

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-145157
(P2020-145157A)

(43) 公開日 令和2年9月10日(2020.9.10)

(51) Int.Cl.			F I	テーマコード (参考)
HO 1 J	37/285	(2006.01)	HO 1 J 37/285	5C030
HO 1 J	37/244	(2006.01)	HO 1 J 37/244	5C033
HO 1 J	27/26	(2006.01)	HO 1 J 27/26	
HO 1 J	27/24	(2006.01)	HO 1 J 27/24	
HO 1 J	37/29	(2006.01)	HO 1 J 37/29	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2019-42986 (P2019-42986)
(22) 出願日 平成31年3月8日 (2019.3.8)

(71) 出願人 318010018
キオクシア株式会社
東京都港区芝浦三丁目1番21号
(74) 代理人 110002147
特許業務法人酒井国際特許事務所
(72) 発明者 池田 隆洋
東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝メモリ株式会社内
(72) 発明者 蔵本 明
東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝メモリ株式会社内
(72) 発明者 坏 晴子
東京都港区芝浦一丁目1番1号 東芝メモリ株式会社内
Fターム(参考) 5C030 DD08 DF01
5C033 NN08 NN10

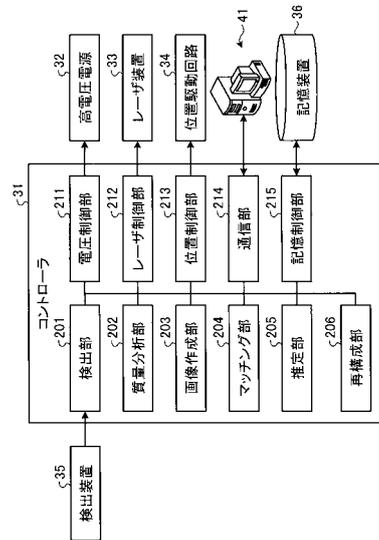
(54) 【発明の名称】 アトムプローブ検査装置、電界イオン顕微鏡および歪み補正方法

(57) 【要約】

【課題】 試料の原子の分布について再構成された画像について試料の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができるアトムプローブ検査装置、電界イオン顕微鏡および歪み補正方法を提供する。

【解決手段】 実施形態に係るアトムプローブ検査装置は、変動部と、検出部と、特定部と、作成部と、推定部と、再構成部と、を備える。変動部は、同一の位置から離脱したイオンの位置敏感型検出器での検出位置を変動させる。検出部は、位置情報および飛行時間を検出する。特定部は、元素を特定する。作成部は、第1条件で検出される二次元の位置、および第1条件とは異なる第2条件で検出される二次元の位置において、位置情報および飛行時間からそれぞれの再構成画像を作成する。推定部は、第1条件および第2条件それぞれの再構成画像の対応関係から、実際の位置に関する情報を推定する。再構成部は、推定情報に基づいて、実際の原子配置を反映した画像を再構成する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

試料表面の同一の位置から離脱したイオンの、位置敏感型検出器の検出面で検出される二次元の位置を変動させる変動部と、

前記検出面で検出されたイオンの二次元の位置情報、および該イオンの前記試料から該検出面へ到達するまでの飛行時間を検出する検出部と、

前記検出部により検出された前記飛行時間から、前記検出面で検出されたイオンの元素を特定する特定部と、

少なくとも、前記検出面で第 1 条件で検出されるイオンの二次元の位置、および前記第 1 条件で該検出面で検出される位置とは異なる位置で検出されるように前記変動部により変動された第 2 条件で検出されるイオンの二次元の位置において、該検出部により検出されたイオンの前記二次元の位置情報および該イオンの前記飛行時間からそれぞれの再構成画像を作成する作成部と、

前記第 1 条件および前記第 2 条件それぞれの前記再構成画像の対応関係に基づいて、離脱したイオンの前記試料表面の実際の位置に関する情報を推定する推定部と、

前記推定部により推定された情報に基づいて、前記試料表面の実際の原子配置を反映した画像を再構成する再構成部と、

を備えたアトムプローブ検査装置。

【請求項 2】

前記作成部により作成された前記第 1 条件および前記第 2 条件のそれぞれに対応する前記再構成画像に対して、特徴量マッチングを行うマッチング部を、さらに備え、

前記推定部は、前記マッチング部により行われた前記特徴量マッチングの結果に基づいて、離脱したイオンの前記試料表面の実際の位置に関する情報を推定する請求項 1 に記載のアトムプローブ検査装置。

【請求項 3】

前記試料に電圧を印加することにより、該試料と前記位置敏感型検出器との間に電界を形成させる電源と、

前記試料に対してレーザを照射することにより、該試料表面の原子を電界蒸発によりイオンとして離脱させるレーザ装置と、

をさらに備えた請求項 1 または 2 に記載のアトムプローブ検査装置。

【請求項 4】

前記変動部は、前記試料と前記位置敏感型検出器との距離が変動するように該位置敏感型検出器の移動を制御する第 1 位置制御部であり、

前記作成部は、前記第 1 位置制御部が前記位置敏感型検出器を移動させた前記第 1 条件としての第 1 位置で前記再構成画像を作成し、該第 1 位置制御部が該位置敏感型検出器を前記第 1 位置とは異なる前記第 2 条件としての第 2 位置に移動させて前記第 2 位置での前記再構成画像を作成する請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のアトムプローブ検査装置。

【請求項 5】

前記試料から離脱したイオンの軌道を、形成した電界により折り返して、該イオンを前記位置敏感型検出器へ向けて飛行させるリフレクションレンズを、さらに備え、

前記変動部は、前記リフレクションレンズの位置を制御する第 2 位置制御部であり、

前記作成部は、前記第 2 位置制御部が前記リフレクションレンズを移動させた前記第 1 条件としての第 1 位置で前記再構成画像を作成し、該第 2 位置制御部が該リフレクションレンズを前記第 1 位置とは異なる前記第 2 条件としての第 2 位置に移動させて前記第 2 位置での前記再構成画像を作成する請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のアトムプローブ検査装置。

【請求項 6】

前記試料から離脱したイオンの軌道を、形成した磁界により軌道を変える電磁レンズを、さらに備え、

前記変動部は、前記電磁レンズの磁界の形成動作を制御するレンズ制御部であり、

10

20

30

40

50

前記作成部は、前記レンズ制御部が前記電磁レンズが形成する磁界について前記第1条件としての特定の磁界の状態とした場合に前記再構成画像を作成し、該レンズ制御部が該電磁レンズが形成する磁界の状態として前記第1条件とは異なる前記第2条件とした場合に前記再構成画像を作成する請求項1～3のいずれか一項に記載のアトムプローブ検査装置。

【請求項7】

前記変動部は、前記試料から離脱したイオンの軌道を電界により変動するように、該電界を形成する駆動回路による電界の形成動作を制御する電界制御部であり、

前記作成部は、前記電界制御部が前記駆動回路が形成する電界について前記第1条件としての特定の電界の状態とした場合に前記再構成画像を作成し、該電界制御部が該駆動回路が形成する電界の状態として前記第1条件とは異なる前記第2条件とした場合に前記再構成画像を作成する請求項1～3のいずれか一項に記載のアトムプローブ検査装置。

10

【請求項8】

前記試料から離脱したイオンの軌道を、形成した電界により折り返して、該イオンを前記位置敏感型検出器へ向けて飛行させるリフレクションレンズを、さらに備え、

前記変動部は、前記リフレクションレンズの電界の形成動作を制御するリフレクション制御部であり、

前記作成部は、前記リフレクション制御部が前記リフレクションレンズが形成する電界について前記第1条件としての特定の電界の状態とした場合に前記再構成画像を作成し、該リフレクション制御部が該リフレクションレンズが形成する電界の状態として前記第1条件とは異なる前記第2条件とした場合に前記再構成画像を作成する請求項1～3のいずれか一項に記載のアトムプローブ検査装置。

20

【請求項9】

試料表面の同一の位置から離脱したイオンの、位置敏感型検出器の検出面で検出される二次元の位置を変動させる変動部と、

前記検出面で検出されたイオンの二次元の位置情報を検出する検出部と、

少なくとも、前記検出面で第1条件で検出されるイオンの二次元の位置、および前記第1条件で該検出面で検出される位置とは異なる位置で検出されるように前記変動部により変動された第2条件で検出されるイオンの二次元の位置において、該検出部により検出されたイオンの前記二次元の位置情報からそれぞれの再構成画像を作成する作成部と、

30

前記第1条件および前記第2条件それぞれの前記再構成画像の対応関係に基づいて、離脱したイオンの前記試料表面の実際の位置に関する情報を推定する推定部と、

前記推定部により推定された情報に基づいて、前記試料表面の実際の原子配置を反映した画像を再構成する再構成部と、

を備えた電界イオン顕微鏡。

【請求項10】

試料表面の同一の位置から離脱したイオンの、位置敏感型検出器の検出面で検出される二次元の位置を変動させる変動ステップと、

前記検出面で検出されたイオンの二次元の位置情報、および該イオンの前記試料から該検出面へ到達するまでの飛行時間を検出する検出ステップと、

40

検出した前記飛行時間から、前記検出面で検出されたイオンの元素を特定する特定ステップと、

少なくとも、前記検出面で第1条件で検出されるイオンの二次元の位置、および前記第1条件で該検出面で検出される位置とは異なる位置で検出されるように変動させた第2条件で検出されるイオンの二次元の位置において、検出したイオンの前記二次元の位置情報および該イオンの前記飛行時間からそれぞれの再構成画像を作成する作成ステップと、

前記第1条件および前記第2条件それぞれの前記再構成画像の対応関係に基づいて、離脱したイオンの前記試料表面の実際の位置に関する情報を推定する推定ステップと、

推定した情報に基づいて、前記試料表面の実際の原子配置を反映した画像を再構成する再構成ステップと、

50

を有する歪み補正方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、アトムプローブ検査装置、電界イオン顕微鏡および歪み補正方法に関する。

【背景技術】

【0002】

電界イオン顕微鏡(Field Ion Microscope: FIM)、ならびに、その原理を用いて試料内の元素の特定および空間分布を分析するアトムプローブ電界イオン顕微鏡装置(Atom Probe Field Ion Microscope: APFIM)は、原子レベルの組成分析を行うことができる装置である。このFIMおよびAPFIMは、微細な構造を持つ半導体試料の解析等に広く用いられている。

10

【0003】

FIMまたはAPFIMにおいては、FIB(Focused Ion Beam: 集束イオンビーム)装置で針状に加工した試料を真空中において直接高電界をかける。すると、その電界の作用によって試料表面に存在する1つの原子、または複数個の原子団が真空中に放出されるし、その後、電界の影響を受けながら、試料の先端に対向するように置かれた位置敏感型検出器に到達する。ここで、電界によって原子がイオン化して試料表面から離脱する現象を、電界蒸発という。このように放出されたイオンが試料先端のどの方向から飛来したのかは原子の軌道を電界中の当該イオンの運動方程式を解くことで解析できる。これによって、検出されたイオンに対応する試料内の原子の分布を計算する再構成と称する処理を行うことができる。このようなFIMまたはAPFIMを用いた分析においては、局所倍率の変化により再構成された画像に歪みが生じるという問題がある。歪みが生じる理由としては、試料の加工時に先端が球冠形状にならなかったこと、および、複数の異なる材質から構成された試料が電界蒸発の過程で形状が変化し、試料表面の各位置での局所倍率に変化が起こること等が挙げられる。

20

【0004】

このようなAPFIMとして、放射状に電界蒸発するイオンの収率を向上させるために、位置敏感型検出器を移動させる手法が知られている。

30

【0005】

しかしながら、位置敏感型検出器を移動させるのはイオンの収率を向上させることが目的であって、上述の再構成されが画像に歪みに対して補正することができない。

【0006】

また、複数の装置(例えば、TEM(Transmission Electron Microscope: 透過電子顕微鏡)およびAPFIM)で得られた画像を組み合わせることで画像の精度を向上させる手法が知られている。

【0007】

しかしながら、このような手法では、電界蒸発の途中段階での両者の比較が困難であり、別の切り出し方をした試料同士の比較となるため、試料内部に微細なデバイス構造がある場合、試料ごとの加工位置の違いにより局所倍率の違いが生じる。また、この手法によって得られた局所倍率の誤差情報は、試料に使用される材料または構造が変わった場合に再利用できない場合も多い。さらに、異なる複数の装置を用いるので、装置についてのコストが高くなり、また、複数の装置間の位置合わせ等の作業も簡便ではない。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】米国特許出願公開第7157702号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第8670608号明細書

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

実施形態は、試料の原子の分布について再構成された画像について試料の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができるアトムプローブ検査装置、電界イオン顕微鏡および歪み補正方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

実施形態に係るアトムプローブ検査装置は、変動部と、検出部と、特定部と、作成部と、推定部と、再構成部と、を備える。変動部は、試料表面の同一の位置から離脱したイオンの、位置敏感型検出器の検出面で検出される二次元の位置を変動させる。検出部は、検出面で検出されたイオンの二次元の位置情報、およびイオンの試料から検出面へ到達するまでの飛行時間を検出する。特定部は、検出部により検出された飛行時間から、検出面で検出されたイオンの元素を特定する。作成部は、少なくとも、検出面で第1条件で検出されるイオンの二次元の位置、および第1条件で検出面で検出される位置とは異なる位置で検出されるように変動部により変動された第2条件で検出されるイオンの二次元の位置において、検出部により検出されたイオンの二次元の位置情報およびイオンの飛行時間からそれぞれの再構成画像を作成する。推定部は、第1条件および第2条件それぞれの再構成画像の対応関係に基づいて、離脱したイオンの試料表面の実際の位置に関する情報を推定する。再構成部は、推定部により推定された情報に基づいて、試料表面の実際の原子配置を反映した画像を再構成する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、第1の実施形態に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。

【図2】図2は、第1の実施形態に係るアトムプローブ検査装置の動作概要を説明する図である。

【図3】図3は、第1の実施形態におけるコントローラのハードウェアの構成例を示す図である。

【図4】図4は、第1の実施形態におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。

【図5】図5は、試料の形状が球冠形状である場合の検出動作を説明する図である。

【図6】図6は、試料の形状が球冠形状でない場合を説明する図である。

【図7】図7は、試料の実際の形状と再構成した画像とを比較する図である。

【図8】図8は、局所倍率の変化の影響を説明する図である。

【図9】図9は、第1の実施形態での位置敏感型検出器を移動させる動作を説明する図である。

【図10】図10は、2つの位置で検出された画像を比較する図である。

【図11】図11は、第1の実施形態に係るアトムプローブ検査装置の動作のフローチャートである。

【図12】図12は、第1の実施形態の変形例1に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。

【図13】図13は、第1の実施形態の変形例1におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。

【図14】図14は、第1の実施形態の変形例1でのリフレクションレンズを移動させる動作を説明する図である。

【図15】図15は、FIMで得られた画像の一例を示す図である。

【図16】図16は、第2の実施形態に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。

【図17】図17は、第2の実施形態におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 18】図 18 は、第 2 の実施形態での電磁レンズにより軌道が変化する動作を説明する図である。

【図 19】図 19 は、第 2 の実施形態の変形例 1 に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。

【図 20】図 20 は、第 2 の実施形態の変形例 2 に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。

【図 21】図 21 は、第 2 の実施形態の変形例 2 におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。

【図 22】図 22 は、第 2 の実施形態の変形例 2 での電界により軌道が変化する動作を説明する図である。

【図 23】図 23 は、第 2 の実施形態の変形例 3 に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。

【図 24】図 24 は、第 2 の実施形態の変形例 3 におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。

【図 25】図 25 は、第 2 の実施形態の変形例 3 でのリフレクションレンズにより軌道が変化する動作を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に添付図面を参照して、実施形態に係るアトムプローブ検査装置を詳細に説明する。なお、これらの実施形態は一例であり、本発明がこの実施形態に限定されるものではない。

【0013】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、第 1 の実施形態に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。図 1 を参照しながら、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 の全体構成について説明する。

【0014】

図 1 に示すように、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 は、位置敏感型検出器 12 と、コントローラ 31 と、高電圧電源 32 と、レーザ装置 33 と、位置駆動回路 34 と、検出装置 35 と、記憶装置 36 と、を有する。

【0015】

位置敏感型検出器 12 は、内部が真空である真空槽 10 内で、電界蒸発により試料 11 の先端から離脱したイオンを検出面 12a で二次元で検出する検出器である。ここで、試料 11 は、ある元素（例えば、Si または SiO_2 等）で構成された材料を、上述のように、FIB 装置等で針状に加工したものである。なお、図 1 では説明の便宜上、試料 11 の大きさ、位置敏感型検出器 12 の大きさ、および、試料 11 と位置敏感型検出器 12 との距離について同等程度の大きさで示しているが、実際の装置においては、試料 11 の長さは数 [μm] であり、先端の球冠形状の径は数 [nm] ~ 10 [nm] であり、試料 11 と位置敏感型検出器 12 との距離および位置敏感型検出器 12 の検出面 12a の半径は 10 [cm] 程度である。

【0016】

コントローラ 31 は、アトムプローブ検査装置 1 全体の制御を司るコントローラである。具体的には、コントローラ 31 は、高電圧電源 32、レーザ装置 33 および位置駆動回路 34 の動作を制御すると共に、検出装置 35 により得られた情報から試料 11 表面の原子の分布（位置）を計算して画像にする再構成処理を行う。また、コントローラ 31 は、試料 11 表面の原子の分布の画像を時系列に並べることによって、試料 11 の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得ることができる。

【0017】

高電圧電源 32 は、真空槽 10 内の試料 11 に対して高電圧を印加して、試料 11 と位置敏感型検出器 12 との間で高電界をかける電源装置である。高電圧電源 32 は、例えば

10

20

30

40

50

、試料 1 1 の蒸発電界より少し低い電界が生じるような電圧を定常的に印加する。そして、後述するように、レーザ装置 3 3 によって試料 1 1 の先端にレーザパルスが照射されるタイミングで、試料 1 1 の原子が電界蒸発する。

【 0 0 1 8 】

なお、高電圧電源 3 2 による電圧の印加動作は、上述に限定されるものではなく、例えば、少なくとも試料 1 1 の蒸発電界以上の電界が生じるような電圧をパルス状に印加する動作としてもよい。この場合は、レーザ装置 3 3 による試料 1 1 へのレーザの照射は必要はなく、高電圧電源 3 2 による電圧パルスが印加されるタイミングで、試料 1 1 の原子が電界蒸発する。

【 0 0 1 9 】

レーザ装置 3 3 は、真空槽 1 0 内の試料 1 1 の先端に対してレーザを照射するレーザ発光装置である。具体的には、レーザ装置 3 3 は、図 1 に示すように、レーザをパルス状にしたパルス状レーザ 3 3 a を、試料 1 1 の先端に照射する。試料 1 1 表面の原子は、レーザ装置 3 3 からパルス状レーザ 3 3 a の照射を受けることによって励起され電界蒸発によりイオン化して離脱する。

【 0 0 2 0 】

位置駆動回路 3 4 は、コントローラ 3 1 の制御に従って、位置敏感型検出器 1 2 の位置を移動するための駆動回路である。具体的には、位置駆動回路 3 4 は、試料 1 1 の先端から位置敏感型検出器 1 2 の検出面 1 2 a までの距離が変動するように、当該先端と検出面 1 2 a の中心とを結ぶ直線方向に沿って位置敏感型検出器 1 2 を移動させる。より具体的には、位置敏感型検出器 1 2 は、その位置を実際に移動させるアクチュエータに固定されており、当該アクチュエータは、位置駆動回路 3 4 からの駆動信号によって駆動することにより位置敏感型検出器 1 2 が移動する。アクチュエータとしては、発塵のリスクを避けるために圧電素子、または、ゲルの体積膨張収縮を利用したもの等が望ましい。

【 0 0 2 1 】

検出装置 3 5 は、位置敏感型検出器 1 2 で検出されたイオンの二次元の位置情報、および、イオンが試料 1 1 から離脱してから検出面 1 2 a に到達するまでの飛行時間（以下、TOF (Time Of Flight) と称する場合がある) を求め、コントローラ 3 1 へ出力する装置である。検出装置 3 5 は、例えば、レーザ装置 3 3 からパルス状レーザ 3 3 a の各パルスの出力ごとに当該パルスのタイミング情報を受信し、この受信した時刻と、イオンが検出された時刻とに基づいて、当該イオンの TOF を算出することができる。

【 0 0 2 2 】

記憶装置 3 6 は、各種データを記憶する装置である。記憶装置 3 6 は、例えば、コントローラ 3 1 により再構成された画像を蓄積する。記憶装置 3 6 は、HDD (Hard Disk Drive) または SSD (Solid State Drive) 等であり、図 1 ではコントローラ 3 1 の外部に配置されているが、コントローラ 3 1 内に含まれるものとしてもよい。

【 0 0 2 3 】

情報処理装置 4 1 は、コントローラ 3 1 によって再構成された画像、および三次元マップを受信し、これらを用いて各種解析等を行うための情報処理装置である。

【 0 0 2 4 】

なお、図 1 に示したアトムプローブ検査装置 1 の構成は一例を示すものであり、例えば、図 1 に示した構成要素以外の構成要素を含むものとしてもよい。

【 0 0 2 5 】

図 2 は、第 1 の実施形態に係るアトムプローブ検査装置の動作概要を説明する図である。図 2 を参照しながら、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 の動作概要について説明する。

【 0 0 2 6 】

試料 1 1 は、図 2 に示すように、FIB 装置等で先端が針状となるように加工されてい

10

20

30

40

50

る。この試料 1 1 は、所定の 1 以上の元素で構成された材料により構成されており、図 2 に示す例では、特定の元素である原子 5 0 2 と、別の元素である原子 5 0 3 とで構成されている。そして、高電圧電源 3 2 は、真空槽 1 0 内の試料 1 1 に高電圧を印加すると、試料 1 1 と位置敏感型検出器 1 2 との間で高電界が発生する。

【 0 0 2 7 】

この状態で、レーザ装置 3 3 は、試料 1 1 の先端に対してパルス状レーザ 3 3 a を照射すると、原子 5 0 2、5 0 3 が励起状態になり電界蒸発によりイオン化してイオン 5 0 1 として位置敏感型検出器 1 2 へ向けて離脱する。また、図 2 に示すように、試料 1 1 の先端から離脱するイオン 5 0 1 は、放射状に飛行するように示しているが、実際には、試料 1 1 に印加された高電圧で形成された高電界によりローレンツ力を受けるので、直線的な飛行ではなくやや曲線を描いて飛行する。ただし、以下では説明の便宜上、電界蒸発により離脱したイオンは、直線状に飛行するものとして説明する。

10

【 0 0 2 8 】

試料 1 1 から電界蒸発により飛行したイオン 5 0 1 は、位置敏感型検出器 1 2 の検出面 1 2 a に到達し、検出面 1 2 a 上の二次元の位置情報が検出される。さらに、上述のように、検出装置 3 5 は、例えば、レーザ装置 3 3 からパルス状レーザ 3 3 a の各パルスの出力ごとに当該パルスのタイミング情報を受信し、この受信した時刻と、イオンが検出された時刻とに基づいて、当該イオンの T O F を算出する。

【 0 0 2 9 】

次に、コントローラ 3 1 は、検出装置 3 5 により算出された T O F を用いて、電界中のイオンの運動方程式により試料 1 1 から離脱した原子のイオンの質量数と電荷数との比である m/z を算出し、この m/z から試料 1 1 を構成する材料の元素を特定する質量分析を行う。なお、パルス状レーザ 3 3 a の照射により試料 1 1 から離脱するイオンは、図 2 に示す世に単一のイオンではなく、複数個のイオンで構成された原子団として離脱することも想定される。この場合、コントローラ 3 1 は、算出した m/z についてのスペクトルを解析することにより、原子団に含まれる元素を特定することが可能となる。

20

【 0 0 3 0 】

そして、コントローラ 3 1 は、検出装置 3 5 により検出された位置情報、および、質量分析の結果として特定された元素の種類によって、試料 1 1 表面の原子の分布（位置）を示す画像を再構成する。さらに、コントローラ 3 1 は、試料 1 1 表面の原子分布について再構成した画像を時系列に並べることによって、試料 1 1 の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得ることができる。

30

【 0 0 3 1 】

図 3 は、第 1 の実施形態におけるコントローラのハードウェアの構成例を示す図である。図 3 を参照しながら、本実施形態におけるコントローラ 3 1 のハードウェアの構成について説明する。

【 0 0 3 2 】

図 3 に示すように、コントローラ 3 1 は、CPU (Central Processing Unit) 1 0 1 と、ROM (Read Only Memory) 1 0 2 と、RAM (Random Access Memory) 1 0 3 と、入出力 I / F 1 0 4 と、制御回路 I / F 1 0 5 と、通信 I / F 1 0 6 と、を備え、各装置はバスによって互いに通信可能に接続されている。

40

【 0 0 3 3 】

CPU 1 0 1 は、コントローラ 3 1 全体、ひいてはアトムプローブ検査装置 1 全体の動作を制御する演算装置である。ROM 1 0 2 は、CPU 1 0 1 が各機能を制御するために実行するファームウェア等のプログラムを記憶する不揮発性記憶装置である。RAM 1 0 3 は、CPU 1 0 1 のワークエリアとして使用される揮発性記憶装置である。

【 0 0 3 4 】

入出力 I / F 1 0 4 は、コントローラ 3 1 外の記憶装置 3 6 との間でデータの入出力を行うためのインターフェースである。

50

【0035】

制御回路 I / F 105 は、高電圧電源 32、レーザ装置 33、位置駆動回路 34 および検出装置 35 との間で、動作指令等を含む制御データおよび検出データ等のやり取りを行うためのインターフェースである。

【0036】

通信 I / F 106 は、外部機器（情報処理装置 41 等）とネットワークを介してデータ通信を行うためのインターフェースである。通信 I / F 106 は、例えば、イーサネット（登録商標）に対応し、TCP（Transmission Control Protocol）/ IP（Internet Protocol）等に準拠した通信が可能なインターフェースである。

10

【0037】

なお、図 3 に示したコントローラ 31 のハードウェア構成は一例を示すものであり、図 3 に示した構成要素以外の構成要素を含むものとしてもよい。

【0038】

図 4 は、第 1 の実施形態におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。図 4 を参照しながら、本実施形態におけるコントローラ 31 の機能ブロックの構成および動作について説明する。

【0039】

図 4 に示すように、本実施形態に係るコントローラ 31 は、検出部 201 と、質量分析部 202（特定部）と、画像作成部 203 と、マッチング部 204 と、推定部 205 と、再構成部 206 と、電圧制御部 211 と、レーザ制御部 212 と、位置制御部 213（変動部の一例、第 1 位置制御部）と、通信部 214 と、記憶制御部 215 と、を有する。これらの処理部は、集積回路、および / または、コンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記憶された CPU が実行可能な命令であって、以下に記載の処理を実行することが可能なものを含む。

20

【0040】

検出部 201 は、位置敏感型検出器 12 で検出されたイオンの二次元の位置情報、および、イオンが試料 11 から離脱してから検出面 12a に到達するまでの TOF を、検出装置 35 から検出情報として取得する機能部である。検出部 201 は、図 3 に示す CPU 101 によるプログラムの実行、および、入出力 I / F 104 によって実現される。

30

【0041】

質量分析部 202 は、検出部 201 により取得された TOF を用いて、電界中のイオンの運動方程式により試料 11 から離脱した原子のイオンの質量数と電荷数との比である m/z を算出し、この m/z から試料 11 を構成する材料の元素を特定する質量分析を行う機能部である。質量分析部 202 は、図 3 に示す CPU 101 によるプログラムの実行によって実現される。

【0042】

画像作成部 203 は、検出部 201 により取得されたイオンの二次元の位置情報、および、質量分析部 202 により特定された当該イオンの元素の情報を用いて、試料 11 表面の原子の分布を示す画像を作成（再構成）する機能部である。具体的には、画像作成部 203 は、イオンの二次元の位置情報に基づいて再構成した画像において、各画素に対応するイオンの元素ごとにラベリングを行う。ラベリングの方法としては、各画素の画素値として、元素を一意に識別する番号を付与したり、あるいは、元素ごとに異なる色値を付与する等が挙げられる。画像作成部 203 は、図 3 に示す CPU 101 によるプログラムの実行によって実現される。

40

【0043】

マッチング部 204 は、後述するように位置制御部 213 により位置が制御される位置敏感型検出器 12 について、2 つの位置でそれぞれ検出装置 35 により得られた検出情報に基づいて画像作成部 203 により再構成された 2 つの画像に対して、特徴量マッチングを行う機能部である。ここで、特徴量マッチングとは、異なる画像間で、画像の各部位で

50

抽出した特徴量をそれぞれ対応付ける処理である。特徴量マッチングで用いられる特徴量の抽出アルゴリズムとしては、例えば、HOG (Histograms of Oriented Gradients)、DoG (Difference of Gaussian)、Harrisコーナ検出法、SIFT (Scale-Invariant Feature Transform)、SURF (Speeded-Up Robust Features)、およびORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) 等がある。これらのアルゴリズムで抽出した特徴量を利用して、対応点をユークリッド距離等でマッチング推定を行う。マッチング部204は、図3に示すCPU101によるプログラムの実行によって実現される。

【0044】

推定部205は、マッチング部204による2つの画像の特徴量マッチングの結果に基づいて、2つの画像で互に対応する箇所の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を推定する機能部である。推定部205は、図3に示すCPU101によるプログラムの実行によって実現される。

【0045】

再構成部206は、検出部201により取得されたイオンの二次元の位置情報、質量分析部202により特定された当該イオンの元素の情報、および、推定部205により推定された各イオンの曲率円の中心の情報を用いて、試料11表面の原子の分布を示す画像を再構成する機能部である。すなわち、再構成部206により再構成された画像は、画像作成部203により作成された画像の歪みが補正された画像であると言することができる。また、再構成部206は、試料11表面の原子の分布について再構成した画像を時系列に並べることによって、試料11の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得る。再構成部206は、図3に示すCPU101によるプログラムの実行によって実現される。

【0046】

電圧制御部211は、高電圧電源32の動作制御を行うことにより、試料11に対する高電圧の印加動作を制御する機能部である。電圧制御部211は、図3に示すCPU101によるプログラムの実行によって実現される。

【0047】

レーザ制御部212は、レーザ装置33の動作制御を行うことにより、試料11の先端に対するレーザの照射動作を制御する機能部である。レーザ制御部212は、図3に示すCPU101によるプログラムの実行によって実現される。

【0048】

位置制御部213は、位置駆動回路34の動作制御を行うことにより、位置敏感型検出器12の移動動作を制御する機能部である。位置制御部213は、図3に示すCPU101によるプログラムの実行によって実現される。

【0049】

通信部214は、情報処理装置41とネットワークを介してデータ通信を行う機能部である。通信部214は、図3に示す通信I/F106によって実現される。

【0050】

記憶制御部215は、記憶装置36との間でデータの入出力を制御する機能部である。記憶制御部215は、図3に示す入出力I/F104によって実現される。

【0051】

なお、検出部201、質量分析部202、画像作成部203、マッチング部204、推定部205、再構成部206、電圧制御部211、レーザ制御部212、および位置制御部213の一部または全部は、ソフトウェアであるプログラムではなく、FPGA (Field-Programmable Gate Array) またはASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等のハードウェア回路によって実現されてもよい。

【0052】

10

20

30

40

50

また、図4に示すコントローラ31の各機能部は、機能を概念的に示したものであって、このような構成に限定されるものではない。例えば、図4に示すコントローラ31で独立した機能部として図示した複数の機能部を、1つの機能部として構成してもよい。一方、図4に示すコントローラ31で1つの機能部が有する機能を複数に分割し、複数の機能部として構成するものとしてもよい。

【0053】

図5は、試料の形状が球冠形状である場合の検出動作を説明する図である。図5を参照しながら、試料11の先端が理想的な球冠形状を呈しているものとした場合のイオンの挙動について説明する。

【0054】

図5に示すように、試料11の先端が理想的な球冠形状を呈しているものとした場合、試料11表面上の点Qに位置する原子は、試料11に印加される高電圧、および試料11に照射されるレーザによる励起によってイオン化して試料11から離脱する。試料11から離脱したイオンは、軌道601に沿って飛行し、位置敏感型検出器12の検出面12a上の点Pに到達する。

【0055】

このように、点Qからイオンが離脱する方向、すなわち軌道601の方向は、点Qの曲率円の中心Oと点Qとを結ぶ直線の方向、すなわち、曲率円の点Qでの法線ベクトルの方向と一致する。ここで、点Qの曲率円は、試料11の先端が球冠形状を呈しているものとしているので、当該球冠形状の外形が形成する円701と一致する。

【0056】

図6は、試料の形状が球冠形状でない場合を説明する図である。図7は、試料の実際の形状と再構成した画像とを比較する図である。次に、図6および図7を参照しながら、試料11の先端が球冠形状が呈していない場合について説明する。

【0057】

上述のように、APFIM等の分析で再構成した画像には歪みが生じる現象が発生し得る。この現象が発生する理由は、試料の先端の形状が理想的な球冠形状、すなわち真球を平面で切り取った形状ではなく、試料表面の各位置で曲率が異なる形状となり、曲率が大きい尖った位置由来の画像部分が、それ以外の位置由来の画像部分よりも大きく拡大されることによる。また、試料の先端が球冠形状とならない理由は大きく2つ存在する。1つ目の理由は、分析前に行う試料の加工結果によるもの場合である。2つ目の理由は、例えば、図6に示すように、試料11が複数の蒸発電界の異なる材料(Si 、 SiO_2)で構成されている場合であり、この場合、電界蒸発の過程で蒸発電界の低い材料(図6の例では Si)が先に電界蒸発し、蒸発電界の高い材料(図6の例では SiO_2)が遅れて電界蒸発する。この結果、図6に示すように、試料11の先端は球冠形状から、表面の各位置で局所倍率が異なる形状に変化し、蒸発電界の高い材料が露出した表面は曲率が大きくなる。

【0058】

また、図7に、上述のように試料の球冠形状から異なる形状に変化した場合に、その試料を再構成した画像(以下、単に「再構成画像」と称する場合がある)の例を示す。図7の上図は、第1材料511、第2材料512および第3材料513によって構成された試料の断面図を示す。そして、この試料の電界蒸発が進み、球冠形状から、蒸発電界の低い第1材料511が先に電界蒸発し、蒸発電界の高い第2材料512が遅れて電界蒸発することによって形状が変化したものとする。このような形状から電界蒸発したイオンを検出して、試料表面の原子の分布を示す画像を再構成したものが図7の下図に示す画像である。図7の下図に示す画像は、試料表面の原子分布について再構成した画像を時系列に並べて、試料の三次元の原子の分布を示す三次元マップとしたものを、当該時系列方向に平行な平面で切った場合の断面図を示す。図7に示す第1材料画像511aは、第1材料511に対応し、第2材料画像512aは、第2材料512に対応し、第3材料画像513aは、第3材料513に対応する。試料の形状が球冠形状から変化していった結果、図7に

10

20

30

40

50

示すように、局所倍率が小さい第1材料511は、第1材料画像511aのように細く描画され、局所倍率が大きい第2材料512は、第2材料画像512aのように大きく描画される結果となる。すなわち、図7に示す三次元マップを構成する再構成画像は、局所倍率の変化によって各材料の分布に歪みを含んだ画像となっている。

【0059】

図8は、局所倍率の変化の影響を説明する図である。図8を参照しながら、上述の図6および図7で説明した再構成画像に歪みを含む原理について説明する。

【0060】

図8に示す試料11は、材料521、522で構成されたものであるとし、材料521の蒸発電界が材料522の蒸発電界よりも大きいものとする。この結果、試料11の電界蒸発が進むと、材料521が材料522よりも早く電界蒸発が進むことにより、図8に示すように、真中の材料522が材料521よりも突出し、かつ、局所倍率が大きく（曲率が大きく）なるような形状となったものとする。

10

【0061】

この場合、位置敏感型検出器12の検出面12a上の点Pで検出されたイオンの軌道は、実際は、当該イオンの元となる原子が位置していた点Qにおける曲率円である円702の中心である点O'を通る軌道611であるにもかかわらず、球冠形状に沿う円701の中心である点Oを通る軌道611aであるように推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料11上の位置は、本来点Qにあったにも関わらず、点Q'にあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、材料522が本来の大きさよりも大きく再構成された画像、すなわち、歪みを含む再構成画像が得られることとなる。

20

【0062】

図9は、第1の実施形態での位置敏感型検出器を移動させる動作を説明する図である。図10は、2つの位置で検出された画像を比較する図である。次に、図9および図10を参照しながら、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置1において歪みを補正した再構成画像を得るための動作について説明する。

【0063】

上述のように、位置敏感型検出器12は、位置駆動回路34によって位置を移動することが可能となっている。まず、位置敏感型検出器12の位置が、図9に示す位置pos1にある場合について説明する。なお、図9に示す試料11の形状は、図8に示した試料11の形状と同様であるものとする。この場合、位置敏感型検出器12の検出面12a上の点Pで検出されたイオンの軌道は、当該イオンの元となる原子が位置していた箇所における曲率円である円702の中心である点O'を通る軌道621であるにもかかわらず、球冠形状に沿う円701の中心である点Oを通る軌道621aであるように推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料11上の位置は、本来点Qにあったにも関わらず、点Q'にあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、材料522が本来の大きさよりも大きく再構成された画像、すなわち、歪みを含む再構成画像が、図10(b)に示す画像801として得られる。なお、図10(a)に示す試料11は、画像との比較のため図9に示す試料11を平面内で90°回転させて示している。

30

【0064】

図10(b)に示す画像801において、画像部分521aは、材料521に対応する画像部分であり、画像部分522aは、材料522に対応する画像部分である。また、理想境界525aは、試料11が理想的な球冠形状を呈している場合に、位置敏感型検出器12が位置pos1の位置で再構成された画像における材料521と材料522との境界を示す。当該画像801では、画像部分521aと画像部分522aとの境界が理想境界525aから外側にずれ、材料522に対応する画像部分522aが本来の大きさよりも大きく再構成されている。

40

【0065】

次に、位置敏感型検出器12が、位置駆動回路34によって図9に示す位置pos2に移動した場合について説明する。この場合、軌道621に沿って飛行してきたイオンは、

50

位置敏感型検出器 1 2 の検出面 1 2 a 上の点 P 1 に到達する。それに対し、軌道 6 2 1 a に沿って飛行してきたと仮定した場合のイオンは、検出面 1 2 a 上の点 P 2 に到達することになる。ここで、位置 p o s 2 にある位置敏感型検出器 1 2 により検出されたイオンの二次元の位置情報に基づいて再構成された画像が、図 1 0 (c) に示す画像 8 0 2 である。

【 0 0 6 6 】

図 1 0 (c) に示す画像 8 0 2 において、画像部分 5 2 1 b は、材料 5 2 1 に対応する画像部分であり、画像部分 5 2 2 b は、材料 5 2 2 に対応する画像部分である。また、理想境界 5 2 5 b は、試料 1 1 が理想的な球冠形状を呈している場合に、位置敏感型検出器 1 2 が位置 p o s 2 の位置で再構成された画像における材料 5 2 1 と材料 5 2 2 との境界を示す。当該画像 8 0 2 では、材料 5 2 1 に対応する画像部分 5 2 1 b よりも材料 5 2 2 に対応する画像部分 5 2 2 b の大きさが、上述の画像 8 0 1 の場合と比べて、より拡大された結果となっている。

10

【 0 0 6 7 】

このような本来の原子の分布とは異なる歪みを含んだ再構成画像として得られた 2 つの画像 8 0 1、8 0 2 について、特徴量マッチングを行う。この特徴量マッチングを行うことによって、画像 8 0 1、8 0 2 双方の材料の境界の位置を対応させることができる。この特徴量マッチングを行うことによって、材料 5 2 1 に対応する画像部分と、材料 5 2 2 に対応する画像部分との境界の位置を対応させることができる。そして、特徴量マッチングの結果に基づいて、2 つの再構成画像で互に対応する箇所（例えば、材質の境界位置）の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料 1 1 上の点の曲率円の中心（図 9 の例では点 O'）を推定することができる。最後に、このように推定された、イオンが離脱した試料 1 1 上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得ることができる。

20

【 0 0 6 8 】

図 1 1 は、第 1 の実施形態に係るアトムプローブ検査装置の動作のフローチャートである。図 1 1 を参照しながら、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 の動作の流れについて説明する。

【 0 0 6 9 】

30

< ステップ S 1 1 >

コントローラ 3 1 の電圧制御部 2 1 1 は、高電圧電源 3 2 に試料 1 1 に対する高電圧の印加動作を開始させる。具体的には、高電圧電源 3 2 は、電圧制御部 2 1 1 の制御に従って、試料 1 1 の蒸発電界より少し低い電界が生じるような電圧の印加を開始する。また、コントローラ 3 1 のレーザ制御部 2 1 2 は、レーザ装置 3 3 に試料 1 1 の先端にに対するレーザの照射を開始させる。具体的には、レーザ装置 3 3 は、レーザ制御部 2 1 2 の制御に従って、試料 1 1 の先端に対してパルス状のレーザの照射を開始する。そして、ステップ S 1 2 へ移行する。

【 0 0 7 0 】

40

< ステップ S 1 2 >

コントローラ 3 1 の位置制御部 2 1 3 は、位置駆動回路 3 4 に位置敏感型検出器 1 2 を所定の第 1 位置（例えば、図 9 に示す位置 p o s 1）（第 1 条件の一例）へ移動させる。そして、ステップ S 1 3 へ移行する。

【 0 0 7 1 】

< ステップ S 1 3 >

コントローラ 3 1 の検出部 2 0 1 は、第 1 位置にある位置敏感型検出器 1 2 で検出された試料 1 1 から離脱したイオンの二次元の位置情報、および、当該イオンが試料 1 1 から離脱してから位置敏感型検出器 1 2 に到達するまでの T O F を、検出装置 3 5 から検出情報として取得する。そして、コントローラ 3 1 の質量分析部 2 0 2 は、検出部 2 0 1 により取得された T O F を用いて、電界中のイオンの運動方程式により試料 1 1 から離脱した

50

イオンの質量数と電荷数との比である m/z を算出し、この m/z から試料 1 1 を構成する材料の元素を特定する質量分析を行う。この場合、検出部 2 0 1 により取得された検出情報、および、質量分析部 2 0 2 により特定されたイオンの元素の情報は、記憶制御部 2 1 5 により記憶装置 3 6 に記憶させておくものとすればよい。これによって、後述するように、第 2 位置での情報の取得後の再構成処理時に、記憶装置 3 6 に記憶された情報を読み出して利用することができる。そして、ステップ S 1 4 へ移行する。

【 0 0 7 2 】

< ステップ S 1 4 >

コントローラ 3 1 の位置制御部 2 1 3 は、位置駆動回路 3 4 に位置敏感型検出器 1 2 を第 1 位置とは異なる第 2 位置（例えば、図 9 に示す位置 $pos 2$ ）（第 2 条件の一例）へ移動させる。そして、ステップ S 1 5 へ移行する。

10

【 0 0 7 3 】

< ステップ S 1 5 >

コントローラ 3 1 の検出部 2 0 1 は、第 2 位置にある位置敏感型検出器 1 2 で検出された試料 1 1 から離脱したイオンの二次元の位置情報、および、当該イオンが試料 1 1 から離脱してから位置敏感型検出器 1 2 に到達するまでの TOF を、検出装置 3 5 から検出情報として取得する。そして、コントローラ 3 1 の質量分析部 2 0 2 は、検出部 2 0 1 により取得された TOF を用いて、電界中のイオンの運動方程式により試料 1 1 から離脱したイオンの質量数と電荷数との比である m/z を算出し、この m/z から試料 1 1 を構成する材料の元素を特定する質量分析を行う。そして、ステップ S 1 6 へ移行する。

20

【 0 0 7 4 】

< ステップ S 1 6 >

コントローラ 3 1 の画像作成部 2 0 3 は、位置敏感型検出器 1 2 が第 1 位置にある場合に、検出部 2 0 1 により取得されたイオンの二次元の位置情報、および、質量分析部 2 0 2 により特定された当該イオンの元素の情報を用いて、試料 1 1 表面の原子の分布を示す画像を第 1 画像として作成（再構成）する。また、画像作成部 2 0 3 は、位置敏感型検出器 1 2 が第 2 位置にある場合に、検出部 2 0 1 により取得されたイオンの二次元の位置情報、および、質量分析部 2 0 2 により特定された当該イオンの元素の情報を用いて、試料 1 1 表面の原子の分布を示す画像を第 2 画像として作成（再構成）する。そして、ステップ S 1 7 へ移行する。

30

【 0 0 7 5 】

< ステップ S 1 7 >

コントローラ 3 1 のマッチング部 2 0 4 は、画像作成部 2 0 3 により作成された 2 つの画像（第 1 画像、第 2 画像）について特徴量マッチングを行う。そして、ステップ S 1 8 へ移行する。

【 0 0 7 6 】

< ステップ S 1 8 >

コントローラ 3 1 の推定部 2 0 5 は、マッチング部 2 0 4 による 2 つの画像（第 1 画像、第 2 画像）の特徴量マッチングの結果に基づいて、2 つの画像で互に対応する箇所の変位量を算出し、当該変位量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料 1 1 上の点の曲率円の中心を推定する。そして、ステップ S 1 9 へ移行する。

40

【 0 0 7 7 】

< ステップ S 1 9 >

コントローラ 3 1 の再構成部 2 0 6 は、検出部 2 0 1 により取得されたイオンの二次元の位置情報、質量分析部 2 0 2 により特定された当該イオンの元素の情報、および、推定部 2 0 5 により推定された各イオンの曲率円の中心の情報を用いて、試料 1 1 表面の原子の分布（原子配置）を示す画像を再構成する。再構成部 2 0 6 は、試料 1 1 表面の原子の分布について再構成した再構成画像を時系列に並べることによって、試料 1 1 の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得る。そして、ステップ S 2 0 へ移行する。

50

【 0 0 7 8 】

< ステップ S 2 0 >

アトムプローブ検査装置 1 による検査（試料 1 1 の原子分布の再構成動作）を終了する場合（ステップ S 2 0 : Y e s）、アトムプローブ検査装置 1 の動作を終了し、検査を継続する場合（ステップ S 2 0 : N o）、ステップ S 1 2 へ戻る。

【 0 0 7 9 】

以上のステップ S 1 1 ~ S 2 0 の流れによって、アトムプローブ検査装置 1 による検査動作が行われる。

【 0 0 8 0 】

以上のように、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 では、位置敏感型検出器 1 2 を 2 箇所 の位置に移動させ、それぞれの位置で、試料 1 1 から離脱して飛行してきたイオンの二次元の位置情報および T O F を検出するものとしている。また、T O F からイオンの元素を特定し、当該 2 箇所 の位置で検出された位置情報と、特定した元素の情報とから、それぞれの位置の再構成画像を作成する。また、これらの再構成画像について特徴量マッチングを行い、特徴量マッチングの結果に基づいて、2 つの再構成画像で互に対応する箇所 の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料 1 1 上の点の曲率円の中心を推定する。さらに、このように推定された、イオンが離脱した試料 1 1 上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得るものとしている。これによって、試料 1 1 の原子の位置（分布）について再構成された画像について試料 1 1 の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができる。

10

20

【 0 0 8 1 】

なお、本実施形態では、位置敏感型検出器 1 2 について 2 箇所 の位置で検出された検出情報を用いるものとしているが、これに限定されるものではなく、位置敏感型検出器 1 2 について 3 箇所以上の位置で検出された検出情報を用いるものとしてもよい。

【 0 0 8 2 】

< 変形例 1 >

第 1 の実施形態の変形例 1 に係るアトムプローブ検査装置について、第 1 の実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 と相違する点を中心に説明する。第 1 の実施形態では、位置敏感型検出器 1 2 の位置を移動させる構成について説明した。本変形例では、試料 1 1 から離脱したイオンを電界の作用によって折り返す（反射させる）リフレクションレンズの位置を移動させる構成について説明する。

30

【 0 0 8 3 】

図 1 2 は、第 1 の実施形態の変形例 1 に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。図 1 2 を参照しながら、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 a の全体構成について説明する。

【 0 0 8 4 】

図 1 2 に示すように、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 a は、位置敏感型検出器 1 2 と、リフレクションレンズ 1 3 と、コントローラ 3 1 a と、高電圧電源 3 2 と、レーザー装置 3 3 と、検出装置 3 5 と、位置駆動回路 3 7 と、リフレクション駆動回路 3 7 a と、記憶装置 3 6 と、を有する。なお、位置敏感型検出器 1 2、高電圧電源 3 2、レーザー装置 3 3、検出装置 3 5 および記憶装置 3 6 の動作については、第 1 の実施形態と同様である。

40

【 0 0 8 5 】

リフレクションレンズ 1 3 は、所定の電界を形成することによって、飛行してきたイオンの軌道を折り返して異なる方向に飛行させる電子光学装置である。具体的には、リフレクションレンズ 1 3 は、飛行してきたイオンの軌道を折り返して、位置敏感型検出器 1 2 に向かう方向に飛行させる。リフレクションレンズ 1 3 は、例えば、光学系の反射ミラーに相当する装置である。

【 0 0 8 6 】

50

コントローラ 3 1 a は、アトムプローブ検査装置 1 a 全体の制御を司るコントローラである。具体的には、コントローラ 3 1 a は、高電圧電源 3 2、レーザ装置 3 3、位置駆動回路 3 7 およびリフレクション駆動回路 3 7 a の動作を制御すると共に、検出装置 3 5 により得られた情報から試料 1 1 表面の原子の分布（位置）を計算して画像にする再構成処理を行う。また、コントローラ 3 1 a は、試料 1 1 表面の原子の分布の画像を時系列に並べることによって、試料 1 1 の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得ることができる。なお、コントローラ 3 1 a のハードウェア構成は、上述した図 3 に示すコントローラ 3 1 のハードウェア構成と同様である。

【 0 0 8 7 】

位置駆動回路 3 7 は、コントローラ 3 1 a の制御に従って、リフレクションレンズ 1 3 の位置を移動するための駆動回路である。具体的には、リフレクションレンズ 1 3 は、その位置を実際に移動させるアクチュエータに固定されており、当該アクチュエータは、位置駆動回路 3 7 からの駆動信号によって駆動することによりリフレクションレンズ 1 3 が移動する。

10

【 0 0 8 8 】

リフレクション駆動回路 3 7 a は、リフレクションレンズ 1 3 で電界を形成するために電流または電圧を印加する駆動回路である。

【 0 0 8 9 】

図 1 3 は、第 1 の実施形態の変形例 1 におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。図 1 3 を参照しながら、本変形例におけるコントローラ 3 1 a の機能ブロックの構成および動作について説明する。

20

【 0 0 9 0 】

図 1 3 に示すように、本変形例に係るコントローラ 3 1 a は、検出部 2 0 1 と、質量分析部 2 0 2（特定部）と、画像作成部 2 0 3 と、マッチング部 2 0 4 と、推定部 2 0 5 と、再構成部 2 0 6 と、電圧制御部 2 1 1 と、レーザ制御部 2 1 2 と、通信部 2 1 4 と、記憶制御部 2 1 5 と、位置制御部 2 1 6（変動部の一例、第 2 位置制御部）と、リフレクション制御部 2 1 6 a と、を有する。なお、検出部 2 0 1、質量分析部 2 0 2、画像作成部 2 0 3、マッチング部 2 0 4、推定部 2 0 5、再構成部 2 0 6、電圧制御部 2 1 1、レーザ制御部 2 1 2、通信部 2 1 4 および記憶制御部 2 1 5 の動作は、上述の図 4 で説明した動作と同様である。これらの処理部は、集積回路、および/または、コンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記憶された CPU が実行可能な命令であって、以下に記載の処理を実行することが可能なものを含む。

30

【 0 0 9 1 】

位置制御部 2 1 6 は、位置駆動回路 3 7 の動作制御を行うことにより、リフレクションレンズ 1 3 の移動動作を制御する機能部である。位置制御部 2 1 6 は、図 3 に示す CPU 1 0 1 によるプログラムの実行によって実現される。

【 0 0 9 2 】

リフレクション制御部 2 1 6 a は、リフレクション駆動回路 3 7 a の動作制御を行うことにより、リフレクションレンズ 1 3 による電界の形成動作を制御する機能部である。リフレクション制御部 2 1 6 a は、図 3 に示す CPU 1 0 1 によるプログラムの実行によって実現される。

40

【 0 0 9 3 】

なお、検出部 2 0 1、質量分析部 2 0 2、画像作成部 2 0 3、マッチング部 2 0 4、推定部 2 0 5、再構成部 2 0 6、電圧制御部 2 1 1、レーザ制御部 2 1 2、位置制御部 2 1 6 およびリフレクション制御部 2 1 6 a の一部または全部は、ソフトウェアであるプログラムではなく、FPGA または ASIC 等のハードウェア回路によって実現されてもよい。

【 0 0 9 4 】

また、図 1 3 に示すコントローラ 3 1 a の各機能部は、機能を概念的に示したものであって、このような構成に限定されるものではない。例えば、図 1 3 に示すコントローラ 3

50

1 aで独立した機能部として図示した複数の機能部を、1つの機能部として構成してもよい。一方、図13に示すコントローラ31aで1つの機能部が有する機能を複数に分割し、複数の機能部として構成するものとしてもよい。

【0095】

図14は、第1の実施形態の変形例1でのリフレクションレンズを移動させる動作を説明する図である。次に、図14を参照しながら、本変形例に係るアトムプローブ検査装置1aにおいてリフレクションレンズ13を移動させる動作について説明する。

【0096】

上述のように、リフレクションレンズ13は、位置駆動回路37によって位置を移動することが可能となっている。図14に示すように、リフレクションレンズ13が特定の位置（第1条件の一例、第1位置）にある場合、例えば、軌道631～633に沿うように試料11から電界蒸発により離脱したイオンは、リフレクションレンズ13により形成された電界によって、軌道631～633のように折り返されて、位置敏感型検出器12へ向かい、検出面12aで検出される。この場合、図9等で示したように、試料11が球冠形状から表面の各位置で局所倍率が異なる（曲率が異なる）ような形状であるものとする。検出面12aの特定の位置で検出されたイオンは、球冠形状に沿う円の中心とは異なる中心を有する曲率円上の点から飛行したものであるにもかかわらず、当該球冠形状に沿う円の中心から飛行してきたものと推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料11上の位置は、当該曲率円上の点にあったにも関わらず、画像作成部203により球冠形状に沿う円上にあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、歪みを含む再構成画像が得られることになる。

10

20

【0097】

次に、リフレクションレンズ13が上述の特定の位置とは異なる位置（図14の例では、当該特定の位置より試料11から離れた位置）（第2条件の一例、第2位置）にある場合、軌道631a～633aに沿うように試料11から電界蒸発により離脱したイオンは、リフレクションレンズ13により形成された電界によって、軌道631a～633aのように折り返されて、位置敏感型検出器12へ向かい、検出面12aで検出される。この場合も同様に、検出面12aの特定の位置で検出されたイオンは、球冠形状に沿う円の中心とは異なる中心を有する曲率円上の点から飛行したものであるにもかかわらず、当該球冠形状に沿う円の中心から飛行してきたものと推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料11上の位置は、当該曲率円上の点にあったにも関わらず、画像作成部203により球冠形状に沿う円上にあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、上述のリフレクションレンズ13が特定の位置にあった場合とは異なる歪みを含む再構成画像が得られることになる。

30

【0098】

そして、マッチング部204は、このような本来の原子の分布とは異なる歪みを含んだ再構成画像として得られた2つの画像について、特徴量マッチングを行う。この特徴量マッチングを行うことによって、2つの画像双方の材料の境界の位置を対応させることができる。この特徴量マッチングを行うことによって、複数の材料に対応する画像部分の境界の位置を対応させることができる。そして、推定部205は、特徴量マッチングの結果に基づいて、2つの再構成画像で互に対応する箇所（例えば、材質の境界位置）の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を推定する。最後に、再構成部206は、推定部205により推定された、イオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得る。

40

【0099】

以上のように、位置敏感型検出器12の位置ではなく、リフレクションレンズ13の位置を移動させてイオンの軌道を変化させることによって、試料11上の同じ位置から離脱したイオンを、検出面12aの異なる位置で検出させることができる。これによって、歪

50

みを伴う再構成画像を2つ得ることができ、特徴量マッチングにより、互いに対応する箇所を特定することができる。そして、互いに対応する箇所の歪みを算出し、当該歪みを用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を推定する。さらに、このように推定された、イオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得るものとしている。これによって、試料11の原子の位置(分布)について再構成された画像について試料11の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができる。

【0100】

なお、本変形例では、リフレクションレンズ13が2箇所の位置で位置敏感型検出器12によりそれぞれ検出された検出情報を用いるものとしているが、これに限定されるものではなく、リフレクションレンズ13が3箇所以上の位置で位置敏感型検出器12によりそれぞれ検出された検出情報を用いるものとしてもよい。

10

【0101】

また、リフレクションレンズ13の位置を変えてイオンの軌道を変えると、イオンの軌道が位置敏感型検出器12の検出面12aを外れて収率が下がる場合があるため、それを補正する手段を組み合わせ利用することが望ましい。具体的な手段としては、リフレクションレンズ13の位置を移動させながらわずかにリフレクションレンズ13の反射面を傾ける機構を設けること、リフレクションレンズ13の移動に連動させて位置敏感型検出器12の位置を移動させること、広い検出面12aを有する位置敏感型検出器12を使用すること、または、検出面12aの手前にさらに軌道を曲げるための静電レンズまたは電磁レンズ等の光学素子を設けること等が挙げられる。

20

【0102】

<変形例2>

第1の実施形態の変形例2について、第1の実施形態と相違する点を中心に説明する。第1の実施形態に係るアトムプローブ検査装置1では、複数の材料で構成された試料11から電界蒸発により離脱したイオンを検出することによってラベリングされた再構成画像を2つ得て、特徴量マッチングにより各部位を対応付け、歪みを算出するものとした。すなわち、アトムプローブ検査装置1は、検出したTOFを用いた質量分析により試料11を構成する各材料の元素を特定する機能を有している。本変形例では、アトムプローブ検査装置1が有する当該TOFによる質量分析の機能を有さないFIM(電界イオン顕微鏡)を用いた場合において再構成画像を得る動作について説明する。

30

【0103】

図15は、FIMで得られた画像の一例を示す図である。本変形例に係るFIMは、質量分析による元素の特定機能を有さないため、例えば、単一の材料で構成された試料から電界蒸発により試料の先端から離脱したイオンを位置敏感型検出器12により二次元位置を検出し、試料表面の原子分布について再構成を行う装置である。したがって、本変形例に係るFIMのコントローラの機能ブロックの構成は、例えば、図4に示すアトムプローブ検査装置1のコントローラ31の機能ブロックのうち、質量分析部202を除いた構成とすればよい。

40

【0104】

このようなFIMで得られた単一の材料で構成された試料表面の再構成画像(FIM画像)の一例を図15に示す。図15に示すFIM画像531のように、FIMにより得られる再構成画像は、試料を構成する原子の結晶構造等によって模様(パターン)を伴う画像として得られる。

【0105】

ただし、上述の実施形態で説明したように、試料の先端が各種要因に伴い、球冠形状ではなく表面の各位置で局所倍率が異なる形状である場合、再構成された画像は歪みを含み、本来の原子分布を反映した画像とはならない。この場合、上述の実施形態または変形例1と同様に、歪みを含む2つの再構成画像を得て、特徴量マッチングを行う。図15に示

50

すように、試料が単一の材料で構成されているとしても、FIM画像に含まれるパターンに基づく特徴量マッチングにより、2つの画像の各部位を対応付けることが可能である。そして、推定部205は、特徴量マッチングの結果に基づいて、2つの再構成画像で互に対応する箇所の歪みを算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料上の点の曲率円の中心を推定する。最後に、再構成部206は、推定部205により推定された、イオンが離脱した試料上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得ることができる。このように、単一の材料で構成された試料の原子の位置(分布)について再構成された画像についても、試料の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができる。

10

【0106】

(第2の実施形態)

第2の実施形態に係るアトムプローブ検査装置について、第1の実施形態に係るアトムプローブ検査装置1と相違する点を中心に説明する。第1の実施形態では、位置駆動回路34により位置敏感型検出器12の位置を移動させることによって2つの再構成画像を得る構成について説明した。本実施形態では、位置敏感型検出器12の位置は固定とし、電磁レンズの作用によりイオンの軌道を変えることによって、異なる2つの再構成画像を得る構成について説明する。

【0107】

図16は、第2の実施形態に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。図16を参照しながら、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置1bの全体構成について説明する。

20

【0108】

図16に示すように、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置1bは、位置敏感型検出器12と、電磁レンズ14と、コントローラ31bと、高電圧電源32と、レーザ装置33と、検出装置35と、レンズ駆動回路38と、記憶装置36と、を有する。なお、位置敏感型検出器12、高電圧電源32、レーザ装置33、検出装置35および記憶装置36の動作については、第1の実施形態と同様である。

【0109】

電磁レンズ14は、ドーナツ型のコイルに電流を流すことによって磁界を形成し、当該コイルを潜るイオンの軌道を変えて集束させる電子光学装置である。電磁レンズ14は、例えば、光学系の凸レンズに相当する。

30

【0110】

コントローラ31bは、アトムプローブ検査装置1b全体の制御を司るコントローラである。具体的には、コントローラ31bは、高電圧電源32、レーザ装置33、検出装置35およびレンズ駆動回路38の動作を制御すると共に、検出装置35により得られた情報から試料11表面の原子の分布(位置)を計算して画像にする再構成処理を行う。また、コントローラ31bは、試料11表面の原子の分布の画像を時系列に並べることによって、試料11の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得ることができる。なお、コントローラ31bのハードウェア構成は、上述した図3に示すコントローラ31のハードウェア構成と同様である。

40

【0111】

レンズ駆動回路38は、電磁レンズ14で磁界を形成するために電流または電圧を印加する駆動回路である。

【0112】

図17は、第2の実施形態におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。図17を参照しながら、本実施形態に係るコントローラ31bの機能ブロックの構成および動作について説明する。

【0113】

図17に示すように、本実施形態に係るコントローラ31bは、検出部201と、質量

50

分析部 202 (特定部) と、画像作成部 203 と、マッチング部 204 と、推定部 205 と、再構成部 206 と、電圧制御部 211 と、レーザ制御部 212 と、通信部 214、記憶制御部 215 と、レンズ制御部 217 (変動部の一例) と、を有する。なお、検出部 201、質量分析部 202、画像作成部 203、マッチング部 204、推定部 205、再構成部 206、電圧制御部 211、レーザ制御部 212、通信部 214 および記憶制御部 215 の動作は、上述の図 4 で説明した動作と同様である。これらの処理部は、集積回路、および/または、コンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記憶された CPU が実行可能な命令であって、以下に記載の処理を実行することが可能なものを含む。

【0114】

レンズ制御部 217 は、レンズ駆動回路 38 の動作制御を行うことにより、電磁レンズ 14 の磁界の形成動作を制御する機能部である。レンズ制御部 217 は、図 3 に示す CPU 101 によるプログラムの実行によって実現される。

10

【0115】

なお、検出部 201、質量分析部 202、画像作成部 203、マッチング部 204、推定部 205、再構成部 206、電圧制御部 211、レーザ制御部 212 およびレンズ制御部 217 の一部または全部は、ソフトウェアであるプログラムではなく、FPGA または ASIC 等のハードウェア回路によって実現されてもよい。

【0116】

また、図 17 に示すコントローラ 31b の各機能部は、機能を概念的に示したものであって、このような構成に限定されるものではない。例えば、図 17 に示すコントローラ 31b で独立した機能部として図示した複数の機能部を、1つの機能部として構成してもよい。一方、図 17 に示すコントローラ 31b で1つの機能部が有する機能を複数に分割し、複数の機能部として構成するものとしてもよい。

20

【0117】

図 18 は、第 2 の実施形態での電磁レンズにより軌道が変化する動作を説明する図である。次に、図 18 を参照しながら、本実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1b において電磁レンズ 14 によりイオンの軌道を変化させる動作について説明する。なお、図 18 に示す試料 11 の形状は、上述の図 8 に示した試料 11 の形状と同様であるものとする。

【0118】

まず、電磁レンズ 14 のコイルを流れる電流がなく磁界が形成されていない場合 (第 1 条件の一例) について説明する。この場合、位置敏感型検出器 12 の検出面 12a 上の点 P で検出されたイオンの軌道は、当該イオンの元となる原子が位置していた箇所における曲率円である円 702 の中心である点 O' を通る軌道 611 であるにもかかわらず、球冠形状に沿う円 701 の中心である点 O を通る軌道 611a であるように推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料 11 上の位置は、本来点 Q にあったにも関わらず、点 Q' にあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、材料 522 が本来の大きさよりも大きく再構成された画像、すなわち、歪みを含む再構成画像 (例えば、上述の図 10 (b) に示す画像 801) が得られる。

30

【0119】

次に、レンズ制御部 217 によるレンズ駆動回路 38 の制御により、電磁レンズ 14 のコイルに電流を流すことによって磁界が形成された場合 (第 2 条件の一例) について説明する。この場合、電磁レンズ 14 まで軌道 611 に沿って飛行してきたイオンは、電磁レンズ 14 の磁界の影響を受ける位置まで到達すると、電磁レンズ 14 による集束効果により軌道 641 に曲げられて検出面 12a 上の点 P1 に到達する。それに対し、軌道 611a に沿って飛行してきたと仮定した場合のイオンは、電磁レンズ 14 による集束効果により軌道 641a に曲げられて検出面 12a 上の点 P2 に到達することになる。このように、電磁レンズ 14 により磁界が形成された場合において、位置敏感型検出器 12 により検出されたイオンの二次元の位置情報に基づいて再構成された画像は、試料 11 が球冠形状であるものとした場合に再構成される画像と比較して歪みを含むことになる。

40

【0120】

50

そして、マッチング部 204 は、このような本来の原子の分布とは異なる歪みを含んだ再構成画像として得られた 2 つの画像について、特徴量マッチングを行う。この特徴量マッチングを行うことによって、2 つの画像双方の材料の境界の位置を対応させることができる。この特徴量マッチングを行うことによって、複数の材料に対応する画像部分の境界の位置を対応させることができる。そして、推定部 205 は、特徴量マッチングの結果に基づいて、2 つの再構成画像で互いに対応する箇所（例えば、材質の境界位置）の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料 11 上の点の曲率円の中心を推定する。最後に、再構成部 206 は、推定部 205 により推定された、イオンが離脱した試料 11 上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得る。

10

【0121】

以上のように、位置敏感型検出器 12 の位置ではなく、電磁レンズ 14 により磁界を形成させることによって、試料 11 上の同じ位置から離脱したイオンを、検出面 12 a の異なる位置で検出させることができる。これによって、歪みを伴う再構成画像を 2 つ得ることができ、特徴量マッチングにより、互いに対応する箇所を特定することができる。そして、互いに対応する箇所の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料 11 上の点の曲率円の中心を推定する。さらに、このように推定された、イオンが離脱した試料 11 上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得るものとしている。これによって、試料 11 の原子の位置（分布）について再構成された画像について試料 11 の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができる。

20

【0122】

また、第 1 の実施形態のように真空槽 10 内で位置敏感型検出器 12 を移動させる必要がないので、第 1 の実施形態と比較して、発塵のリスクを低減することができ、さらに、位置敏感型検出器 12 の可動域を設けるためのスペースを省くことができる。

【0123】

なお、電磁レンズ 14 は、一般に、形成される磁界の大きさと磁束密度との関係にヒステリシスを有するため、電磁レンズ 14 に印加する電圧または電流は、正弦波のような周期的な信号とすることが望ましい。

30

【0124】

また、本実施形態では、電磁レンズ 14 により磁界が形成されていない場合と、磁界が形成されている場合とで得られた検出情報を用いるものとしているが、これに限定されるものではなく、形成する磁界の強さを 2 種類（第 1 条件および第 2 条件の一例）として、各磁界で得られた検出情報を用いるものとしてもよい。また、再構成に用いる検出情報として 2 種類に限られるものではなく、3 種類以上の磁界の状態で得られた検出情報を用いるものとしてもよい。

【0125】

<変形例 1>

第 2 の実施形態の変形例 1 に係るアトムプローブ検査装置について、第 2 の実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 b と相違する点を中心に説明する。第 2 の実施形態では、位置敏感型検出器 12 寄りに設置された電磁レンズ 14 によりイオンの軌道を変える構成について説明した。本変形例では、試料 11 寄りに設置されたコンデンサレンズによりイオンの軌道を変える構成について説明する。

40

【0126】

図 19 は、第 2 の実施形態の変形例 1 に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。図 19 を参照しながら、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 c の全体構成について説明する。

【0127】

図 19 に示すように、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 c は、位置敏感型検出

50

器 1 2 と、コンデンサレンズ 1 5 と、コントローラ 3 1 c と、高電圧電源 3 2 と、レーザ装置 3 3 と、検出装置 3 5 と、レンズ駆動回路 3 8 a と、記憶装置 3 6 と、を有する。なお、位置敏感型検出器 1 2、高電圧電源 3 2、レーザ装置 3 3、検出装置 3 5 および記憶装置 3 6 の動作については、第 2 の実施形態と同様である。

【 0 1 2 8 】

コンデンサレンズ 1 5 は、試料 1 1 から離脱するイオンの軌道を集束させる電子光学装置である。コンデンサレンズ 1 5 は、例えば、ドーナツ型のコイルに電流を流すことによって磁界を形成する電磁レンズである。

【 0 1 2 9 】

コントローラ 3 1 c は、アトムプローブ検査装置 1 c 全体の制御を司るコントローラである。具体的には、コントローラ 3 1 c は、高電圧電源 3 2、レーザ装置 3 3、検出装置 3 5 およびレンズ駆動回路 3 8 a の動作を制御すると共に、検出装置 3 5 により得られた情報から試料 1 1 表面の原子の分布（位置）を計算して画像にする再構成処理を行う。また、コントローラ 3 1 c は、試料 1 1 表面の原子の分布の画像を時系列に並べることによって、試料 1 1 の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得ることができる。なお、コントローラ 3 1 c のハードウェア構成は、上述した図 3 に示すコントローラ 3 1 のハードウェア構成と同様である。

10

【 0 1 3 0 】

また、コントローラ 3 1 c の機能ブロックの構成は、図 1 7 に示すコントローラ 3 1 b と同様である。このうち、レンズ制御部 2 1 7 は、レンズ駆動回路 3 8 の代わりに、本変形例ではレンズ駆動回路 3 8 a の動作制御を行い、コンデンサレンズ 1 5 の磁界の形成動作を制御するものとすればよい。

20

【 0 1 3 1 】

以上のようなアトムプローブ検査装置 1 c の構成では、アトムプローブ検査装置 1 b の電磁レンズ 1 4 の代わりに、コンデンサレンズ 1 5 を用いて、イオンの軌道を変えるものとしている。このように、コンデンサレンズ 1 5 により磁界を形成させることによって、試料 1 1 上の同じ位置から離脱したイオンを、検出面 1 2 a の異なる位置で検出させることができる。これによって、歪みを伴う再構成画像を 2 つ得ることができ、特徴量マッチングにより、互いに対応する箇所を特定することができる。そして、互いに対応する箇所の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料 1 1 上の点の曲率円の中心を推定する。さらに、このように推定された、イオンが離脱した試料 1 1 上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得るものとしている。これによって、試料 1 1 の原子の位置（分布）について再構成された画像について試料 1 1 の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができる。

30

【 0 1 3 2 】

< 変形例 2 >

第 2 の実施形態の変形例 2 に係るアトムプローブ検査装置について、第 2 の実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 b と相違する点を中心に説明する。第 2 の実施形態では、電磁レンズ 1 4 により磁界を形成することによってイオンの軌道を変化させる構成について説明した。本変形例では、イオンの軌道の途中で電界を形成することによってイオンの軌道を変化させる構成について説明する。

40

【 0 1 3 3 】

図 2 0 は、第 2 の実施形態の変形例 2 に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。図 2 0 を参照しながら、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 d の全体構成について説明する。

【 0 1 3 4 】

図 2 0 に示すように、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 d は、位置敏感型検出器 1 2 と、アノード 1 6 a と、カソード 1 6 b と、コントローラ 3 1 d と、高電圧電源 3 2 と、レーザ装置 3 3 と、検出装置 3 5 と、電界駆動回路 3 9 と、記憶装置 3 6 と、を有

50

する。なお、位置敏感型検出器 1 2、高電圧電源 3 2、レーザ装置 3 3、検出装置 3 5 および記憶装置 3 6 の動作については、第 2 の実施形態と同様である。

【0135】

アノード 1 6 a およびカソード 1 6 b は、試料 1 1 から位置敏感型検出器 1 2 へ飛行するイオンの軌道を変えるための電界を形成するための電極である。アノード 1 6 a は、電界を形成するための正極であり、カソード 1 6 b は、負極であり接地されている。アノード 1 6 a およびカソード 1 6 b により形成される電界の作用は、例えば、光学系のプリズムに相当する。

【0136】

コントローラ 3 1 d は、アトムプローブ検査装置 1 d 全体の制御を司るコントローラである。具体的には、コントローラ 3 1 d は、高電圧電源 3 2、レーザ装置 3 3 および電界駆動回路 3 9 の動作を制御すると共に、検出装置 3 5 により得られた情報から試料 1 1 表面の原子の分布（位置）を計算して画像にする再構成処理を行う。また、コントローラ 3 1 d は、試料 1 1 表面の原子の分布の画像を時系列に並べることによって、試料 1 1 の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得ることができる。なお、コントローラ 3 1 d のハードウェア構成は、上述した図 3 に示すコントローラ 3 1 のハードウェア構成と同様である。

10

【0137】

電界駆動回路 3 9 は、コントローラ 3 1 d の制御に従って、アノード 1 6 a とカソード 1 6 b との間に電界を形成するために、アノード 1 6 a に電圧を印加する駆動回路である。

20

【0138】

図 2 1 は、第 2 の実施形態の変形例 2 におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。図 2 1 を参照しながら、本変形例におけるコントローラ 3 1 d の機能ブロックの構成および動作について説明する。

【0139】

図 2 1 に示すように、本変形例に係るコントローラ 3 1 d は、検出部 2 0 1 と、質量分析部 2 0 2（特定部）と、画像作成部 2 0 3 と、マッチング部 2 0 4 と、推定部 2 0 5 と、再構成部 2 0 6 と、電圧制御部 2 1 1 と、レーザ制御部 2 1 2 と、通信部 2 1 4 と、記憶制御部 2 1 5 と、電界制御部 2 1 8（変動部の一例）と、を有する。なお、検出部 2 0 1、質量分析部 2 0 2、画像作成部 2 0 3、マッチング部 2 0 4、推定部 2 0 5、再構成部 2 0 6、電圧制御部 2 1 1、レーザ制御部 2 1 2、通信部 2 1 4 および記憶制御部 2 1 5 の動作は、上述の図 4 で説明した動作と同様である。これらの処理部は、集積回路、および/または、コンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記憶された CPU が実行可能な命令であって、以下に記載の処理を実行することが可能なものを含む。

30

【0140】

電界制御部 2 1 8 は、電界駆動回路 3 9 の動作制御を行うことにより、アノード 1 6 a およびカソード 1 6 b の電界の形成動作を制御する機能部である。電界制御部 2 1 8 は、図 3 に示す CPU 1 0 1 によるプログラムの実行によって実現される。

【0141】

なお、検出部 2 0 1、質量分析部 2 0 2、画像作成部 2 0 3、マッチング部 2 0 4、推定部 2 0 5、再構成部 2 0 6、電圧制御部 2 1 1、レーザ制御部 2 1 2 および電界制御部 2 1 8 の一部または全部は、ソフトウェアであるプログラムではなく、FPGA または ASIC 等のハードウェア回路によって実現されてもよい。

40

【0142】

また、図 2 1 に示すコントローラ 3 1 d の各機能部は、機能を概念的に示したものであって、このような構成に限定されるものではない。例えば、図 2 1 に示すコントローラ 3 1 d で独立した機能部として図示した複数の機能部を、1 つの機能部として構成してもよい。一方、図 2 1 に示すコントローラ 3 1 d で 1 つの機能部が有する機能を複数に分割し、複数の機能部として構成するものとしてもよい。

50

【0143】

図22は、第2の実施形態の変形例2での電界により軌道が変化する動作を説明する図である。図22を参照しながら、本変形例に係るアトムプローブ検査装置1dにおいて電界により軌道が変化する動作について説明する。

【0144】

まず、アノード16aとカソード16bとの間で電界が形成されていない場合（第1条件の一例）について説明する。この場合、図22に示すように、試料11から電界蒸発により離脱したイオンは、例えば、軌道651～653に沿うように、すなわち、電界による影響がなく直線的に飛行して、位置敏感型検出器12へ向かい、検出面12aで検出される。この場合、図9等で示したように、試料11が球冠形状から表面の各位置で局所倍率が異なる（曲率が異なる）ような形状であるものとする、検出面12aの特定の位置で検出されたイオンは、球冠形状に沿う円の中心とは異なる中心を有する曲率円上の点から飛行したものであるにもかかわらず、当該球冠形状に沿う円の中心から飛行してきたものと推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料11上の位置は、当該曲率円上の点にあったにも関わらず、画像作成部203により球冠形状に沿う円上にあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、歪みを含む再構成画像が得られることになる。

10

【0145】

次に、アノード16aとカソード16bとの間で電界が形成されている場合（第2条件の一例）について説明する。この場合、図22に示すように、試料11から電界蒸発により離脱したイオンは、例えば、軌道651a～653aのように電界により曲げられた軌道に沿って、位置敏感型検出器12へ向かい、検出面12aで検出される。この場合も同様に、検出面12aの特定の位置で検出されたイオンは、球冠形状に沿う円の中心とは異なる中心を有する曲率円上の点から飛行したものであるにもかかわらず、当該球冠形状に沿う円の中心から飛行してきたものと推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料11上の位置は、当該曲率円上の点にあったにも関わらず、画像作成部203により球冠形状に沿う円上にあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、上述のアノード16aとカソード16bとの間で電界が形成されていない場合とは異なる歪みを含む再構成画像が得られることになる。

20

【0146】

そして、マッチング部204は、このような本来の原子の分布とは異なる歪みを含んだ再構成画像として得られた2つの画像について、特徴量マッチングを行う。この特徴量マッチングを行うことによって、2つの画像双方の材料の境界の位置を対応させることができる。この特徴量マッチングを行うことによって、複数の材料に対応する画像部分の境界の位置を対応させることができる。そして、推定部205は、特徴量マッチングの結果に基づいて、2つの再構成画像で互に対応する箇所（例えば、材質の境界位置）の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を推定する。最後に、再構成部206は、推定部205により推定された、イオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得る。

30

40

【0147】

以上のように、電磁レンズ14による磁界ではなく、アノード16aおよびカソード16bにより電界を形成させることによって、試料11上の同じ位置から離脱したイオンを、検出面12aの異なる位置で検出させることができる。これによって、歪みを伴う再構成画像を2つ得ることができ、特徴量マッチングにより、互に対応する箇所を特定することができる。そして、互に対応する箇所の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を推定する。さらに、このように推定された、イオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差

50

のない再構成画像を得るものとしている。これによって、試料 1 1 の原子の位置（分布）について再構成された画像について試料 1 1 の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができる。

【0148】

また、第 1 の実施形態のように真空槽 1 0 内で位置敏感型検出器 1 2 を移動させる必要がないので、第 1 の実施形態と比較して、発塵のリスクを低減することができ、さらに、位置敏感型検出器 1 2 の可動域を設けるためのスペースを省くことができる。

【0149】

なお、本変形例では、アノード 1 6 a およびカソード 1 6 b により電界が形成されていない場合と、電界が形成されている場合とで得られた検出情報を用いるものとしているが、これに限定されるものではなく、形成する電界の強さを 2 種類（第 1 条件および第 2 条件の一例）として、各電界で得られた検出情報を用いるものとしてもよい。また、再構成に用いる検出情報として 2 種類に限られるものではなく、3 種類以上の電界の状態で得られた検出情報を用いるものとしてもよい。

10

【0150】

<変形例 3>

第 2 の実施形態の変形例 3 に係るアトムプローブ検査装置について、第 2 の実施形態に係るアトムプローブ検査装置 1 b と相違する点を中心に説明する。第 2 の実施形態では、電磁レンズ 1 4 により磁界を形成することによってイオンの軌道を変化させる構成について説明した。本変形例では、試料 1 1 から離脱したイオンをリフレクションレンズの電界の作用によって折り返す（反射させる）構成について説明する。

20

【0151】

図 2 3 は、第 2 の実施形態の変形例 3 に係るアトムプローブ検査装置の構成例を示す図である。図 2 3 を参照しながら、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 e の全体構成について説明する。

【0152】

図 2 3 に示すように、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 e は、位置敏感型検出器 1 2 と、リフレクションレンズ 1 3 a と、コントローラ 3 1 e と、高電圧電源 3 2 と、レーザ装置 3 3 と、検出装置 3 5 と、リフレクション駆動回路 3 7 b と、記憶装置 3 6 と、を有する。なお、位置敏感型検出器 1 2、高電圧電源 3 2、レーザ装置 3 3、検出装置 3 5 および記憶装置 3 6 の動作については、第 2 の実施形態と同様である。

30

【0153】

リフレクションレンズ 1 3 a は、所定の電界を形成することによって、飛行してきたイオンの軌道を折り返して異なる方向に飛行させる電子光学装置である。具体的には、リフレクションレンズ 1 3 a は、飛行してきたイオンの軌道を折り返して、位置敏感型検出器 1 2 に向かう方向に飛行させる。リフレクションレンズ 1 3 a は、例えば、光学系の反射ミラーに相当する装置である。

【0154】

コントローラ 3 1 e は、アトムプローブ検査装置 1 e 全体の制御を司るコントローラである。具体的には、コントローラ 3 1 e は、高電圧電源 3 2、レーザ装置 3 3 およびリフレクション駆動回路 3 7 b の動作を制御すると共に、検出装置 3 5 により得られた情報から試料 1 1 表面の原子の分布（位置）を計算して画像にする再構成処理を行う。また、コントローラ 3 1 e は、試料 1 1 表面の原子の分布の画像を時系列に並べることによって、試料 1 1 の三次元の原子の分布を示す三次元マップを得ることができる。なお、コントローラ 3 1 e のハードウェア構成は、上述した図 3 に示すコントローラ 3 1 のハードウェア構成と同様である。

40

【0155】

リフレクション駆動回路 3 7 b は、リフレクションレンズ 1 3 a で電界を形成するために電流または電圧を印加する駆動回路である。

【0156】

50

図 2 4 は、第 2 の実施形態の変形例 3 におけるコントローラの機能ブロックの構成例を示す図である。図 2 4 を参照しながら、本変形例におけるコントローラ 3 1 e の機能ブロックの構成および動作について説明する。

【 0 1 5 7 】

図 2 4 に示すように、本変形例に係るコントローラ 3 1 e は、検出部 2 0 1 と、質量分析部 2 0 2 (特定部) と、画像作成部 2 0 3 と、マッチング部 2 0 4 と、推定部 2 0 5 と、再構成部 2 0 6 と、電圧制御部 2 1 1 と、レーザ制御部 2 1 2 と、通信部 2 1 4 と、記憶制御部 2 1 5 と、リフレクション制御部 2 1 6 b (変動部の一例) と、を有する。なお、検出部 2 0 1、質量分析部 2 0 2、画像作成部 2 0 3、マッチング部 2 0 4、推定部 2 0 5、再構成部 2 0 6、電圧制御部 2 1 1、レーザ制御部 2 1 2、通信部 2 1 4 および記憶制御部 2 1 5 の動作は、上述の図 4 で説明した動作と同様である。これらの処理部は、集積回路、および / または、コンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記憶された CPU が実行可能な命令であって、以下に記載の処理を実行することが可能なものを含む。

10

【 0 1 5 8 】

リフレクション制御部 2 1 6 b は、リフレクション駆動回路 3 7 b の動作制御を行うことにより、リフレクションレンズ 1 3 a による電界の形成動作を制御する機能部である。リフレクション制御部 2 1 6 b は、図 3 に示す CPU 1 0 1 によるプログラムの実行によって実現される。

【 0 1 5 9 】

なお、検出部 2 0 1、質量分析部 2 0 2、画像作成部 2 0 3、マッチング部 2 0 4、推定部 2 0 5、再構成部 2 0 6、電圧制御部 2 1 1、レーザ制御部 2 1 2 およびリフレクション制御部 2 1 6 b の一部または全部は、ソフトウェアであるプログラムではなく、FPGA または ASIC 等のハードウェア回路によって実現されてもよい。

20

【 0 1 6 0 】

また、図 2 4 に示すコントローラ 3 1 e の各機能部は、機能を概念的に示したものであって、このような構成に限定されるものではない。例えば、図 2 4 に示すコントローラ 3 1 e で独立した機能部として図示した複数の機能部を、1 つの機能部として構成してもよい。一方、図 2 4 に示すコントローラ 3 1 e で 1 つの機能部が有する機能を複数に分割し、複数の機能部として構成するものとしてもよい。

【 0 1 6 1 】

図 2 5 は、第 2 の実施形態の変形例 3 でのリフレクションレンズにより軌道が変化する動作を説明する図である。図 2 5 を参照しながら、本変形例に係るアトムプローブ検査装置 1 e においてリフレクションレンズ 1 3 a により軌道が変化する動作について説明する。

30

【 0 1 6 2 】

図 2 5 に示すように、リフレクションレンズ 1 3 a により特定の電界が形成されている場合 (第 1 条件の一例)、軌道 6 3 1 ~ 6 3 3 に沿うように試料 1 1 から電界蒸発により離脱したイオンは、リフレクションレンズ 1 3 a により形成された電界によって、軌道 6 3 1 ~ 6 3 3 のように折り返されて、位置敏感型検出器 1 2 へ向かい、検出面 1 2 a で検出される。この場合、図 9 等で示したように、試料 1 1 が球冠形状から表面の各位置で局所倍率が異なる (曲率が異なる) ような形状であるものとする、検出面 1 2 a の特定の位置で検出されたイオンは、球冠形状に沿う円の中心とは異なる中心を有する曲率円上の点から飛行したものであるにもかかわらず、当該球冠形状に沿う円の中心から飛行してきたものと推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料 1 1 上の位置は、当該曲率円上の点にあったにも関わらず、画像作成部 2 0 3 により球冠形状に沿う円上にあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、歪みを含む再構成画像が得られることになる。

40

【 0 1 6 3 】

次に、リフレクションレンズ 1 3 a により上述の特定の電界とは異なる大きさの電界が形成された場合 (第 2 条件の一例)、リフレクションレンズ 1 3 a まで軌道 6 3 1 ~ 6 3

50

3に沿うように試料11から電界蒸発により離脱したイオンは、リフレクションレンズ13aにより形成された上述の特定の電界とは異なる大きさの電界によって、軌道631b~633bのように折り返されて、位置敏感型検出器12へ向かい、検出面12aで検出される。この場合も同様に、検出面12aの特定の位置で検出されたイオンは、球冠形状に沿う円の中心とは異なる中心を有する曲率円上の点から飛行したものであるにもかかわらず、当該球冠形状に沿う円の中心から飛行してきたものと推定されてしまう。すると、当該イオンの元となる原子の試料11上の位置は、当該曲率円上の点にあつたにも関わらず、画像作成部203により球冠形状に沿う円上のあるかのように誤った再構成がなされる。この結果、上述のリフレクションレンズ13aにより上述の特定の電界が形成された場合とは異なる歪みを含む再構成画像が得られることになる。

10

【0164】

そして、マッチング部204は、このような本来の原子の分布とは異なる歪みを含んだ再構成画像として得られた2つの画像について、特徴量マッチングを行う。この特徴量マッチングを行うことによって、2つの画像双方の材料の境界の位置を対応させることができる。この特徴量マッチングを行うことによって、複数の材料に対応する画像部分の境界の位置を対応させることができる。そして、推定部205は、特徴量マッチングの結果に基づいて、2つの再構成画像で互に対応する箇所（例えば、材質の境界位置）の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を推定する。最後に、再構成部206は、推定部205により推定された、イオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得る。

20

【0165】

以上のように、電磁レンズ14による磁界ではなく、リフレクションレンズ13aにより電界を形成させてイオンの軌道を変化（折り返し）させることによって、試料11上の同じ位置から離脱したイオンを、検出面12aの異なる位置で検出させることができる。これによって、歪みを伴う再構成画像を2つ得ることができ、特徴量マッチングにより、互に対応する箇所を特定することができる。そして、互に対応する箇所の歪み量を算出し、当該歪み量を用いてイオンの軌道計算を行うことで、当該箇所に対応するイオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を推定する。さらに、このように推定された、イオンが離脱した試料11上の点の曲率円の中心を用いて再構成を行うことによって、歪みが補正され局所倍率による誤差のない再構成画像を得るものとしている。これによって、試料11の原子の位置（分布）について再構成された画像について試料11の局所倍率に伴って生じる歪みを補正することができる。

30

【0166】

なお、本変形例では、リフレクションレンズ13aにより形成される電界の大きさを2種類として、各電界で検出された検出情報を用いるものとしているが、これに限定されるものではなく、リフレクションレンズ13aにより形成される電界の大きさを3種類以上として、各電界でそれぞれ検出された検出情報を用いるものとしてもよい。

【0167】

また、リフレクションレンズ13aの電界の大きさを変動させてイオンの軌道を変えると、イオンの軌道が位置敏感型検出器12の検出面12aを外れて収率が下がる場合があるため、上述の第1の実施形態の変形例1と同様に、それを補正する手段を組み合わせ利用することが望ましい。

40

【0168】

なお、上述の各実施形態および各変形例のアトムプローブ検査装置またはFIM（電界イオン顕微鏡）で実行されるプログラムは、例えば、ROM等に予め組み込まれて提供されるものとしてもよい。

【0169】

また、上述の各実施形態および各変形例のアトムプローブ検査装置またはFIM（電界

50

イオン顕微鏡)で実行されるプログラムは、インストール可能な形式または実行可能な形式のファイルでCD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)、フレキシブルディスク(FD)、CD-R(Compact Disc-Recordable)、DVD(Digital Versatile Disc)等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録してコンピュータプログラムプロダクトとして提供されるように構成してもよい。

【0170】

また、上述の各実施形態および各変形例のアトムプローブ検査装置またはFIM(電界イオン顕微鏡)で実行されるプログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するように構成してもよい。また、上述の各実施形態および各変形例のアトムプローブ検査装置またはFIM(電界イオン顕微鏡)で実行されるプログラムをインターネット等のネットワーク経由で提供または配布するように構成してもよい。

10

【0171】

また、上述の各実施形態および各変形例のアトムプローブ検査装置またはFIM(電界イオン顕微鏡)で実行されるプログラムは、コンピュータを上述した各機能部として機能させ得る。このコンピュータは、CPUがコンピュータ読取可能な記憶媒体からプログラムを主記憶装置上に読み出して実行することができる。

【0172】

本発明の実施形態および変形例を説明したが、これらの実施形態および変形例は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これらの新規な実施形態および変形例は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、および変更を行うことができる。これらの実施形態および変形例は、発明の範囲および要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

20

【符号の説明】

【0173】

1、1a~1e アトムプローブ検査装置

10 真空槽

11 試料

12 位置敏感型検出器

12a 検出面

13、13a リフレクションレンズ

14 電磁レンズ

15 コンデンサレンズ

16a アノード

16b カソード

31、31a~31e コントローラ

32 高電圧電源

33 レーザ装置

33a パルス状レーザ

34 位置駆動回路

35 検出装置

36 記憶装置

37 位置駆動回路

37a、37b リフレクション駆動回路

38、38a レンズ駆動回路

39 電界駆動回路

41 情報処理装置

101 CPU

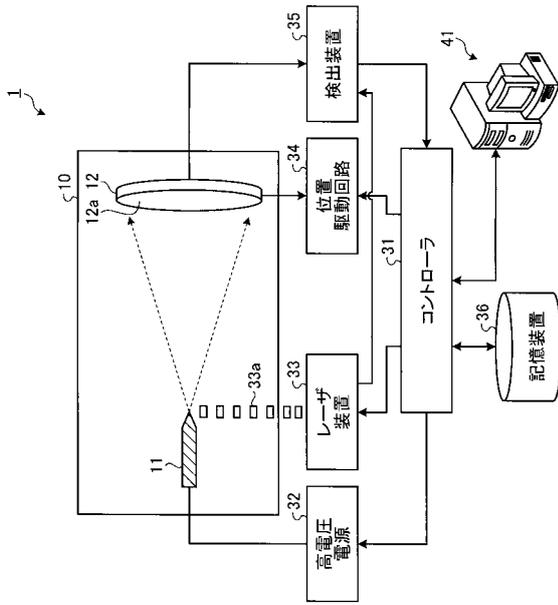
30

40

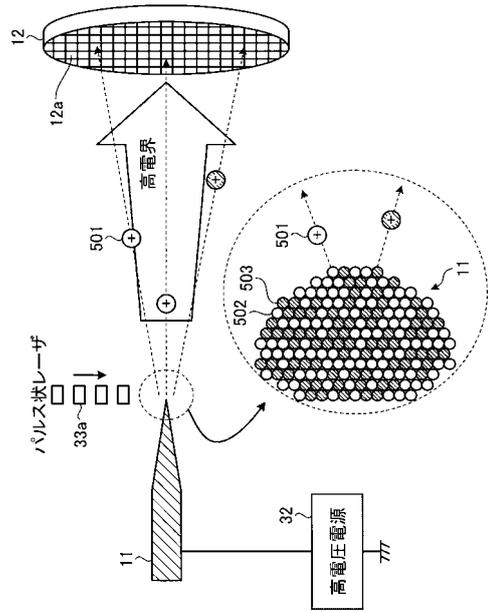
50

1 0 2	R O M	
1 0 3	R A M	
1 0 4	入出力 I / F	
1 0 5	制御回路 I / F	
1 0 6	通信 I / F	
2 0 1	検出部	
2 0 2	質量分析部	
2 0 3	画像作成部	
2 0 4	マッチング部	
2 0 5	推定部	10
2 0 6	再構成部	
2 1 1	電圧制御部	
2 1 2	レーザ制御部	
2 1 3	位置制御部	
2 1 4	通信部	
2 1 5	記憶制御部	
2 1 6	位置制御部	
2 1 6 a、2 1 6 b	リフレクション制御部	
2 1 7	レンズ制御部	
2 1 8	電界制御部	20
5 0 1	イオン	
5 0 2、5 0 3	原子	
5 1 1	第 1 材料	
5 1 1 a	第 1 材料画像	
5 1 2	第 2 材料	
5 1 2 a	第 2 材料画像	
5 1 3	第 3 材料	
5 1 3 a	第 3 材料画像	
5 2 1、5 2 2	材料	
5 2 1 a、5 2 2 a	画像部分	30
5 2 1 b、5 2 2 b	画像部分	
5 2 5 a、5 2 5 b	理想境界	
5 3 1	F I M 画像	
6 0 1	軌道	
6 1 1、6 1 1 a	軌道	
6 2 1、6 2 1 a	軌道	
6 3 1 ~ 6 3 3	軌道	
6 3 1 a ~ 6 3 3 a	軌道	
6 3 1 b ~ 6 3 3 b	軌道	
6 4 1、6 4 1 a	軌道	40
6 5 1 ~ 6 5 3	軌道	
6 5 1 a ~ 6 5 3 a	軌道	
7 0 1、7 0 2	円	
8 0 1、8 0 2	画像	

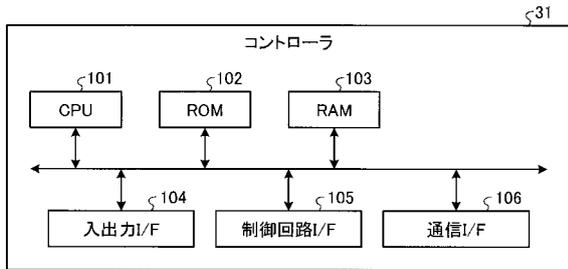
【 図 1 】



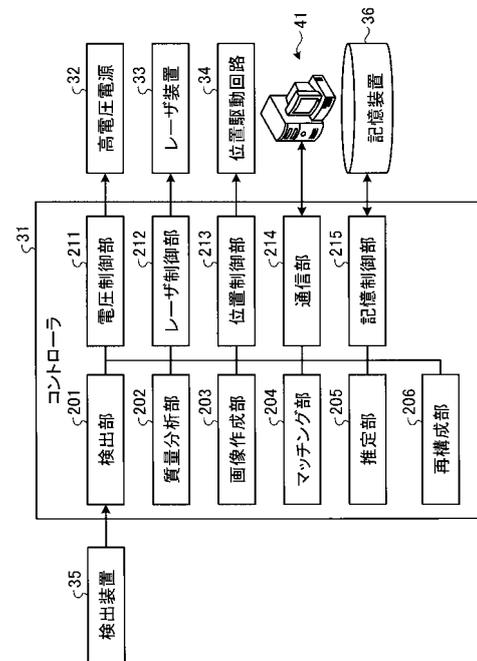
【 図 2 】



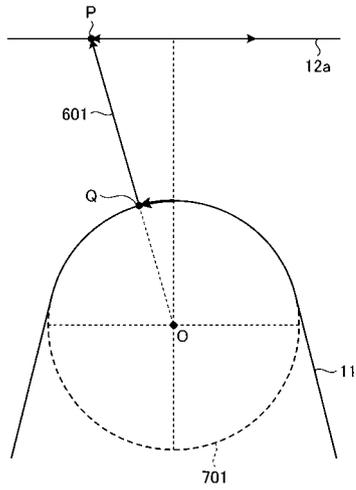
【 図 3 】



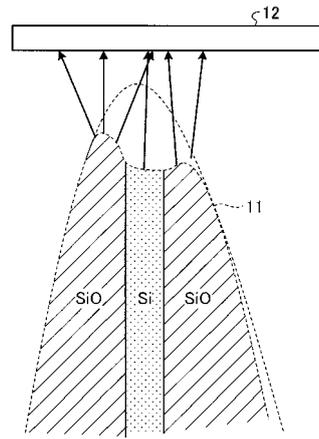
【 図 4 】



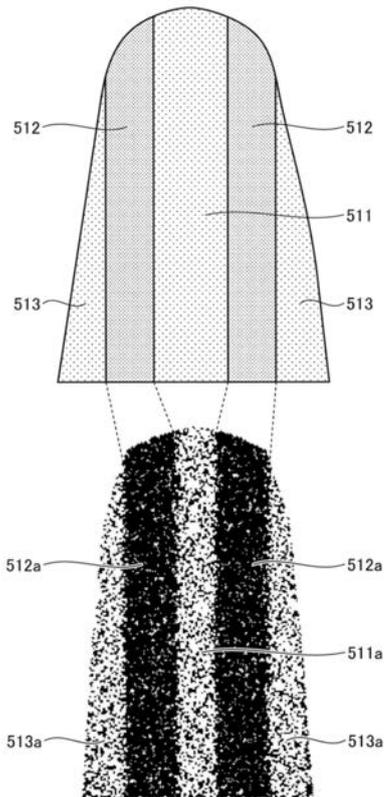
【 図 5 】



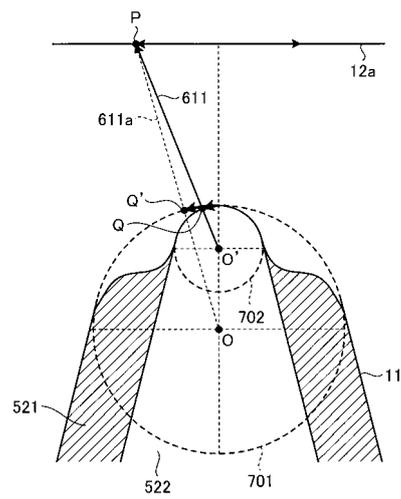
【 図 6 】



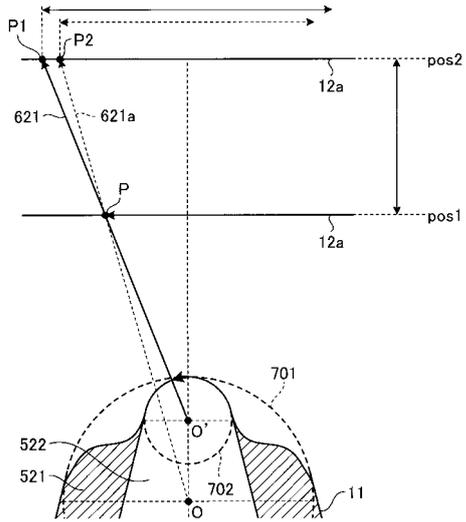
【 図 7 】



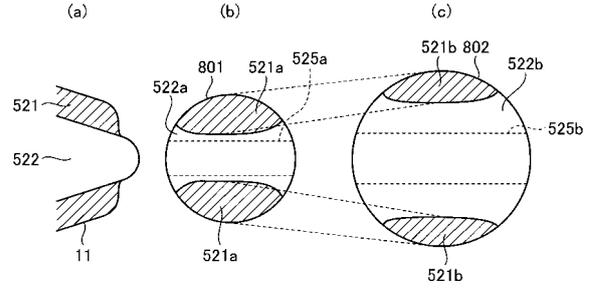
【 図 8 】



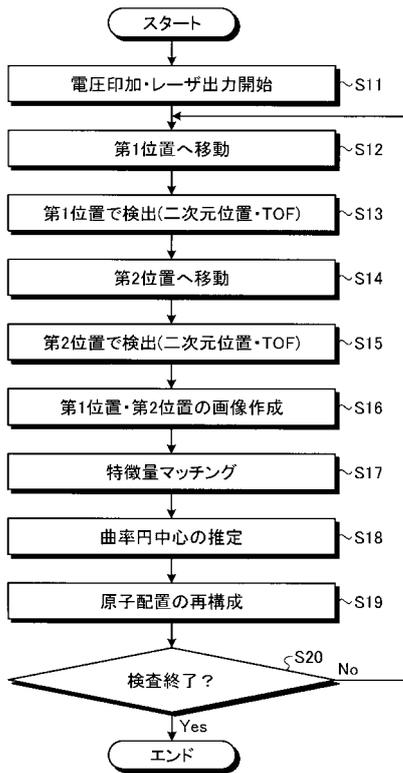
【 図 9 】



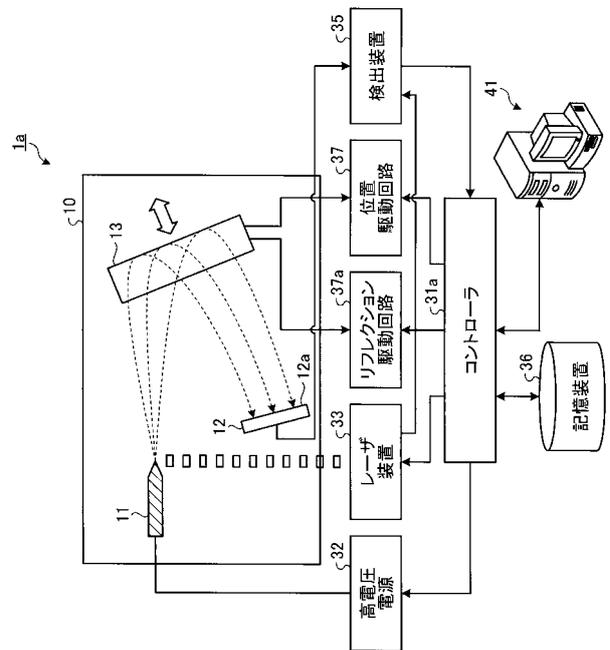
【 図 1 0 】



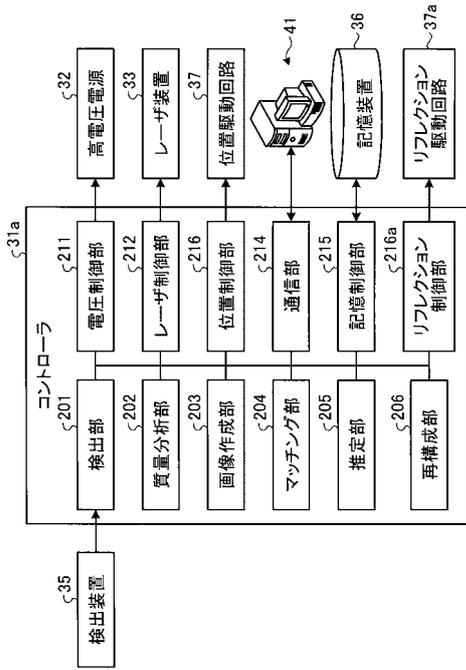
【 図 1 1 】



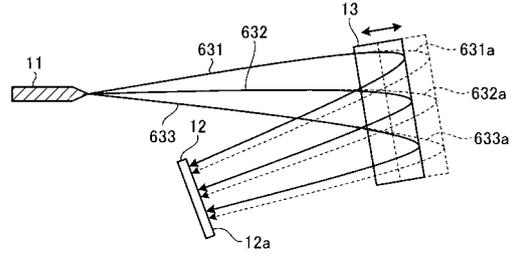
【 図 1 2 】



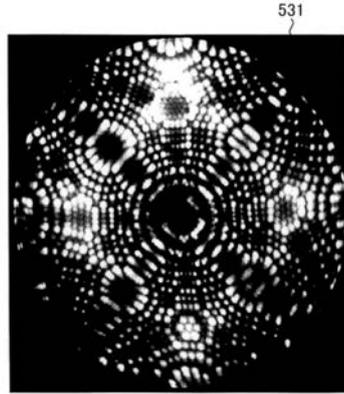
【図 1 3】



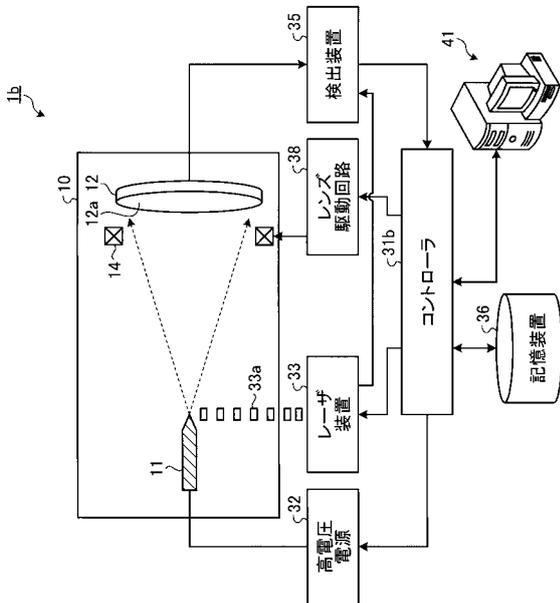
【図 1 4】



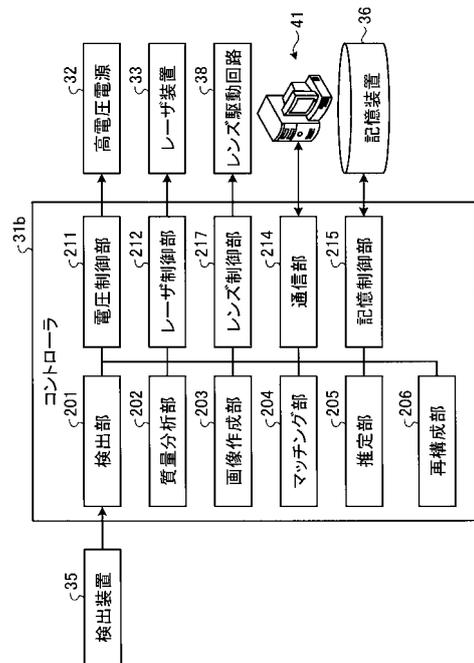
【図 1 5】



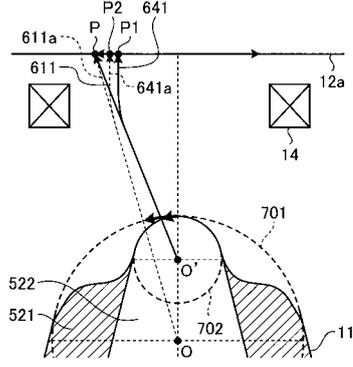
【図 1 6】



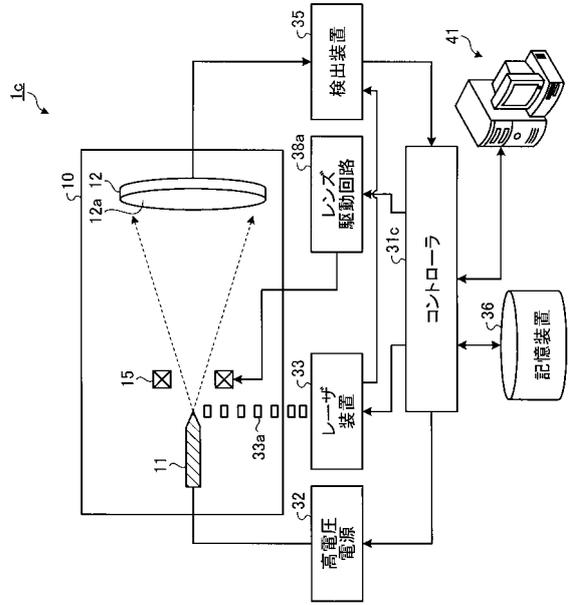
【図 1 7】



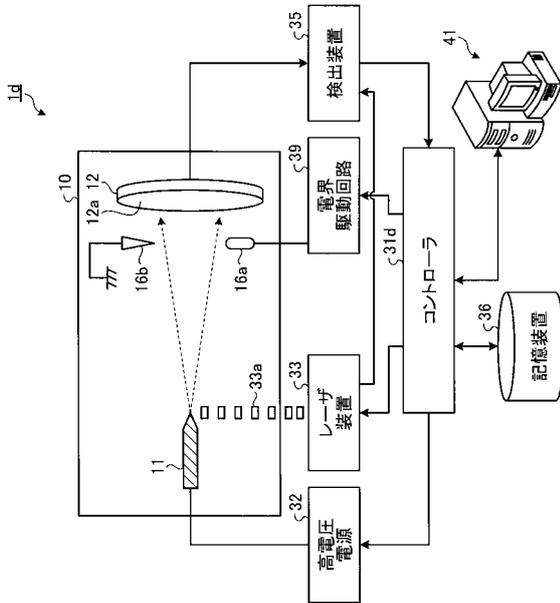
【 図 1 8 】



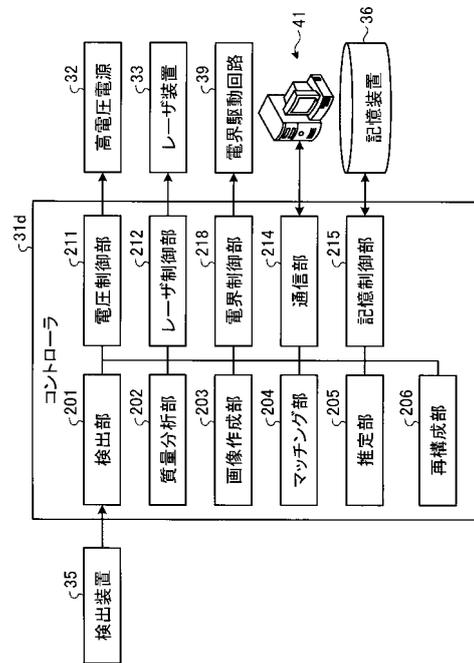
【 図 1 9 】



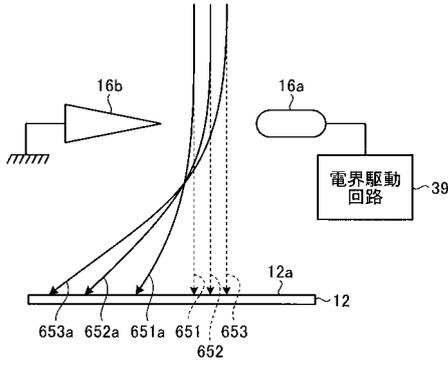
【 図 2 0 】



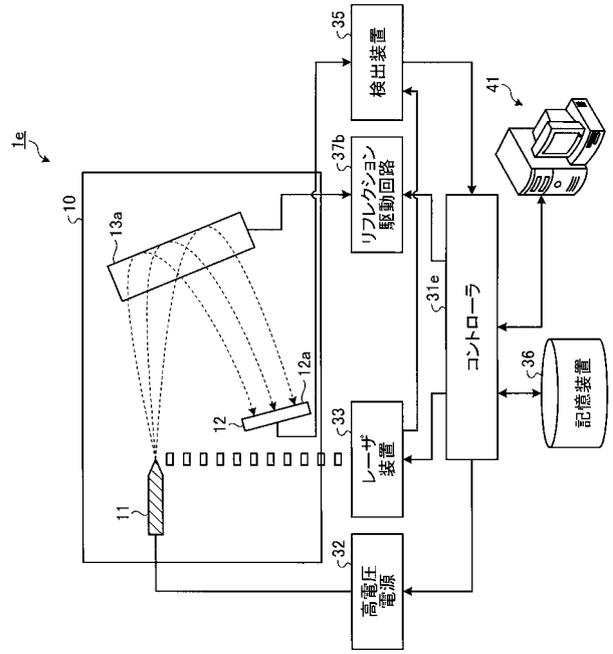
【 図 2 1 】



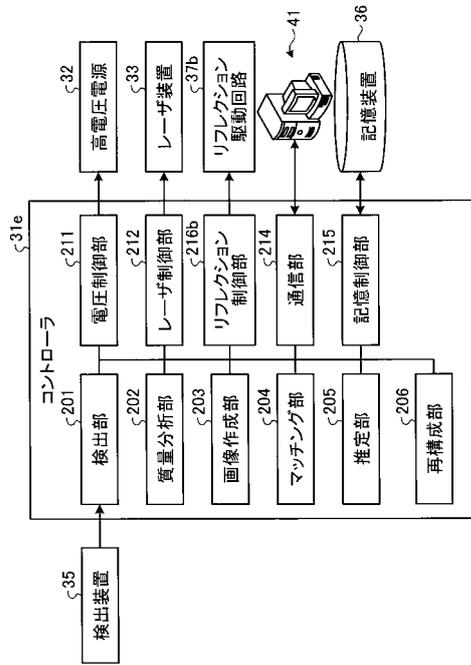
【 図 2 2 】



【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】

