

(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2014-139938
(P2014-139938A)

(43) 公開日 平成26年7月31日(2014.7.31)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 J 37/20 (2006.01)	HO 1 J 37/20 A	2 G 0 5 2
HO 1 J 37/30 (2006.01)	HO 1 J 37/30 Z	5 C 0 0 1
GO 1 N 1/28 (2006.01)	GO 1 N 1/28 G	5 C 0 3 4
GO 1 N 1/32 (2006.01)	GO 1 N 1/28 F	
	GO 1 N 1/32 B	

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 34 頁)

(21) 出願番号 特願2014-37153 (P2014-37153)
 (22) 出願日 平成26年2月27日 (2014. 2. 27)
 (62) 分割の表示 特願2012-541899 (P2012-541899) の分割
 原出願日 平成23年11月2日 (2011. 11. 2)
 (31) 優先権主張番号 特願2010-248022 (P2010-248022)
 (32) 優先日 平成22年11月5日 (2010. 11. 5)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 501387839
 株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目2 4 番 1 4 号
 (74) 代理人 110000855
 特許業務法人浅村特許事務所
 (72) 発明者 岩谷 徹
 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 武藤 宏史
 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

最終頁に続く

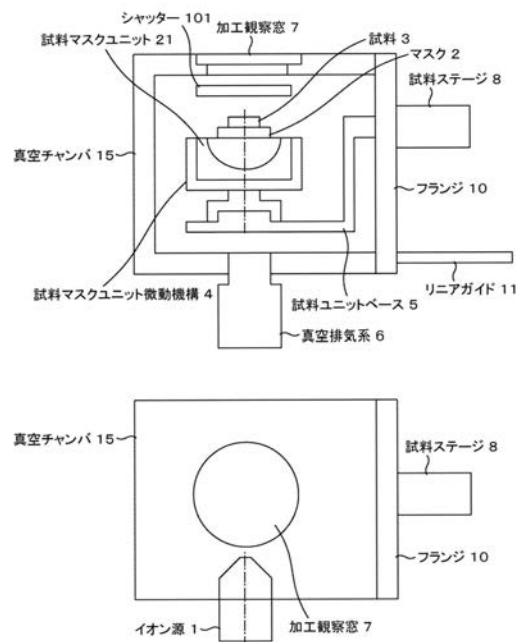
(54) 【発明の名称】 イオンミリング装置

(57) 【要約】

【課題】断面加工と平面加工の両方を同じ真空チャンバ内にて行うことが可能なイオンミリング装置の提供すること。

【解決手段】真空チャンバ内に配置され、イオンビームに直交する第1の軸に平行な傾斜軸を持つ傾斜ステージを備えたイオンミリング装置において、第1の軸に直交する第2の軸に平行な回転軸及び傾斜軸を持ち、試料を回転、或いは傾斜させる駆動機構と、傾斜ステージを傾斜させながら、支持台を回転或いは往復傾斜させて、イオンビームを照射する状態と、傾斜ステージを非傾斜状態とすると共に、支持台を往復傾斜させて、イオンビームを照射する状態を切り替える切替部を備えたイオンミリング装置を提案する。

【選択図】 図 1 0



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

試料にイオンビームを照射するためのイオン源と、
真空チャンバ内に配置され、前記イオンビームに直交する第 1 の軸に平行な傾斜軸を持つ傾斜ステージを備えたイオンミリング装置において、
前記傾斜ステージ上に配置され、前記試料を保持する試料保持部材を支持する支持台と

、
前記第 1 の軸に直交する第 2 の軸に平行な回転軸及び傾斜軸を持ち、前記支持台を回転、或いは傾斜させる駆動機構と、

前記傾斜ステージを傾斜させながら、前記支持台を回転或いは往復傾斜させて、前記イオンビームを照射する状態と、前記傾斜ステージを非傾斜状態とすると共に、前記支持台を往復傾斜させて、前記イオンビームを照射する状態を切り替える切替部を備えたことを特徴とするイオンミリング装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記イオンビーム軸と前記支持台の回転軸を偏心させる機構を備えたことを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 3】

請求項 2 において、

前記試料保持部材は、前記イオンビームの一部を遮ると共に、前記第 2 の軸に平行に位置付けられる面を有する遮蔽部を備え、当該試料保持部材は前記支持台に着脱可能に構成されていることを特徴とするイオンミリング装置。

20

【請求項 4】

請求項 2 において、

前記切替部による切り替えに応じて、前記傾斜ステージを傾斜させながら、前記支持台を回転或いは往復傾斜させて、前記イオンビームを照射する状態と、前記傾斜ステージを非傾斜状態とすると共に、前記支持台を往復傾斜させて、前記イオンビームを照射する状態を切り替える制御装置を備えたことを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 5】

請求項 1 において、

前記真空チャンバには、観察窓が設けられていることを特徴とするイオンミリング装置

30

【請求項 6】

請求項 5 において、

前記観察窓は、前記真空チャンバの天井面に設けられていることを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 7】

請求項 6 において、

前記真空チャンバの天井面と異なる面には、前記イオン源が設置されていることを特徴とするイオンミリング装置。

40

【請求項 8】

請求項 5 において、

前記試料のイオンビーム照射位置と、前記観察窓との間の空間に移動可能なシャッタが設けられていることを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 9】

請求項 1 において、

前記真空チャンバには、光学顕微鏡、或いは電子顕微鏡が設けられていることを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 10】

請求項 9 において、

50

前記光学顕微鏡、或いは電子顕微鏡は、前記真空チャンバの天井面に設けられていることを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 1 1】

請求項 1 0 において、

前記真空チャンバの天井面と異なる面には、前記イオン源が設置されていることを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 1 2】

請求項 9 において、

前記試料のイオンビーム照射位置と、前記光学顕微鏡、或いは電子顕微鏡との間の空間に移動可能なシャッタが設けられていることを特徴とするイオンミリング装置。

10

【請求項 1 3】

真空チャンバに取り付けられ、試料にイオンビームを照射するイオン源と、当該イオン源から放出されるイオンビームの照射方向に対し、垂直な方向の傾斜軸を持つ傾斜ステージを備えたイオンミリング装置において、

前記試料ステージ上に設置され、前記傾斜軸に直交する回転傾斜軸を有する回転体と、前記真空チャンバの壁面であって、前記傾斜軸と前記イオンビームの照射軌道が為す平面に直交する方向に設けられる加工観察用の開口とを備えたことを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 において、

前記試料位置を、前記試料ステージ上にて偏心させる偏心機構を備えたことを特徴とするイオンミリング装置。

20

【請求項 1 5】

請求項 1 3 において、

前記回転体上に試料マスクユニットを備え、当該試料マスクユニットは、前記回転傾斜軸に平行するイオンビームの遮蔽面を有する遮蔽部を有することを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 3 において、

前記イオンビーム源と前記試料の距離により、断面ミリングと表面ミリングのモードが切り替わることを特徴とするイオンミリング装置。

30

【請求項 1 7】

請求項 1 3 において、

前記加工観察用開口の上部に光学顕微鏡を配置することを特徴とするイオンミリング装置。

【請求項 1 8】

請求項 1 3 において、

前記加工観察用開口部に、電子顕微鏡のカラムを配置することを特徴とするイオンミリング装置。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、走査電子顕微鏡（SEM）や透過型電子顕微鏡（TEM）などで観察される試料を作製するためのイオンミリング装置およびイオンミリング方法に関する。

【背景技術】

【0002】

イオンミリング装置は、金属、ガラス、セラミックなどの表面あるいは断面を、アルゴンイオンビームを照射するなどして研磨するための装置であり、電子顕微鏡により試料の表面あるいは断面を観察するための前処理装置として好適である。

【0003】

50

電子顕微鏡による試料の断面観察において、従来は観察したい部位の近傍を例えばダイヤモンドカッター、糸のこぎり等を使用して切断した後、切断面を機械研磨し、電子顕微鏡用の試料台に取り付けて像を観察していた。

【0004】

機械研磨の場合、例えば高分子材料やアルミニウムのように柔らかい試料では、観察表面がつぶれる、あるいは研磨剤の粒子によって深い傷が残るといった問題があった。又、例えばガラスあるいはセラミックのように固い試料では研磨が難しく、柔らかい材料と固い材料とが積層された複合材料では、断面加工が極めて難しいという問題があった。

【0005】

これに対し、イオンミリングは、柔らかい試料でも表面の形態がつぶれることなく加工できる、固い試料および複合材料の研磨が可能である。鏡面状態の断面を容易に得ることができるという効果がある。

10

【0006】

特許文献1には、真空チャンバ内に配置され、試料にイオンビームを照射するためのイオンビーム照射手段と、前記真空チャンバ内に配置され、前記イオンビームにほぼ垂直な方向の傾斜軸をもつ傾斜ステージと、その傾斜ステージ上に配置され、前記試料を保持する試料ホルダと、前記傾斜ステージ上に位置し、前記試料を照射するイオンビームの一部を遮る遮蔽材とを備えた試料作製装置であり、前記傾斜ステージの傾斜角を変化させながら、前記イオンビームによる試料加工を行う試料作製装置が記載されている。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2005-91094号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1に開示された試料作製装置は、断面加工（断面ミリング）用のイオンミリング装置である。一方、イオンミリング装置には、試料を回転させつつ、試料表面をイオンビームによって加工する平面ミリング用の装置がある。このように同じようにイオンビームを照射して試料を加工する装置であっても、イオンビーム照射時の試料の動きが異なるが故に、別装置とする必要があった。

30

【0009】

以下に、断面加工と平面加工の両方を同じ真空チャンバ内にて行うことを目的とするイオンミリング装置を説明する。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記目的を達成するための一態様として、試料にイオンビームを照射するためのイオン源と、真空チャンバ内に配置され、前記イオンビームに直交する第1の軸に平行な傾斜軸を持つ傾斜ステージを備えたイオンミリング装置において、前記傾斜ステージ上に配置され、前記試料を保持する試料保持部材を支持する支持台と、前記第1の軸に直交する第2の軸に平行な回転軸及び傾斜軸を持ち、前記支持台を回転、或いは傾斜させる駆動機構と、前記傾斜ステージを傾斜、前記支持台を回転或いは往復傾斜させて、前記イオンビームを照射する状態と、前記傾斜ステージを非傾斜状態とすると共に、前記支持台を往復傾斜させて、前記イオンビームを照射する状態を切り替える切替部を備えたイオンミリング装置を提案する。

40

【発明の効果】

【0011】

上記構成によれば、断面ミリングと平面ミリングの双方を1台の装置にて行うことができる。

本発明の他の目的、特徴及び利点は添付図面に関する以下の本発明の実施例の記載から

50

明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】イオンミリング装置の概略構成図である。

【図2】試料マスクユニットの概略構成図である。

【図3】試料マスクユニットの他の例を示す図である。

【図4】試料の断面とマスクを平行にする方法を示した説明図である。

【図5】試料ユニットベースを引き出し、試料マスクユニットを設置した試料マスクユニット微動機構を着脱した状態を示す図である。

【図6】別体と設けられた光学顕微鏡に試料マスクユニットを設置した試料マスクユニット微動機構を装着する状態を示す図である。

【図7】試料マスクユニットを設置した試料マスクユニット微動機構を光学顕微鏡に装着した状態を示す図である。

【図8】アルゴンイオンビーム中心と試料の断面研磨したい部位とを合わせる方法を示した説明図である。

【図9】イオンミリングによる試料断面研磨方法を示した説明図である。

【図10】イオンミリング装置の概略構成図である。

【図11】試料マスクユニットを設置した試料マスクユニット微動機構と試料ユニットベースの構成図である。

【図12】試料マスクユニットを設置した試料マスクユニット微動機構と軸継手を使用した試料ユニットベースの構成図である。

【図13】別体と設けられた光学顕微鏡に試料マスクユニットを設置した試料マスクユニット微動機構を装着する状態を示す図である。

【図14】回転傾斜機構と偏心機構の構成図である。

【図15】回転傾斜機構と偏心機構（軸継手を使用した）の構成図である。

【図16】試料表面ユニットと試料ユニットベースの構成図である。

【図17】光学顕微鏡を搭載したイオンミリング装置の概略構成図である。

【図18】電子顕微鏡を搭載したイオンミリング装置の概略構成図である。

【図19】断面ミリング時のイオンビーム軌道と、回転傾斜機構の回転傾斜軸との関係を説明する図。

【図20】平面ミリング時のイオンビーム軌道と、回転傾斜機構の回転傾斜軸との関係を説明する図。

【図21】イオンミリング装置の操作パネルの概要を示す図。

【図22】イオンミリング装置の制御装置の概要を説明する図。

【図23】加工モードと加工条件の設定工程を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

【0013】

断面ミリング装置（マスクを介して、試料をミリングし平滑な面を作成する装置）では、試料ステージと試料を保持するユニットの設置部が同じ回転傾斜軸（同じ動き）であるため、加工観察窓の設置位置は、試料ステージと同軸方向となるため、試料ステージを装置前面とすると、加工観察窓は装置前面または背面となり、観察装置（顕微鏡）の設置・操作が難しい。また、断面ミリング装置の回転傾斜機構を回転機構にするだけでは、平面ミリング（イオンビーム軸に対し垂直な面（試料ステージの傾斜角度90度）を平滑に加工する）を行うことができず、断面・平面それぞれのミリング装置が必要であった。

【0014】

本実施例では、主にミリングによる加工観察面の観察を容易にし、さらに断面ミリングおよび表面ミリング両者の加工ができることを特徴とするイオンミリング装置について説明する。

【0015】

本実施例では、イオンミリング装置の一例として、真空チャンバに取り付けられ、試料

10

20

30

40

50

にイオンビームを照射するイオンビーム源と、試料を固定する試料ホルダ、該試料ホルダに固定された試料の一部を遮蔽するマスク（遮蔽部）、前記試料ホルダを回転する試料回転機構および前記マスクと試料との遮蔽位置関係を調整するマスク位置調整部から構成される試料マスクユニットとイオンビームと垂直に試料マスクユニットをXY駆動できる試料マスクユニット微動機構と前記試料マスクユニット微動機構を真空チャンバ内で設置できる試料ユニットベースおよび前記マスクと試料との遮蔽位置関係を観測する光学顕微鏡とを備えたイオンミリング装置において、前記試料マスクユニットまたは前記試料マスクユニット微動機構の試料ユニットベースへの固定部は、前記試料マスクユニットまたは前記試料マスクユニット微動機構の後部であり、前記試料ユニットベースに回転部を設け、前記真空チャンバの前面に前記試料ステージ、右または左側面に前記イオンビーム源、上面に加工観察窓を搭載し、試料と加工観察窓の間にシャッターを設けたことを特徴とするイオンミリング装置を説明する。

10

【0016】

また、前記試料の回転傾斜機構は回転機能を備え、前記試料の回転軸の垂直方向にチルト軸が構成されるチルト機構を備え、イオンビーム軸と試料の回転軸（ステージ傾斜角90度の場合）の偏心機構を設けたことを特徴とするイオンミリング装置を説明する。

【0017】

上記した構成によれば、ミリングによる加工観察面の観察を容易にし、さらに断面ミリングおよび表面ミリング両者の加工が可能となる。

【0018】

以下、実施例を図面に基づいて説明する。

20

【0019】

本実施例ではアルゴンイオンビームを照射するためのイオン源を搭載したイオンミリング装置を例に採って説明するが、イオンビームはアルゴンイオンビームに限られることはなく、種々のイオンビームの適用が可能である。

【0020】

図1はイオンミリング装置の構成を示したものである。真空チャンバ15の上面にイオン源1、前面に試料ステージ8が設置されている。

【0021】

試料ユニットベース5には、試料マスクユニット微動機構4が搭載される。搭載方法は、試料マスクユニット微動機構4の下面（イオンビームが照射されるマスク面の対面側）と試料ユニットベース5の上面を接触させて、ねじで固定される。試料ユニットベース5がイオンビームの光軸に対して任意の角度に回転傾斜できるように構成されており、回転傾斜させる方向と傾斜角度は、試料ステージ8により制御される。試料ステージ8を回転傾斜させることにより、試料マスクユニット微動機構4上に設置する試料3をイオンビームの光軸に対して所定の角度に設定することができる。更に、試料ステージ8の回転傾斜軸と試料上面（マスク下面）の位置を一致させて、効率良く平滑な加工面を作製している。また、試料マスクユニット微動機構4は、イオンビームの光軸に対して垂直方向の前後左右、すなわち、X方向とY方向に移動できるように構成される。

30

【0022】

試料ユニットベース5は、真空チャンバ15の容器壁の一部を兼ねるフランジ10に搭載されている試料ステージ8（回転機構）を介して配置されており、フランジ10をリニアガイド11に沿って引き出して真空チャンバ15を大気状態に開放した時に、試料ユニットベース5が真空チャンバの外部へ引き出されるように構成されている。このようにして、試料ステージ引出機構が構成される。

40

【0023】

試料マスクユニット21本体の構成を図2により説明する。図2の(a)は平面図、(b)は側面図である。実施例では、少なくとも試料ホルダ23とその回転機構、マスク2とその微調整機構とを一体に構成したものを試料マスクユニット（本体）21と称する。図2では、試料ホルダ23の回転機構として試料ホルダ回転リング22と試料ホルダ回転

50

ねじ 28 が備えられており、イオンビームの光軸に対して、垂直に試料ホルダを回転できるようにしている。試料ホルダ回転リング 22 は、試料ホルダ回転ねじ 28 を回すことによって回転するように構成されており、逆回転はばね 29 のばね圧で戻るようになっている。

【0024】

試料マスクユニット 21 は、マスクの位置と回転角を微調整できる機構を持ち、試料マスクユニット微動機構 4 に取り付け、取り外しができる。本実施例では、試料マスクユニット 21 と試料マスクユニット微動機構 4 は 2 部品となっているが、1 部品で構成されても良い。(実施例では判り易くするために、試料マスクユニットと試料マスクユニット微動機構を分けて説明する)。

10

【0025】

マスク 2 はマスクホルダ 25 にマスク固定ねじ 27 により固定される。マスクホルダ 25 はマスク微調整機構(すなわちマスク位置調整部) 26 を操作することによってリニアガイド 24 に沿って移動し、これにより試料 3 とマスク 2 の位置が微調整される。試料ホルダ 23 は、下部側より試料ホルダ回転リング 22 に挿入され固定される。試料 3 は試料ホルダ 23 に接着固定される。試料ホルダ位置制御機構 30 により試料ホルダ 23 の高さ方向の位置を調整し、試料ホルダ 23 をマスク 2 に密着させる。

【0026】

図 3 は、試料マスクユニット 21 の他の例を示す。この例にあつては、試料ホルダ固定金具 35 を使用しており、他の構成は図 2 に示す例と基本的に同一である。図 3 (a) は、試料 3 を固定した試料ホルダ 23 を試料マスクユニット 21 内に装着した状態を示し、図 3 (b) は試料 3 を固定した試料ホルダ 23 を試料マスクユニット 21 から取り外した状態を示す。

20

【0027】

図 4 は、試料の断面とマスクを平行にする方法を示した説明図である。試料ホルダ回転ねじ 28 を回して X1 方向の位置調整を行い、試料 3 の断面とマスク 2 の稜線が平行になるよう後述するようにして顕微鏡下で微調整する。このとき、試料 3 の断面がマスクより僅かに突出、例えば 50 μm 程度突出するようにマスク微調整機構 26 を回して設定する。

【0028】

図 5 は、試料ステージ引出機構 60 の構成を示す。試料ステージ引出機構 60 は、リニアガイド 11 とこれに固着されたフランジ 10 からなり、フランジ 10 に搭載された試料ステージに固着された試料ユニットベース 5 は、リニアガイド 11 に沿って真空チャンバ 15 から引き出される。この操作に伴って、試料ユニットベース 5 に試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 を設置、すなわちマスク 2, 試料ホルダ 23, 試料 3 が真空チャンバ 15 から一体的に引き出される。

30

【0029】

本実施例において、試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 は、試料ユニットベース 5 に着脱自在に固定される構成を有する。従って、試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 が真空チャンバ 15 の外部に引き出されると、試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 を試料ユニットベース 5 から着脱可能状態とされる(試料マスクユニット 21 の着脱スタンバイ)。

40

【0030】

図 5 は、このような着脱自在の状態から、試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 が着脱された状態を示す。この着脱は人手によって、もしくは適当な器具によって行う。

【0031】

一方、マスク 2 と試料 3 との遮蔽位置関係を観測する光学顕微鏡 40 は、図 6 に示すように、真空チャンバ 15 から別体に構成され、任意の場所に配置することが可能とされる。そして、光学顕微鏡 40 は、周知のルーペ 12, ルーペ微動機構 13 を備える。更に、

50

光学顕微鏡 40 は、観測台 41 上に取り外された試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 を装置するための固定台 42 が設けてあり、位置決め用の軸と穴によって再現性のある決まった位置に試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 は、固定台 42 上に設置される。

【0032】

図 7 は、試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 を固定台 42 上に固定した状態を示す。

【0033】

図 8 は、試料 3 の断面研磨したい部位をイオンビーム中心に合わせる方法を示した説明図である。感光紙等を試料ホルダ 23 に取り付け、イオンビームを照射することによりできた痕、すなわちビーム中心とルーペの中心をルーペ微動機構 13 で X2, Y2 を駆動して合わせておく。図 3 で試料 3 を設置した後の試料マスクユニット本体 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 を固定台 42 に設置する。固定台 42 の X3, Y3 方向の位置を調整してルーペ中心に合わせることで、イオンビーム中心と断面研磨したい部位を合わせることができる。

10

【0034】

このように、マスク 2 と試料 3 との遮蔽位置関係の調整時に、試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 は、試料ユニットベース 5 から取り外されて光学顕微鏡 40 の固定台 42 に装着され、マスク 2 は試料 3 に対する遮蔽位置関係がマスク位置調整部（マスク微調整機構）によって調整される。

20

【0035】

図 9 は、イオンビームで試料 3 の断面を鏡面研磨する方法を示した説明図である。アルゴンイオンビームを照射すると、マスク 2 で覆われていない試料 3 をマスク 2 に沿って、深さ方向に取り除くことができ、且つ、試料 3 の断面の表面を鏡面研磨することができる。

【0036】

このように、イオンミリング時に試料に対する遮蔽位置関係が調整されたマスク 2 を備えた試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 が試料ユニットベース 5 に戻され、装着されることになる。

【0037】

以上のように、マスク 2 と試料 3 との遮蔽位置関係の調整時に、試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 を試料ユニットベース 5 から取り外して光学顕微鏡 40 の固定台 42 に装着し、マスクの試料 3 に対する遮蔽位置関係を調整し、イオンミリング時に、試料に対する遮蔽位置関係が調整されたマスク 2 を備えた試料マスクユニット 21 を設置した試料マスクユニット微動機構 4 を真空チャンバ 15 内に戻し、試料ユニットベース 5 に装着するようにしたイオンミリング方法が構成される。

30

【0038】

図 1 に例示するようなイオンミリング装置では、断面ミリング加工を行うことができるが、平面ミリング加工を行うことができない。そこで、本実施例では、その両方の加工を可能とするイオンミリング装置を説明する。

40

【0039】

図 10 は、断面ミリング加工と平面ミリング加工の両方を行うことのできるイオンミリング装置の構成を示したものである。真空チャンバ 15 の上面に加工観察窓 7、左側面（右側面でも良い）にイオン源、前面に試料ステージを搭載し、試料と加工観察窓 7 の間にシャッター 101 が設けられている。このシャッター 101 は、スパッタされた粒子が加工観察窓 7 に堆積することを防ぐために設置される。真空チャンバ 15 は、通常真空雰囲気形成するための空間を形成する箱型形状、或いはそれに準ずる形状を為しているが、観察窓は箱の上方（重力のある環境で、重力場の向かう方向と反対の方向）に設けられ、イオン源は箱の側方壁面（箱の上方面に隣接する面であって、重力場の向かう方向と垂直な方向）に設けられる。即ち、加工観察窓は、試料ステージの傾斜軸と、イオンビームの

50

照射軌道を含む平面に直交する方向であって、真空チャンバの壁面に設けられる。なお、後述するように、加工観察窓用の開口には、真空封止が可能な窓を設ける以外にも、光学顕微鏡や電子顕微鏡を設置することができる。

【0040】

試料ユニットベース5には、試料保持部材（試料マスクユニット微動機構4を含む試料を保持する部材）を載置可能な回転体9が設けられており、回転体9は、試料保持部材を支持する支持台として機能する。試料ユニットベース5は、図11のように回転体9と歯車50とベアリング51により構成されている。試料マスクユニット微動機構4は図11のように試料マスクユニット微動機構4の後面にマスクユニット固定部（ネジ含む）52を設置している。試料ユニットベース5への試料マスクユニット微動機構4の搭載方法は、試料マスクユニット微動機構4の固定面（後面）と試料ユニットベース5の回転体9上面を接触させて、マスクユニット固定部52によりねじ固定される。試料ユニットベース5は回転傾斜されず、試料ユニットベース5に搭載されている回転体9により、真空チャンバ15側面方向より照射されるイオンビームの光軸に対して任意の角度に回転傾斜できるように構成されており、回転傾斜させる方向と傾斜角度は、試料ステージ8により制御される。

10

【0041】

ここで、試料ユニットベース5の回転体9を回転傾斜させる方法は、図11、図12（軸継手53を使用）のどちらでも良い。試料ユニットベース5の回転体9を回転傾斜させることにより、試料マスクユニット微動機構4上に設置する試料3をイオンビームの光軸に対して所定の角度に設定することができる。更に、試料ユニットベース5の回転体9の回転軸と試料上面（マスク下面）の位置を一致させて、効率良い平滑な加工面を作製している。また、試料マスクユニット微動機構4は、イオンビームの光軸に対して垂直方向の前後左右、すなわち、X方向とY方向に移動できるように構成される。

20

【0042】

装置と別体の光学顕微鏡40への設置は、図13のように試料マスクユニット21または試料マスクユニット微動機構4の試料ユニットベース5へのマスクユニット固定部52を使用せず、試料マスクユニット微動機構4の下面を使用する方法でも良い。

【0043】

図6の例と異なる点は、ビーム中心とルーペ中心を調整するルーペ微動機構13を固定台42側で行う点である。このルーペ微動機構13は、本例或いは図6の例のどちらを採用しても良い。それ以外については、図6の例と同様の作業を行う。

30

【0044】

図10に例示したイオンミリング装置には、図14に例示するように試料の回転傾斜機構に回転機能が設けられ、且つイオンビーム軸に垂直方向の回転傾斜軸を持つ傾斜機構が設けられている。更に、図14のように傾斜角を90度とした際のイオンビーム軸と試料マスクユニット微動機構4の回転軸をずらす偏心機構を設ける。ここで、図15のように軸継手を使用する方式でも良い。但し、軸継手を使用する場合には、図15のように回転傾斜部内に設置し、偏心機構は試料ユニットベース5の回転体の下部に設置しなければならない。図14、図15のように試料の回転機能を有し、イオンビーム入射角、偏心量を任意に決めることにより、断面ミリング（マスクを介して、試料をミリングし平滑な面を作成する装置）でありながら、平面ミリング（イオンビーム軸に対し垂直な面（試料ステージの傾斜角度90度時）を平滑に加工する）が可能になる。

40

【0045】

但し、断面ミリングと平面ミリングはイオン源の性能によって、イオン源と試料間の距離を変更する必要があるため、イオンビーム軸の方向にイオン源又は試料ステージの可動機構を設けている。従ってイオン源により、断面ミリングと平面ミリングを行う際のイオン源と試料間距離が決定するので、試料を搭載している試料ステージの位置又はイオン源の位置により断面ミリング又は平面ミリングを認識し、断面ミリング又は平面ミリングモード（例えば、回転傾斜又は回転）を切り替える機能を有している。

50

【 0 0 4 6 】

ここで、異なる2種の加工が可能となる理由を更に詳述する。以下、本実施例にて例示する装置が、断面ミリング加工と平面ミリング加工の双方を実施し得る原理について詳述する。図19は断面ミリングの際のイオンビームの照射方向と、各回転機構或いは傾斜機構（以下、単に回転機構と称する）の回転軸或いは傾斜軸（以下、単に回転軸と称する）との関係を示す図であり、図20は平面ミリングの際のイオンビームの照射方向と、各回転軸との関係を示す図である。

【 0 0 4 7 】

図19において、破線にて表現される軸1901は、図10の上図にて一点鎖線で表現した軸と平行であり、例えば図11に例示する回転体9の回転軸にも平行な軸である。更に二点鎖線で表現される軸1902は、試料ステージ8の回転軸に平行な軸である。また、一点鎖線で表現される軸1903は、イオン源1から放出されるイオンビームの照射方向を示している。また、軸1901は、マスク2のイオンビーム被照射面と平行な関係にある。

10

【 0 0 4 8 】

また、軸1901, 1902, 1903は直交しており、本例の場合、軸1901がz軸、軸1902がy軸、軸1903がx軸に平行になるように設置される。

【 0 0 4 9 】

断面ミリングのときには、試料3の断面にイオンビーム軌道に沿った筋が形成されないように、軸1901に平行な回転軸を回転中心とした往復傾斜駆動を行う。このとき、マスク面は軸1901に平行となる。また、平面ミリングのときには、図20に例示するように、試料1904を試料ステージ8によって所定角度に傾斜、或いは所定角度範囲で往復傾斜駆動しつつ、軸1901の傾斜軸1905に平行な軸を回転軸として試料1904を回転させる。

20

【 0 0 5 0 】

以上のように、本実施例装置は、第1の回転軸（軸1902に平行な軸）を有する試料ステージ上にて、第2の回転軸（軸1901、或いは軸1905（傾斜往復運動を行う場合を含む））を回転、或いは傾斜中心とした回転、或いは往復傾斜駆動を行い得るものである。即ち、図10に例示する装置は、断面ミリングのときの往復傾斜駆動と、平面ミリングのときの試料の回転或いは往復傾斜駆動を、試料ステージ8上に搭載される回転機構にて行うと共に、平面ミリングのときの傾斜を、試料ステージ8自体を傾斜させる回転機構にて行うことを特徴としている。なお、図20では軸1905は駆動機構の回転中心を示しているが、平面ミリングの場合には、試料上の広範囲の領域を平面加工するため、試料中心を軸1905から偏心させた状態で回転を行う。

30

【 0 0 5 1 】

図21は、断面ミリング加工と、平面ミリング加工の切り替えと、ステージ等の動作条件を設定する操作パネルの一例を示す図である。加工モード設定部2101には、平面ミリング（Flat）か、断面ミリング（Cross-section）かを選択するボタンが配置されており、どちらか一方の択一的な選択が可能となっている。また、ステージ動作条件設定部2102には、傾斜（tilt）か、往復傾斜（swing）かを選択するボタンが配置されており、どちらか一方の択一的な選択が可能となっている。ステージ動作条件設定部2102には更に、傾斜角度、或いは往復傾斜の角度範囲（Angle）と、往復傾斜の場合の周期速度（Speed）を設定する設定部が設けられている。更に、回転テーブル動作条件設定部2103には、回転テーブルによる往復傾斜角度（Angle）と、往復傾斜の周期速度（Speed）を設定する設定部が設けられている。

40

【 0 0 5 2 】

図21に例示する操作パネルでは、数値入力が必要な設定部については、セレクトキー（Select）により、入力窓の選択を可能とすると共に、“Up”，“Down”ボタンによって、数値の選択を可能としている。更にエンターキー（Enter）によって、選択された数値の登録を行う。ここで言うところのステージとは、例えば図10の試料ステージ8であり

50

、回転テーブルとは、例えば図11の回転体9のことである。

【0053】

断面ミリング加工には、回転テーブルの往復傾斜駆動を要する反面、試料ステージの往復傾斜駆動を必要としない。よって、断面ミリング加工を選択（Cross-Sectionのボタンを選択）したとき、ステージ動作条件設定部2102における設定を禁止、或いは無効とするようにミリング装置の制御装置を構成しておくが良い。また、断面ミリング時に試料ステージ8を傾斜してしまうと、加工対象とは関係のない部分にイオンビームを照射したり、試料断面を斜めに加工してしまうことになるため、断面ミリング加工を選択したとき、試料ステージ8が傾斜した状態にある場合に、イオンビームの照射を行わないような制御を行ったり、エラーメッセージを発生することで、操作者に注意を促すようにしても良い。また、自動的に、試料ステージ8の傾斜角度をゼロにするように制御を行っても良い。

10

【0054】

また、平面ミリング加工には、試料ステージ8の傾斜と、回転テーブルの回転或いは往復傾斜の双方を用いるため、ステージ動作条件設定部2102と、回転テーブル動作条件設定部2103の双方の入力を有効にする必要がある。

【0055】

本実施例装置では、回転体9に、断面ミリング時の往復傾斜駆動と、平面ミリング時の回転駆動の両方を行わせることによって、1のミリング装置で2つの異なるミリング加工を可能とした。

20

【0056】

なお、図10に例示する装置では、イオン源1が真空チャンバ15の側方に設置されている。このような構成とする理由は、傾斜ステージの非傾斜時（例えば断面ミリング時）に、ステージを安定した状態とすることできるからである。傾斜ステージの非傾斜状態で、断面加工を行うためには、イオンビームを側方から照射する必要があり、そのためにイオン源1が真空チャンバ15の側方に設置されている。また、それに伴って加工断面を確認するための加工観察窓を真空チャンバ15の上方に設置した。このような構成によれば、断面ミリング時の加工断面の確認と、平面ミリング時の加工面の確認を1つの観察窓で行うことが可能となる。

【0057】

図22は、図10に例示するイオンミリング装置の制御装置の一例を示す図である。切替部2201は、図21の操作パネルに相当するものであり、切替部2201における選択情報は、制御装置2202に設けられた入力インターフェース2205を介して、演算部2207に伝達される。演算部2207では、制御信号発生部2209が、入力信号に基づいて、制御信号記憶部2208より制御信号を読み出し、その信号を出力インターフェース2206に伝達する。駆動機構2203、2204では、受信した制御信号に基づいて、切替部2201にて選択した条件の駆動を実行する。

30

【0058】

駆動機構2203は、傾斜ステージを駆動する駆動機構であり、駆動機構2204は、傾斜ステージ上に搭載された回転テーブルを駆動する駆動機構である。なお、本実施例では、切替部2201による加工モードの選択によって、断面ミリング加工を行うか、平面ミリング加工を行うかの選択を行う例を示しているが、これに限ることはなく、例えば試料台形状を認識するセンサを備えておき、自動的に加工モードを選択するようにしても良い。この場合、センサと当該センサ情報を認識する演算装置が、切替部に相当することになる。

40

【0059】

また、切替部による加工モード選択と、装置状態とを比較して、当該選択、或いは装置状態が適切ではない場合に、エラーメッセージを発生することによって、誤った条件に基づく加工をしないように、操作者へ警報を発生することもできる。

【0060】

50

図 2 3 は、加工モードと装置状態を比較し、正確な装置設定を操作者に促すメッセージを発生するための判断工程を示すフローチャートである。まず、装置の電源をオンにした上で、図 2 1 に例示したような操作パネル上にて、加工モードを選択する（ステップ 2 3 0 1）。ここで演算部 2 2 0 7 の制御信号発生部 2 2 0 9 では、いずれの加工モードが選択されたかを判断し（ステップ 2 3 0 2）、その加工モードに見合った試料ホルダが試料ステージ上に設置されているかを判断する（断面加工が選択されている場合には、ステップ 2 3 0 3、平面加工が選択されている場合には、ステップ 2 3 0 4 にて判断を実施する）。

【 0 0 6 1 】

所定の試料ホルダが設置されているか否かの判断は、両者の違い、及び試料ホルダの設置の有無を判断するためのセンサ（センサ部 2 2 1 0）を真空チャンバ内に備えておくことによって実施する。このセンサが、試料ホルダ自体が設置されていない、或いは設定された加工モードに不適な試料ホルダが設置されている旨の信号を発生した場合、演算部 2 2 0 7 に内蔵された装置状態監視部 2 2 1 1 は、所定の信号を表示部 2 2 1 2 に伝達し、エラーメッセージを発生する（ステップ 2 3 0 5）。エラーメッセージは、図 2 1 に例示した操作パネルの表示部上に“Err”のような表示を行うようにしても良いし、他の表示手段或いは警報発生器を用いるようにしても良い。

10

【 0 0 6 2 】

次に、ステップ 2 3 0 2 にて、断面ミリングを選択した場合に、試料ステージ 8 の傾斜角がゼロになっているかを判定（ステップ 2 3 0 6）し、ゼロでない場合にエラーメッセージを発生する。このようなメッセージ発生によって、断面ミリングに適さないステージ状態となっていることを把握することが可能となり、誤った加工を行う可能性を抑制することができる。ステップ 2 3 0 7 にて、ステージ傾斜角が適正に設定されていることを確認した上で、回転テーブルの往復傾斜駆動の条件の入力を可能とする状態に移行する（ステップ 2 3 0 7）。

20

【 0 0 6 3 】

また、ステップ 2 3 0 2 にて、平面ミリングを選択した場合には、傾斜ステージと回転ステージの双方を駆動することになるため、両者の条件設定を可能とする状態に移行する（ステップ 2 3 0 8）。

【 0 0 6 4 】

以上のようなステップを経由して、更に他に設定すべき条件（イオンビーム電流、加工時間等）が設定されていることを判定（ステップ 2 3 0 9）し、加工を開始する（ステップ 2 3 1 0）。

30

【 0 0 6 5 】

上述のような工程を経て、加工を行うことによって、2種類の加工を行い得る装置において、誤った選択を行うことがなくなり、容易に加工条件設定を行うことが可能となる。また、ステップ 2 3 0 6 にて、ステージが傾斜していた場合（傾斜角 0° 以外の場合）、自動的に非傾斜状態となるように、傾斜ステージを制御するようにしても良い。

【 0 0 6 6 】

以上のように、加工モードの設定情報と、装着されたホルダの種類、及び装置状態を認識すると共に、これらの情報を比較することによって、現在の設定状態が適切なものか否かを容易に判断することができ、誤った設定に基づく加工を未然に防ぐことが可能となる。

40

【 0 0 6 7 】

また、上述したように、断面ミリングと平面ミリングはイオン源の性能によって、イオン源と試料間の距離を変更する必要があるため、試料ステージの位置の設定に応じて、自動的に加工モードを切り替えるようにしても良い。更に、試料ステージの位置設定と、加工モードの選択が矛盾するような場合に、エラーメッセージを発生するようにしても良い。この場合も図 2 3 に例示するような工程を経て、設定を行うことによって、誤った設定を抑制することが可能となる。また、加工モードの選択によって、自動的に試料ステージ

50

位置を制御する制御機構を設けるようにしても良い。

【0068】

試料マスクユニット21を搭載している試料マスクユニット微動機構4は装置本体から着脱可能なので、試料マスクユニット微動機構4を装置から取り外し、試料表面ユニットを装置に取り付けることが可能である。試料表面ユニットを設置して平面ミリングを行った場合、試料以外のミリング加工が最小限となり、試料ユニットのダメージが皆無となる。

【0069】

また、図10等に例示したイオンミリング装置の加工観察窓の上部に、図17のように光学顕微鏡57を設置することにより、ミリング加工の進捗が確認できる。所望の加工範囲まで加工が完了した時点で、加工を終了し、試料を取り出すことができるため、スループットの向上につながる。

【0070】

更に、図17に例示した光学顕微鏡57に替えて、図18に例示するように電子顕微鏡58を設置しても良い。イオンビームにより試料をミリング加工している途中で、加工の進捗を確認するために使用する。使用方法は、ミリング加工を一度停止し、汚れ防止用シャッターを開放後、電子顕微鏡58による観察を行う。所望の加工範囲が得られていない場合には、電子ビーム照射を終了し、汚れ防止用シャッターを閉じた後、再度イオンビームを照射し、ミリング加工を開始する。所望の加工範囲が得られている場合には、必要となる倍率まで拡大し、必要となる画像を取得する。

【0071】

装置より試料マスクユニット微動機構4または試料表面ユニットを取り外し、電子顕微鏡用の試料ユニットに試料を搭載し、試料ユニットを装置に取り付け、通常の電子顕微鏡としても使用可能としている。

【0072】

本実施例に例示したイオンミリング装置によれば、真空チャンバ15の上面に加工観察窓7、左側面(右側面でも良い)にイオン源1、前面に試料ステージ8を設置したイオンミリング装置が可能となり、加工面観察装置の設置、観察共、容易となる。更に、断面ミリングおよび表面ミリング両者の加工が一つの装置で可能となる。

【0073】

近年、特に半導体分野で、複合材料を電子顕微鏡で断面観察することが重要となっており、複合材料の断面を鏡面研磨する重要性が増している。本実施例により、断面ミリングおよび平面ミリングの両者を一つの装置で行うことが可能になった。更に観察装置を真空チャンバ上部に設置することにより、操作性が極めて向上する。

上記記載は実施例についてなされたが、本発明はそれに限らず、本発明の精神と添付の請求の範囲の範囲内で種々の変更および修正をすることができることは当業者に明らかである。

【符号の説明】

【0074】

- 1 イオン源
- 2 マスク
- 3 試料
- 4 試料マスクユニット微動機構
- 5 試料ユニットベース
- 6 真空排気系
- 7 加工観察窓
- 8 試料ステージ
- 9 回転体
- 10 フランジ
- 11, 24 リニアガイド

10

20

30

40

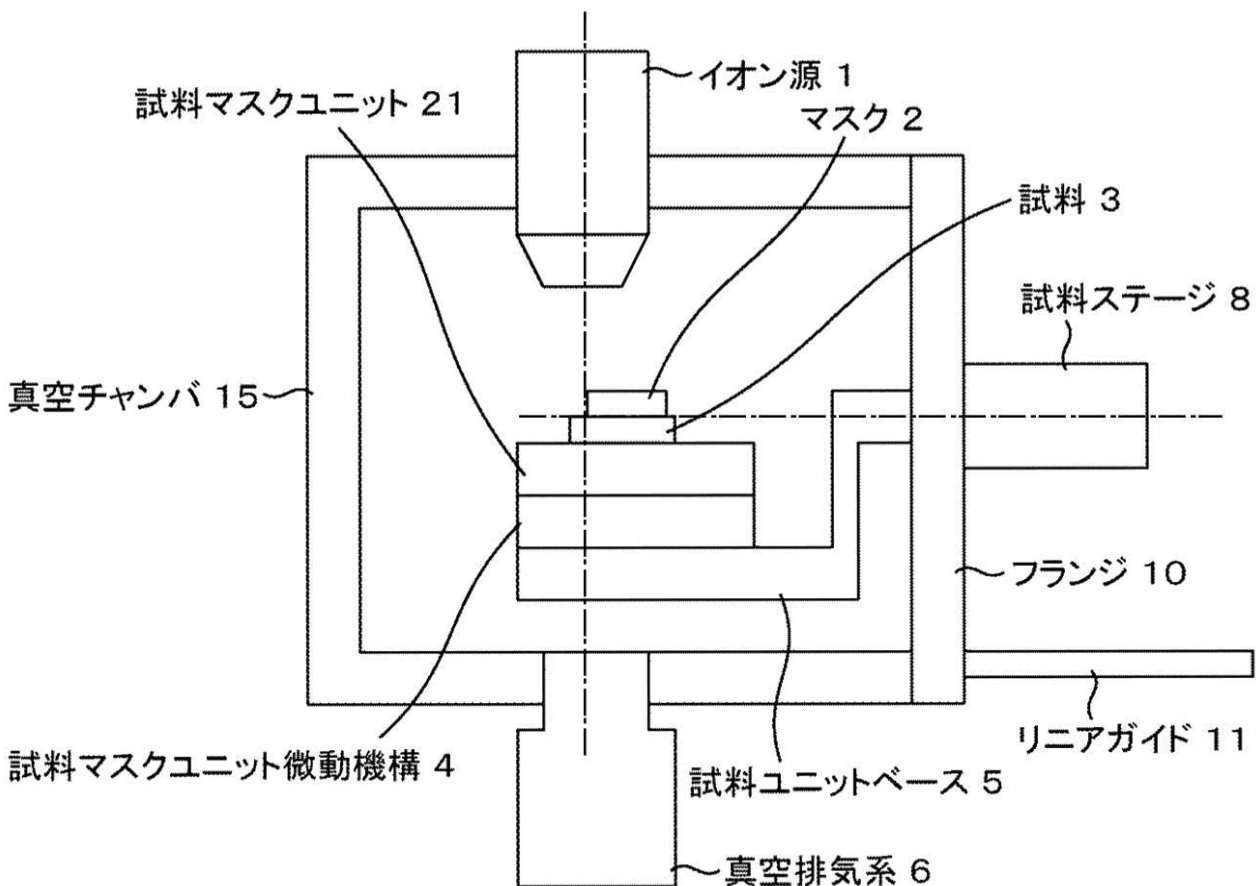
50

- 1 2 ルーペ
- 1 3 ルーペ微動機構
- 1 5 真空チャンバ
- 2 1 試料マスクユニット
- 2 2 試料ホルダ回転リング
- 2 3 試料ホルダ
- 2 5 マスクホルダ
- 2 6 マスク微調整機構
- 2 7 マスク固定ネジ
- 2 8 試料ホルダ回転ねじ
- 3 0 試料ホルダ位置制御機構
- 3 5 試料ホルダ固定金具
- 4 0 , 5 7 光学顕微鏡
- 4 1 観測台
- 4 2 固定台
- 5 0 歯車
- 5 1 ベアリング
- 5 2 マスクユニット固定部
- 5 3 軸継手
- 5 4 直動機器
- 5 5 モータ
- 5 6 試料表面ユニット
- 5 8 電子顕微鏡
- 6 0 試料ステージ引出機構

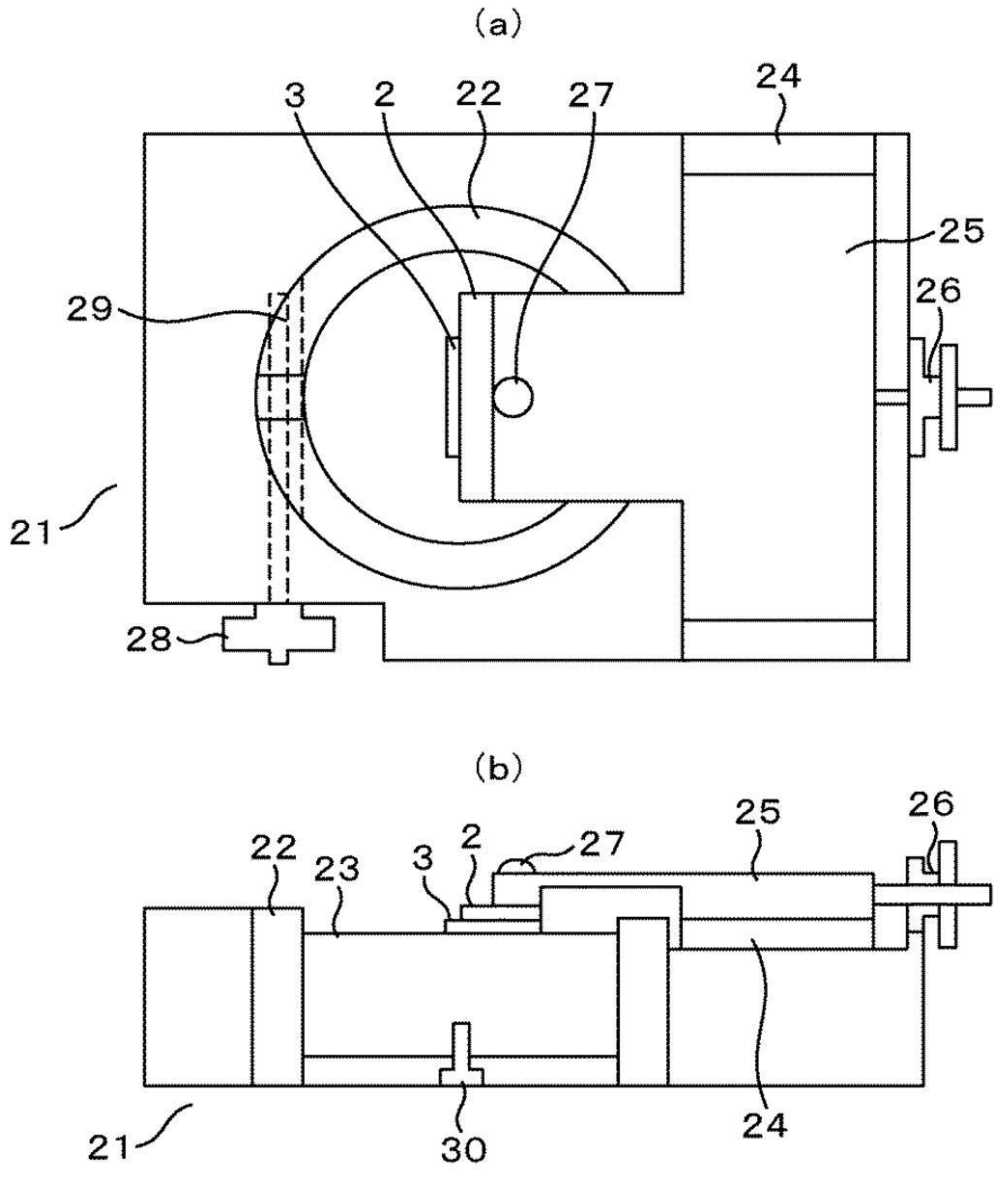
10

20

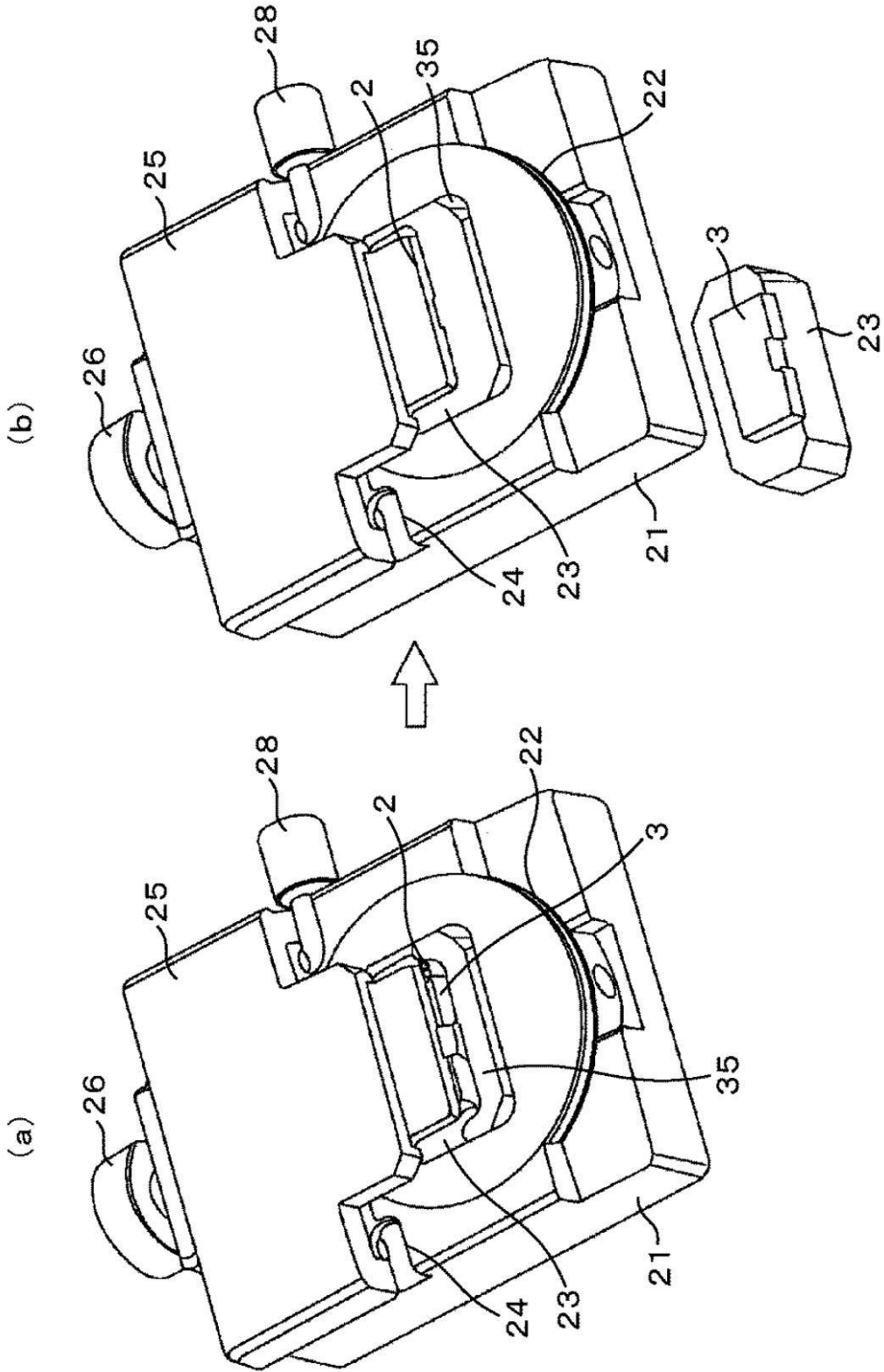
【 図 1 】



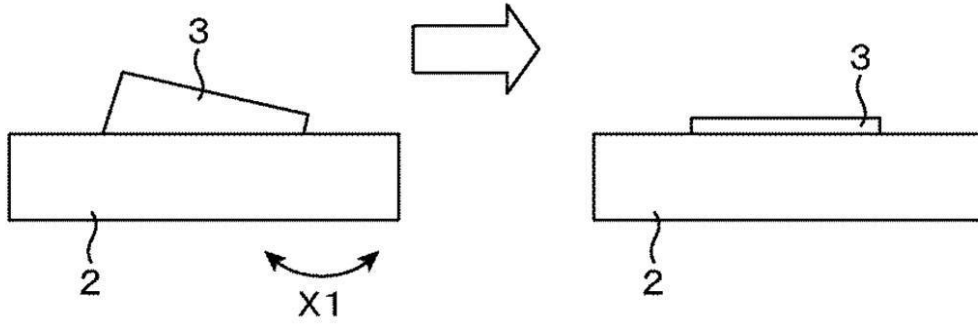
【 図 2 】



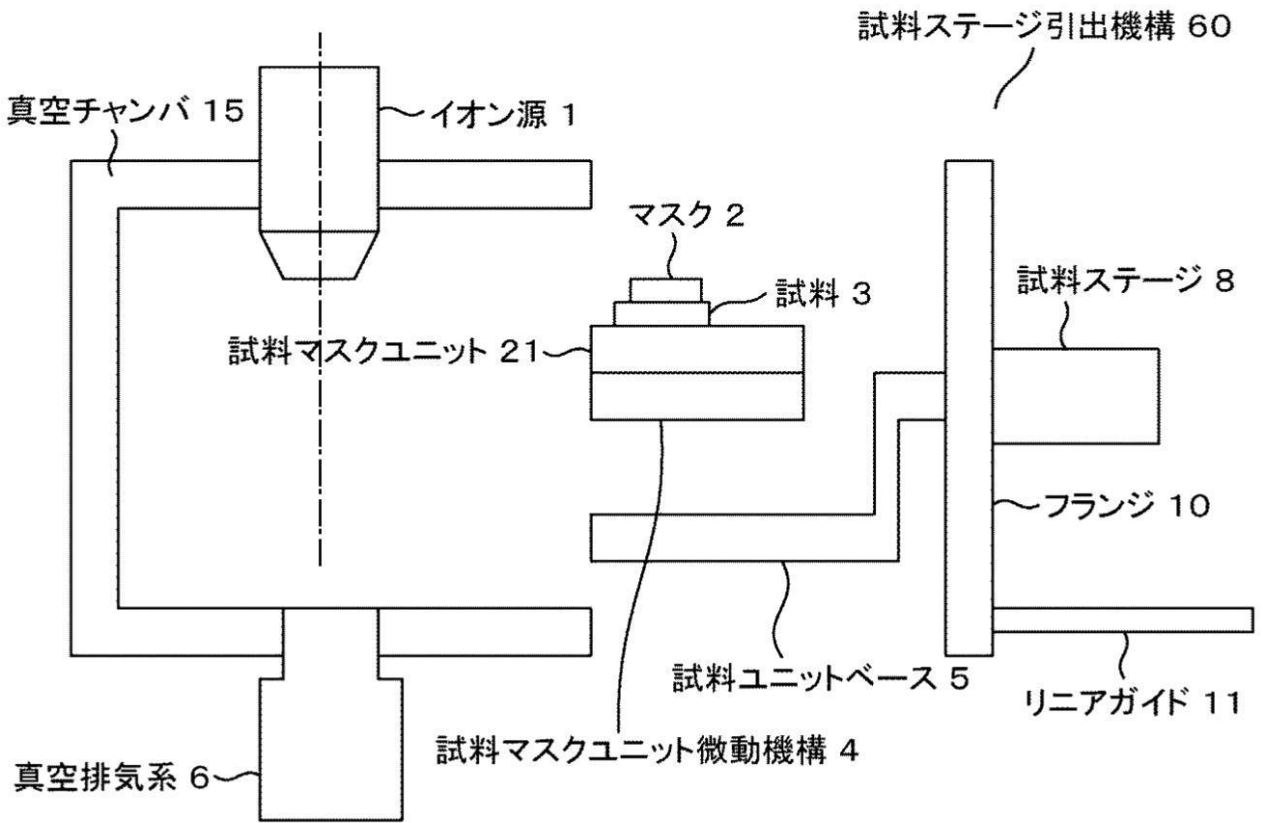
【図 3】



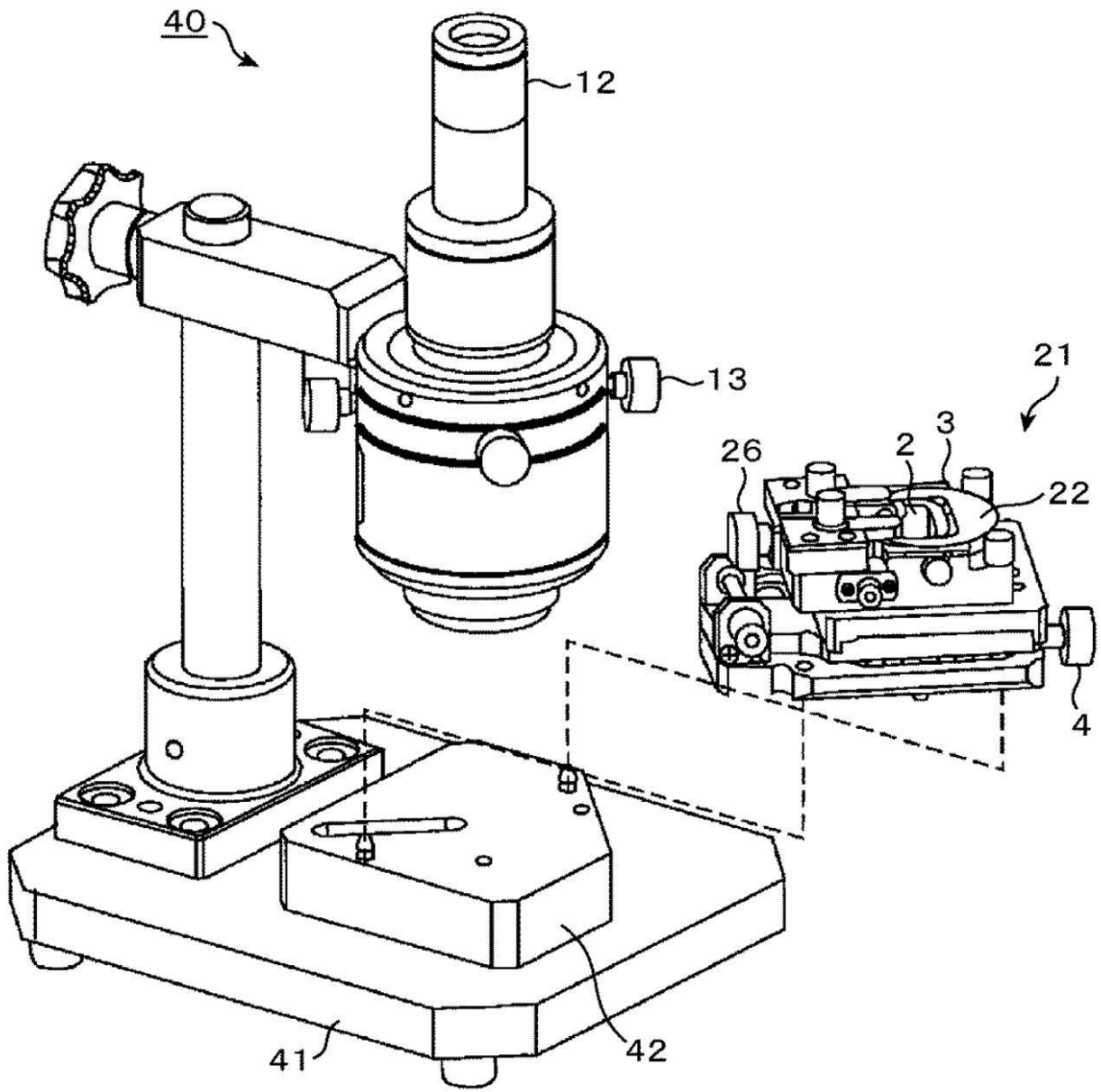
【図4】



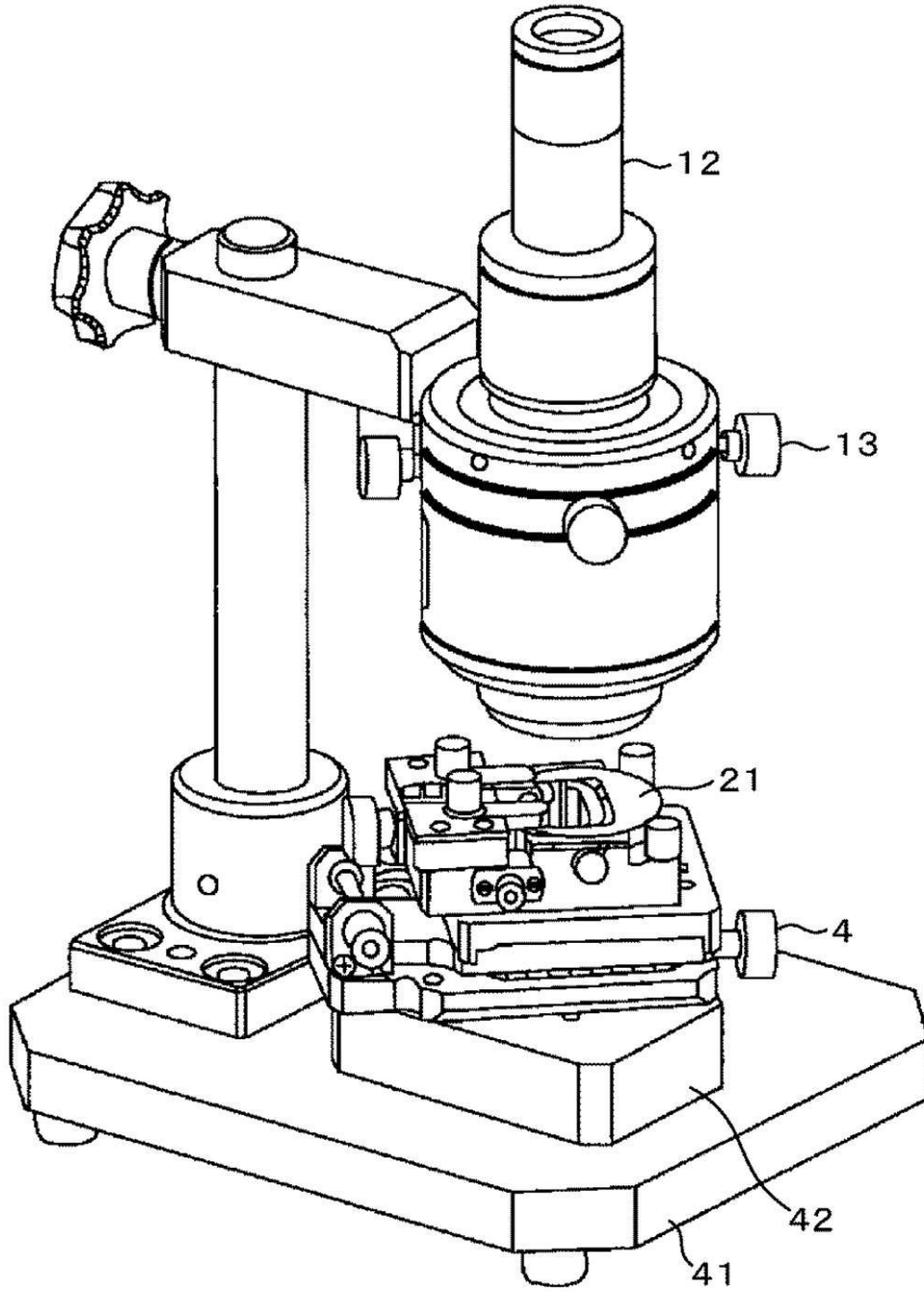
【図5】



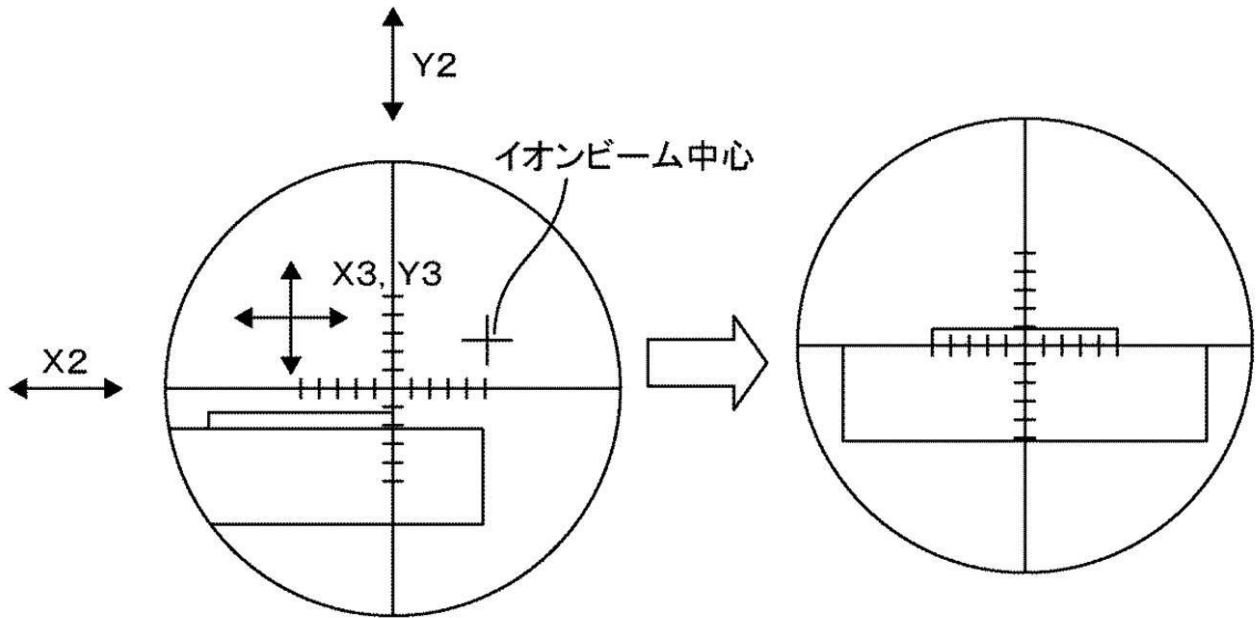
【図6】



【図7】

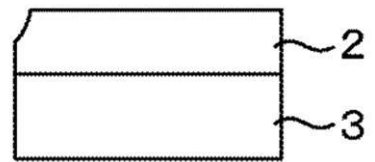
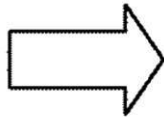
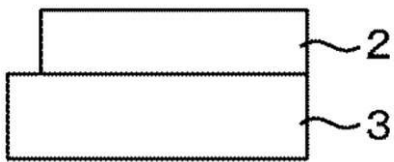
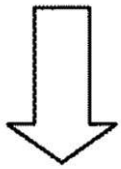


【 図 8 】

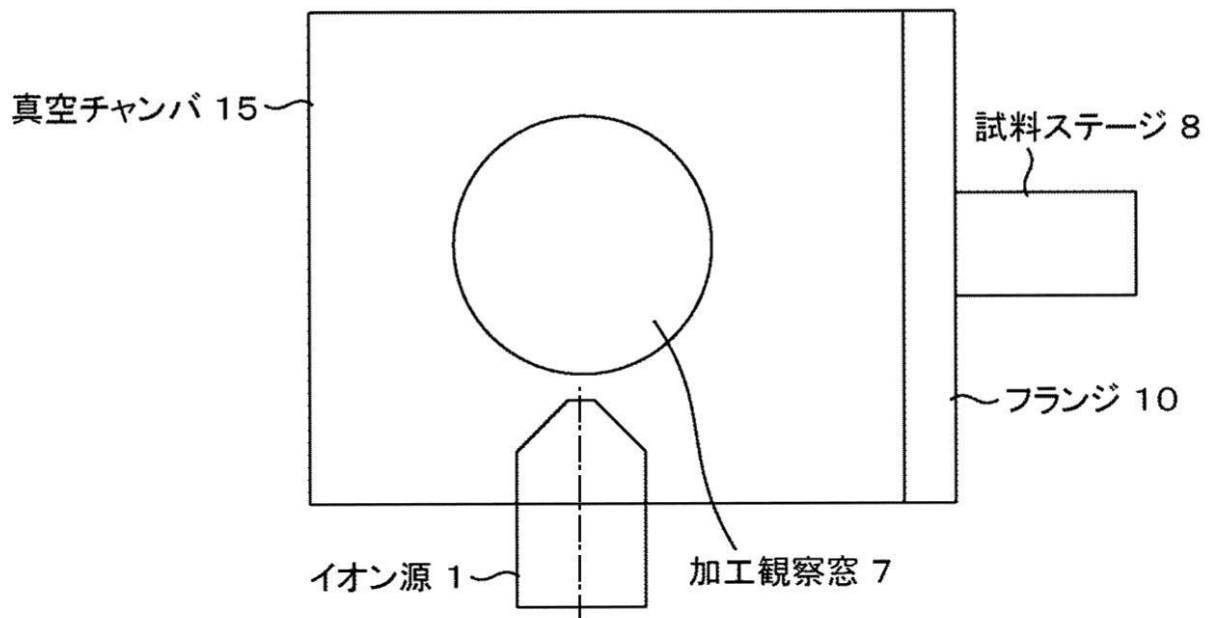
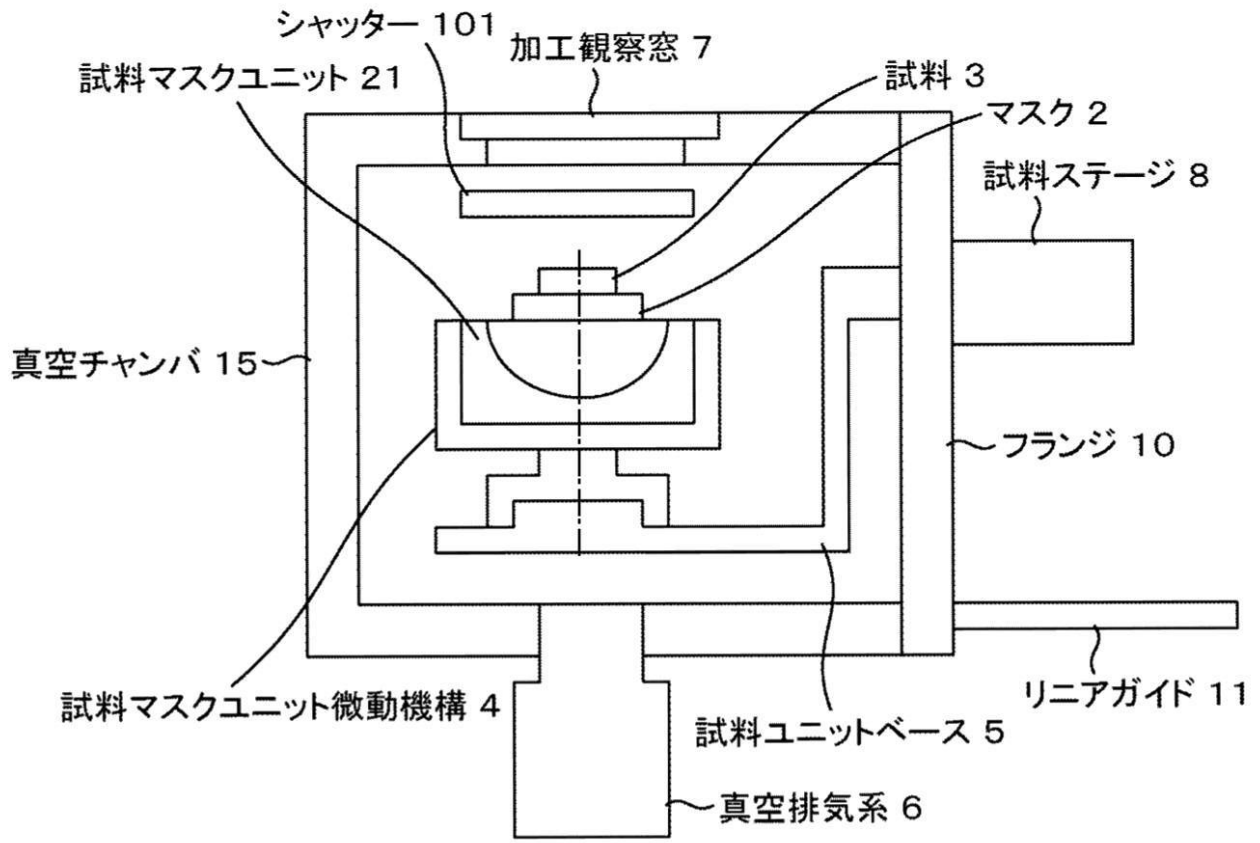


【 図 9 】

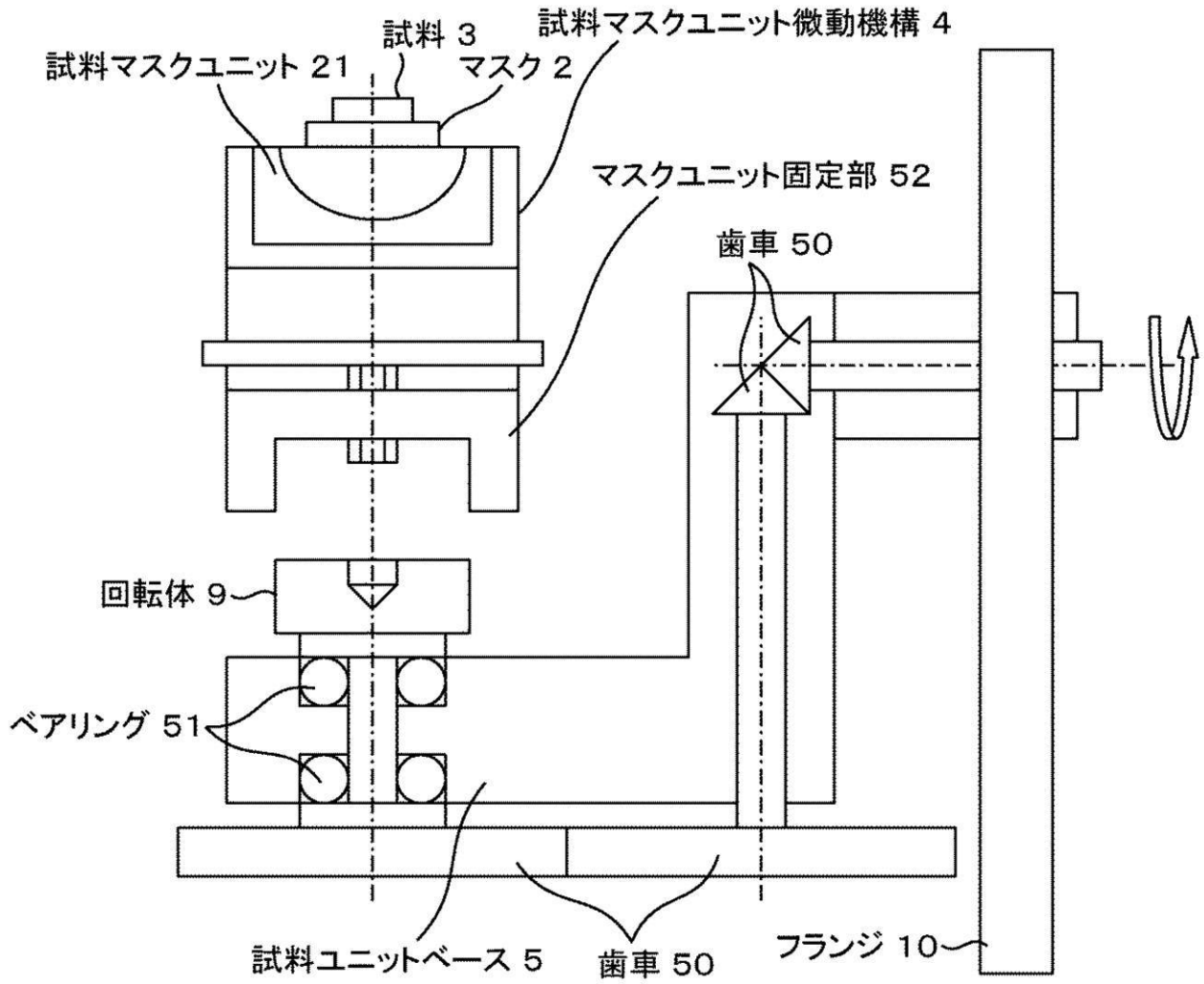
イオンビーム



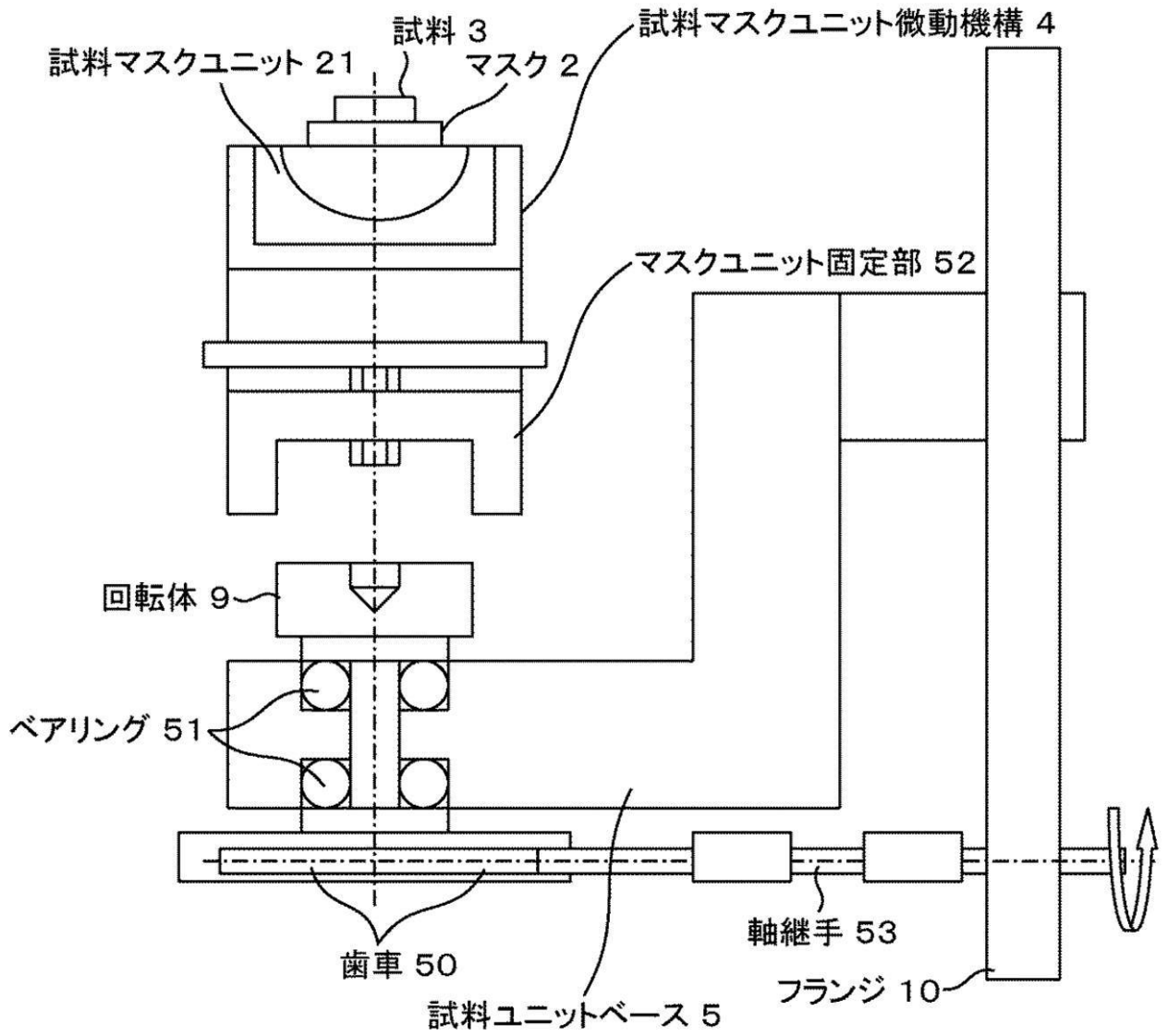
【図10】



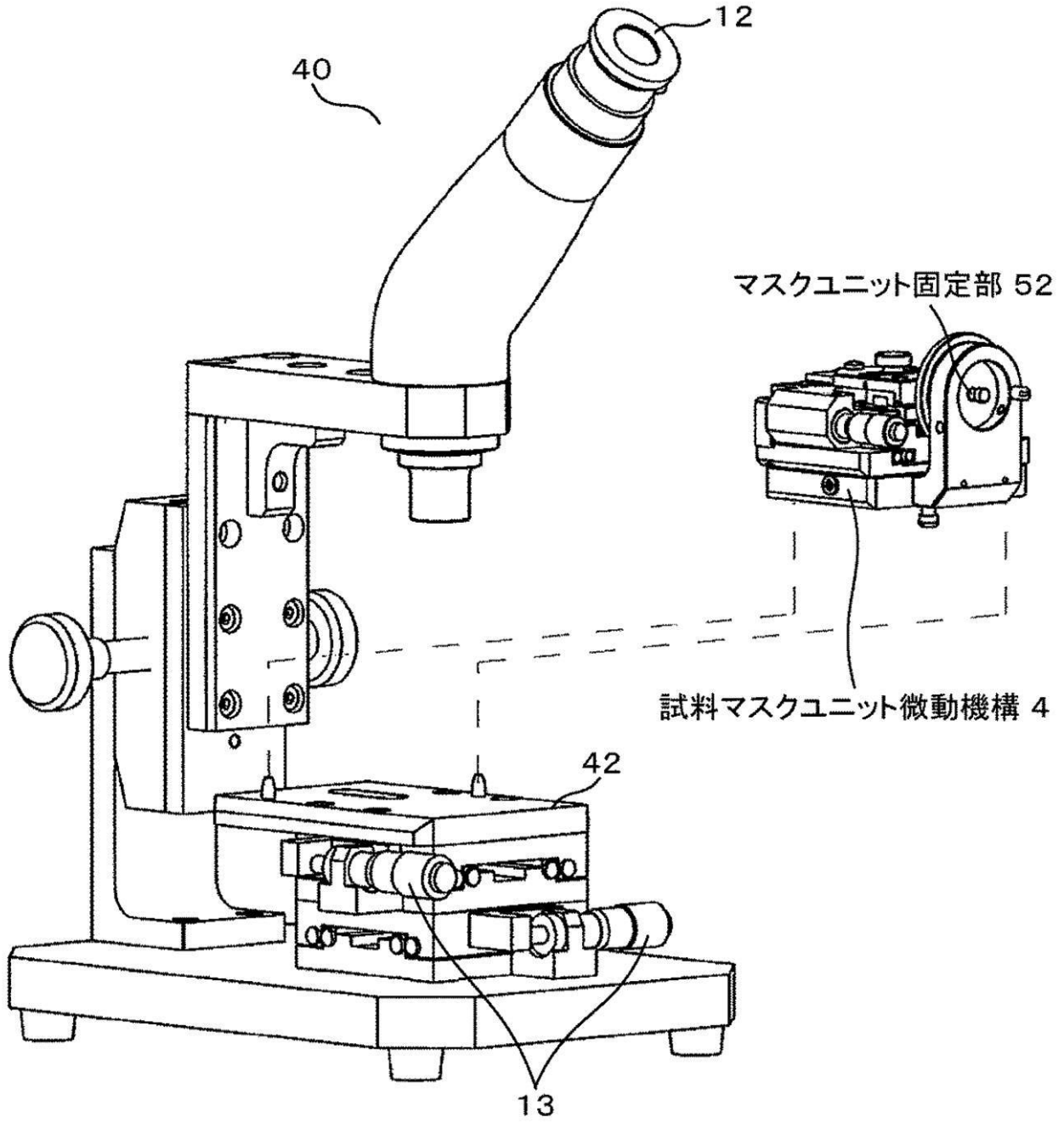
【図 1 1】



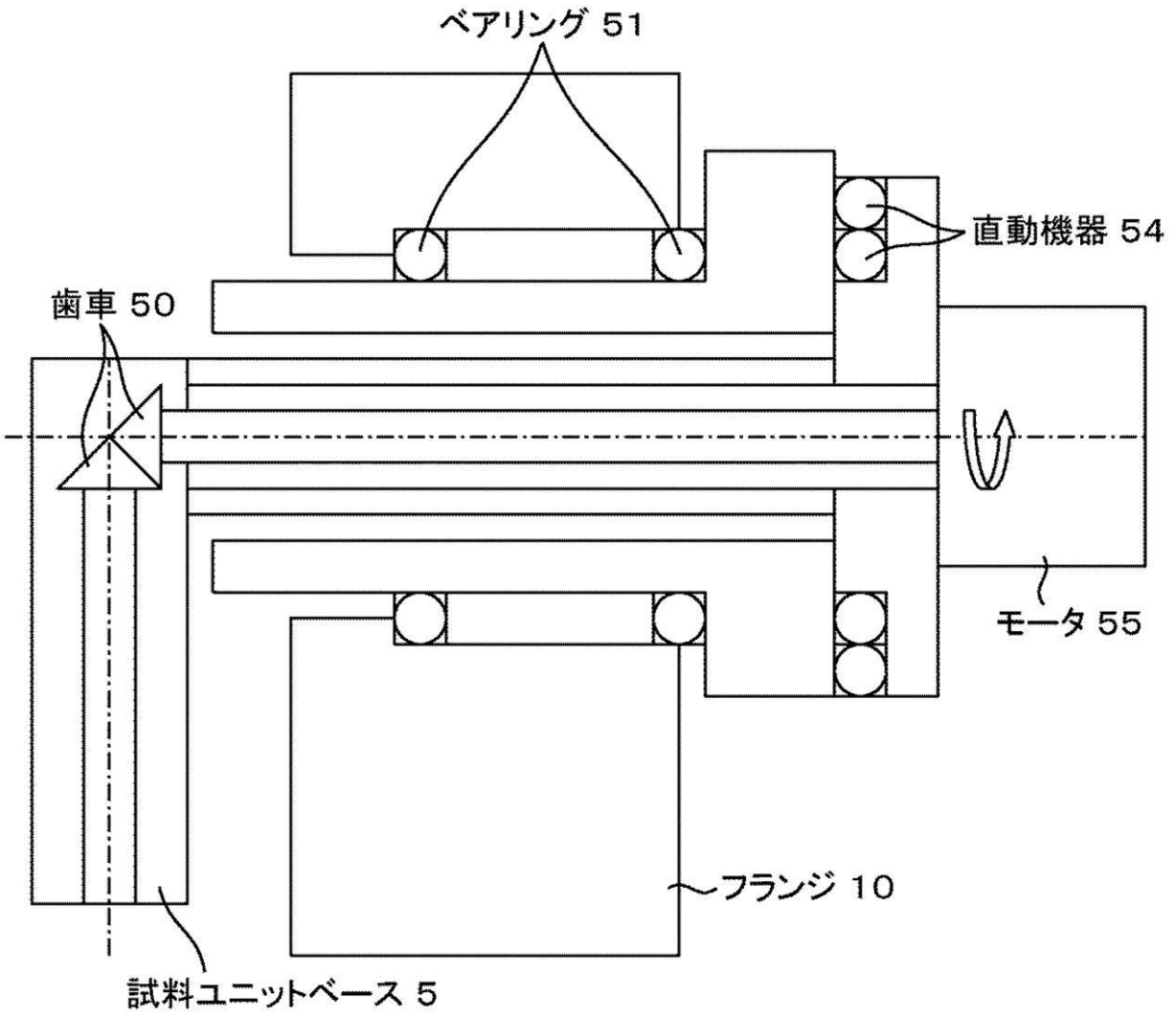
【図 12】



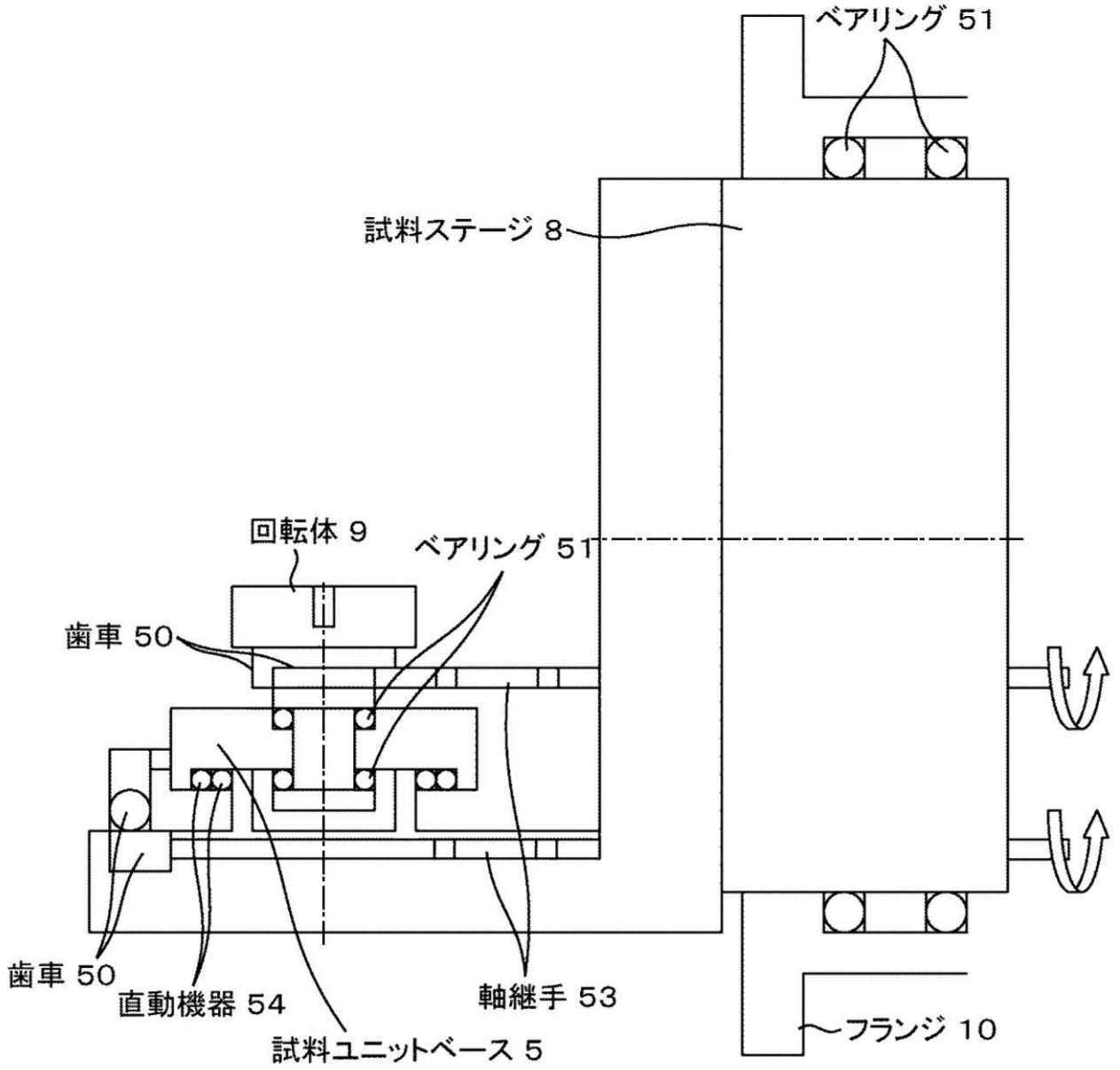
【図13】



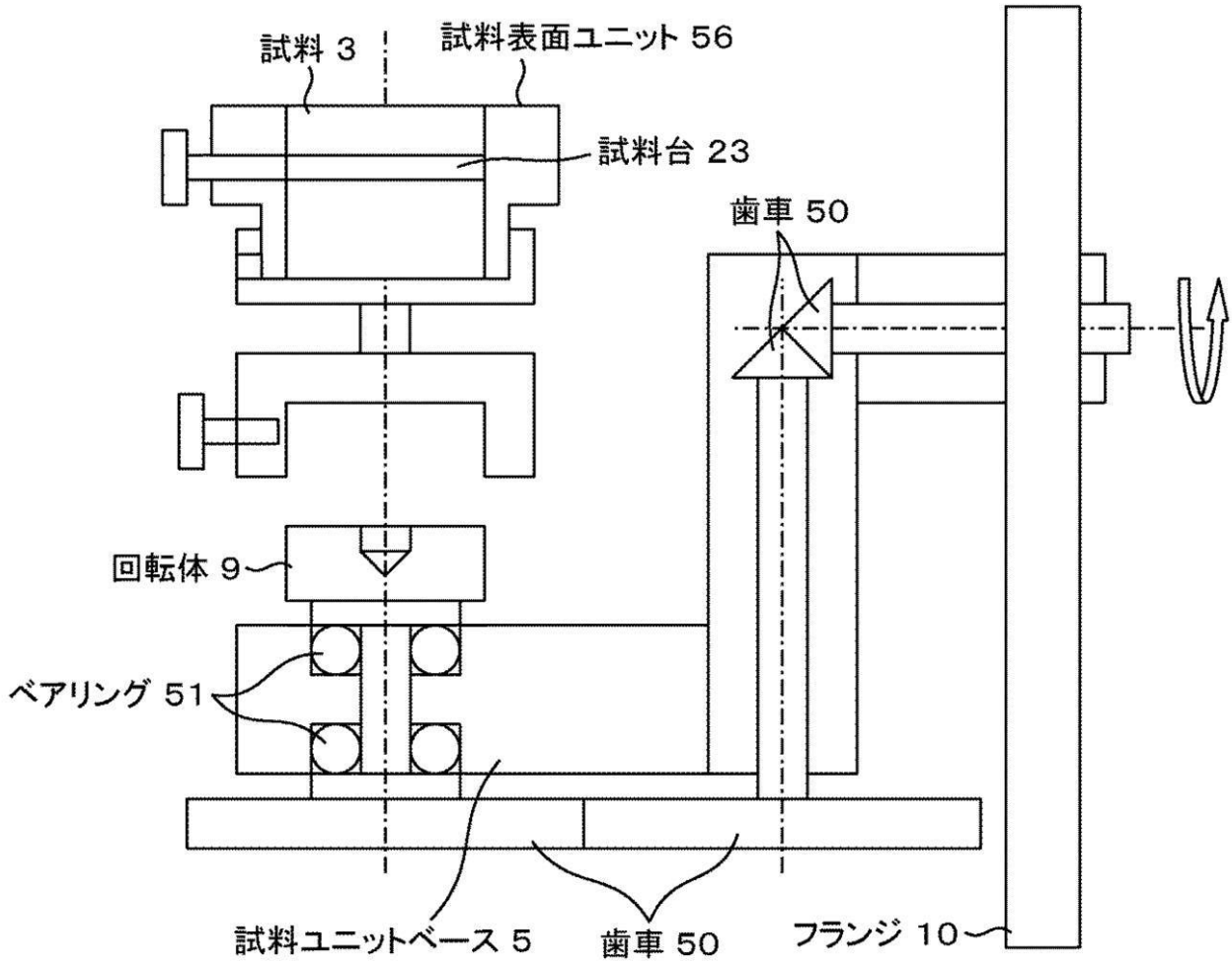
【図14】



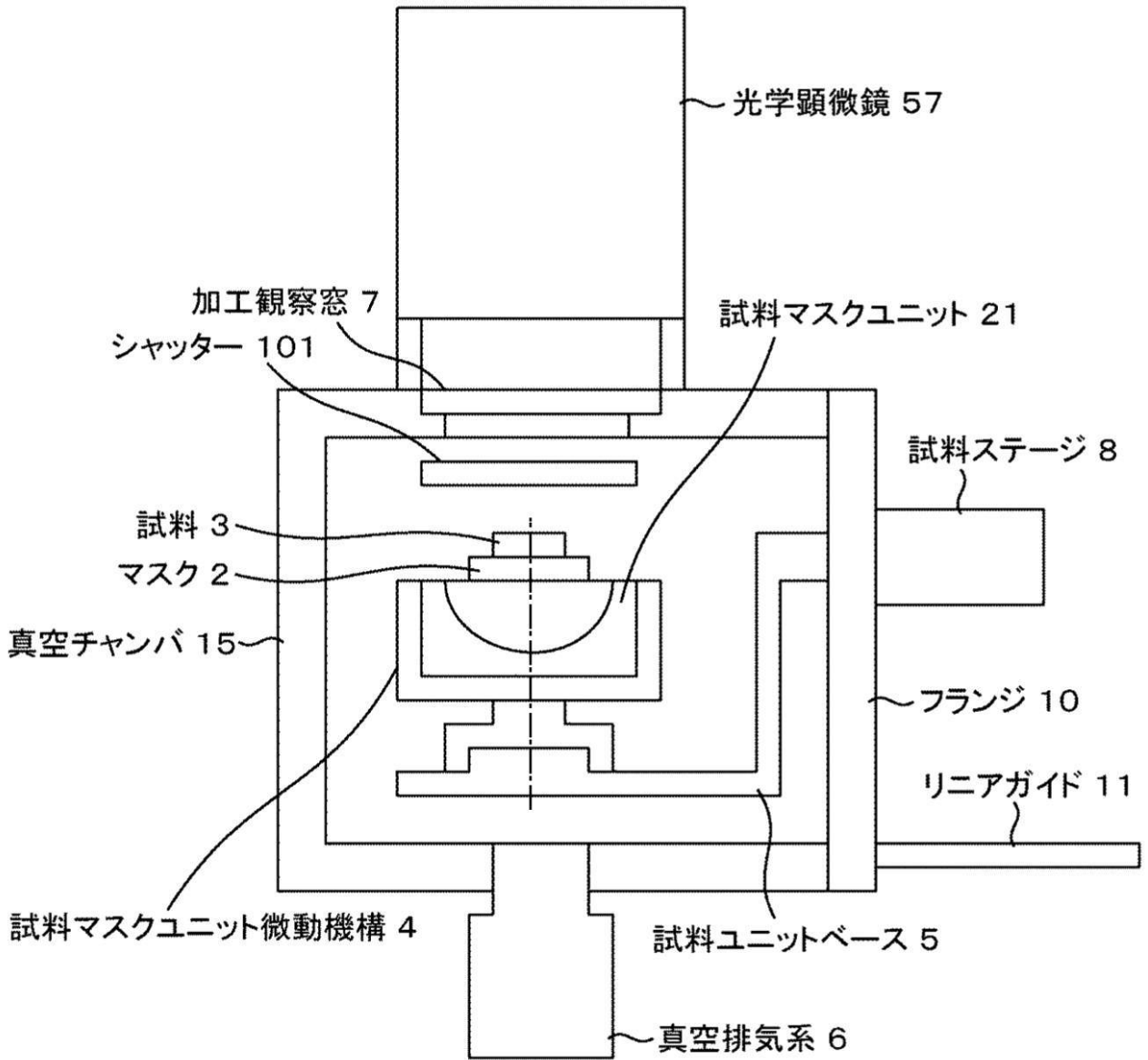
【図 15】



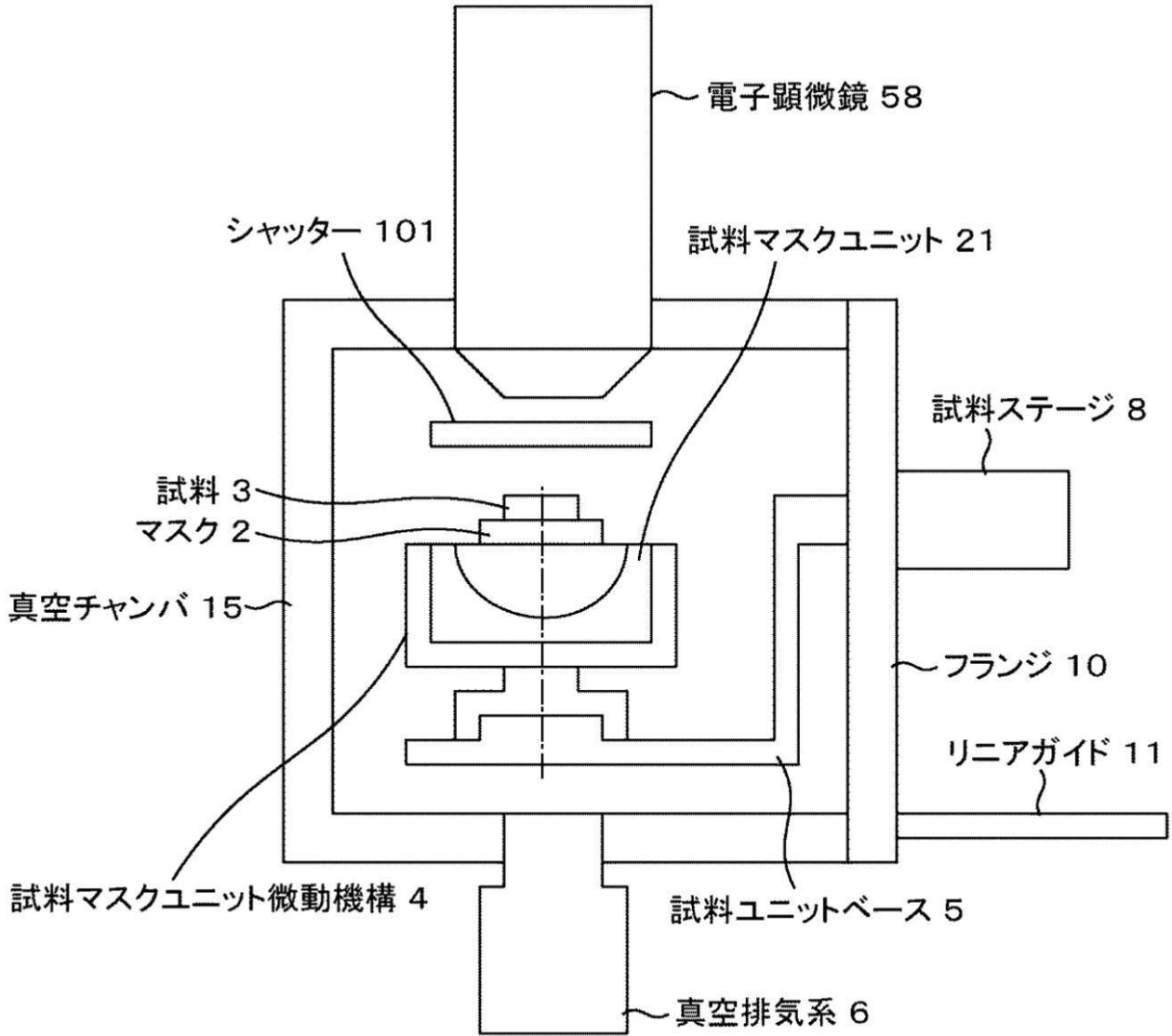
【図 16】



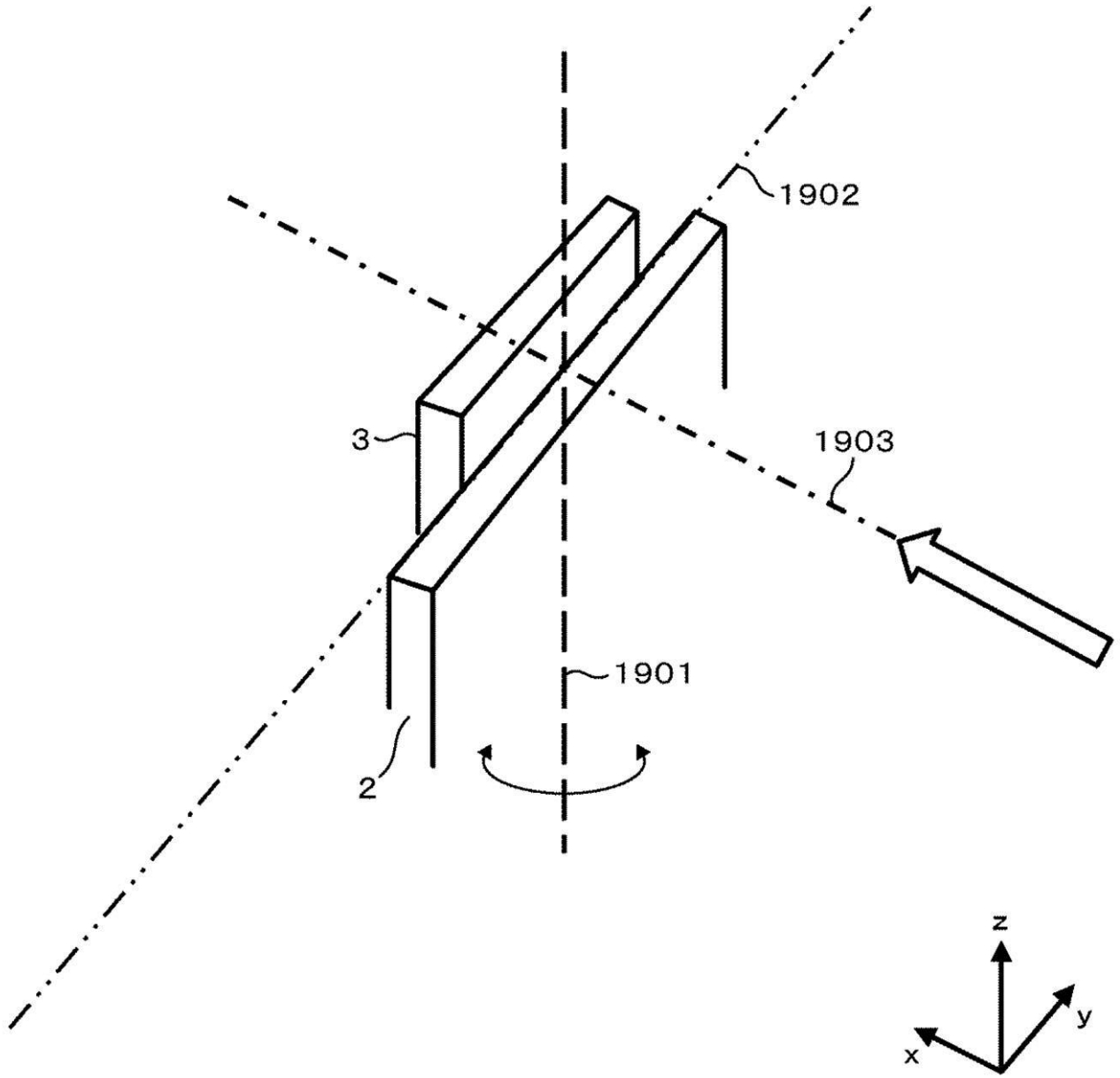
【図17】



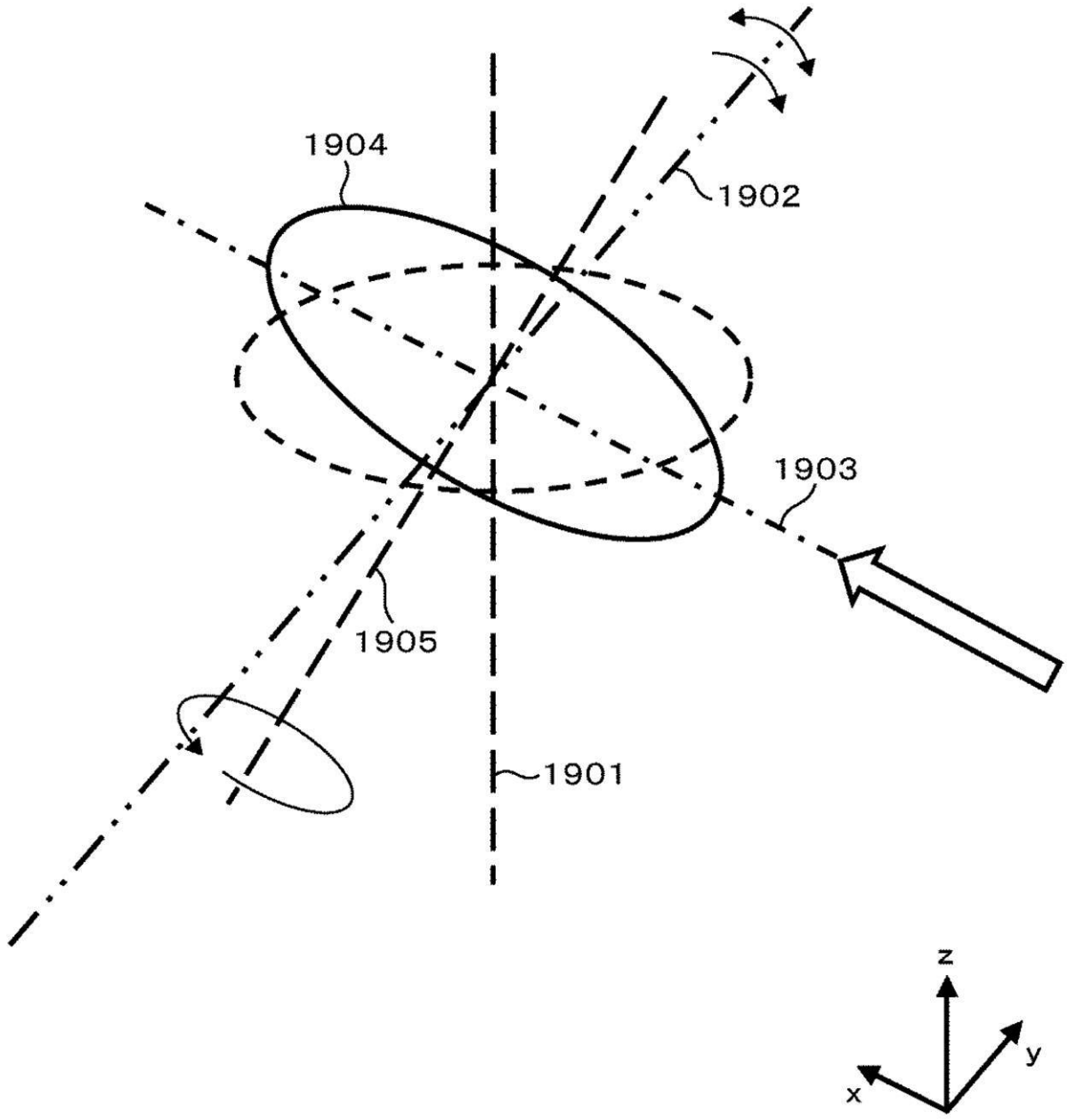
【図 18】



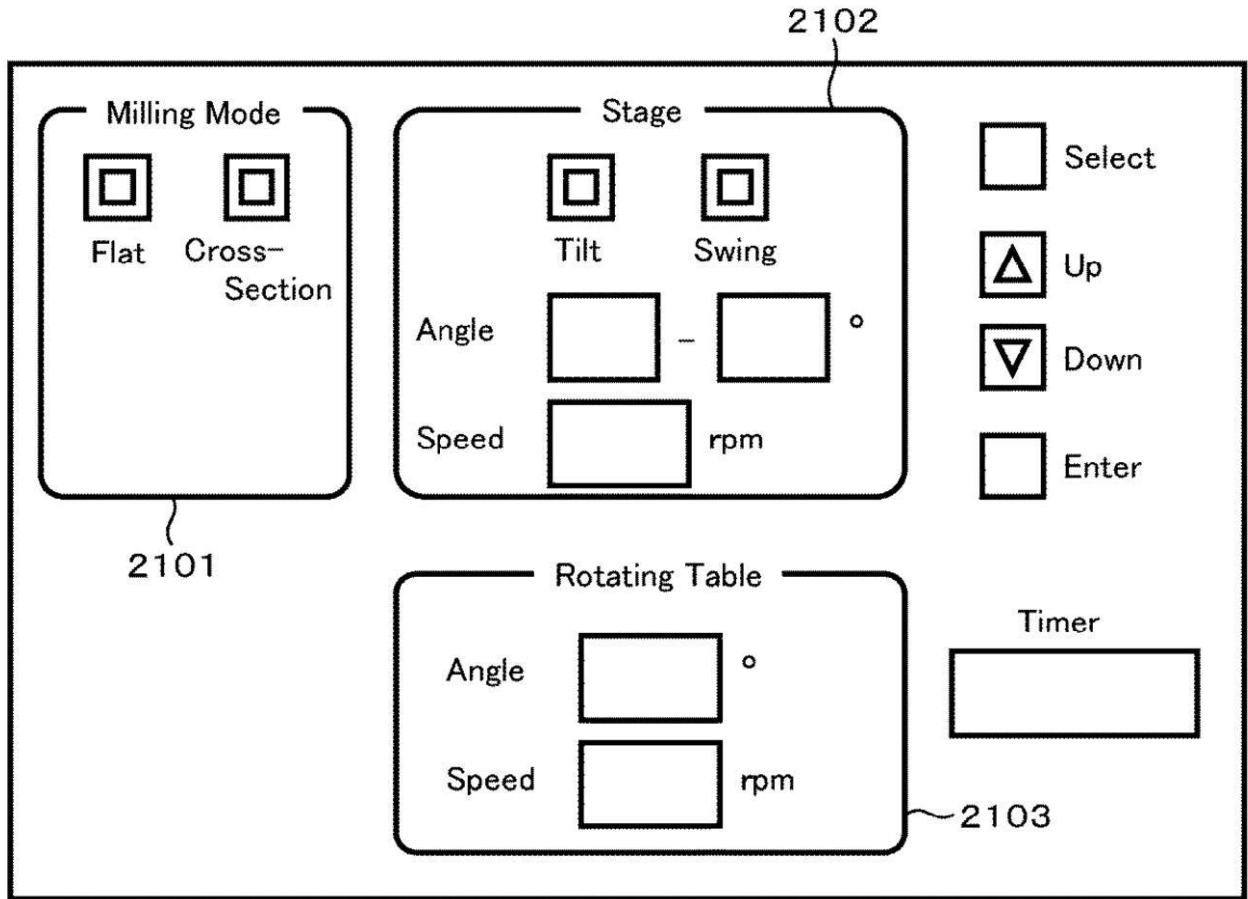
【図 19】



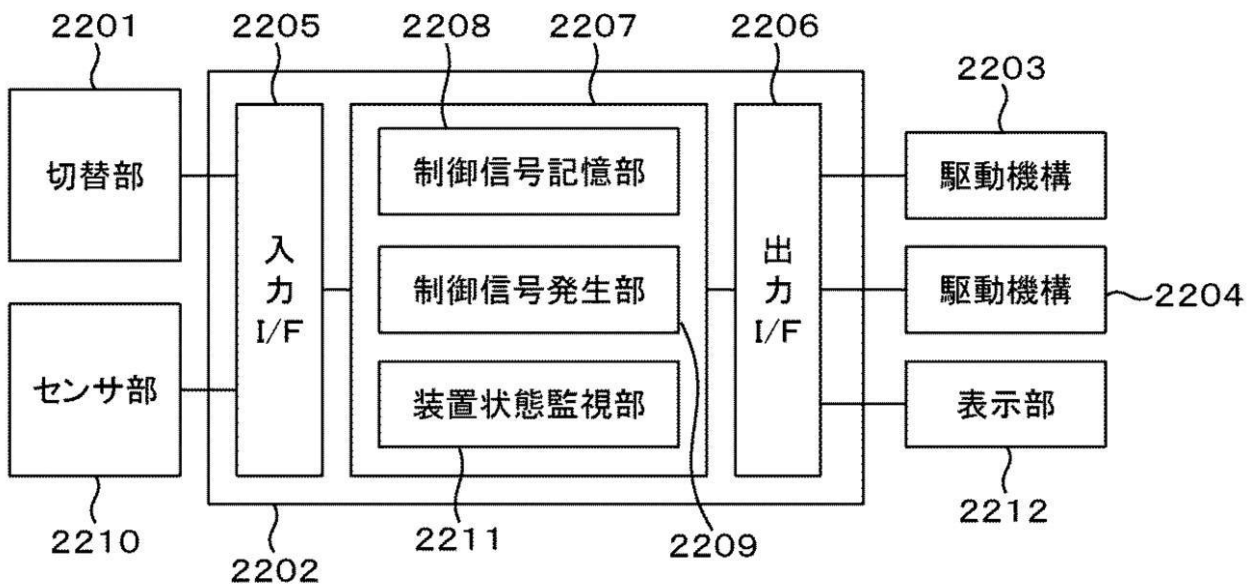
【図 20】



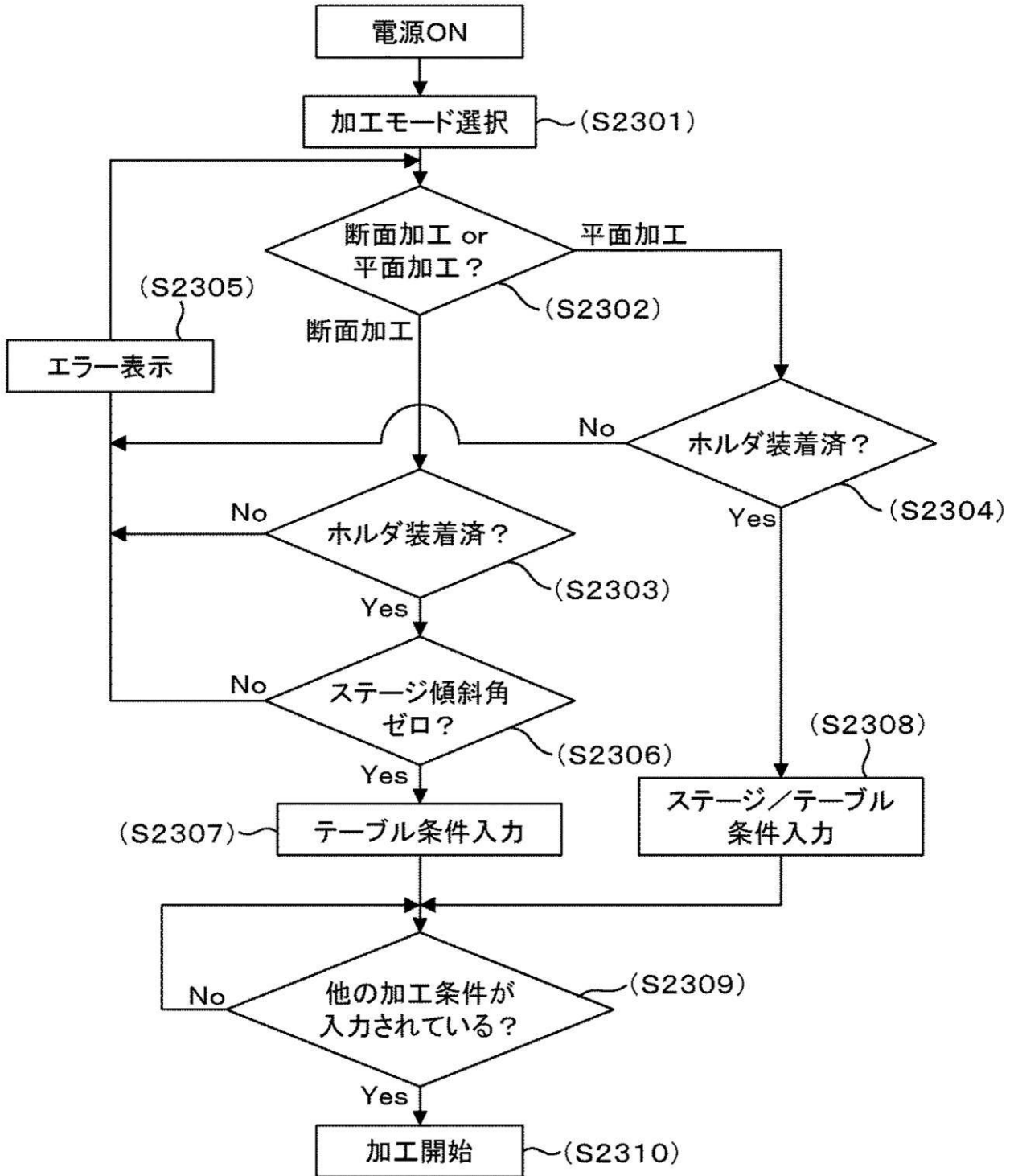
【図 2 1】



【図 2 2】



【図23】



フロントページの続き

(72)発明者 高須 久幸

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 上野 敦史

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 金子 朝子

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

Fターム(参考) 2G052 AD32 AD52 EC18 EC22 GA32 GA33

5C001 AA01 AA03 AA05 AA06

5C034 AA02 AA03