

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5875500号
(P5875500)

(45) 発行日 平成28年3月2日 (2016.3.2)

(24) 登録日 平成28年1月29日 (2016.1.29)

(51) Int.Cl. F I

HO 1 J 37/18 (2006.01)

HO 1 J 37/20 (2006.01)

HO 1 J 37/244 (2006.01)

HO 1 J 37/16 (2006.01)

HO 1 J 37/09 (2006.01)

HO 1 J 37/18

HO 1 J 37/20 C

HO 1 J 37/244

HO 1 J 37/16

HO 1 J 37/20 F

請求項の数 8 (全 17 頁) 最終頁に続く

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2012-240751 (P2012-240751) | (73) 特許権者 | 501387839 |
| (22) 出願日 | 平成24年10月31日 (2012.10.31) | | 株式会社日立ハイテクノロジーズ |
| (65) 公開番号 | 特開2014-89936 (P2014-89936A) | | 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号 |
| (43) 公開日 | 平成26年5月15日 (2014.5.15) | (74) 代理人 | 100100310 |
| 審査請求日 | 平成27年8月19日 (2015.8.19) | | 弁理士 井上 学 |
| 早期審査対象出願 | | (72) 発明者 | 菊池 秀樹 |
| | | | 茨城県ひたちなか市大字市毛8 8 2 番地 |
| | | | 株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内 |
| | | (72) 発明者 | 田村 圭司 |
| | | | 茨城県ひたちなか市大字市毛8 8 2 番地 |
| | | | 株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内 |
| | | | 最終頁に続く |

(54) 【発明の名称】 電子ビーム顕微装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空排気可能な鏡体と、
電子ビームを生成する電子銃と、
前記電子ビームを収束する電磁レンズと、
試料を搭載する試料ホルダと、前記鏡体を大気解放することなく前記試料ホルダを前記鏡体内に導入できる第1のエアーロック機構とを有するステージと、
前記電子ビームと前記試料とが相互作用した結果として生じる信号を検出する検出器と、
を備え、

前記鏡体は、前記試料ホルダに搭載された前記試料と概同一平面に、第2のエアーロック機構を備える開口部を備え、前記第2のエアーロック機構が、前記鏡体を大気解放することなく所定の部材を前記鏡体内に導入できるように構成されており、

前記所定の部材は、前記所定の部材および前記試料ホルダがともに前記鏡体内に導入された際に、前記試料の観察もしくは分析に用いる構成要素であることを特徴とする電子ビーム顕微装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の電子ビーム顕微装置において、
前記所定の部材は、前記電子ビームと前記試料とが相互作用した結果として生じる信号を検出する第2の検出器であることを特徴とする電子ビーム顕微装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の電子ビーム顕微装置において、
前記第 2 の検出器が、前記試料の上方の位置まで挿入されるように構成されていることを特徴とする電子ビーム顕微装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の電子ビーム顕微装置において、
前記所定の部材は、前記試料に対してガスを吹付けるガス導入機構であることを特徴とする電子ビーム顕微装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の電子ビーム顕微装置において、
前記所定の部材は、前記試料を冷却する冷却部材であることを特徴とする電子ビーム顕微装置。

10

【請求項 6】

請求項 5 に記載の電子ビーム顕微装置において、
前記冷却部材は、前記電子ビームを通過させる孔を有する円筒部材であり、前記円筒部材が、前記試料の周囲を覆うように配置されることを特徴とする電子ビーム顕微装置。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の電子ビーム顕微装置において、
前記所定の部材は、前記試料からの散乱電子を除去する絞り機構であることを特徴とする電子ビーム顕微装置。

20

【請求項 8】

請求項 1 に記載の電子ビーム顕微装置において、
前記所定の部材は、前記試料にプラズマを照射するプラズマ照射機構であることを特徴とする電子ビーム顕微装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子ビーム顕微装置に関する。

【背景技術】

【0002】

30

試料に電子線を照射し、そのとき試料から発生する特性 X 線を検出して分析を行なう電子ビーム顕微装置として、透過型電子顕微鏡 (TEM)、走査型電子顕微鏡 (SEM)、電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) 等が広く使われている。

【0003】

例えば、電子ビーム顕微装置における観察試料は、収束イオンビーム装置などによって数 10 nm オーダまで薄片化される。観察試料は、試料ホルダに取付けられ、真空排気された試料室内における電子線の照射位置まで導入される。

【0004】

通常、試料の試料室への導入には数分程度の時間を要する。例えば、試料を導入した直後に試料観察を行うと、試料ホルダと試料室内壁との温度差に起因する試料ドリフトが発生し、観察画像が歪む場合がある。したがって、この試料ドリフトを低減させるために、試料を試料室に導入した後に一定時間待つ必要がある。このように試料を試料室へ導入する場合には一定の待ち時間が必要となるため、複数の試料を観察したい場合には試料の導入にかかる時間が更に大きくなる。

40

【0005】

試料ホルダの従来技術として、特許文献 1 には、電子ビーム顕微装置の試料室内において試料ホルダの先端で試料を脱着可能な試料交換機構が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

50

【特許文献１】特開平３－１４７２３８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

従来の特許文献１の方式では、観察試料を真空の試料室内で保持することが可能であるが、すでに観察が終わった試料を、試料室内の真空を維持した状態で別の試料と交換することができない。したがって、試料ホルダ上の試料の交換を大気側で行う必要があり、試料の交換時間及び上述した待ち時間によって試料観察のスループットが低下する。また、試料ホルダに複数の試料が搭載できるホルダが考案されているが、結晶試料の晶体軸を調整する二軸傾斜機構をこの種の試料ホルダで実現することは困難である。

10

【０００８】

図１４は、従来の電子ビーム顕微装置の試料面における断面図であり、従来の電子ビーム顕微装置の構成要素の配置を説明するものである。電子ビーム顕微装置の鏡体１４１は、試料ステージ１４４を備え、試料ステージ１４４は、試料１４３を搭載する試料ホルダ１４２を有する。鏡体１４１には、ＥＤＸ検出器１４５、排気ポート１４６、絞り機構１４７、及びコールドブロック１４８が設けられている。従来では、ＥＤＸ検出器１４５、絞り機構１４７、及びコールドブロック１４８は、鏡体１４１のポート（開口部）に固定されている。したがって、これらの構成要素（ＥＤＸ検出器１４５、絞り機構１４７、及びコールドブロック１４８など）の交換やメンテナンスを行う場合、電子ビーム顕微装置を大気解放する必要があり、試料観察のスループットに大きく影響する。

20

【０００９】

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、電子ビーム顕微装置の試料室を大気解放せずに、試料室を真空にした状態で試料の観察及び分析に用いる様々な構成要素を導入できる技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

上記課題を解決するために、例えば特許請求の範囲に記載の構成を採用する。本願は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、真空排気可能な鏡体と、電子ビームを生成する電子銃と、前記電子ビームを収束する電磁レンズと、試料を搭載する試料ホルダと、前記鏡体を大気解放することなく前記試料ホルダを前記鏡体内に導入できる第１のエアーロック機構とを有するステージと、前記電子ビームと前記試料とが相互作用した結果として生じる信号を検出する検出器と、を備える電子ビーム顕微装置であって、前記鏡体は、前記試料ホルダに搭載された前記試料と概同一平面に、第２のエアーロック機構を備える開口部を備え、前記第２のエアーロック機構が、前記鏡体を大気解放することなく所定の部材を前記鏡体内に導入できるように構成されている電子ビーム顕微装置が提供される。

30

【発明の効果】

【００１１】

本発明によれば、電子ビーム顕微装置の試料室を大気解放せずに、試料室を真空にした状態で観察や分析に用いる構成要素を導入することが可能となる。これにより、構成要素の交換時間が短縮されるので、試料観察のスループットが向上する。

40

【００１２】

本発明に関連する更なる特徴は、本明細書の記述、添付図面から明らかになるものである。また、上記した以外の、課題、構成および効果は、以下の実施例の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】本発明に係る透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ）の全体構成図である。

【図２】試料ステージの断面図である。

50

【図 3】第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡の試料面における断面図である。

【図 4】第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡の真空排気系を説明する図である。

【図 5】第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡のステージ制御系を説明する図である。

【図 6 A】第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡の試料ステージの外筒の上面図である。

【図 6 B】第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡の試料面における断面図である。

【図 7】第 2 実施例に係る透過型電子顕微鏡を説明する図である。

【図 8】第 3 実施例に係る透過型電子顕微鏡を説明する図である。

【図 9 A】第 4 実施例に係る透過型電子顕微鏡を説明する図であり、透過型電子顕微鏡の試料面を側方から見た図である。

【図 9 B】第 4 実施例に係る透過型電子顕微鏡を説明する図であり、コールドブロックの位置での断面図である。

【図 10】第 5 実施例に係る透過型電子顕微鏡を説明する図である。

【図 11】第 6 実施例に係る透過型電子顕微鏡を説明する図である。

【図 12】第 7 実施例に係る透過型電子顕微鏡を説明する図であり、試料面を上方から見た図である。

【図 13】第 7 実施例に係る透過型電子顕微鏡を説明する図であり、試料台を拡大した図である。

【図 14】従来の透過型電子顕微鏡の試料面における断面図である。

【図 15】従来のガス供給用のパイプを有する試料ホルダを説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、添付図面を参照して本発明の実施例について説明する。なお、添付図面は本発明の原理に則った具体的な実施例を示しているが、これらは本発明の理解のためのものであり、決して本発明を限定的に解釈するために用いられるものではない。

【0015】

< 透過型電子顕微鏡の構成 >

図 1 は、本発明に係る透過型電子顕微鏡 (TEM) の全体構成図である。なお、以下の実施例では、電子ビーム顕微装置の一例として透過型電子顕微鏡の構成に関して説明するが、真空中で電子線を照射する他の電子ビーム顕微装置についても同様の構成、作用、効果が得られることは明白である。

【0016】

透過型電子顕微鏡 100 は、真空排気可能な鏡体 1 と、電子銃 51 と、電子レンズ 54 と、架台 50 と、試料ステージ 6 と、ステージコントローラ 53 と、検出器 55 と、主制御ユニット 57 とを備える。鏡体 1 は、除振された架台 50 に締結されている。電子銃 51 は、鏡体 1 の上部に設けられており、電子レンズ 54 は、電子銃 51 の下方に配置されている。また、試料ステージ 6 は、鏡体 1 の側面のポート (開口部) に設けられている。試料ステージ 6 は、主制御ユニット 57 からの指令を受けたステージコントローラ 53 によって制御される。検出器 55 は、試料ステージ 6 の下方に配置されており、電子銃 51 からの電子ビームと試料とが相互作用した結果として生じる信号を検出する。

【0017】

透過型電子顕微鏡 100 において、電子銃 51 によって生成された電子ビームは、電子レンズ 54 によって収束され、試料ステージ 6 に搭載された試料へ照射される。試料ステージ 6 上の試料を透過した電子は、検出器 55 によって検出される。そして、検出された信号を主制御ユニット 57 で取り込んで画像化し、試料を観察する。

【0018】

< 試料ステージの構成 >

図 2 は、試料ステージ 6 の断面図である。鏡体 1 の側面には、球面受け 36 が固定されており、球面受け 36 は、球形支点 37 と接触している。試料ステージ 6 は、エアーロック室 (エアーロック機構) 600 を備える。エアーロック室 600 は、エアーロックバルブ 34 と外筒 38 とで囲まれる空間によって構成される。エアーロック室 600 は、鏡体

10

20

30

40

50

1を大気解放することなく、鏡体1を真空にした状態で試料ホルダ2を鏡体1内に導入できるものである。また、エアーロック室600は、球形支点37の中心を軸として首振り運動をし、その結果として、試料ホルダ2の先端に搭載された試料3をZ方向（鉛直方向）およびY方向（紙面垂直方向）に移動させることが可能となる。

【0019】

次に、エアーロック室600の構成について説明する。外筒38の内側には、内筒33が配置されている。また、内筒33の内側にはスライダ筒30が配置されている。さらに、スライダ筒30の内側には、試料ホルダ2が配置されており、試料ホルダ2は、ホルダ用リング4を介してスライダ筒30に取付けられている。また、スライダ筒30は、ベローズ32によって内筒33と接続されている。

10

【0020】

次に、試料3をZ方向に駆動させる機構について説明する。鏡体1には、ベース24が固定されており、回転筒20が、ベアリング23を介してベース24と締結されている。Z駆動用リニア機構21は、回転筒20に固定されており、外筒38をZ方向に押すように構成されている。回転筒20においてZ駆動用リニア機構21と対向する位置には、Zバネ22が固定されており、Zバネ22は、外筒38に接触している。これにより、Z駆動用リニア機構21を動作させると、Z駆動用リニア機構21は、対向するZバネ22によって常に反発力を受けながら、外筒38を介して試料ホルダ2をZ方向に駆動させることができる。

【0021】

20

次に、試料3をX方向に駆動させる機構について説明する。X駆動用リニア機構29が、回転筒20に取付けられている。また、てこ機構25が回転筒20に取付けられており、てこ機構25は、回転筒20に設けられた支点を挟んでX駆動用リニア機構29及びスライダ筒30と接触している。この構成により、X駆動用リニア機構29の駆動力は、てこ機構25によってスライダ筒30に伝えられ、試料ホルダ2をX方向へ駆動することができる。なお、てこ機構25とスライダ筒30との接触部は、試料ホルダ2のZ軸及びY軸方向の駆動に対してすべり機構（図示せず）を備える。

【0022】

図2では、X微動機構として、X駆動用リニア機構29を回転筒20上に設置したが、同様の機構を、外筒38上に設置してもかまわない。その場合、Z軸及びY軸方向の駆動に対してX微動機構は一体となって動くため、前記すべり機構は不要である。なお、ここでは説明を省略するが、Y方向（紙面に垂直方向）に駆動可能な別のリニア機構が、回転筒20あるいは外筒38上に設けられており、試料ホルダ2をY方向へ駆動することができる。

30

【0023】

< 試料ホルダの鏡体への導入 >

次に、試料ホルダ2を鏡体1内へ導入する動作について説明する。試料3を取付けた試料ホルダ2を図2に示す位置まで導入する場合、試料ホルダ2の位置は、試料ホルダ2に取付けられたガイドピン5によって決定される。試料ホルダ2が導入されると、図示しない真空ポンプにて内筒33内を真空排気する。内筒33内の真空度が鏡体1内の真空度と同程度になった後、試料ホルダ2の長手方向を軸として回転させる。このとき、内筒33及びスライダ筒30がともに回転し、内筒33の左端に設けられた傘歯車41がエアーロックバルブ34を開ける。その後、図2に示すように、試料ホルダ2のホルダ段差部2aとホルダ突き当て部40が接触するまで試料ホルダ2をX方向のマイナス側へ移動させる。通常、この位置が、試料移動機構の原点である。

40

【0024】

図3は、第1実施例に係る透過型電子顕微鏡（TEM）の試料面における断面図である。鏡体1は、複数のポート（開口部）11a, ..., 11eを備える。鏡体1のポート11a, ..., 11eには、試料ステージ6と、第2の試料ステージ7と、試料室真空排気ポート9と、予備排気経路8と、EDX検出器10と、コールドブロック12とが設

50

けられている。本実施例の特徴として、試料ステージ 6 と対向する位置で、且つ試料ステージ 6 に搭載される試料 3 と略同一平面上に、ポート 1 1 a が設けられており、第 2 の試料ステージ 7 がポート 1 1 a に設けられている。一方、EDX 検出器 1 0 は、試料ステージ 6 の試料ホルダ 2 に対して垂直方向に位置するポート 1 1 c に設けられている。

【0025】

第 2 の試料ステージ 7 は、図 2 で説明した試料ステージ 6 と同一の構成を備える。第 2 の試料ステージ 7 は、エアーロック室（エアーロック機構）7 0 0 を備える。エアーロック室 7 0 0 は、上述したエアーロック室 6 0 0 と同様の構成であり、鏡体 1 を大気解放することなく、鏡体 1 を真空にした状態で試料ホルダ 7 0 1 を鏡体 1 内に導入できるものである。ここで、第 2 の試料ステージ 7 が、試料ステージ 6 に搭載される試料 3 と略同一平面

10

【0026】

観察試料は、収束イオンビーム装置などによって数 1 0 n m オーダまで薄片化され、試料台（図示せず）に搭載される。試料台に取付けられた試料 3 は、試料ホルダ 2 に搭載され、試料ステージ 6 に内蔵されたエアーロック室 6 0 0 を介して鏡体 1 内に導入される。鏡体 1 は、試料室真空排気ポート 9 を経由して 10^{-5} Pa 程度まで真空排気されている。電子銃 5 1 からの電子ビームを試料 3 に照射すると、ビーム照射領域に存在する元素に依存した特性 X 線が発生する。EDX 検出器 1 0 は、その特性 X 線を検出して元素分析を

20

【0027】

本実施例では、試料ステージ 6 の試料 3 を観察後に、第 2 の試料ステージ 7 によって試料 7 0 2 を鏡体 1 内に導入し、試料 3 の観察に続けて試料 7 0 2 の観察を行うことが可能となる。しかも、第 2 の試料ステージ 7 がエアーロック室 7 0 0 を備えており、エアーロック室 7 0 0 を介して試料 7 0 2 を導入できるので、鏡体 1 を大気解放せずに試料 7 0 2 を導入することが可能となる。これにより、試料交換時の待ち時間がなくなり、試料の交換時間が短縮されるので、試料観察のスループットが向上する。

【0028】

なお、第 2 の試料ステージ 7 の構成は、図 2 で示したものと同一でもよいし、エアーロック室 7 0 0 を経由して導入するものの大きさによっては、試料ステージ 6 よりも大型化もしくは小型化してもかまわない。また、図 3 では、試料ステージ 6 の他に第 2 の試料ステージ 7 を搭載した場合の例について説明したが、例えば、試料ステージ 6 の試料ホルダ 2 と直交する位置で、且つ試料ステージ 6 に搭載される試料 3 と略同一平面上に、第 3 の試料ステージを搭載してもよい。

30

【0029】

< マルチステージの真空排気系 >

次に、試料ステージ 6 の試料ホルダ 2 及び第 2 の試料ステージ 7 の試料ホルダ 7 0 1 を鏡体 1 に導入する際の真空排気系の動作について説明する。図 4 は、第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡（TEM）の真空排気系を説明する図である。

【0030】

透過型電子顕微鏡 1 0 0 は、真空排気系として、ターボ分子ポンプ（真空排気部）6 0 と、スクロールポンプ（真空排気部）6 1 と、複数のバルブ 6 2、6 3、6 4、6 5、6 6 とを備える。以下では、ターボ分子ポンプ 6 0 及びスクロールポンプ 6 1 を用いて試料ステージ 6 のエアーロック室 6 0 0 及び第 2 の試料ステージ 7 のエアーロック室 7 0 0 を真空排気する流れについて説明する。

40

【0031】

試料ステージ 6 から試料ホルダ 2 を鏡体 1 内に導入する場合には、まず、図 4 に示すバルブ 6 2、6 3、6 4、6 5、6 6 をすべて閉じる。次に、試料ホルダ 2 を試料ステージ 6 のエアーロック室 6 0 0 に導入する。次に、バルブ 6 3 を開く。そして、試料ステージ 6 内のエアーロック室 6 0 0 をスクロールポンプ 6 1 を用いて 1 0 Pa 程度まで真空排気

50

する。その後、バルブ 6 3 を閉じバルブ 6 6 を開き、バルブ 6 2 を開く。そして、試料ステージ 6 のエアロック室 6 0 0 をターボ分子ポンプ 6 0 を用いて 10^{-4} Pa 程度まで真空排気する。その後、エアロックバルブ 3 4 を開いて、試料ホルダ 2 を鏡体 1 内に導入する。

【 0 0 3 2 】

第 2 の試料ステージ 7 の試料ホルダ 7 0 1 を鏡体 1 内に導入する場合には、まず、試料ホルダ 7 0 1 を第 2 の試料ステージ 7 のエアロック室 7 0 0 に導入する。次に、バルブ 6 3、6 4、6 6 を閉じ、バルブ 6 5 を開いて、エアロック室 7 0 0 をスクロールポンプ 6 1 を用いて 10 Pa 程度まで真空排気する。その後、バルブ 6 5 を閉じ、バルブ 6 6 とバルブ 6 4 を開く。そして、第 2 の試料ステージ 7 のエアロック室 7 0 0 をターボ分子ポンプ 6 0 を用いて 10^{-4} Pa 程度まで真空排気する。その後、エアロックバルブ 6 7 を開いて、試料ホルダ 7 0 1 を鏡体 1 内に導入する。

【 0 0 3 3 】

以上のように、本実施例によれば、ターボ分子ポンプ 6 0 及びスクロールポンプ 6 1 を用いて 2 つのエアロック室 6 0 0、7 0 0 を真空排気することが可能となる。

【 0 0 3 4 】

< マルチステージの制御系 >

図 5 は、第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡 (TEM) のステージ制御系を説明する図である。透過型電子顕微鏡 1 0 0 は、制御系として、主制御ユニット 5 7 と、第 1 ステージコントローラ 5 3 と、第 2 ステージコントローラ 5 8 とを備える。主制御ユニット 5 7 は、パーソナルコンピュータやワークステーションなどの情報処理装置によって構成されている。主制御ユニット 5 7 は、CPU (Central Processing Unit) などの中央演算処理装置と、メモリと、ハードディスク (記憶装置) と、キーボードなどの入力装置と、ディスプレイなどの出力装置とを備える。なお、主制御ユニット 5 7 は、透過型電子顕微鏡 1 0 0 の全体を制御するものであり、例えば、検出器 5 5 によって検出された信号を取り込んで画像化し、出力装置に画像を表示することもできる。

【 0 0 3 5 】

第 1 ステージコントローラ 5 3 は、主制御ユニット 5 7 に接続されるとともに、試料ステージ 6 を駆動するアクチュエータ (図示せず) に接続されている。第 1 ステージコントローラ 5 3 は、トラックボール 5 6 を備えており、試料ステージ 6 の駆動は、電子顕微鏡操作者がトラックボール 5 6 を操作することによって行われる。第 2 ステージコントローラ 5 8 も同様に、主制御ユニット 5 7 に接続されるとともに、第 2 の試料ステージ 7 を駆動するアクチュエータ (図示せず) に接続されている。第 2 ステージコントローラ 5 8 は、トラックボール 5 9 を備えており、第 2 の試料ステージ 7 の駆動は、電子顕微鏡操作者がトラックボール 5 9 を操作することによって行われる。

【 0 0 3 6 】

図 5 では、各々の試料ステージ 6、7 ごとに第 1 及び第 2 ステージコントローラ 5 3、5 8 とトラックボール 5 6、5 9 を有しているが、1 つのステージコントローラと 1 つのトラックボールで試料ステージ 6 及び第 2 の試料ステージ 7 をコントロールすることも可能である。その場合には、ステージコントローラと試料ステージ 6 及び第 2 の試料ステージ 7 との間に切替スイッチ等を設ければよい。

【 0 0 3 7 】

< 衝突による破損防止機能 >

次に、鏡体 1 内での試料ステージ 6 の試料ホルダ 2 と第 2 の試料ステージ 7 の試料ホルダ 7 0 1 との衝突防止機能について説明する。図 6 A は、第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡 (TEM) の試料ステージ 6 の外筒 3 8 の上面図である。

【 0 0 3 8 】

図 2 及び図 6 A に示すように、試料ホルダ 2 は、ガイドピン 5 を備えている。ガイドピン 5 は、内筒 3 3 及び外筒 3 8 に設けられたホルダガイド溝 3 9 に沿って移動し、これにより、試料ホルダ 2 を観察位置まで導入することができる。図 6 A に示すように、ホルダ

10

20

30

40

50

ガイド溝 39 はクランク形状になっている。図 6 A の「A」の位置にガイドピン 5 がある状態が、エアロック室 600 を真空排気する位置である。また、図 6 A の「B」の位置にガイドピン 5 がある状態が、試料 3 が鏡体 1 内に導入されているが試料観察位置にはない状態である。また、図 6 A の「C」の位置にガイドピン 5 がある状態が、試料 3 が試料観察位置にある状態である。試料ホルダ 2 を試料 3 の観察位置まで導入する際には、A B C の順で試料ホルダ 2 のガイドピン 5 がホルダガイド溝 39 を通過していくことになる。

【0039】

本実施例では、外筒 38 の上面において、「A」と「C」との間の位置にホルダガイド溝 39 を塞ぐゲート 101 が設けられている。図 6 A の例では、ゲート 101 が、「B」の位置に設けられており、ガイドピン 5 が「B」の位置で停止するように制御される。本実施例では、試料ステージ 6 から導入された試料ホルダ 2 と第 2 の試料ステージ 7 から導入された試料ホルダ 701 の両方が「C」の位置にある場合に、試料ホルダ 2 と試料ホルダ 701 の先端同士が試料の観察位置近傍で衝突する可能性がある。したがって、外筒 28 の上面において、「A」と「C」との間の位置にゲート 101 が設けられている。なお、この例では、試料ステージ 6 の試料ホルダ 2 の構成について説明したが、第 2 の試料ステージ 7 の試料ホルダ 701 も同様の構成を備える。

【0040】

次に、鏡体 1 内での試料ステージ 6 の試料ホルダ 2 と第 2 の試料ステージ 7 の試料ホルダ 701 との別の衝突防止機能について説明する。図 6 B は、第 1 実施例に係る透過型電子顕微鏡 (TEM) の試料面における断面図である。透過型電子顕微鏡 100 は、試料 3 と略同一平面上に、エリアセンサ発光部 120 と、エリアセンサ受光部 121 とを備える。エリアセンサ発光部 120 とエリアセンサ受光部 121 は、互いに対向するように配置されている。本実施例のエリアセンサは、エリアセンサ発光部 120 とその対向面にエリアセンサ受光部 121 を有した透過式のセンサである。エリアセンサ発光部 120 からのレーザなどをエリアセンサ受光部 121 で受けることにより、試料ステージ 6 の試料ホルダ 2 あるいは第 2 の試料ステージ 7 の試料ホルダ 701 が電子ビームの照射位置 (試料の観察位置) にあるかを検出することが可能となる。

【0041】

なお、図 6 B の例では、透過式のセンサを用いているが、エリアセンサ発光部 120 に受光部を内蔵した反射式のセンサを用いてもよい。図 6 A 及び図 6 B の実施例によれば、複数の試料ステージ 6、7 から複数の試料ホルダ 2、701 が導入される構成において、試料ホルダ同士が衝突して破損することを防ぐことが可能となる。

【0042】

以上では、第 2 の試料ステージ 7 から試料ホルダ 701 を導入する構成について説明したが、試料ホルダ 701 の代わりに、試料ホルダ 701 と同形状の筒状部材に観察や分析に用いられる構成要素 (例えば、検出器やアパーチャやコールドブロックなど) を取付けて、それらの構成要素を第 2 の試料ステージ 7 から鏡体 1 内に導入することも可能である。以下では、具体的な例について説明する。

【0043】

< マルチステージを用いた EDX 検出器の導入 >

図 7 は、第 2 実施例に係る透過型電子顕微鏡 (TEM) の第 2 の試料ステージ 7 を説明する図である。第 2 の試料ステージ 7 は、鏡体 1 内に導入可能な筒状部材 703 を備え、筒状部材 703 の先端は、EDX 検出器 704 を備える。EDX 検出器 704 は、エアロック室 700 を介して鏡体 1 内に導入される。

【0044】

本実施例では、試料ホルダ 2 は、対物ポールピース 105 の上下の間のギャップの間に挿入される。電子ビーム 107 は、対物ポールピース 105 によって発生させた磁場によって集束される。EDX 検出器 704 は、ポールピース内挿入型 EDX 検出器であり、上側の対物ポールピース 105 と試料ホルダ 2 との間に挿入されるように構成されている。

10

20

30

40

50

なお、EDX検出器704としては、対物ポールピース105の側面から特性X線を検出する方式の検出器でもよい。

【0045】

近年、分析感度向上を目的として大面積のX線検出素子を搭載したEDX検出器が製品化されている。本実施例によれば、検出感度を高めたい場合には、試料ステージ6とは別の第2の試料ステージ7からこのようなEDX検出器を導入することが可能となる。

【0046】

また、従来では、鏡体のポートに固定したEDX検出器が用いられていたが、検出器の交換やメンテナンスの場合には、電子ビーム顕微装置を大気解放する必要がある、多大な時間を要する。これに対して、本実施例では、鏡体1を大気解放せずにエアーロック室700を介してEDX検出器704の交換及び導入が可能となる。これにより、検出器の交換やメンテナンスにかかる時間を大幅に減らすことが可能となり、試料観察のスループットが向上する。

【0047】

また、従来では、試料ホルダに検出器等を搭載する手法がとられているが、試料ホルダは10mm程度の円筒形状であり、試料ホルダの内部に検出器等を実装することは非常に困難な場合が多い。本実施例によれば、試料ホルダ自身に検出器を搭載する必要がなく、試料ステージ6とは別の第2の試料ステージ7からEDX検出器704を導入できる。

【0048】

また、図7のように、EDX検出器704を試料ステージ6の対向する位置から導入する構成にすると、試料3と同一平面に対して高角度領域に発生するX線をも検出することができ、試料3からの特性X線の検出精度を向上させることもできる。

【0049】

< マルチステージを用いたガスの導入 >

図8は、第3実施例に係る透過型電子顕微鏡(TEM)の第2の試料ステージ7を説明する図である。第2の試料ステージ7は、鏡体1内に導入可能な筒状部材703を備え、筒状部材703の先端は、ガス導入用ノズル705を備える。ガス導入用ノズル705は、エアーロック室700を介して鏡体1内に導入される。本実施例によれば、試料ステージ6から導入した試料3に対して、第2の試料ステージ7から導入したガス導入用ノズル705によってガスを吹き付け、その反応をTEM観察することが可能となる。

【0050】

従来では、図15に示すように、試料ホルダ150にガス供給用のパイプ151を実装し、そのパイプ151を通してガスを試料152に吹き付ける構成であった。このような試料ホルダ150では、試料ホルダ150自体にパイプ151を実装する必要がある、任意のホルダに搭載された任意の試料にガスを吹き付けることが困難である。また、ガスを吹き付けて観察したい場合には、鏡体を大気開放して通常の試料ホルダを試料ホルダ150に交換する必要がある、試料ホルダの交換やメンテナンスに多大な時間を要する。

【0051】

これに対して、本実施例では、試料ステージ6とは別の第2の試料ステージ7のエアーロック室700を介してガス導入用ノズル705を任意の試料に対して導入することが可能となる。また、従来のように試料ホルダを交換する必要もない。また、鏡体1を大気解放することなくガス導入用ノズル705を導入できるため、試料観察にかかる時間も短くなり、試料観察のスループットが向上する。さらに、試料ステージ6の試料ホルダ2自体にパイプを設ける必要がなくなり、試料ホルダ2自体の構成も簡易な構成とすることができる。

【0052】

< マルチステージを用いたコールドブロックの導入 >

図9A及び図9Bは、第4実施例に係る透過型電子顕微鏡(TEM)の第2の試料ステージ7を説明する図である。図9Aは、透過型電子顕微鏡の試料面を側方から見た図であり、図9Bは、コールドブロックの断面図である。例えば、試料を冷却して観察する場合

10

20

30

40

50

に、試料ホルダに冷媒（液体窒素）タンクを備え、試料近傍まで導いた良熱伝導にて試料の熱を奪い、試料冷却をする方式がとられている。ここで、熱伝導による冷却のみでは試料冷却が不十分な場合があるため、試料周辺に冷却された部材（コールドブロック）を設置し、試料への放射熱を低減する手法も合わせて実施されている。

【 0 0 5 3 】

第 2 の試料ステージ 7 は、鏡体 1 内に導入可能な筒状部材 7 0 3 を備え、筒状部材 7 0 3 の先端は、コールドブロック 7 0 6 を備える。また、筒状部材 7 0 3 のもう一方の端部には、冷媒（液体窒素）タンク（図示せず）が取付けられている。筒状部材 7 0 3 は、エアロック室 7 0 0 を介して鏡体 1 内に導入される。

【 0 0 5 4 】

コールドブロック 7 0 6 は、円筒状に形成されており、内部の空間に試料ホルダ 2 の試料 3 が導入されるようになっている。コールドブロック 7 0 6 は、電子ビーム 1 0 7 を通過させるための孔 7 0 6 a を有する。したがって、コールドブロック 7 0 6 で試料 3 の全体を覆いながら電子ビーム 1 0 7 を試料 3 に照射することが可能となる。

【 0 0 5 5 】

従来では、鏡体にコールドブロックが固定されており、鏡体の 1 つのポートをコールドブロックが占有するような構成となっていた。しかしながら、試料を冷却して観察する以外はコールドブロックを必要としない場合が多く、ポートを有効に活用できていなかった。本実施例によれば、冷却の必要性に応じて、試料ステージ 6 とは別の第 2 の試料ステージ 7 のエアロック室 7 0 0 を介してコールドブロック 7 0 6 を任意の試料に対して導入することが可能となる。したがって、コールドブロックが 1 つのポートを占有することもなく、空いたポートを有効に活用することも可能となる。さらに、本実施例では、試料ステージ 6 と対向する位置にある別の第 2 の試料ステージ 7 からコールドブロック 7 0 6 を導入する構成となるため、コールドブロック 7 0 6 を円筒状に形成して、試料 3 の全体を覆うことが可能となる。したがって、試料 3 の冷却効率も向上する。

【 0 0 5 6 】

また、従来では、コールドブロックは、試料ホルダの近傍に配置する必要があるため、試料ホルダなどと衝突して破損する可能性があり、メンテナンスのために鏡体を大気開放する必要があった。これに対して、本実施例によれば、コールドブロック 7 0 6 を円筒状に形成して、試料 3 を周囲から覆うような構成としているため、試料ホルダ 2 との衝突を回避することが可能である。また、コールドブロック 7 0 6 がエアロック室 7 0 0 を介して鏡体 1 内に導入されるので、鏡体を大気開放することなくコールドブロック 7 0 6 のメンテナンスも可能となる。

【 0 0 5 7 】

< マルチステージを用いたアパーチャの導入 >

図 1 0 は、第 5 実施例に係る透過型電子顕微鏡（TEM）の第 2 の試料ステージ 7 を説明する図である。TEM 観察時には、観察画像のコントラストを高めるために不要な散乱電子を除去する絞りユニットを試料の直下に挿入する必要がある。以下では、絞りユニットの構成について説明する。

【 0 0 5 8 】

第 2 の試料ステージ 7 は、鏡体 1 内に導入可能な筒状部材 7 0 3 を備え、筒状部材 7 0 3 の先端は、絞りユニット（TEM アパーチャ）7 0 7 を備える。絞りユニット 7 0 7 は、エアロック室 7 0 0 を介して鏡体 1 内に導入される。絞りユニット 7 0 7 は、試料ホルダ 2 と同形状であり、異なる径の絞り 1 1 1 及び 1 1 2 を有する。ここで、筒状部材 7 0 3 の導入位置を制御することによって、異なる径の絞り 1 1 1 及び 1 1 2 のいずれかを試料 3 の直下に配置することができる。本実施例によれば、試料ステージ 6 から導入した試料 3 に対して、絞りユニット 7 0 7 を第 2 の試料ステージ 7 から TEM 観察時のみ導入することが可能となる。

【 0 0 5 9 】

従来では、鏡体に TEM アパーチャが固定されていたため、メンテナンスのために鏡体

10

20

30

40

50

内を大気開放する必要があったが、本実施例によれば、絞りユニット707がエアロック室700を介して鏡体1内に導入されるので、鏡体1を大気開放することなく絞りユニット707のメンテナンスが可能となる。

【0060】

また、従来では、鏡体にTEMアパーチャが固定されており、鏡体の1つのポートをTEMアパーチャが占有するような構成となっていた。しかしながら、TEM観察時以外（STEM観察）はTEMアパーチャは不要であり、ポートの有効に活用できていなかった。本実施例によれば、TEM観察時のみ、試料ステージ6とは別の第2の試料ステージ7のエアロック室700を介して絞りユニット707を任意の試料に対して導入することが可能となる。したがって、絞りユニットが1つのポートを占有することもなく、空いたポートを有効に活用することも可能となる。

10

【0061】

<マルチステージを用いたプラズマクリーナの導入>

図11は、第6実施例に係る透過型電子顕微鏡（TEM）の第2の試料ステージ7を説明する図である。従来より、透過型電子顕微鏡における試料観察時に、ビーム照射領域にカーボン膜（コンタミネーション）が堆積し、透過像のコントラストが低下してしまうという課題があった。これを回避するために、電子顕微鏡へ試料を導入する前に、プラズマを試料に照射し、試料上に付着した炭化水素系のガス成分を除去する方法がとられている。以下では、プラズマを試料に照射する構成について説明する。

【0062】

20

第2の試料ステージ7は、鏡体1内に導入可能な筒状部材703を備え、筒状部材703の先端は、プラズマクリーナ708を備える。プラズマクリーナ708は、エアロック室700を介して鏡体1内に導入される。本実施例によれば、試料ステージ6から導入した試料3に対して、プラズマクリーナ708を第2の試料ステージ7から導入することが可能となる。導入後、プラズマクリーナ708は、試料ステージ6から導入した試料3に対してプラズマを照射する。

【0063】

従来の構成では、試料にプラズマ照射後、試料が電子顕微鏡に導入するまでに大気にさらされるために、そこで大気中の炭化水素系ガスが吸着してしまい、プラズマ照射の効果が低減していた。本実施例によれば、真空排気された鏡体1内でプラズマを試料3に照射して、コンタミネーション源となる吸着ガスを除去することが可能となる。しかも、鏡体1を大気解放せずにエアロック室700を経由してプラズマクリーナ708を導入できるので、プラズマを照射後に試料が大気にさらされることもなく、プラズマ照射の効果が保たれる。

30

【0064】

<参照試料と観察試料の同時観察>

図12及び図13は、第7実施例に係る透過型電子顕微鏡（TEM）を説明する図である。図12は、試料面を上方から見た図であり、図13は、試料台を拡大した図である。以下では、電子顕微鏡の観察において、試料ステージ6から導入した試料3を参照試料にして、第2の試料ステージ7から導入した試料を観察する構成について説明する。

40

【0065】

参照試料と観察試料の同時観察を行う場合、各々のサンプルを同時にビーム照射領域に移動させる必要がある。本実施例では、試料ステージ6の試料ホルダ2の先端は、試料回転ホルダ76を備え、第2の試料ステージ7の試料ホルダ701の先端は、試料回転ホルダ71を備える。図12に示すように、試料回転ホルダ71、76は、電子ビームの照射位置に同時に導入された際に互いに干渉しないような形状で形成されている。例えば、図12に示すように、試料回転ホルダ71、76の先端部は、上面視でL字形状となっている。

【0066】

試料回転ホルダ76は、試料台80を有する傘歯車74と、回転軸77を有する傘歯車

50

75とを有する。図13に示すように、試料台80には、試料回転ホルダ用試料82が保持されている。傘歯車74と傘歯車75とは互いに噛み合うように配置されており、傘歯車75を回転軸77で回転させると、傘歯車75と接触する傘歯車74が回転し、結果として試料台80の試料82を回転させることができる。

【0067】

また、試料回転ホルダ71は、試料台79を有する傘歯車72と、回転軸78を有する傘歯車73とを有する。図13に示すように、試料台79には、試料回転ホルダ用試料81が保持されている。傘歯車72と傘歯車73とは互いに噛み合うように配置されており、傘歯車73を回転軸78で回転させると、傘歯車73と接触する傘歯車72が回転し、結果として試料台79の試料81を回転させることができる。

10

【0068】

本実施例では、試料台79を有する傘歯車72と試料台80を有する傘歯車74とは、電子ビームの照射位置を挟んで互いに対向するように配置されている。ここで、図13に示すように、試料台79の先端には試料81が搭載され、試料台80の先端には試料82が搭載される。したがって、試料台79の試料81と試料台80の試料82は、共にビーム照射領域に配置されるようになっている。

【0069】

なお、本実施例では、試料導入時に各々の試料回転ホルダ71、76が十分離れた状態（例えば電子顕微鏡の低倍の観察視野内に収まる数100 μ 程度離れた状態）となるように試料回転ホルダ71、76を導入し、試料ホルダ導入時のホルダ干渉を回避する。また、観察視野が100 μ m程度である状態で各々の試料81、82が所望の距離に近づくように試料ステージ6及び第2の試料ステージ7を制御する。もしくは、第2の試料ステージ7から導入した試料81は固定として、試料ステージ6側を操作して各々の試料を所望の位置まで近づけてもよい。

20

【0070】

本実施例によれば、試料ステージ6から導入した試料82を参照試料にして、第2の試料ステージ7から導入した試料81を観察することが可能となる。しかも、試料回転ホルダ71、76がそれぞれエアロック室600、700を介して鏡体1内に導入されるので、鏡体1を大気開放することなく、試料81、82を同時にビーム照射領域に導入することが可能となる。これにより、試料観察のスループットが向上する。

30

【0071】

以上の実施例によれば、透過型電子顕微鏡において、標準試料ステージである試料ステージ6の試料3と同一平面上のポートに別個の第2の試料ステージ7を設けているため、鏡体1を大気開放することなく、次に観察する試料を導入することが可能となる。また、標準試料ステージとは別の第2の試料ステージ7から観察や分析に必要な構成要素（検出器や絞り機構など）を導入できるため、一台の電子顕微鏡で様々な観察や分析に容易に対応できる。さらに、鏡体1を大気解放せずに、鏡体1を真空にした状態で観察や分析に用いる構成要素を導入できるため、観察スループットが向上する。

【0072】

また、試料ホルダを導入する際は、試料に吸着したガスや試料ホルダ導入により鏡体内に持ち込まれたガスによりコンタミネーションが多く、観察に支障をきたす場合があったが、鏡体1を大気解放せずに観察や分析に用いる構成要素を導入できるため、コンタミネーション源となるガスが持ち込まれることも防ぐことが可能となる。また、第2の試料ステージ7から適宜必要な構成要素を導入できるので、構成要素の交換及びメンテナンスも容易になる。

40

【0073】

なお、本発明は上述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、上述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、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あり、また、ある実施例の構成

50

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。

【 0 0 7 4 】

また、図面における制御線や情報線は、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るもよい。

【 符号の説明 】

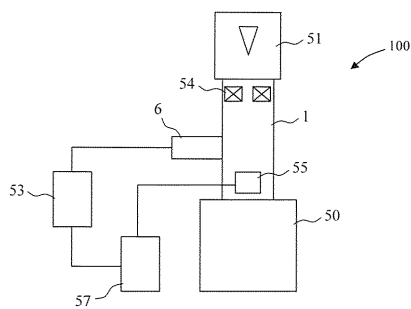
【 0 0 7 5 】

| | | |
|--------------------------|----------------|----|
| 1 | : 鏡体 | |
| 2 | : 試料ホルダ | 10 |
| 3 | : 試料 | |
| 6 | : 試料ステージ | |
| 7 | : 第2の試料ステージ | |
| 8 | : 予備排気経路 | |
| 9 | : 試料室真空排気ポート | |
| 10 | : E D X 検出器 | |
| 11 a、11 b、11 c、11 d、11 e | : ポート | |
| 12 | : コールドブロック | |
| 20 | : 回転筒 | |
| 21 | : Z 駆動用リニア機構 | 20 |
| 22 | : Z バネ | |
| 23 | : ベアリング | |
| 24 | : ベース | |
| 25 | : てこ機構 | |
| 29 | : X 駆動用リニア機構 | |
| 30 | : スライダ筒 | |
| 32 | : ベローズ | |
| 33 | : 内筒 | |
| 34 | : エアーロックバルブ | |
| 36 | : 球面受け | 30 |
| 37 | : 球形支点 | |
| 38 | : 外筒 | |
| 39 | : ホルダガイド溝 | |
| 40 | : ホルダ突き当て部 | |
| 41 | : 傘歯車 | |
| 50 | : 架台 | |
| 51 | : 電子銃 | |
| 53 | : 第1ステージコントローラ | |
| 54 | : 電子レンズ | |
| 55 | : 検出器 | 40 |
| 56、59 | : トラックボール | |
| 57 | : 主制御ユニット | |
| 58 | : 第2ステージコントローラ | |
| 60 | : ターボ分子ポンプ | |
| 61 | : スクロールポンプ | |
| 62、63、64、65、66 | : バルブ | |
| 67 | : エアーロックバルブ | |
| 71、76 | : 試料回転ホルダ | |
| 72、73、74、75 | : 傘歯車 | |
| 77、78 | : 回転軸 | 50 |

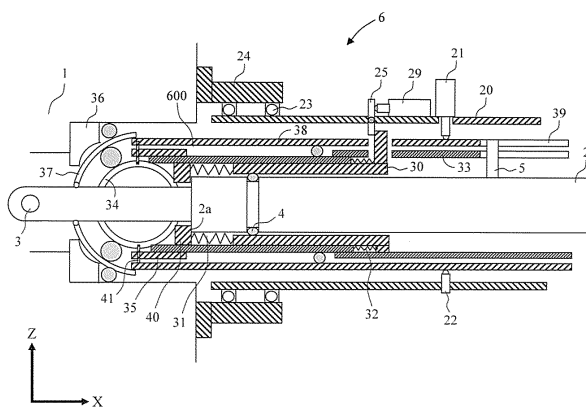
- 79、80 : 試料台
 81、82 : 試料
 100 : 透過型電子顕微鏡
 101 : ゲート
 105 : 対物ポールピース
 107 : 電子ビーム
 111、112 : 絞り
 120 : エリアセンサ発光部
 121 : エリアセンサ受光部
 600、700 : エアロック室
 701 : 試料ホルダ
 702 : 試料
 703 : 筒状部材
 704 : E D X 検出器
 705 : ガス導入用ノズル
 706 : コールドブロック
 707 : 絞りユニット
 708 : プラズマクリーナ

10

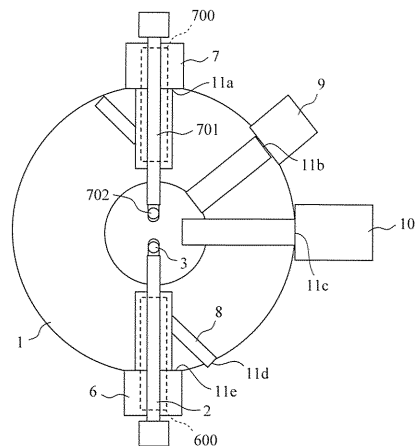
【図1】



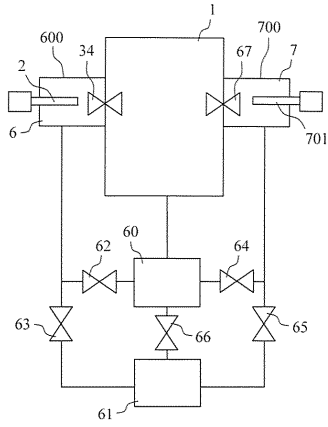
【図2】



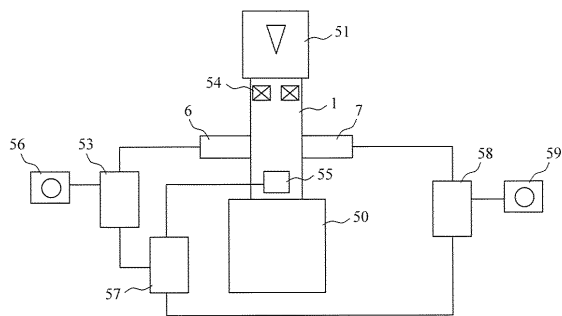
【図3】



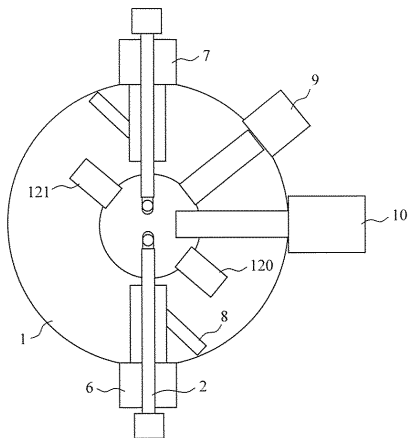
【図 4】



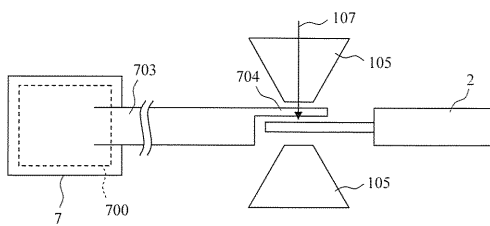
【図 5】



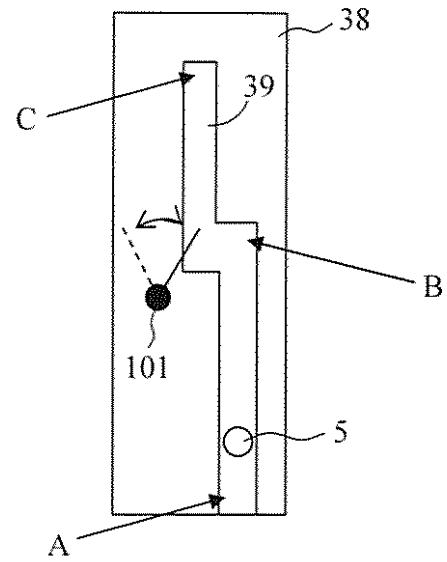
【図 6 B】



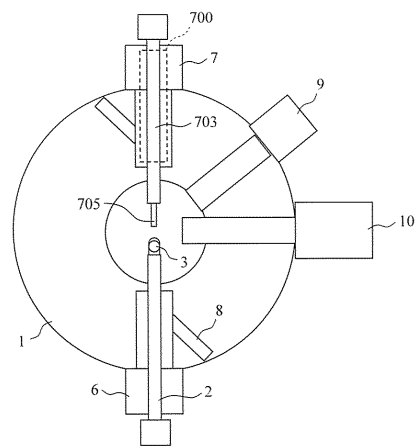
【図 7】



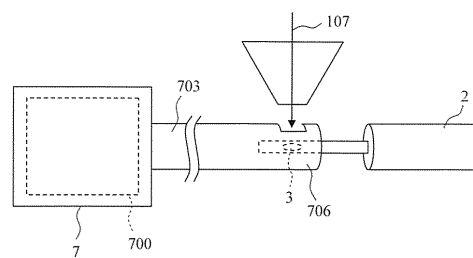
【図 6 A】



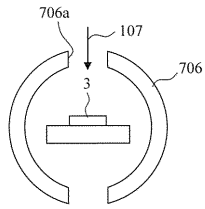
【図 8】



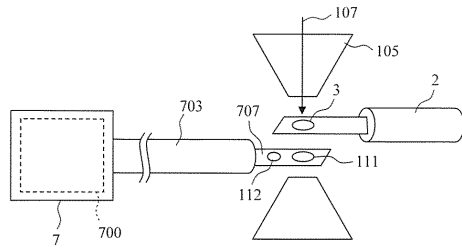
【図 9 A】



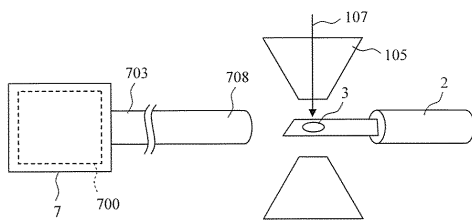
【図 9 B】



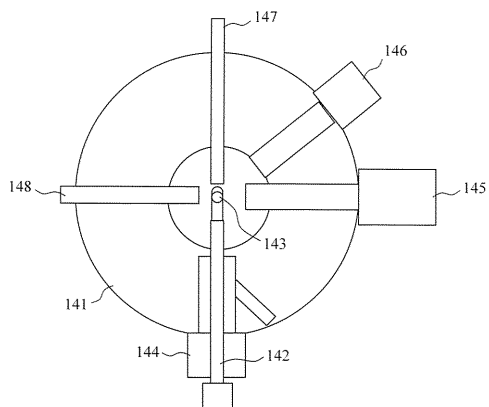
【図 10】



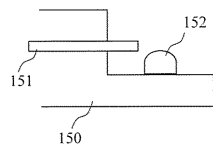
【図 11】



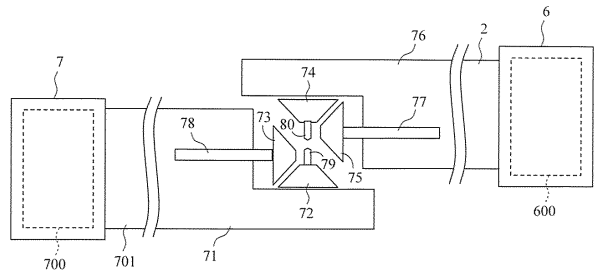
【図 14】



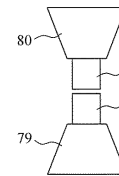
【図 15】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 J 37/09 A

- (72)発明者 上田 浩大
茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内
- (72)発明者 齋藤 浩一郎
茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内
- (72)発明者 滑川 亮史
茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内
- (72)発明者 稲田 博実
茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内

審査官 佐藤 仁美

- (56)参考文献 特開平 0 9 - 1 6 7 5 9 1 (J P , A)
特開昭 6 3 - 2 9 1 3 4 7 (J P , A)
特開昭 6 0 - 1 8 9 8 5 4 (J P , A)
特開昭 5 4 - 0 2 0 6 5 7 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 0 0 9 9 4 3 (J P , A)
実開昭 5 7 - 0 8 2 0 5 2 (J P , U)
特開昭 5 5 - 1 3 6 4 4 6 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 0 4 4 4 7 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 0 8 9 3 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 N 2 3 / 0 0 - 2 3 / 2 2 7、
H 0 1 J 3 7 / 0 0 - 3 7 / 0 2、3 7 / 0 5、3 7 / 0 9 - 3 7 / 2 1、
3 7 / 2 4 - 3 7 / 2 4 4、3 7 / 2 5 2 - 3 7 / 2 9 5