(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7168777号
(P7168777)

(45)発行日　令和4年11月9日(2022.11.9)

(24)登録日　令和4年10月31日(2022.10.31)

(51)国際特許分類

Ｈ０１Ｊ　37/20　(2006.01)	Ｈ０１Ｊ	37/20	Ｃ
Ｈ０１Ｊ　37/22　(2006.01)	Ｈ０１Ｊ	37/22	５０１Ｚ
Ｈ０１Ｊ　37/26　(2006.01)	Ｈ０１Ｊ	37/26	

ＦＩ

請求項の数　14　（全23頁）

(21)出願番号　特願2021-520016(P2021-520016)
(86)(22)出願日　令和1年5月23日(2019.5.23)
(86)国際出願番号　PCT/JP2019/020503
(87)国際公開番号　WO2020/235091
(87)国際公開日　令和2年11月26日(2020.11.26)
審査請求日　令和3年10月8日(2021.10.8)

(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
(74)代理人　110001678藤央弁理士法人
(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
(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
(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
(72)発明者　伊藤 峻大郎
東京都港区虎ノ門一丁目１７番１号 株
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　荷電粒子線装置及び荷電粒子線装置の制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

荷電粒子線を照射して試料を観察する荷電粒子線装置であって、

試料を保持し、移動する移動機構と、

前記荷電粒子線を出力する粒子源と、

前記試料に対する前記荷電粒子線の照射方向及び焦点を調整する光学素子と、

前記荷電粒子線を照射した前記試料から放出される荷電粒子を検出する検出器と、

観察条件に基づいて、前記移動機構、前記粒子源、前記光学素子、及び前記検出器を制御する制御機構と、を備え、

前記制御機構は、

前記移動機構を第１の角度だけ傾斜させた後に複数の菊池線を含む回折パターンの画像を比較用画像として取得し、

基準となる回折パターンの基準画像及び前記比較用画像を用いて前記試料の傾斜角及び目標傾斜角の誤差を評価し、

前記試料の傾斜角及び前記目標傾斜角の誤差が生じていると判定された場合、当該誤差及び既定値の少なくともいずれかに基づいて前記第１の角度を更新し、

前記移動機構を前記更新された第１の角度だけ傾斜させた後に前記回折パターンの画像を前記比較用画像として取得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であって、

前記制御機構は、
前記基準画像及び前記比較用画像を用いて、前記基準画像及び前記比較用画像の各々に含まれる前記回折パターン間の移動量である前記回折パターンのシフト量を算出し、
前記検出器及び前記試料の間の距離、並びに、前記回折パターンのシフト量に基づいて、前記試料の傾斜角を算出することを特徴とする荷電粒子線装置。
【請求項３】
請求項２に記載の荷電粒子線装置であって、
前記制御機構は、
前記比較用画像を履歴として保存し、
前記基準画像及び前記比較用画像の履歴を用いて、前記基準画像及び最新の前記比較用画像の各々に含まれる前記回折パターン間の移動量を前記回折パターンのシフト量として算出す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、
前記制御機構は、前記第１の角度とは異なる角度で傾斜した前記移動機構に保持された前記試料に対して前記荷電粒子線を照射することによって取得された前記回折パターンの画像を前記基準画像として設定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であって、
前記第１の角度は、前記目標傾斜角より小さいことを特徴とする荷電粒子線装置。
【請求項６】
荷電粒子線を照射して試料を観察する荷電粒子線装置であって、
試料を保持し、移動する移動機構と、
前記荷電粒子線を出力する粒子源と、
前記試料に対する前記荷電粒子線の照射方向及び焦点を調整する光学素子と、
前記荷電粒子線を照射した前記試料から放出される荷電粒子を検出する検出器と、
観察条件に基づいて、前記移動機構、前記粒子源、前記光学素子、及び前記検出器を制御する制御機構と、を備え、
前記制御機構は、
前記移動機構を第１の角度だけ傾斜させた後に複数の菊池線を含む回折パターンの画像を比較用画像として取得し、
前記第１の角度とは異なる角度で傾斜した前記移動機構に保持された前記試料に対して前記荷電粒子線を照射して、前記回折パターンの画像を加工用画像として取得し、
前記加工用画像及び目標傾斜角に基づいて、前記加工用画像に含まれる回折パターンを任意の方向にシフトさせた画像を生成して、当該画像を基準となる回折パターンの基準画像として設定し、
前記基準画像及び前記比較用画像を用いて、前記基準画像及び前記比較用画像の各々に含まれる前記回折パターン間の移動量である前記回折パターンのシフト量を、前記試料の傾斜角及び前記目標傾斜角の誤差を評価するための値として算出し、
前記回折パターンのシフト量に基づいて、前記移動機構の傾斜を調整することを特徴とする荷電粒子線装置。
【請求項７】
請求項６に記載の荷電粒子線装置であって、
前記第１の角度は、前記目標傾斜角より小さいことを特徴とする荷電粒子線装置。
【請求項８】
荷電粒子線を照射して試料を観察する荷電粒子線装置の制御方法であって、
試料を保持し、移動する移動機構と、
前記荷電粒子線を出力する粒子源と、
前記試料に対する前記荷電粒子線の照射方向及び焦点を調整する光学素子と、
前記荷電粒子線を照射した前記試料から放出される荷電粒子を検出する検出器と、

観察条件に基づいて、前記移動機構、前記粒子源、前記光学素子、及び前記検出器を制御する制御機構と、を備え、
前記荷電粒子線装置の制御方法は、
前記制御機構が、前記移動機構を第１の角度だけ傾斜させた後に複数の菊池線を含む回折パターンの画像を比較用画像として取得する第１のステップと、
前記制御機構が、基準となる回折パターンの基準画像及び前記比較用画像を用いて前記試料の傾斜角及び目標傾斜角の誤差を評価する第２のステップと、
前記制御機構が、前記評価の結果に基づいて、前記移動機構の傾斜を調整する第３のステップと、を含み、
前記第３のステップは、前記制御機構が、前記試料の傾斜角及び前記目標傾斜角の誤差が生じていると判定された場合、当該誤差及び既定値の少なくともいずれかに基づいて前記第１の角度を更新するステップを含み、
前記第１のステップは、前記制御機構が、前記移動機構を前記更新された第１の角度だけ傾斜させた後に前記回折パターンの画像を前記比較用画像として取得するステップを含むことを特徴とする荷電粒子線装置の制御方法。
【請求項９】
請求項８に記載の荷電粒子線装置の制御方法であって、
前記第２のステップは、
前記制御機構が、前記基準画像及び前記比較用画像を用いて、前記基準画像及び前記比較用画像の各々に含まれる前記回折パターン間の移動量である前記回折パターンのシフト量を算出する第４のステップと、
前記制御機構が、前記検出器及び前記試料の間の距離、並びに、前記回折パターンのシフト量に基づいて、前記試料の傾斜角を算出する第５のステップと、を含むことを特徴とする荷電粒子線装置の制御方法。
【請求項１０】
請求項９に記載の荷電粒子線装置の制御方法であって、
前記第１のステップは、前記制御機構が、前記比較用画像を履歴として保存するステップを含み、
前記第４のステップは、前記制御機構が、前記基準画像及び前記比較用画像の履歴を用いて、前記基準画像及び最新の前記比較用画像の各々に含まれる前記回折パターン間の移動量を前記回折パターンのシフト量として算出するステップを含むことを特徴とする荷電粒子線装置の制御方法。
【請求項１１】
請求項８に記載の荷電粒子線装置の制御方法であって、
前記制御機構が、前記第１の角度とは異なる角度で傾斜した前記移動機構に保持された前記試料に対して前記荷電粒子線を照射することによって取得された前記回折パターンの画像を前記基準画像として設定するステップを含むことを特徴とする荷電粒子線装置の制御方法。
【請求項１２】
請求項８に記載の荷電粒子線装置の制御方法であって、
前記第１の角度は、前記目標傾斜角より小さいことを特徴とする荷電粒子線装置の制御方法。
【請求項１３】
荷電粒子線を照射して試料を観察する荷電粒子線装置の制御方法であって、
試料を保持し、移動する移動機構と、
前記荷電粒子線を出力する粒子源と、
前記試料に対する前記荷電粒子線の照射方向及び焦点を調整する光学素子と、
前記荷電粒子線を照射した前記試料から放出される荷電粒子を検出する検出器と、
観察条件に基づいて、前記移動機構、前記粒子源、前記光学素子、及び前記検出器を制御する制御機構と、を備え、

前記荷電粒子線装置の制御方法は、
前記制御機構が、前記移動機構を第１の角度だけ傾斜させた後に複数の菊池線を含む回折パターンの画像を比較用画像として取得する第１のステップと、
前記制御機構が、前記第１の角度とは異なる角度で傾斜した前記移動機構に保持された前記試料に対して前記荷電粒子線を照射して、前記回折パターンの画像を加工用画像として取得する第２のステップと、
前記制御機構が、前記加工用画像及び目標傾斜角に基づいて、前記加工用画像に含まれる回折パターンを任意の方向にシフトさせた画像を生成して、当該画像を基準となる回折パターンの基準画像として設定する第３のステップと、
前記制御機構が、前記基準画像及び前記比較用画像を用いて前記試料の傾斜角及び前記目標傾斜角の誤差を評価する第４のステップと、
前記制御機構が、前記評価の結果に基づいて、前記移動機構の傾斜を調整する第５のステップと、を含み、
前記第４のステップは、前記制御機構が、前記基準画像及び前記比較用画像を用いて、前記基準画像及び前記比較用画像の各々に含まれる前記回折パターン間の移動量である前記回折パターンのシフト量を、前記試料の傾斜角及び前記目標傾斜角の誤差を評価するための値として算出するステップを含み、
前記第５のステップは、前記制御機構が、前記回折パターンのシフト量に基づいて、前記移動機構の傾斜を調整するステップを含むことを特徴とする荷電粒子線装置の制御方法。
【請求項１４】
請求項１３に記載の荷電粒子線装置の制御方法であって、
前記第１の角度は、前記目標傾斜角より小さいことを特徴とする荷電粒子線装置の制御方法。
【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等の荷電粒子線装置を用いた試料の観察では、電子線を照射する試料の結晶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、画像の滲みを抑えた高解像度の画像が得られる。試料の結晶方位は試料の外観から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、外観からはわからない。外観で試料の結晶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（回折パターン）を用いて試料の結晶方位のズレ量及び方向を算出する必要がある。
【０００３】
試料の結晶方位を算出する方法としては、特許文献１及び特許文献２に記載されているような回折図形を用いた方法が知られている。
【０００４】
特許文献１には、回折図形に含まれる回折スポットを利用して試料の結晶方位の算出方法が記載されている。具体的には、「表示部（１３）に表示された電子線回折パターン（２２ｂ）における回折スポットの輝度分布に基づいて、メインスポット（２３）が円周上に位置するように重ね合わせて表示されるフィッティング用の円形状パターン（２６）を設定し、当該表示された円形状パターン（２６）の中心位置（２７）を始点とし、円形状パターン（２６）の円周上に位置するメインスポット（２３）の位置を終点として表示されるベクトル（２８）を設定し、当該表示されたベクトル（２８）の向き、及び大きさに基づいて、結晶方位合わせを実行する」観察方法が開示されている。
【０００５】
特許文献２には、「試料台の上の載置された試料の表面に荷電粒子線を入射させる荷電

粒子線装置に用いられ、前記試料に対する前記荷電粒子線の入射方向の変更に必要となる前記試料および／または前記荷電粒子線の、傾斜方向および傾斜量を制御するための指令値である傾斜角度量を算出する装置であって、前記試料に対する前記荷電粒子線の入射方向が所定の入射方向である状態における、前記表面の選択された位置の結晶の結晶座標系に対する前記荷電粒子線の入射方向を表す図である結晶方位図上で指定された、前記荷電粒子線の前記結晶に対する入射方向を示す情報に基づいて、前記傾斜角度量を算出する傾斜角度量算出部を備える、傾斜角度量算出装置」が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００６】

【文献】国際公開第２０１６／００６３７５号
国際公開第２０１８／２２１６３６号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

所望の解像度の画像を得るためには、算出された試料の結晶方位にしたがって、試料を固定する試料ステージを移動させる必要がある。しかし、試料ステージの移動は、試料ステージの調整精度に依存することから、理想的な試料ステージの移動と実際の試料ステージの移動との間にはズレが生じる。特に、試料ステージの傾斜角の調整精度が低い。

【０００８】

したがって、一般的に、試料ステージの移動後の試料の結晶方位は、所望の試料の結晶方位と一致しない。そのため、試料の結晶構造等を分析する場合、従来は、ユーザが得られた画像とシミュレーション結果とを照らし合わせて確認する必要があった。

【０００９】

本発明は、自動的かつ高い精度に、所望の試料の結晶方位に調整可能な荷電粒子線装置を実現する。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

本願において開示される発明の代表的な一例を示せば以下の通りである。すなわち、荷電粒子線を照射して試料を観察する荷電粒子線装置であって、試料を保持し、移動する移動機構と、前記荷電粒子線を出力する粒子源と、前記試料に対する前記荷電粒子線の照射方向及び焦点を調整する光学素子と、前記荷電粒子線を照射した前記試料から放出される荷電粒子を検出する検出器と、観察条件に基づいて、前記移動機構、前記粒子源、前記光学素子、及び前記検出器を制御する制御機構と、を備え、前記制御機構は、前記移動機構を第１の角度だけ傾斜させた後に複数の菊池線を含む回折パターンの画像を比較用画像として取得し、基準となる回折パターンの基準画像及び前記比較用画像を用いて前記試料の傾斜角及び目標傾斜角の誤差を評価し、前記試料の傾斜角及び前記目標傾斜角の誤差が生じていると判定された場合、当該誤差及び既定値の少なくともいずれかに基づいて前記第１の角度を更新し、前記移動機構を前記更新された第１の角度だけ傾斜させた後に前記回折パターンの画像を前記比較用画像として取得する。

【発明の効果】

【００１１】

本発明によれば、自動的かつ高い精度に、所望の試料の結晶方位に調整可能な荷電粒子線装置を実現できる。前述した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施例の説明によって明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】実施例１の透過電子顕微鏡（ＴＥＭ）の構成の一例を示す図である。

【図２】実施例１のＴＥＭが実行する試料ステージ調整処理を説明するフローチャートである。

【図３Ａ】実施例１のＴＥＭによって取得される回折パターンの画像の一例を示す図である。
【図３Ｂ】実施例１のＴＥＭによって取得される回折パターンの画像の一例を示す図である。
【図３Ｃ】実施例１のＴＥＭによって取得される回折パターンの画像の一例を示す図である。
【図４】実施例１の試料ステージの傾斜角及び回折パターンのシフト量の関係を示すグラフである。
【図５】実施例１の実施例１の試料ステージの傾斜角及び回折パターンのシフト量の幾何学的関係を示す図である。
【図６Ａ】実施例１の試料ステージの傾斜角及び試料の傾斜角の関係を示すグラフである。
【図６Ｂ】実施例１の試料ステージの傾斜角及び試料の傾斜角の関係を示すグラフである。
【図７】実施例２の試料ステージの傾斜角と、目標回折パターン及び回折パターンＢの相関値との間の関係を示すグラフである。
【図８】実施例２の試料ステージの傾斜角と、試料の傾斜角φ及び目標傾斜角θの誤差との間の関係を示すグラフである。
【図９】実施例２のＴＥＭが実行する試料ステージ調整処理を説明するフローチャートである。
【図１０Ａ】実施例２のＴＥＭによって取得される回折パターンの画像の一例を示す図である。
【図１０Ｂ】実施例２のＴＥＭによって生成された目標回折パターンの画像の一例を示す図である。
【図１１】実施例３のＴＥＭが実行する試料ステージ調整処理を説明するフローチャートである。
【図１２】実施例３のＴＥＭによって取得される回折パターンの画像のシリーズの一例を示す図である。
【図１３】実施例３の試料ステージの傾斜角及びシフト量の関係の一例を示す図である。
【図１４】実施例４のＴＥＭが実行する試料ステージ調整処理を説明するフローチャートである。
【図１５】実施例４のＴＥＭによって表示される画面の一例を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１３】
以下、本発明の実施例を、図面を用いて説明する。ただし、本発明は以下に示す実施例の記載内容に限定して解釈されるものではない。本発明の思想ないし趣旨から逸脱しない範囲で、その具体的構成を変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。
【００１４】
以下に説明する発明の構成において、同一又は類似する構成又は機能には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。
【００１５】
本明細書等における「第１」、「第２」、「第３」等の表記は、構成要素を識別するために付するものであり、必ずしも、数又は順序を限定するものではない。
【００１６】
図面等において示す各構成の位置、大きさ、形状、及び範囲等は、発明の理解を容易にするため、実際の位置、大きさ、形状、及び範囲等を表していない場合がある。したがって、本発明では、図面等に開示された位置、大きさ、形状、及び範囲等に限定されない。
【実施例１】
【００１７】
図１は、実施例１の透過電子顕微鏡（ＴＥＭ：Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｙ）の構成の一例を示す図である。
【００１８】

ＴＥＭ１００は、電子光学系鏡筒１０１及び制御ユニット１０２から構成される。

【００１９】

電子光学系鏡筒１０１は、電子源１１１、第１、第２コンデンサレンズ１１２、コンデンサ絞り１１３、軸ずれ補正用偏向器１１４、スティグメータ１１５、イメージシフト用偏向器１１６、対物レンズ１１７、試料ステージ１１８、中間レンズ１１９、投射レンズ１２０、及びＣＣＤカメラ１２１を有する。電子光学系鏡筒１０１に含まれる前述のデバイスを区別しない場合、対象デバイスとも記載する。

【００２０】

試料ステージ１１８は試料１２２を保持する。試料１２２は、試料ステージ１１８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１１８若しくは試料ホルダ又はこれらの組合せは、試料１２２の保持及び移動を実現する移動機構の一例である。

【００２１】

試料ステージ１１８の移動には、傾斜移動、シフト移動、及び回転移動等が含まれる。試料ステージ１１８は、一つ又は複数の傾斜軸（回転軸）において傾斜させることができる。

【００２２】

粒子源である電子源１１１から放出された電子線は、第１、第２コンデンサレンズ１１２で縮小され、コンデンサ絞り１１３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１１４、スティグメータ１１５、イメージシフト用偏向器１１６による軸調整が行われた後、対物レンズ１１７前の磁場により、試料１２２に平行な方向で照射される。

【００２３】

第１、第２コンデンサレンズ１１２、コンデンサ絞り１１３、軸ずれ補正用偏向器１１４、スティグメータ１１５、イメージシフト用偏向器１１６、対物レンズ１１７、試料ステージ１１８、中間レンズ１１９、及び投射レンズ１２０は、試料１２２に対する電子線の方向及び焦点を調整する光学素子の一例である。

【００２４】

通常、ＴＥＭ１００では、回折パターン（回折図形）は、対物レンズ１１７の後磁場の影響により、対物レンズ１１７と中間レンズ１１９との間に位置する後ろ側の焦点面に形成される。また、回折パターンは、中間レンズ１１９及び投射レンズ１２０により拡大され、ＣＣＤカメラ１２１によって検出される。

【００２５】

ＣＣＤカメラ１２１は、電子線を照射した試料１２２から放出される信号を検出する検出器の一例である。

【００２６】

制御ユニット１０２である計算機は、複数の制御回路を使用して、電子光学系鏡筒１０１を制御する。制御ユニット１０２は、電子銃制御回路１５１、照射レンズ制御回路１５２、コンデンサ絞り制御回路１５３、軸ずれ補正用偏向器制御回路１５４、スティグメータ制御回路１５５、イメージシフト用偏向器制御回路１５６、対物レンズ制御回路１５７、試料ステージ制御回路１５８、中間レンズ制御回路１５９、投射レンズ制御回路１６０、及びＣＣＤカメラ制御回路１６１を含む。

【００２７】

制御ユニット１０２は、各制御回路を介して、各対象デバイスの値を取得し、また、各制御回路を介して各対象デバイスに値を入力することによって任意の電子光学条件を作り出す。制御ユニット１０２は、電子光学系鏡筒１０１の制御を実現する制御機構の一例である。

【００２８】

制御ユニット１０２は、後述するように、回折スポットを含む回折パターンの代わりに、複数の菊池線を含む回折パターンを用いて、試料ステージ１１８の傾斜角を調整する。

【００２９】

一般的に、回折スポットを含む回折パターンを取得するためには、試料に照射する一次電子線の照射角（開き角とも言う）を数ｍｒａｄ近くまで細くする必要がある。これは、照射する一次電子線が広がっていると検出器で取得する際の回折スポットも広がり、隣接するスポットと重なることでスポット位置の分離が困難となるためである。

【００３０】

数マイクロメートルの穴径の照射絞りを利用して、細い一次電子線を実現する方法を採用した場合、照射絞りに電子線照射に伴うコンタミネーションの付着が発生しやすく、照射絞りの交換頻度が増える。一次電子線を制御する照射レンズの強さを調整して、細い一次電子線を実現する方法を採用した場合、照射レンズの強さを変えると励磁条件が変わる。そのため、電子顕微鏡の軸調整の再調整する必要がある。また、観察条件と異なる条件で試料の結晶方位を調整した場合、正確な試料の結晶方位を算出できない可能性がある。

【００３１】

一方、菊池パターンを含む回折パターンを取得する場合、一次電子線の照射角は３０ｍｒａｄより大きくできるため、前述のような電子線の制限がない。また、菊池パターンを含む回折パターンは、回折空間において連続的な強度分布を持つという特性がある。

【００３２】

制御ユニット１０２は、プロセッサ１７１、主記憶装置１７２、補助記憶装置１７３、入力装置１７４、出力装置１７５、及びネットワークインタフェース１７６を有する。各デバイスはバスを介して互いに接続される。

【００３３】

プロセッサ１７１は、主記憶装置１７２に格納されるプログラムを実行する。プロセッサ１７１がプログラムにしたがって処理を実行することによって様々な機能部として機能する。

【００３４】

主記憶装置１７２は、半導体メモリ等の記憶装置であり、プロセッサ１７１が実行するプログラム及びデータを格納する。また、主記憶装置１７２は、プログラムが一時的に使用するワークエリアとしても用いられる。主記憶装置１７２には、例えば、オペレーティングシステム、ＴＥＭ１００の対象デバイスを制御するプログラム、試料１２２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等が格納される。

【００３５】

本明細書では、ＴＥＭ１００（制御ユニット１０２）を主体に処理を説明する場合、いずれかのプログラムを実行するプロセッサ１７１が処理を実行していることを表す。

【００３６】

補助記憶装置１７３は、ＨＤＤ（Ｈａｒｄ　Ｄｉｓｋ　Ｄｒｉｖｅ）及びＳＳＤ（Ｓｏｌｉｄ　Ｓｔａｔｅ　Ｄｒｉｖｅ）等の記憶装置であり、データを永続的に格納する。主記憶装置１７２に格納されるプログラム及びデータは、補助記憶装置１７３に格納されてもよい。この場合、プロセッサ１７１は、制御ユニット１０２の起動時又は処理の必要な場合に、プログラム及びデータを補助記憶装置１７３から読み出し、主記憶装置１７２にロードする。

【００３７】

入力装置１７４は、キーボード、マウス、タッチパネル等、ユーザが制御ユニット１０２に指示及び情報を入力するための装置である。出力装置１７５は、ディスプレイ及びプリンタ等、ユーザに画像、解析結果等を出力するための装置である。ネットワークインタフェース１７６は、ネットワークを介して通信を行うためのインタフェースである。

【００３８】

図１では、制御ユニット１０２は、一つの計算機として説明しているが、複数の計算機を用いて制御ユニット１０２を構成してもよい。なお、制御ユニット１０２が有する機能は、論理回路を用いて実現してもよい。

【００３９】

なお、実施例１で説明する構成及び処理は、ＴＥＭ１００以外の荷電粒子線装置にも適

用できる。例えば、走査透過電子顕微鏡（ＳＴＥＭ：Ｓｃａｎｎｉｎｇ Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｙ）、二次電子及び反射電子を検出するＳＥＭ（Ｓｃａｎｎｉｎｇ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｙ）、及び電子と異なる荷電粒子を使用する装置にも適用可能である。

【００４０】

ＳＴＥＭは、ＴＥＭ１００と異なり、試料１２２に収束した電子線を照射し、イメージシフト用偏向器１１６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１２１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、制御ユニット１０２が画像を表示する。

【００４１】

図２は、実施例１のＴＥＭ１００が実行する試料ステージ調整処理を説明するフローチャートである。図３Ａ、図３Ｂ、及び図３Ｃは、実施例１のＴＥＭ１００によって取得される回折パターンの画像の一例を示す図である。図４は、実施例１の試料ステージ１１８の傾斜角及び回折パターンのシフト量の関係を示すグラフである。図５は、実施例１の実施例１の試料ステージ１１８の傾斜角及び回折パターンのシフト量の幾何学的関係を示す図である。図６Ａ及び図６Ｂは、実施例１の試料ステージ１１８の傾斜角及び試料１２２の傾斜角の関係を示すグラフである。

【００４２】

図２では、ＴＥＭ１００が自動的に、一つの傾斜軸において所定の試料１２２の傾斜角（目標傾斜角）となるように試料ステージ１１８を調整するための処理を説明する。なお、処理の開始時点において、試料１２２は視野中央付近に存在する状態であるものとする。

【００４３】

制御ユニット１０２は、電子光学系鏡筒１０１に、加速電圧及び照射電流等の観察条件を設定する（ステップＳ１０１）。

【００４４】

このとき、制御ユニット１０２は、観察条件として、所望の解像度の画像を取得するための試料１２２の目標傾斜角θを設定する。ここでは、目標傾斜角θは予め決定されているものとする。また、制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８の傾斜を調整するためのパラメータである傾斜角ψに目標傾斜角を設定する。

【００４５】

次に、制御ユニット１０２は、試料１２２の像が鮮明となるように、コントラスト、フォーカス、試料１２２の位置を調整する（ステップＳ１０２）。具体的には、以下のような処理が実行される。

【００４６】

制御ユニット１０２は、対物レンズ制御回路１５７に信号を送信することによって、試料１２２の像が鮮明となるように対物レンズ１１７に流れる対物レンズ電流値を調整する。フォーカスの調整を行うことによって、対物レンズ１１７に流れる対物レンズ電流値は電子光学系鏡筒１０１に設定される基準となる対物レンズ電流値ＩＡ（基準対物レンズ電流値ＩＡ）から変化する。

【００４７】

また、制御ユニット１０２は、対物レンズ電流値ＩＢと、基準対物レンズ電流値ＩＡとの差から、基準対物レンズ電流値ＩＡで試料１２２の像が鮮明となる高さを求める。例えば、調整前の試料高さＨ０、調整後の試料高さＨ１とした時、調整後の試料高さＨ１は式（１）から求まる。ここで、Ａは対物レンズ電流値及びフォーカスの合う試料高さの関係から算出される係数であり、単位は「ｕｍ／Ａ」をとる。

【００４８】

【数１】

$$H1 = (IA - IB) \times A + \mathrm{H0} \ldots (1)$$

【００４９】
式（１）を用いることによって、フォーカスが調整された後の対物レンズ電流値ＩＢと基準対物レンズ電流値ＩＡの差から、試料高さＨ１を算出することができる。
【００５０】
制御ユニット１０２は、試料ステージ制御回路１５８を介して、試料高さＨ１に基づく試料ステージ１１８の試料高さの調整を行う。試料高さを調整することによってＴＥＭ１００の基準対物レンズ電流値ＩＡで鮮明な試料１２２の像を観察できる。以上がステップＳ１０２の処理の説明である。
【００５１】
次に、制御ユニット１０２は、対物レンズ電流値を調整することによってデフォーカスを行う（ステップＳ１０３）。これは、菊池線を含む画像（回折パターン）を取得するための操作である。デフォーカスの調整量は、電子光学系鏡筒１０１及び照射系の条件によって異なる。例えば、菊池線を明瞭に観察し易いデフォーカスの調整量としては５ｕｍから５０ｕｍ程度が適切であるが、５０ｕｍ以上デフォーカスしても本特許を適用することができる。
【００５２】
具体的には、制御ユニット１０２は、係数Ａを用いて、デフォーカスの調整量分だけ対物レンズ電流値を基準対物レンズ電流値ＩＡから調整する。調整した対物レンズ電流量ＩＣは、式（２）から求まる。ここで、Ｄはデフォーカス量を表す。
【００５３】
【数２】

$$IC = D \times A + \mathrm{IA} \ldots (2)$$

【００５４】
なお、一般にデフォーカスには試料１２２より電子銃側に電子線の交点をもつ場合と試料１２２より下側に交点をもつ二つの場合があるが、デフォーカスの取り方はどちらであってもよい。
【００５５】
実施例１では、多重散乱に起因する菊池線を含む回折パターンを利用して、試料１２２の傾斜角を算出する。
【００５６】
菊池線を記録するためのＴＥＭ１００の光学系は様々あるが、例えば試料に大きな開き角（例えば、数１００ｍｒａｄ程度）の電子線を入射することによって得られる回折パターンを用いる。なお、試料１２２に対する一次ビームの開き角は２０ｍｒａｄ程度であっても画像処理のパラメータを調整することによって同様の回折パターンを取得できるようにしてもよい。上述の開き角は加速電圧２００ｋＶ程度を想定しているが、加速電圧が低い場合には、一次ビームの波長に応じて散乱角が変わるため、同程度の回折パターンを得るのに必要な一次ビームの開き角は小さくなる。
【００５７】
例えば、必要となる開き角の目安として、開き角αを波長λで割ったパラメータが一定となるように調整することがある。これはブラッグの法則を近似したものであり、より正確にはｓｉｎαを波長λで割ったパラメータとなる。パラメータとして利用する場合は逆数（波長λを開き角αで割る）ものを利用しても結果は同じとなる。
【００５８】
例えば、加速電圧２００ｋＶにおいて２００ｍｒａｄであれば、波長は２．５ｐｍであることを利用して、２００／２．５［ｍｒａｄ／ｐｍ］＝８０［ｍｒａｄ／ｐｍ］が一定となるように６０ｋＶ（波長４．８ｐｍ）の時は３８４ｍｒａｄとなる。同様に試料に照射する２００ｋＶの一次ビームの開き角が３０ｍｒａｄであれば、５７．６ｍｒａｄとなる。

【００５９】
次に、制御ユニット１０２は、複数の菊池線を含む回折パターンの画像Ａ（基準画像）を取得する（ステップＳ１０４）。以下の説明では、取得された画像Ａに写し出された回折パターンを回折パターンＡとも記載する。
【００６０】
具体的には、制御ユニット１０２は、ＣＣＤカメラ制御回路１６１を介して、記録の信号をＣＣＤカメラ１２１に送信することによって、回折パターンの画像を取得する。例えば、図３Ａに示すような回折パターンの画像３００が取得される。なお、画像３００に含まれる直線３０１は菊池線である。このように、画像３００には複数の菊池線を含む回折パターンが写し出される。
【００６１】
なお、回折パターンの画像を取得する場合、ＴＥＭ１００は、試料１２２の特定の位置に固定した電子線を照射してもよいし、イメージシフト用偏向器１１６等を制御して試料１２２の一部領域を走査するように電子線を照射してもよい。試料１２２の一部領域を走査するように電子線を照射することによって、画像のコントラスト等が鮮明になる効果が期待できる。
【００６２】
次に、制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８を移動させた後（ステップＳ１０５）、回折パターンの画像Ｂ（比較用画像）を取得する（ステップＳ１０６）。以下の説明では、取得された画像Ｂに写し出された回折パターンを回折パターンＢとも記載する。
【００６３】
具体的には、制御ユニット１０２は、傾斜角ψに基づいて、試料ステージ制御回路１５８に対し信号を送信することによって、試料ステージ１１８を移動（回転）させる。制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８の移動後に、図３Ｂに示すような回折パターンが写し出された画像３１０を取得する。
【００６４】
次に、制御ユニット１０２は、回折パターンＡ及び回折パターンＢを用いて回折パターンのシフト量Ｓを算出する（ステップＳ１０７）。
【００６５】
具体的には、制御ユニット１０２は、回折パターンＡ及び回折パターンＢを比較し、相関関数による相関値から回折パターンのシフト量を算出する。例えば、図４は、試料ステージ１１８を２度傾斜した時の傾斜角とシフト量との関係を示すグラフの一例である。シフト量は、一般的に、相関値が最大となる移動ピクセル数として算出される。ただし、画像マッチング等で特徴量の変化としてシフト量が算出されてもよい。
【００６６】
菊池線を含む回折パターンは回折空間において連続的な強度分布を持つという特性があるため、回折パターンのシフト量を算出することができる。
【００６７】
次に、制御ユニット１０２は、回折パターンのシフト量Ｓを用いて、試料１２２の傾斜角φを算出する（ステップＳ１０８）。
【００６８】
図５に示すように、試料１２２の傾斜角φは、カメラ長Ｌ及びシフト量Ｓから式（３）により求めることができる。
【００６９】
【数３】

$$\tan\varphi = \frac{S}{L} \ldots (3)$$

【００７０】

なお、カメラ長Ｌは、既知の構造の試料１２２の回折パターン等を解析することによって算出することができる。

【００７１】

次に、制御ユニット１０２は、試料１２２の傾斜角φが目標傾斜角θと一致するか否かを判定する（ステップＳ１０９）。

【００７２】

図６Ａに示すように、試料ステージ１１８の傾斜精度により、試料１２２の傾斜角φと目標傾斜角θとの間には誤差は生じうる。誤差が生じた場合、制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８の傾斜を調整する必要があると判定する。

【００７３】

なお、試料１２２の傾斜角φ及び目標傾斜角θの誤差が閾値より小さい場合、制御ユニット１０２は、試料１２２の傾斜角φが目標傾斜角θと一致すると判定してもよい。

【００７４】

試料１２２の傾斜角φが目標傾斜角θと一致すると判定された場合、制御ユニット１０２は、試料ステージ調整処理を終了する。当該処理の終了後、制御ユニット１０２は試料１２２の観察等の処理を実行する。なお、試料１２２の観察を行う場合、観察条件はそのまま用いることができる。

【００７５】

試料１２２の傾斜角φが目標傾斜角θと一致しないと判定された場合、制御ユニット１０２は、現在の傾斜角ψに目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差を加算した値を、新たな傾斜角ψに設定し（ステップＳ１１０）、その後、ステップＳ１０５に戻る。この場合、ステップＳ１０６では、図３Ｃに示すような回折パターンが写し出された画像３２０が取得される。

【００７６】

図６Ｂに示すように、制御ユニット１０２は、試料１２２の傾斜角φが目標傾斜角θと一致するように、試料ステージ１１８の傾斜を自動的に調整できる。

【００７７】

傾斜軸が二つ存在する場合、各傾斜軸に対して目標傾斜角を設定する。この場合、制御ユニット１０２は、二次元平面（ｘｙ平面）におけるシフト量に基づいて各傾斜軸に対する試料１２２の傾斜角を算出し、各傾斜軸の目標傾斜角と試料１２２の傾斜角との誤差に基づいて試料ステージ１１８の傾斜を調整する。

【００７８】

実施例１によれば、制御ユニット１０２は、菊池線を含む回折パターンを用いた解析を行うことによって、自動的、かつ、高い精度で試料ステージ１１８の傾斜を調整することができる。これによって、自動的かつ高い精度で、試料１２２の傾斜、すなわち、試料１２２の結晶方位を所望の方向に調整することができる。実施例１では、ユーザが回折パターンを参照する必要はなく、また、予め、試料の結晶構造等が未知であってもよい。

【実施例２】

【００７９】

実施例２では、制御ユニット１０２が、回折パターンＡの画像及び目標傾斜角θから目標回折パターンの画像を生成し、目標回折パターン及び回折パターンＢのシフト量に基づいて、試料ステージ１１８の傾斜を調整する。以下、実施例１との差異を中心に実施例２について説明する。

【００８０】

実施例２のＴＥＭ１００の構成は実施例１と同一である。実施例２では試料ステージ調整処理が異なる。

【００８１】

図７は、実施例２の試料ステージ１１８の傾斜角と、目標回折パターン及び回折パターンＢの相関値との間の関係を示すグラフである。図８は、実施例２の試料ステージ１１８の傾斜角と、試料１２２の傾斜角φ及び目標傾斜角θの誤差との間の関係を示すグラフで

ある。

【００８２】

図７に示すように、目標回折パターン及び回折パターンＢの相関値が最大となる角度が試料ステージ１１８の傾斜角として設定された場合、図８に示すように、試料１２２の傾斜角φ及び目標傾斜角θの誤差は最小となる。実施例２では前述の性質を利用する。

【００８３】

図９は、実施例２のＴＥＭ１００が実行する試料ステージ調整処理を説明するフローチャートである。図１０Ａは、実施例２のＴＥＭ１００によって取得される回折パターンの画像の一例を示す図である。図１０Ｂは、実施例２のＴＥＭ１００によって生成された目標回折パターンの画像の一例を示す図である。

【００８４】

ステップＳ１０１からステップＳ１０４までの処理は実施例１の処理と同一である。ただし、実施例２では、回折パターンの画像Ａは加工用画像として取得される。ステップＳ１０４の処理が実行された後、制御ユニット１０２は、回折パターンＡの画像及び目標傾斜角θに基づいて、目標回折パターンの画像（基準画像）を生成する（ステップＳ２０１）。

【００８５】

例えば、図１０Ａに示すような回折パターンの画像１０００から、図１０Ｂに示すような目標回折パターンの画像１０１０が生成される。

【００８６】

ステップＳ１０５及びステップＳ１０６の処理は実施例１の処理と同一である。ステップＳ１０６の処理が実行された後、制御ユニット１０２は、目標回折パターン及び回折パターンＢを用いて回折パターンのシフト量Ｓを算出する（ステップＳ２０２）。シフト量Ｓの算出方法は実施例１と同一である。

【００８７】

次に、制御ユニット１０２は、回折パターンのシフト量Ｓが０であるか否かを判定する（ステップＳ２０３）。すなわち、試料１２２の傾斜角φ及び目標傾斜角θの誤差は最小となるか否かが判定される。

【００８８】

回折パターンのシフト量Ｓが０であると判定された場合、制御ユニット１０２は試料ステージ調整処理を終了する。

【００８９】

回折パターンのシフト量Ｓが０でないと判定された場合、制御ユニット１０２は、シフト量Ｓを新たな傾斜角ψに設定し（ステップＳ２０４）、その後、ステップＳ１０５に戻る。

【００９０】

実施例２によれば、実施例１と同様に、制御ユニット１０２は、菊池線を含む回折パターンを用いた解析を行うことによって、自動的、かつ、高い精度で試料１２２の結晶方位を所望の方向に調整することができる。また、実施例２では、試料１２２の傾斜角を算出する必要がないため、処理コストの低減及び処理の高速化を実現できる。

【実施例３】

【００９１】

目標傾斜角θが大きい場合、試料ステージ１１８の移動に伴って、回折パターンのシフト量も大きくなる。したがって、移動前の回折パターン及び移動前の回折パターンに相関がなくなる場合がある。この場合、二つの回折パターンを比較しても回折パターンのシフト量を算出できない。実施例３では、目標傾斜角θが大きい場合にも自動的かつ高い精度で試料ステージ１１８の傾斜を調整できるようにする。以下、実施例１との差異を中心に実施例３について説明する。

【００９２】

実施例３のＴＥＭ１００の構成は実施例１と同一である。実施例３では試料ステージ調

整処理が異なる。

【００９３】

図１１は、実施例３のＴＥＭ１００が実行する試料ステージ調整処理を説明するフローチャートである。図１２は、実施例３のＴＥＭ１００によって取得される回折パターンの画像のシリーズの一例を示す図である。図１３は、実施例３の試料ステージ１１８の傾斜角及びシフト量の関係の一例を示す図である。

【００９４】

まず、制御ユニット１０２は、電子光学系鏡筒１０１に、加速電圧及び照射電流等の観察条件を設定する（ステップＳ３０１）。

【００９５】

ステップＳ３０１では、傾斜角ψにステップ傾斜角Δθが設定される。その他の処理はステップＳ１０１と同一である。ステップ傾斜角Δθは、目標傾斜角より小さい角度であって、既定値として予め設定されている。なお、ステップ傾斜角Δθは後述するように更新することができる。

【００９６】

ステップＳ１０２からステップＳ１０４の処理は実施例１の処理と同一である。ステップＳ１０４の処理が実行された後、制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８を移動させた後（ステップＳ３０２）、回折パターンの画像Ｂを取得する（ステップＳ１０６）。

【００９７】

具体的には、制御ユニット１０２は、傾斜角ψに基づいて、試料ステージ制御回路１５８に対し信号を送信することによって、試料ステージ１１８を移動させる。ステップＳ１０６の処理は実施例１と同一である。ただし、制御ユニット１０２は、取得した回折パターンＢの画像を主記憶装置１７２に格納する。したがって、主記憶装置１７２には、図１２に示すような回折パターンＢの画像のシリーズが格納されることとなる。

【００９８】

次に、制御ユニット１０２は、回折パターンＡ及び回折パターンＢのシリーズを用いて回折パターンのシフト量Ｓを算出する（ステップＳ３０３）。

【００９９】

具体的には、制御ユニット１０２は、傾斜角ψに基づく試料ステージ１１８の調整前後の回折パターンのペアを生成し、当該ペア間のシフト量を算出する。なお、回折パターンのシフト量の算出方法は実施例１と同一である。制御ユニット１０２は、各ペアのシフト量の合計値を、回折パターンのシフト量Ｓとして算出する。

【０１００】

なお、制御ユニット１０２は、図１３に示すように、ステップＳ３０３の処理結果を主記憶装置１７２に格納してもよい。図１３は２次元平面上のシフト量を示す。この場合、ペア間のシフト量は、ｘ方向のシフト量の自乗及びｙ方向のシフト量の自乗の和の平方根として与えられる。

【０１０１】

ステップＳ３０３の処理結果が主記憶装置１７２に格納される場合、制御ユニット１０２は、最新の回折パターンＢと一つ前の回折パターンＢとの間のシフト量に、前回の回折パターンのシフト量Ｓを加算した値を、新たな回折パターンのシフト量Ｓとして算出する。

【０１０２】

ステップＳ１０８及びステップＳ１０９の処理は実施例１と同一である。ステップＳ１０９において、試料１２２の傾斜角φが目標傾斜角θと一致しないと判定された場合、制御ユニット１０２は、目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差の絶対値がステップ傾斜角Δθより小さいか否かを判定する（ステップＳ３０４）。

【０１０３】

目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差の絶対値がステップ傾斜角Δθ以上であると判定された場合、制御ユニット１０２はステップＳ３０６に進む。

【０１０４】

目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差の絶対値がステップ傾斜角Δθより小さいと判定された場合、制御ユニット１０２は、目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差の絶対値を新たなステップ傾斜角Δθとして設定し（ステップＳ３０５）、その後、ステップＳ３０６に進む。

【０１０５】

ステップＳ３０６では、制御ユニット１０２は、現在の傾斜角ψにステップ傾斜角Δθを加算した値を、新たな傾斜角ψに設定し（ステップＳ３０６）、その後、ステップＳ３０２に戻る。

【０１０６】

制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８の傾斜を少しずつ変化させることによって、試料ステージ１１８を大きく傾斜させた場合の回折パターンのシフト量Ｓを算出できる。また、目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの誤差に応じてステップ傾斜角Δθを更新することによって、試料ステージ１１８の傾斜の調整精度を高めることができる。

【０１０７】

実施例３によれば、目標傾斜角θが大きい場合にも自動的、かつ、高い精度で試料１２２の結晶方位を所望の方向に調整することができる。

【実施例４】

【０１０８】

実施例４では、制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８の移動後に、鮮明な回折パターンを取得できるようにＴＥＭ１００の設定を調整する。以下、実施例１との差異を中心に、実施例４について説明する。

【０１０９】

実施例４のＴＥＭ１００の構成は実施例１と同一である。実施例４では試料ステージ調整処理が異なる。

【０１１０】

図１４は、実施例４のＴＥＭ１００が実行する試料ステージ調整処理を説明するフローチャートである。

【０１１１】

まず、制御ユニット１０２は、電子光学系鏡筒１０１に、加速電圧及び照射電流等の観察条件を設定する（ステップＳ４０１）。

【０１１２】

ステップＳ４０１では、傾斜角ψにステップ傾斜角Δθが設定される。その他の処理はステップＳ１０１と同一である。ステップ傾斜角Δθは、目標傾斜角より小さい角度であって、既定値として予め設定されている。なお、ステップ傾斜角Δθは後述するように更新することができる。

【０１１３】

ステップＳ１０２からステップＳ１０４の処理は実施例１の処理と同一である。ステップＳ１０４の処理が実行された後、制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８を移動させた後（ステップＳ４０２）、試料位置の調整及びデフォーカスを行う（ステップＳ４０３、ステップＳ４０４）。その後、制御ユニット１０２は回折パターンの画像Ｂを取得する（ステップＳ１０６）。

【０１１４】

ステップＳ４０２では、制御ユニット１０２は、傾斜角ψに基づいて、試料ステージ制御回路１５８に対し信号を送信することによって、試料ステージ１１８を移動させる。ステップＳ４０３では、制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８の傾斜に伴って、試料１２２の高さのズレを補正するように、試料ステージ１１８を移動させる。ステップＳ４０４はステップＳ１０３と同一の処理である。ステップＳ１０６では、制御ユニット１０２は、回折パターンＢの画像を主記憶装置１７２に一時的に格納する。主記憶装置１７２には、回折パターンＢの画像のシリーズが格納される。

【０１１５】

次に、制御ユニット１０２は、回折パターンＡ及び回折パターンＢのシリーズを用いて回折パターンのシフト量Ｓを算出する（ステップＳ４０５）。

【０１１６】

具体的には、制御ユニット１０２は、傾斜角ψに基づく試料ステージ１１８の調整前後の回折パターンのペアを生成し、当該ペアについてシフト量を算出する。なお、回折パターンのシフト量の算出方法は実施例１と同一である。制御ユニット１０２は、各ペアのシフト量の合計値を、回折パターンのシフト量Ｓとして算出する。

【０１１７】

なお、制御ユニット１０２は、ステップＳ４０５の処理結果を主記憶装置１７２に格納してもよい。この場合、制御ユニット１０２は、最新の回折パターンＢと一つ前の回折パターンＢのシフト量に、前回の回折パターンのシフト量Ｓを加算した値を、新たな回折パターンのシフト量Ｓとして算出する。

【０１１８】

ステップＳ１０８及びステップＳ１０９の処理は実施例１と同一である。ステップＳ１０９において、試料１２２の傾斜角φが目標傾斜角θと一致しないと判定された場合、制御ユニット１０２は、目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差の絶対値がステップ傾斜角Δθより小さいか否かを判定する（ステップＳ４０６）。

【０１１９】

目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差の絶対値がステップ傾斜角Δθ以上であると判定された場合、制御ユニット１０２はステップＳ４０８に進む。

【０１２０】

目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差の絶対値がステップ傾斜角Δθより小さいと判定された場合、制御ユニット１０２は、目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの差の絶対値を新たなステップ傾斜角Δθとして設定し（ステップＳ４０７）、その後、ステップＳ４０８に進む。

【０１２１】

ステップＳ４０８では、制御ユニット１０２は、現在の傾斜角ψにステップ傾斜角Δθを加算した値を、新たな傾斜角ψに設定し（ステップＳ４０８）、その後、ステップＳ４０２に戻る。

【０１２２】

制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８の傾斜を少しずつ変化させることによって、試料ステージ１１８を大きく傾斜させた場合の回折パターンのシフト量Ｓを算出できる。また、目標傾斜角θ及び試料１２２の傾斜角φの誤差に応じてステップ傾斜角Δθを更新することによって、試料ステージ１１８の傾斜の調整精度を高めることができる。また、制御ユニット１０２は、試料ステージ１１８の移動後に、試料ステージ１１８の位置を調整し、再度、デフォーカスを行うことによって、鮮明な回折パターンを取得することができる。

【０１２３】

なお、制御ユニット１０２は、ステップＳ１０２の処理の後及びステップＳ４０２の処理の後に、試料１２２の像を取得してもよい。

【０１２４】

図１５は、実施例４のＴＥＭ１００によって表示される画面１５００の一例を示す図である。

【０１２５】

画面１５００は、四つの表示欄１５０１、１５０２、１５０３、１５０４を含む。

【０１２６】

表示欄１５０１は、試料ステージ調整処理の開始前のＴＥＭ１００の状態等の情報を表示する欄である。表示欄１５０１は、試料１２２の像１５１１、回折パターンの画像１５１２、及び試料ステージ１１８の状態を示すパラメータ欄１５１３を含む。

【０１２７】

表示欄１５０２は、試料ステージ調整処理の終了後のＴＥＭ１００の状態等の情報を表示する欄である。表示欄１５０２は、試料１２２の像１５２１、回折パターンの画像１５２２、及び試料ステージ１１８の状態を示すパラメータ欄１５２３を含む。

【０１２８】

表示欄１５０３は、シフト量Ｓの算出時に用いた回折パターンに関する情報を表示する欄である。表示欄１５０３には、シフト量の算出時に用いた回折パターンのシリーズから生成されたマップ画像１５３１、並びに、シフト量及び試料ステージ１１８の傾斜角等を表示する算出値欄１５３２を含む。

【０１２９】

表示欄１５０４は、シフト量Ｓ及び試料１２２の傾斜角φの履歴を表示する欄である。表示欄１５０４は、シフト量Ｓの履歴を表示するグラフ１５４１及び試料１２２の傾斜角φの履歴を表示するグラフ１５４２を含む。

【０１３０】

ユーザは、画面１５００を参照することによって、試料ステージ１１８の調整結果及び試料１２２の像を確認できる。

【０１３１】

実施例４によれば、目標傾斜角が大きい場合にも自動的、かつ、高い精度で試料１２２の結晶方位を所望の方向に調整することができる。また、試料ステージ１１８の移動後にＴＥＭ１００の設定を調整することによって、鮮明な回折パターンを取得できる。

【０１３２】

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。また、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構成を詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、各実施例の構成の一部について、他の構成に追加、削除、置換することが可能である。

【０１３３】

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、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、本発明は、実施例の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードによっても実現できる。この場合、プログラムコードを記録した記憶媒体をコンピュータに提供し、そのコンピュータが備えるプロセッサが記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出す。この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施例の機能を実現することになり、そのプログラムコード自体、及びそれを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。このようなプログラムコードを供給するための記憶媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、ＤＶＤ－ＲＯＭ、ハードディスク、ＳＳＤ（Ｓｏｌｉｄ Ｓｔａｔｅ Ｄｒｉｖｅ）、光ディスク、光磁気ディスク、ＣＤ－Ｒ、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ＲＯＭなどが用いられる。

【０１３４】

また、本実施例に記載の機能を実現するプログラムコードは、例えば、アセンブラ、Ｃ／Ｃ＋＋、ｐｅｒｌ、Ｓｈｅｌｌ、ＰＨＰ、Ｐｙｔｈｏｎ、Ｊａｖａ等の広範囲のプログラム又はスクリプト言語で実装できる。

【０１３５】

さらに、実施例の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを、ネットワークを介して配信することによって、それをコンピュータのハードディスクやメモリ等の記憶手段又はＣＤ－ＲＷ、ＣＤ－Ｒ等の記憶媒体に格納し、コンピュータが備えるプロセッサが当該記憶手段や当該記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出して実行するようにしてもよい。

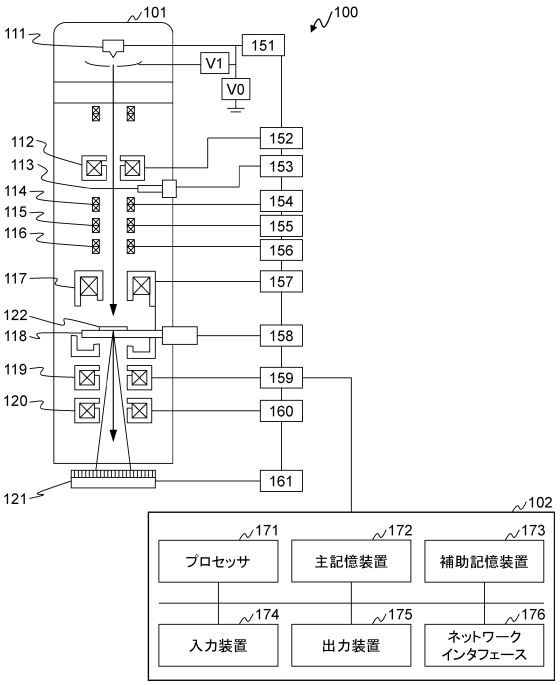
【０１３６】

上述の実施例において、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、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。全ての構成が相互に

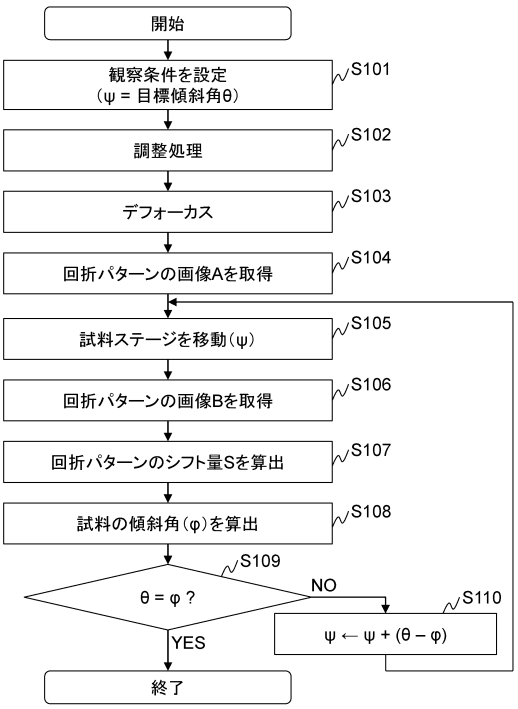
接続されていてもよい。

【図面】

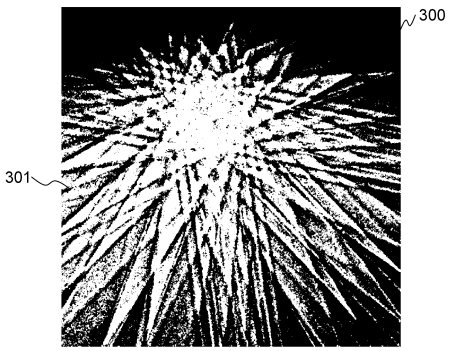
【図１】



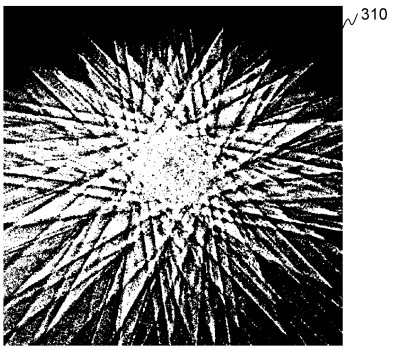
【図２】



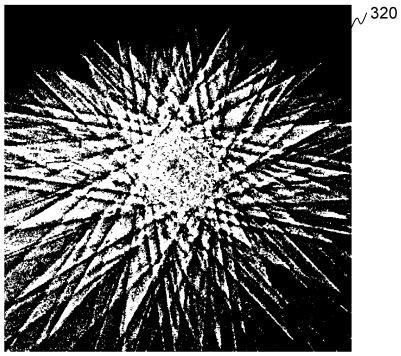
【図３Ａ】



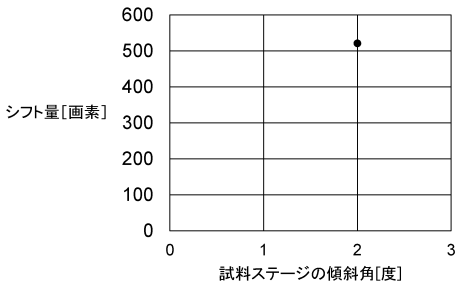
【図３Ｂ】



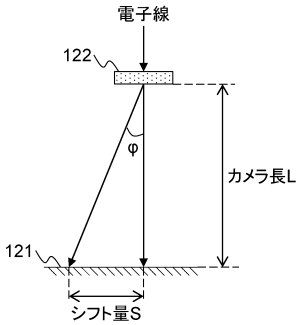
【図３Ｃ】



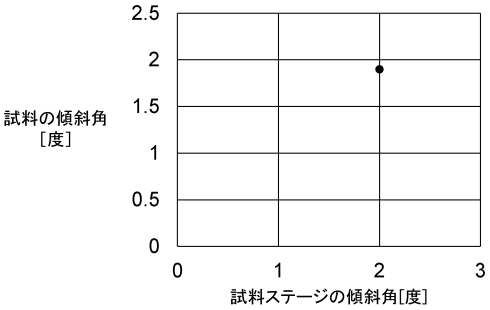
【図４】



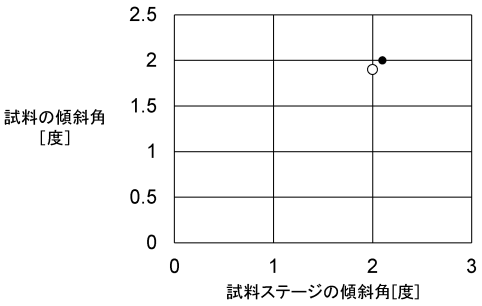
【図５】



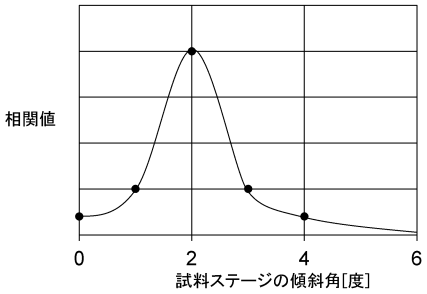
【図６Ａ】



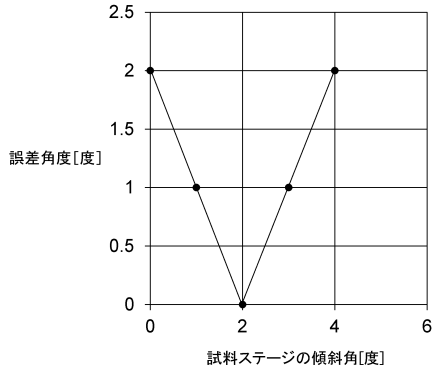
【図６Ｂ】



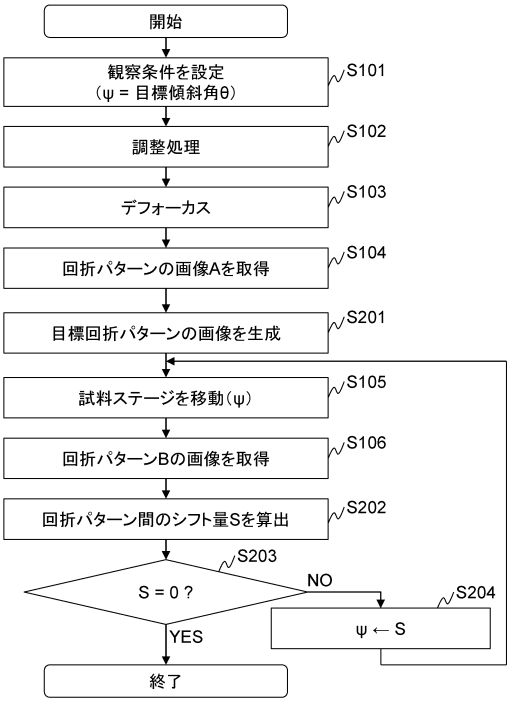
【図７】



【図８】



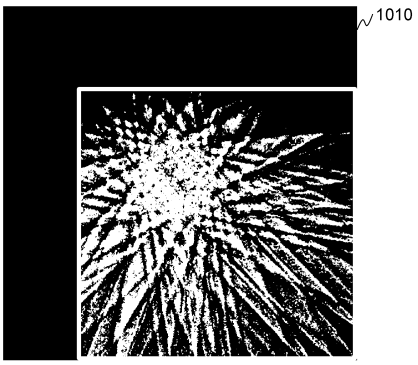
【図９】



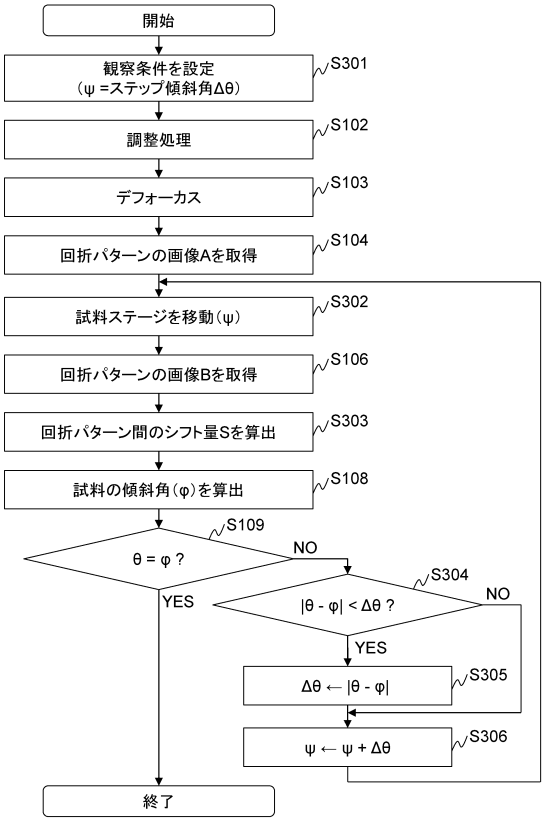
【図１０Ａ】



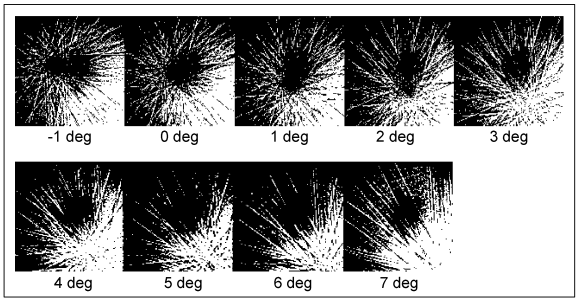
【図１０Ｂ】



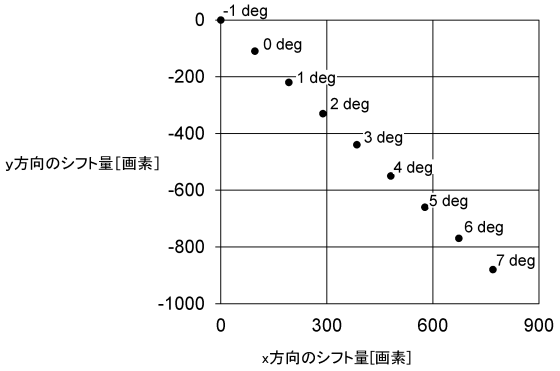
【図１１】



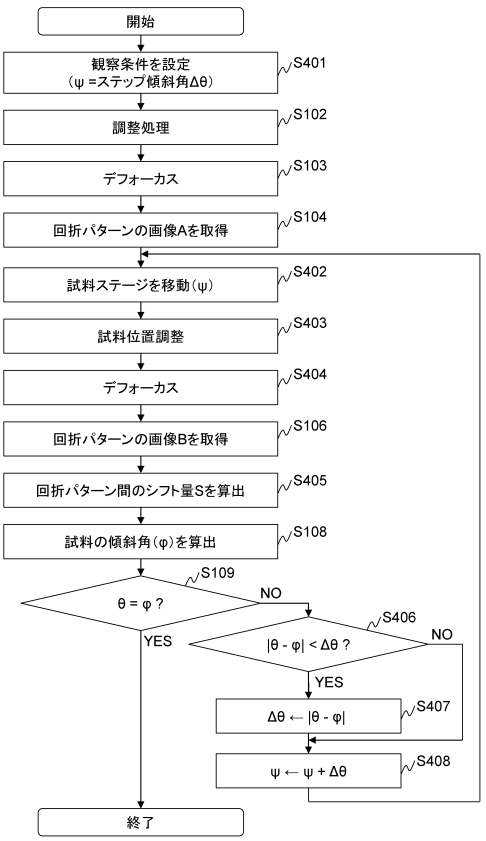
【図１２】



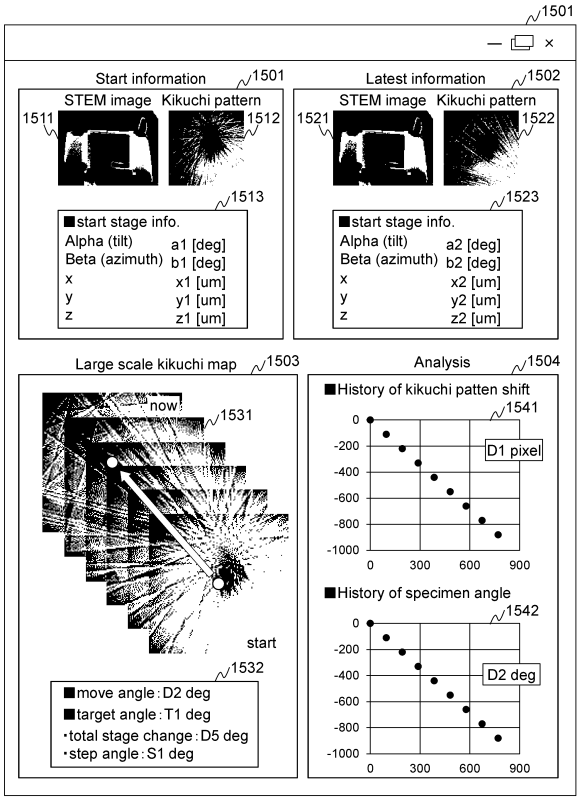
【図１３】



【図１４】



【図１５】


1501
Start information
1501
STEM image
Kikuchi pattern
1511
1512
1513
■start stage info.
Alpha (tilt) a1 [deg]
Beta (azimuth) b1 [deg]
x x1 [um]
y y1 [um]
z z1 [um]
Latest information
1502
STEM image
Kikuchi pattern
1521
1522
1523
■start stage info.
Alpha (tilt) a2 [deg]
Beta (azimuth) b2 [deg]
x x2 [um]
y y2 [um]
z z2 [um]
Large scale kikuchi map
1503
now
1531
start
1532
■move angle : D2 deg
■target angle : T1 deg
・total stage change : D5 deg
・step angle : S1 deg
Analysis
1504
■History of kikuchi patten shift
1541
D1 pixel
■History of specimen angle
1542
D2 deg

フロントページの続き

式会社日立ハイテク内
審査官　大門 清

(56)参考文献　特開平０７－００６７２５（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１８／２２１６３６（WO，Ａ１）
特開２０１０－０９２６２５（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－１１０７３４（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－１０６８７３（ＪＰ，Ａ）
特開２０１８－０９２８０５（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１６／０８４８７２（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１７／０３０９４４１（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｊ　３７／００ － ３７／３６