び試料 8 1 4 の画像を取得するプログラム、及び取得した画像を処理するプログラムを含む。

【 0 0 1 8 】

プロセッサ 1 1 0 は、メモリ 1 2 0 に格納されているプログラムに従って、様々な処理を実行する。プロセッサ 1 1 0 がプログラムに従って動作することで、様々な機能部が実現される。

【 0 0 1 9 】

補助記憶装置 1 3 0 は、例えばハードディスクドライブやソリッドステートドライブなどの大容量の記憶装置から構成され、プログラムやデータを長期間保持するために利用される。補助記憶装置 1 3 0 に格納されたプログラム及びデータが起動時又は必要時にメモリ 1 2 0 にロードされ、プログラムをプロセッサ 1 1 0 が実行することにより、計算機 8 1 6 の各種処理が実行される。したがって、以下において計算機 8 1 6 により実行される処理は、プログラム又はプロセッサ 1 1 0 による処理でもある。

【 0 0 2 0 】

入出力デバイス 1 4 0 は、入力デバイス及び出力デバイス（表示デバイス）を含む。入力デバイスは、ユーザが計算機 8 1 6 に指示や情報などを入力するためのハードウェアデバイスである。出力デバイスは、入出力用の各種画像を表示するハードウェアデバイスである。

【 0 0 2 1 】

計算機 8 1 6 は、1 以上のプロセッサ及び 1 以上の記憶装置を含む制御システムを構成する。制御システムは、1 又は複数の計算機で構成することができる。制御システムの一部の機能は、論理回路で実装してもよい。図 1 A の構成例において、計算機 8 1 6 及び制御回路 9 0 1 ~ 9 1 2 は、透過電子顕微鏡の制御部の例を構成する。このように、制御部は、計算機システム（1 又は複数の計算機）及び所定の機能を有する 1 又は複数の制御回路を含むことができる。

【 0 0 2 2 】

図 1 A は TEM の構成例を示すが、本開示の特徴は他の荷電粒子線装置に適用することができる。例えば、走査透過電子顕微鏡（STEM、Scanning Transmission Electron Microscopy）の構成でも適用可能である。STEM では TEM とは異なり試料 8 1 4 に収束した電子線を照射し、イメージシフト用偏向器 8 0 6 のような偏向コイルを用いて収束した電子線を走査する。CCD カメラ 8 1 2 とは異なる透過電子検出器を用いて試料上の走査位置毎に検出器で信号を記録し計算機 8 1 6 にて画像を表示することが可能である。本実施例及び他の実施例の特徴は、この他、例えば、二次電子及び反射電子を検出する SEM（Scanning Electron Microscopy）や、電子と異なる荷電粒子を使用する装置にも適用できる。

【 0 0 2 3 】

本実施例の処理を、図 2 を用いて説明する。実施例 1 は目標となる傾斜角度（目標配置状態の例）が既知である時に、本実施例の方法を用いて目標となるステージ傾斜角度へ移動する手順を示す。本実施例及び他の実施例において、試料ステージ 8 1 5 上の配置された試料 8 1 4 の状態を配置状態と呼ぶ。試料 8 1 4 が移動されることで、その配置状態が変化する。

【 0 0 2 4 】

試料ステージ 8 1 5 は、1 又は複数の傾斜軸（回転軸）において傾斜させることができる。以下の説明において、図 2 のフローは、一つの傾斜軸において目標傾斜角度に試料ステージを傾斜させる。計算機 8 1 6 は、傾斜軸それぞれにおいて当該フローを順次実行できる。計算機 8 1 6 は、複数傾斜軸において同時に図 2 のフローを実行してもよい。

【 0 0 2 5 】

10

20

30

40

50

本フローは「調整開始」101から始まり、「ステージ傾斜移動の完了」115にて終わる。以下、図2のフローに従って実施例1の手順を示す。当該フローは、計算機816が制御回路901～912を使用して実行する。ここで、試料ステージ815の傾斜角度を変化させる動作（傾ける動作）は、試料ステージ815の移動に含まれる。試料ステージ815の移動は、傾斜移動、シフト移動、回転移動等を含む。

【0026】

計算機816は、「調整開始」101の後、試料814がCCDカメラ812の撮像面（検出面）に対して平行となる、試料ステージ815の設定角度（水平角度）を導出するため試料の「傾斜画像シリーズの取得」102を行う。計算機816は、試料ステージ制御回路912を介して試料ステージ815を制御して、試料814の傾斜角度を変化させる。 「傾斜画像シリーズの取得」102において、例えば、傾斜角度は傾斜軸において、一定方向（例えば右回転又は左回転）に変化される。傾斜移動の方向が一定であることにより、試料ステージ815のバックラッシュの影響を低減する。

10

【0027】

例えば、各傾斜角度における画像（傾斜画像）を取得するため、計算機816は、傾斜移動前後の視野内の試料像の位置が略一致するように、試料ステージ815を制御する。例えば、計算機816は、傾斜移動前後の画像の相関値に基づき試料ステージ815を平行移動する。

【0028】

傾斜画像シリーズの取得例を図3に示す。図3は半導体製造工程におけるウェハ上のパターンを集束イオンビーム装置（FIB、Focused Ion Beam）によって作製した透過電子顕微鏡用試料の例である。傾斜画像シリーズ150として、図3では、試料ステージ815を、傾斜軸155を中心として傾斜角度-11度から+13度まで傾斜させて取得した画像の一部を示す。傾斜角度は計算機816による設定角度であり、試料ステージ815の実際の傾斜角度と必ずしも一致しない。

20

【0029】

一連の画像において、画像151は-11度における画像であり、画像152は+13度における画像である。画像151と画像152との間の画像群は、-11度より大きく+13度より小さい異なる傾斜角度における中間画像の例である。軸156は、後述する特徴量が計算される、傾斜軸155に垂直な軸である。

30

【0030】

図2の「試料が水平となる角度を算出」103の例を、図4に示す。図4の特徴量を抽出したグラフ301は、図3が示す画像群から傾斜軸155（図3における各画像の横軸）に垂直な軸156に沿った長さを特徴量として測定した結果である。軸156に沿った長さは、画像における同一位置で測定される。一例において、画像151において最も長い部分の長さが測定される。これにより、より正確に水平角度を決定できる。

【0031】

グラフ301において、横軸は傾斜角度、縦軸は特徴量を示す。グラフ301から、特徴量は傾斜角度に依存して増減することがわかる。水平角度は特徴量が最大となる傾斜角度である。特徴量が最大となる傾斜角度をもとめる方法の一つとして、グラフ301の特徴量に対しcos分布を仮定してフィッティングした結果を図5に示す。

40

【0032】

図5に特徴量のフィッティンググラフ251を示す。cos分布を仮定してフィッティングした結果を線253で示す。この場合、フィッティングしたcos分布の最大値はグラフ251に波線252で示す傾斜角0.84度となった。例えば、この角度（設定傾斜角度）が、試料814の水平角度として算出した結果となる。

【0033】

「フィッティング結果の判定」104は、フィッティングが適切であるかを判定する。誤差が許容値以下である場合、フィッティングは適切であると判定される。誤差の判定方法には、例えばフィッティング結果である線403と特徴量の実測値との誤差量を各傾斜角

50

で平均化した時の値が1ピクセルを下回っている、などが考えられる。

【0034】

図2の「調整開始」101から「フィッティング結果の判定」104までの手順で試料の“見た目”の水平角度を算出した。集束イオンビーム装置で作製した試料は“見た目”の角度と内部の結晶方位が必ずしも一致しない。計算機816は、「目標傾斜角度を設定」105にて、試料814の内部観察に必要となる目標傾斜角度に試料814を傾斜する。目標傾斜角度は調整開始前に試料の回折図形から決めてもよいし、水平となる角度の算出過程で従来の方法で算出しておいてもよい。本実施例では目標傾斜角度をA度とする。

【0035】

図2の「Homography変換を用いた目標傾斜角度のゴール画像計算」106は、取得した水平角度(0.84度)を基準として、目標傾斜角度A(目標配置状態)と基準配置状態の傾斜角度との差からゴール画像を算出する。ゴール画像の計算は、基準配置状態における試料の基準画像を使用する。基準画像は、例えば、図3の傾斜画像シリーズ150にてその傾斜角度が最も目標傾斜角度Aに近い配置状態の画像である。ゴール画像の計算は、基準画像を用いて、Homography変換を行うのが一般的である。計算機816は、目標傾斜角度Aから離れた傾斜角度の配置状態を基準配置状態として選択してもよい。図6は、ゴール画像の例301を示す。

10

【0036】

図2の「ステージ傾斜角移動」107にて、計算機816は、目標傾斜角度Aに向け試料ステージ815を傾ける。試料ステージ815の傾斜移動に伴って、試料ステージ815の高さの変化や試料814の視野逃げが発生し得る。

20

【0037】

計算機816は、目標傾斜角度A近傍の特定傾斜角度まで、視野から試料814が逃げないように試料ステージ815を移動した後、「撮像」108を行う。計算機816は、「フォーカス判定」110にて、撮像した画像にボケがあれば、「フォーカス調整」109を実施する。

【0038】

フォーカス値が適正と判断できる時は、計算機816は、「試料像とゴール画像の相関値を算出」112を行う。当該試料像は、候補画像であり、相関値はそれらの比較結果を表す。相関値は、任意のアルゴリズム(相関関数)で計算でき、例えば、ピクセルの輝度差の絶対値の和で表わされる。相関値の計算において、撮像した試料像の視野とゴール画像の視野の間のずれ量が算出できる。このずれ量が閾値より大きい場合に、計算機816は、試料ステージ815の位置を調整して、試料像を再撮像する。

30

【0039】

計算機816は、「複数角度で相関値を取得したか」113にて、ゴール画像と異なる傾斜角度で撮像された画像との間の相関値の測定回数を判定する。相関値の算出は2回以上行われる。例えば、計算機816は、バックラッシュを考慮して、目標傾斜角度Aに対し±1度程度の範囲の異なる配置状態における候補画像とゴール画像との相関値を、必要精度に応じたステップ幅で取得する。相関値の最大値の判定が難しい等、十分な角度幅で相関値の算出を行っていない時は、計算機816は、「傾斜角調整」111にて次の傾斜角度へ試料ステージ815を移動する。

40

【0040】

この動作をユーザは計算機816の入出力デバイス140の画面で確認することが可能である。図7に計算機画面上のGUI画面例351を示す。GUI画面351では、傾斜軸が2軸の場合を記している。GUI画面351において、左上にゴール画像352、左下には目標傾斜角におけるステージ情報354が表示される。GUI画面351の真ん中上には、現在のステージ位置における試料像353、中央下には現在のステージ情報355が表示される。

【0041】

複数回算出する相関値の変化を見るため、GUI画面351における右側に、傾斜角度に

50

応じた相関値の変化のグラフ 606 が表示される。相関値変化のグラフ 356 は、2 軸傾斜を想定して二つの傾斜軸（ALPHA 軸、BETA 軸）に対する相関値変化を表示している。この表示方法は一例であり、相関値変化のグラフ 356 は図 8 に示すような 3 次元表示グラフ 401 を用いる方法もある。

【0042】

図 2 の「現在の角度は相関値最大か」114 において、ユーザは、GUI 画面 351 内の相関値変化 356 を見て判定してもよく、計算機 816 は、複数回の相関値算出を行った結果に対して自動で最大値を判定してもよい。現在の角度が相関値最大となることをもって、現在の候補配置状態が目標配置状態に最も近く、試料ステージ 815 の移動が完了する。

10

【0043】

以上のように、本実施例は、荷電粒子線応用装置によって得られる試料像を用いて、移動後の画像となるゴール画像を計算機処理で作成する。ゴール画像と撮像された試料像を比較し、得られた情報をユーザにフィードバックすることで、高精度な試料移動とスループットの高い試料観察が可能となる。または、得られた情報を電子顕微鏡内の制御パラメータにフィードバックすることで、高精度かつ自動的な試料移動とスループットの高い試料観察が可能となる。

【実施例 2】

【0044】

実施例 1 の構成において、GUI 画面 351 を省略してもよい。GUI 画面 351 がない場合、一連の傾斜角度における画像は、計算機 816 内のフォルダに保存される。ゴール画像と撮像された画像との比較を行い、相関値の変化を記載したデータファイルも保存される。ユーザは、すべての処理が終わった後でステージ移動の各画像や対応する画像の相関値の変化を確認し、ステージ移動の完了を確認できる。

20

【0045】

実施例 2 において、一連の傾斜角度における画像を保存せず、計算機 816 内には相関値の変化のみ保存してもよい。これは、例えば、画像が機密情報である場合に取りられる方法である。または、一連の傾斜角度における画像だけでなく相関値の変化も保存しなくてもよい。この場合、保存されるデータはステージ移動が正常に完了したか/否かのログデータとなる。特にステージ移動が正常に完了しない場合は、その原因がログデータとして計算機内に保存されることで、ユーザが、ステージ移動が正常に完了しない理由を調べることが可能となる。

30

【実施例 3】

【0046】

実施例 1 では、ゴール画像と現在の傾斜角度の画像の相関値が最大となることをもってステージ移動を完了したが、傾斜角度が小さなときは相関値の変化も小さく、傾斜角度の見積もり精度が悪くなる可能性がある。そのような状況で精度を向上する方法を実施例 3 に記す。実施例 3 は、試料像を拡大し、観察領域を、電子プローブを偏向して行うイメージシフトで移動することで精度を向上する。

【0047】

図 9 に実施例 3 における低倍広視野の試料像 451 を示す。実施例 3 ではイメージシフトを利用して画像の特徴量を測定するため、イメージシフトを振れる範囲内に目的の試料構造がある必要がある。イメージシフトの最大シフト量は数 μm が一般的である。実施例 3 では、視野 (1) 452 と視野 (2) 453 の二つの位置における拡大像を取得する。二つの視野の間の X 方向における距離 454 は X_ISF で表し、Y 方向における距離 455 は Y_ISF で表わす。

40

【0048】

図 10 に各視野で取得した試料像を示す。試料像は傾斜角度 B で取得されているとする。傾斜角度 B は基準配置状態であり、視野 (1) 452 の試料像 501 と視野 (2) 453 の試料像 502 は、それぞれ、視野 (1) 452 と視野 (2) 453 の基準画像である。

50

計算機 8 1 6 は、図 9 の視野 (1) 4 5 2 の試料像 5 0 1 と視野 (2) 4 5 3 の試料像 5 0 2 に対し、目標傾斜角度 A (目標配置状態) における各々のゴール画像を作成する。

【 0 0 4 9 】

計算機 8 1 6 は、実施例 1 のように、Homography 変換を用いて、試料像を取得した傾斜角度 B と目標傾斜角度 A との差に基づき、視野 (1) 4 5 2 の試料像 5 0 1 と視野 (2) 4 5 3 の試料像 5 0 2 から、それぞれのゴール画像を算出する。計算機 8 1 6 は、さらに、X 方向及び Y 方向における距離 X_ISF 及び Y_ISF を変換する。目標傾斜角度 A における視野 (1) 及び視野 (2) のゴール画像並びにそれらの位置関係が得られる。視野 (1) と視野 (2) は、イメージシフト分だけ離れている。例えば、基準とする視野 (1) の画像は回転角分だけ画像が収縮または拡大するが、視野 (2) の画像は収縮または拡大するだけでなく視野 (1) 方向に画像全体が近づく、または離れる。

10

【 0 0 5 0 】

図 1 1 A に計算機 8 1 6 を用いて作成した視野 (1) のゴール画像 5 2 1、視野 (2) のゴール画像 5 2 2 を示す。計算機 8 1 6 は電子顕微鏡で撮像された視野 (1) 及び視野 (2) の試料像 (候補画像) それぞれを対応するゴール画像と比較し、相関関数による相関値から各視野の二つの候補画像のシフト量を算出する。シフト量は相関値が最大となる時の移動ピクセル数として算出することが一般的であるが、画像マッチング等で特徴量の変化として算出してもよい。

【 0 0 5 1 】

視野 (1) に対するゴール画像と試料像の間のシフト量を (X_1 、 Y_1)、視野 (2) に対するゴール画像と試料像のシフト量を (X_2 、 Y_2) とする。シフト量は、その方向に応じて正又は負の値で表わされる。複数の傾斜角度で取得した X 方向、Y 方向の各々のシフト量の差分 ($X_1 - X_2$) 及び / 又は ($Y_1 - Y_2$) の絶対値が最小となる傾斜角度 (候補配置状態) がゴール画像の傾斜角度 (目標配置状態) に最も近い。これらの値は、ゴール画像ペアと候補画像ペアの比較結果を表す。

20

【 0 0 5 2 】

例えば、試料ステージ 8 1 5 が X 方向に沿った一つ傾斜軸のみにおいて傾斜される場合、Y 方向のシフト量の絶対値が最小となる傾斜角度がゴール画像の傾斜角度に最も近い。試料ステージ 8 1 5 が X 方向に沿った傾斜軸及び X 方向に沿った傾斜軸の双方において傾斜される場合、X 方向及び Y 方向それぞれのシフト量の差分の絶対値が最小となる傾斜角度がゴール画像の傾斜角度に最も近い。

30

【 0 0 5 3 】

計算機 8 1 6 は、このことを用いて試料ステージ 8 1 5 の傾斜移動を実現する。図 1 1 B は、傾斜移動後の視野 (1) の試料像 5 3 1 及び視野 (2) の試料像 5 3 2 を示す。上述のように、実施例 3 は、二つの視野のゴール画像の位置関係と候補画像の位置関係を比較する。実施例 3 は、試料像の拡大とイメージシフトを用いることで電子顕微鏡の性能を利用したステージ移動制御が可能となる。

【 実施例 4 】

【 0 0 5 4 】

本開示の特徴により、計算機 8 1 6 による演算処理で作成した画像の撮像条件を、計算機 8 1 6 が探索することが可能となる。実施例 4 では試料の回転に本開示の特徴を適用する。例えば、試料上で電子線を走査することなく拡大像を得る透過電子顕微鏡 (TEM) による観察では、試料回転を試料ステージ 8 1 5、または試料ステージ 8 1 5 に設置されるホルダ内に配置した回転機構で行う。

40

【 0 0 5 5 】

一般に試料ステージ 8 1 5 (ホルダ) の回転中心と試料中心は異なるため、回転に伴って視野内の試料位置が大きく移動する。通常、試料回転を行う場合は観察条件を低倍とし、回転に伴う視野内の試料移動を逐次ステージ移動で戻す作業を行う。本開示の特徴を試料の回転に適用することで、このような工程を高精度かつ自動で実現することが可能となる。

【 0 0 5 6 】

50

試料の回転に本開示の特徴を適用した実施例4のフローを図12に示す。図12の「調整開始」551からフローはスタートし、ステージ回転移動の完了563にて終了する。以下においては、試料ステージ815が回転するものとする。「試料像の取得」552にて、計算機816は、図13に示すような回転移動前の試料像601を取得する。試料像601は、基準配置状態における基準画像である。目標となる試料814（試料ステージ815）の回転角度（目標配置状態への回転角度）は「目標回転角度、ステップ角度を設定」553にて指定される。

【0057】

目標回転角度の指定はユーザがGUI上で数値を入力する方法が一般的であるが、計算機816が、例えば回折図形や試料像から試料の向きを判定し自動的に決定してもよい。ステップ角度は、予め設定されている規定値又は目標回転角度から計算機816により決定される。

10

【0058】

図12の「ステップ角度回転後のゴール画像計算」554にて計算機816が基準画像601から計算した、ゴール画像651を図14に示す。ゴール画像651は、画像の回転処理にAffine変換を用いたが画像回転の可能な変換処理であれば、どのような変換で生成されてもよい。「ステージ回転移動」555にて、計算機816は、GUI上で指定された目標回転角度に向け、試料814（試料ステージ815）を回転する。

【0059】

計算機816は、一回で、目標回転角度だけ試料814を回転してもよいが、一般的に試料が視野から逃げるため、目標角度に向け試料が視野から逃げないように十分に細かなステップで回転移動を行う。この場合、ゴール画像はステップ角度毎に作成され、試料像と比較される。

20

【0060】

「撮像」556にて、計算機816は、ステージ回転移動を完了後の試料像を取得する。回転移動後の試料像701を図15に示す。「視野判定」557にて、計算機816は、観察対象の試料が視野内にあることを確認する。ステップ角度が荒い場合「視野判定」557にて試料が視野内にないことがある。試料が視野から見えなくなると回転移動の調整ができないため、計算機816は、ステップ角度が大きかったと判定し、「ステージ角度を回転前に戻す」566にて回転移動前の角度へ移動し、「ステップ角度変更」558を

30

【0061】

視野内に試料がある場合、計算機816は、「フォーカス判定」564を実行する。試料814の回転機構や試料保持の形態によっては試料回転に伴って試料高さが変わり、試料像がボケる可能性がある。フォーカスが適正值から外れるとき、計算機816は、「フォーカス調整」565を実行する。

【0062】

フォーカス値が適正な場合、「試料像とゴール画像の相関値を算出」559にて、計算機816は、ゴール画像651と回転後の試料像701との間で相互値を算出する。この際、回転後の試料像701とゴール画像651との相関値を計算することで視野ズレ量も算出できる。ゴール画像に相当する試料位置が視野サイズから大きく移動している場合、計算機816は、「ステージ位置の調整」567を実行して試料像をゴール画像と同じ視野内の位置へ移動する。

40

【0063】

「現在角度は目標角度か」568にて、計算機816は、試料814が目標回転角度まで移動していることを判定する。計算機816は、「目標回転角度近傍の複数角度で相関値を取得したか」560の判定を行う。計算機816は、特に目標角度近傍の複数の回転角度で相関値の算出を行う。異なる回転角度（異なるの配置状態）での画像は候補画像である。この場合、必要であれば、計算機816は、ステップ角度を細かく振りなおして回転移動の精度を向上する。これは目標回転角度に試料ステージ815、もしくはホルダを回

50

転移動しても、回転機構に存在する有限のバックラッシュによって目標角度と完全には一致しないためである。

【 0 0 6 4 】

計算機 8 1 6 は、目標とする精度に合わせて「回転角調整」5 6 1 を行い複数回転角度の相関値を取得する。複数回転角度の相関値を取得した後、計算機 8 1 6 は、「現在の角度は相関値最大か」5 6 2 の判定を行う。判定方法は実施例 1 に示すように、G U I 上の画面でユーザが行ってもよいし計算機 8 1 6 が最大値を自動的に判定してもよい。相関値が最も高い候補配置状態が目標配置状態に最も近い。相関値が最大となったことの確認後、「ステージ回転移動の完了」5 6 3 となる。

【 実施例 5 】

【 0 0 6 5 】

本開示の特徴によって計算機 8 1 6 による演算処理で作成した画像の撮像条件を、計算機 8 1 6 が探索することが可能となる。実施例 5 は、本開示の特徴を試料観察における倍率調整や視野シフトに適用する。本開示の特徴を試料観察に適用することで、高精度かつ高速な試料観察環境を実現する。試料観察の倍率調整や視野シフトへ本開示の特徴を適用した実施例 5 のフローを図 1 6 に示す。

【 0 0 6 6 】

図 1 6 の「調整開始」7 2 1 からフローはスタートし、「視野位置シフトの完了」7 3 6 にて終了する。「試料像の取得」7 2 2 にて、計算機 8 1 6 は、図 1 7 に示すような低倍率の試料像 7 5 1 (基準画像)を取得する。図 1 6 の「詳細観察領域を設定」7 2 3 にて、計算機 8 1 6 は、試料像 7 5 1 内の四角 7 5 2 で示す領域を指定する。四角 7 5 2 は通常はユーザ自らが観察したい領域を G U I 上で選択することで指定するが、常に同じ位置であれば計算機 8 1 6 が指定してもよい。計算機 8 1 6 は、四角 7 5 2 で選択した領域の大きさと試料像 7 5 1 の視野範囲および倍率の関係から「拡大倍率、視野シフト量を計算」7 2 4 を行う。

【 0 0 6 7 】

図 1 7 の四角 7 5 2 は、ユーザが指定する場合、必ずしも低倍率の試料像 7 5 1 と同じ縦横比とはならない。そのため「拡大倍率、視野シフト量を計算」7 2 4 における拡大倍率の計算は、縦(以降、Y 方向 7 5 3 と呼ぶ)と横(以降、X 方向 7 5 4 と呼ぶ)の両方に対し必要な倍率を計算する。倍率計算は、四角 7 5 2 の縦(以降、Y 1 長さ 7 5 5)と横(以降、X 1 長さ 7 5 6)を用いる。観察倍率が 1 5 0 0 倍の時、四角 7 5 2 の Y 方向 7 5 3 に求められる拡大倍率 $M Y$ 、並びに X 方向 7 5 4 に求められる拡大倍率 $M X$ は、次の式で求められる。

$$M Y = 1 5 0 0 * Y / Y 1、M X = 1 5 0 0 * X / X 1$$

【 0 0 6 8 】

拡大後に四角 7 5 2 のすべての領域を観察可能なように設定するため、計算機 8 1 6 は、倍率として $M Y$ と $M X$ の小さな方を選択する(以降、 M とする)。視野シフト量は、図 1 7 の低倍率の試料像 7 5 1 の画像中心座標を $(X C 1、Y C 1)$ と、四角 7 5 2 の中心座標 $(X C 2、Y C 2)$ との間の、X 方向と Y 方向の距離である。X 方向の距離 $L X$ 、Y 方向の距離 $L Y$ は、以下の式で求められる。

$$L Y = Y C 2 - Y C 1、L X = X C 2 - X C 1$$

【 0 0 6 9 】

図 1 6 の「目標位置のゴール画像計算」7 2 5 にて、計算機 8 1 6 は、ゴール画像を算出する。図 1 8 に図 1 7 の基準画像 7 5 1 における四角 7 5 2 から算出したゴール画像 7 7 1 を示す。この場合、ゴール画像は低倍率の試料像 7 5 1 を切り抜いた拡大像となる。図 1 6 の「倍率変更」7 2 6 にて、計算機 8 1 6 は、観察倍率を M に変更する。「視野シフト」7 2 7 にて、計算機 8 1 6 は、試料ステージ 8 1 5 またはイメージシフトを用いて、X 方向に $L X$ 、Y 方向に $L Y$ のシフトを行うことで、図 1 7 の四角 7 5 2 にて指定した領域付近の画像が得られる。ステージ移動にはバックラッシュがあるため指定した領域と常に視野が一致することはなく、以降のフローによる高精度ステージ位置調整が必要となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

図 1 6 の「撮像」7 2 8 にて、計算機 8 1 6 は、試料像を撮像する。計算機 8 1 6 は、撮像した試料像に対し、「フォーカス判定」7 2 9 を実行する。フォーカスが適正でなく試料像にボケが見られる場合、計算機 8 1 6 は、「フォーカス調整」7 3 2 を実行する。フォーカスが適正であれば、計算機 8 1 6 は、「相関値判定」7 3 3 を実行する。相関値のいくつかの判定方法が考えられるが、例えばゴール画像と試料像との相関値が最大値となる画像のシフト量を算出する。シフト量が 1 ピクセル未満であれば、十分に相関は高いと判定してよい。

【 0 0 7 1 】

「相関値判定」7 3 3 にて画像のシフト量が大きな場合、計算機 8 1 6 は、「シフト量に基づき視野を微動する」7 3 1 を実行する。異なるシフト量の配置状態それぞれにおいて撮像される画像は候補画像である。シフト量が 1 ピクセル未満で十分に相関が高いと判定できれば、当該候補配置状態は目標配置状態に最も近く、計算機 8 1 6 は、「視野移動の完了」7 3 6 をもってフローを終了する。この時、ステージの移動精度以下のシフト量が算出された場合は、試料微動にイメージシフトを用いてもよい。

10

【 0 0 7 2 】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明したすべての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

20

【 0 0 7 3 】

また、上記の各構成・機能・処理部等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等の記録装置、または、ICカード、SDカード等の記録媒体に置くことができる。

【 0 0 7 4 】

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしもすべての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆どすべての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

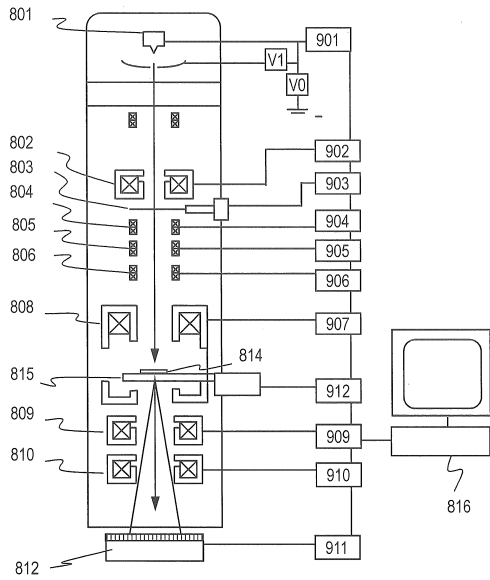
30

40

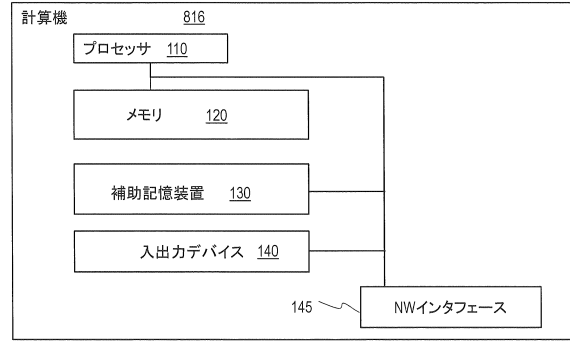
50

【図面】

【図 1 A】



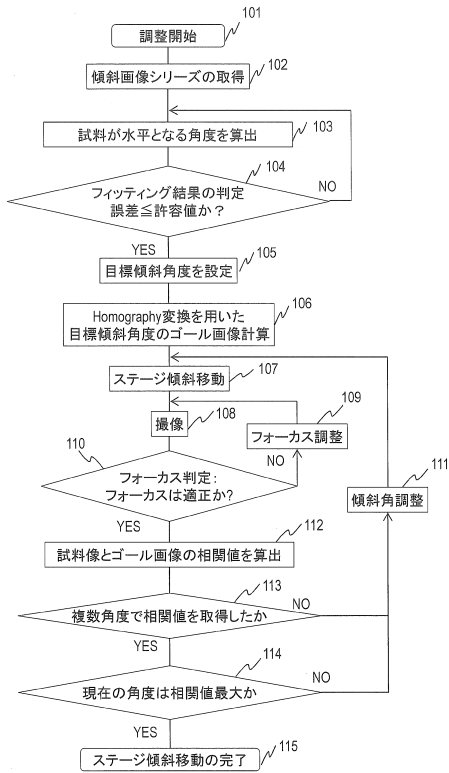
【図 1 B】



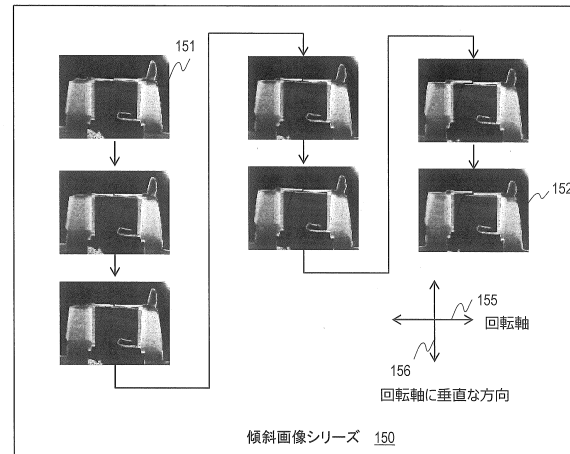
10

20

【図 2】



【図 3】

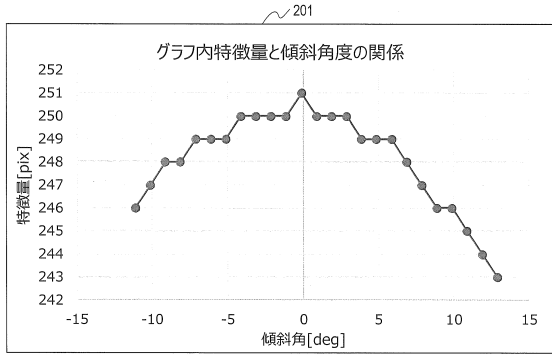


30

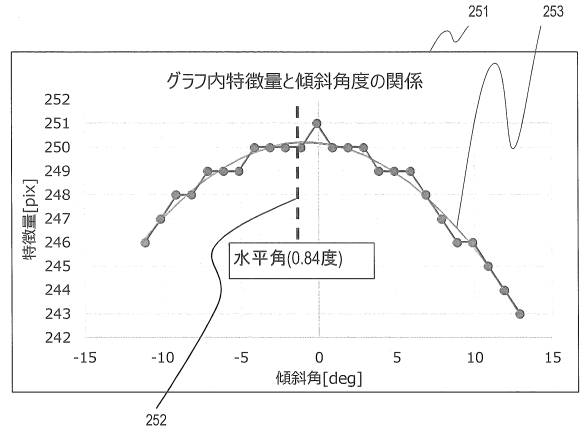
40

50

【 図 4 】

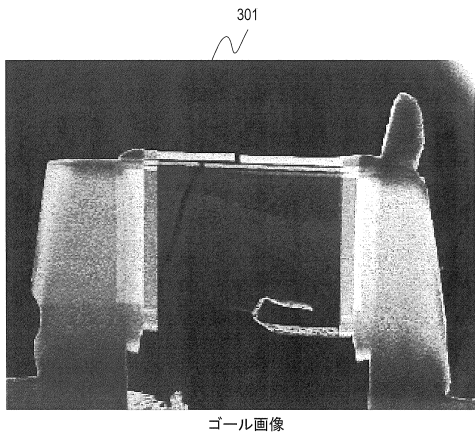


【 図 5 】



10

【 図 6 】



【 図 7 】

AUTO STAGE ADJUST SEQUENCE

382

353

351

356

■目標傾斜角		■ステージ現在位置	
ALPHA (TILT)	A1 [deg]	ALPHA (TILT)	A2 [deg]
BETA (AZIMUTH)	B1 [deg]	BETA (AZIMUTH)	B2 [deg]
X	X1 [um]	X	X2 [um]
Y	Y1 [um]	Y	Y2 [um]
Z	Z1 [um]	Z	Z2 [um]

354

355

相関値変化

相関値

最大値

ALPHA[deg]

相関値

最大値

BETA[deg]

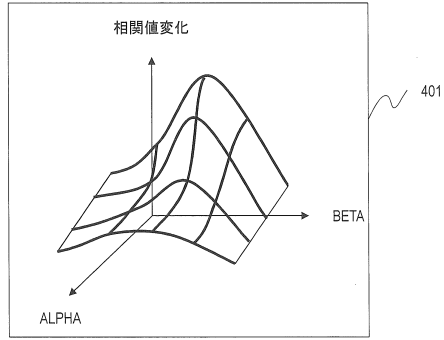
20

30

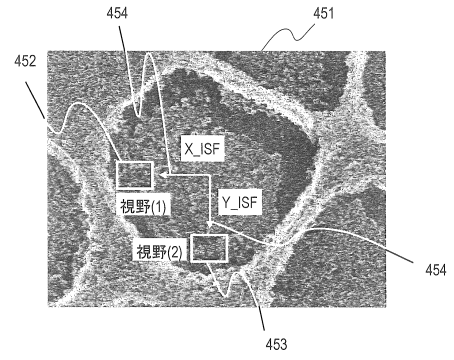
40

50

【図 8】

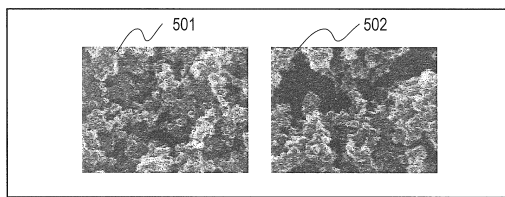


【図 9】

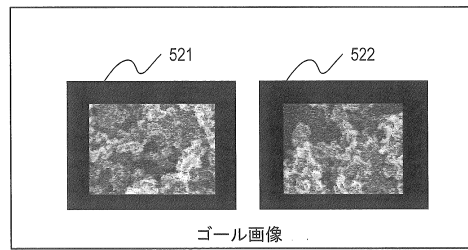


10

【図 10】



【図 11 A】



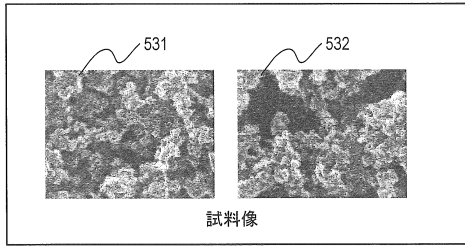
20

30

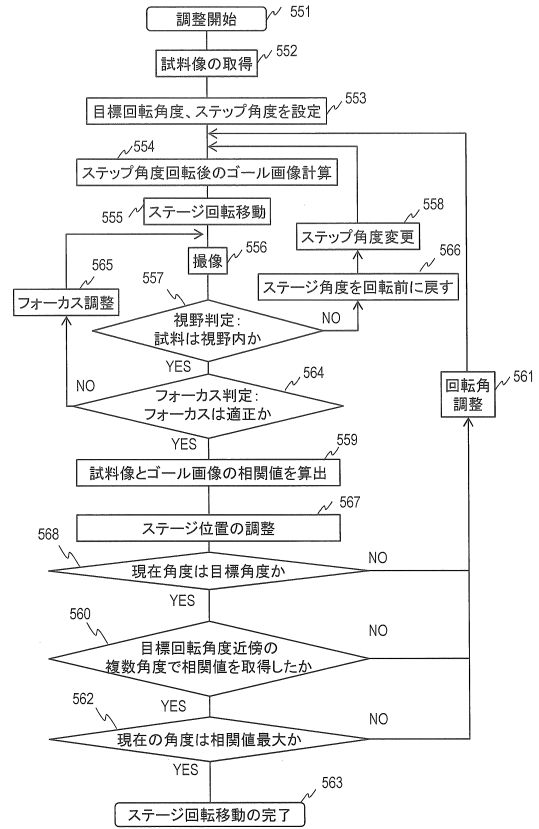
40

50

【図 1 1 B】



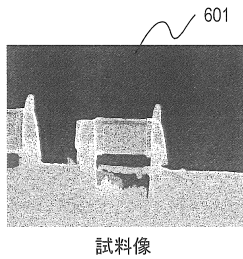
【図 1 2】



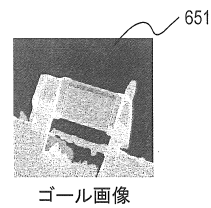
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

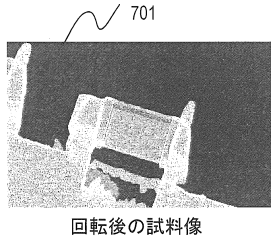


30

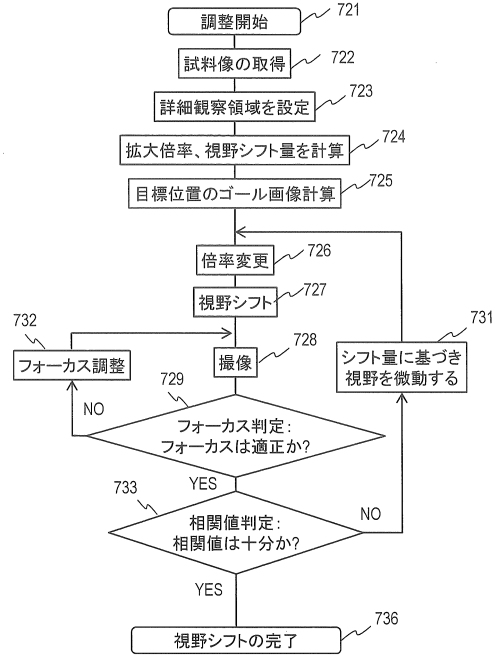
40

50

【図15】



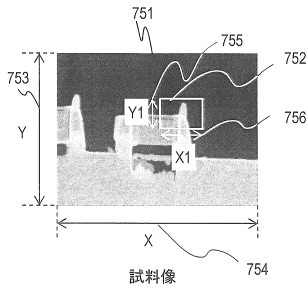
【図16】



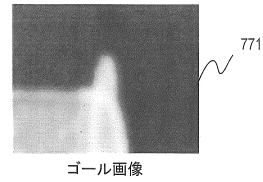
10

20

【図17】



【図18】

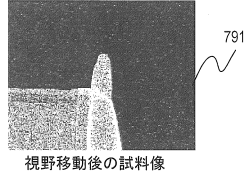


30

40

50

【図 19】



視野移動後の試料像

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-287508(JP,A)
特開平11-111207(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01J 37/00