

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7312777号  
(P7312777)

(45)発行日 令和5年7月21日(2023.7.21)

(24)登録日 令和5年7月12日(2023.7.12)

(51)国際特許分類 F I  
H 0 1 J 37/20 (2006.01) H 0 1 J 37/20 A  
H 0 1 J 37/305 (2006.01) H 0 1 J 37/305 A

請求項の数 19 (全35頁)

(21)出願番号	特願2021-31185(P2021-31185)	(73)特許権者	000004271 日本電子株式会社 東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号
(22)出願日	令和3年2月26日(2021.2.26)	(74)代理人	100090387 弁理士 布施 行夫
(65)公開番号	特開2022-131930(P2022-131930 A)	(74)代理人	100090398 弁理士 大淵 美千栄
(43)公開日	令和4年9月7日(2022.9.7)	(74)代理人	100161540 弁理士 吉田 良伸
審査請求日	令和4年6月22日(2022.6.22)	(72)発明者	片岡 翔吾 東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号 日 本電子株式会社内
		(72)発明者	轟 弘樹 東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号 日 本電子株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 試料加工装置および試料加工方法

(57)【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イオン源と、  
前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転可能な第1回転体と、  
前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転可能な第2回転体と、  
を含み、  
前記第1回転体の回転動作および前記第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射し、  
~~前記試料は、第1面と、前記第1面とは反対側の第2面と、を有し、~~  
~~前記イオンビームは、前記試料の前記第1面側から照射され、~~  
~~前記第1面は、前記第1軸上に配置され、~~  
~~前記第1面と前記第2軸との間の距離は、変更可能であり、~~  
~~前記第1面と前記第2軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する、~~試料加工装置。

【請求項2】

試料にイオンビームを照射するイオン源と、  
前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転可能な第1回転体と、  
前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転可能な第2回転体と、

を含み、

前記第 1 回転体の回転動作および前記第 2 回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射し、

前記試料は、第 1 面と、前記第 1 面とは反対側の第 2 面と、を有し、

前記イオンビームは、前記試料の前記第 1 面側から照射され、

前記第 1 面は、前記第 2 軸上に配置され、

前記第 1 面と前記第 1 軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第 1 面と前記第 1 軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する、試料加工装置。

【請求項 3】

試料にイオンビームを照射するイオン源と、

前記試料を保持し、第 1 軸を回転軸として回転可能な第 1 回転体と、

前記第 1 回転体が配置され、前記第 1 軸とは異なる第 2 軸を回転軸として回転可能な第 2 回転体と、

を含み、

前記第 1 回転体の回転動作および前記第 2 回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射し、

前記第 1 軸と前記第 2 軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第 1 軸と前記第 2 軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する、試料加工装置。

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項において、

前記試料の加工範囲の情報の入力を受け付ける入力部と、

前記加工範囲の情報に基づいて、前記第 1 軸と前記第 2 軸との間の距離を計算する演算部と、

を含む、試料加工装置。

【請求項 5】

試料にイオンビームを照射するイオン源と、

前記試料を保持し、第 1 軸を回転軸として回転可能な第 1 回転体と、

前記第 1 回転体が配置され、前記第 1 軸とは異なる第 2 軸を回転軸として回転可能な第 2 回転体と、

を含み、

前記第 1 回転体の回転動作および前記第 2 回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射し、

前記第 1 回転体の回転動作および前記第 2 回転体の回転動作により前記イオンビームの光軸に対する前記試料の傾斜角度の範囲を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更し、

前記試料の加工範囲の情報の入力を受け付ける入力部と、

前記加工範囲の情報に基づいて、前記試料の傾斜角度の範囲を求める演算部と、

を含む、試料加工装置。

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項において、

前記第 1 回転体の回転速度と前記第 2 回転体の回転速度は異なる、試料加工装置。

【請求項 7】

請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項において、

前記第 1 回転体の回転速度は、周期的に変化する、試料加工装置。

【請求項 8】

請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項において、

前記第 2 回転体の回転速度は、周期的に変化する、試料加工装置。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項において、  
 前記第 1 回転体は、所定の回転角度ごとに、所定時間だけ回転動作を停止し、  
 前記第 2 回転体は、前記第 1 回転体が回転動作を停止している前記所定時間に、1 周期以上の回転動作を行う、試料加工装置。

【請求項 10】

請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項において、  
 前記第 1 回転体および前記第 2 回転体は、揺動動作を行う、試料加工装置。

【請求項 11】

請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 項において、  
 前記試料上に配置され、前記イオンビームを遮蔽する遮蔽部材を含み、  
 前記イオンビームは、前記遮蔽部材を介して、前記試料に照射される、試料加工装置。

10

【請求項 12】

請求項 11 において、  
 前記遮蔽部材は、着脱可能である、試料加工装置。

【請求項 13】

請求項 1 ないし 12 のいずれか 1 項において、  
 前記試料は、第 1 面と、前記第 1 面とは反対側の第 2 面と、を有し、  
 前記第 2 回転体を回転させることによって、前記第 1 面側から前記イオンビームを照射する状態と、前記第 2 面側から前記イオンビームを照射する状態と、を切り替え可能である、試料加工装置。

20

【請求項 14】

請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 項において、  
 前記イオンビームの光軸に対して前記試料の表面を傾斜させるための傾斜機構を含む、試料加工装置。

【請求項 15】

請求項 1 ないし 14 のいずれか 1 項において、  
 前記試料の加工領域を観察するためのカメラと、  
 前記試料を移動させる移動機構と、  
 前記カメラで取得された画像に基づいて、前記移動機構を制御する移動機構制御部と、を含む、試料加工装置。

30

【請求項 16】

請求項 1 ないし 14 のいずれか 1 項において、  
 前記試料を移動させる移動機構と、  
 加工を開始してからの経過時間の情報を取得し、前記経過時間の情報に基づいて前記移動機構を制御する移動機構制御部と、  
 を含む、試料加工装置。

【請求項 17】

試料にイオンビームを照射して前記試料を加工する試料加工装置における試料加工方法であって、

前記試料を保持し、第 1 軸を回転軸として回転する第 1 回転体の回転動作、および前記第 1 回転体が配置され、前記第 1 軸とは異なる第 2 軸を回転軸として回転する第 2 回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射する工程を含み、

40

前記試料は、第 1 面と、前記第 1 面とは反対側の第 2 面と、を有し、

前記イオンビームは、前記試料の前記第 1 面側から照射され、

前記第 1 面は、前記第 1 軸上に配置され、

前記第 1 面と前記第 2 軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第 1 面と前記第 2 軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する、試料加工方法。

【請求項 18】

50

試料にイオンビームを照射して前記試料を加工する試料加工装置における試料加工方法であって、

前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転する第1回転体の回転動作、および前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転する第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射する工程を含み、

前記試料は、第1面と、前記第1面とは反対側の第2面と、を有し、

前記イオンビームは、前記試料の前記第1面側から照射され、

前記第1面は、前記第2軸上に配置され、

前記第1面と前記第1軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第1面と前記第1軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する、試料加工方法。

10

【請求項19】

試料にイオンビームを照射して前記試料を加工する試料加工装置における試料加工方法であって、

前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転する第1回転体の回転動作、および前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転する第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射する工程を含み、

前記第1軸と前記第2軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第1軸と前記第2軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する、試料加工方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、試料加工装置および試料加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

イオンビームを用いて試料を加工する試料加工装置として、試料の断面を加工するためのクロスセクションポリッシャ（登録商標）や、薄膜試料を作製するためのイオンスライサ（登録商標）などが知られている。試料加工装置を用いて、例えば、電子顕微鏡用の試料を作製できる。

30

【0003】

例えば、特許文献1には、回転軸の回転中心がイオンビームの光軸と直交し、かつ試料が遮蔽板から突出する方向と平行な方向に配置され、試料ステージを回転可能に支持する回転機構と、試料ホルダーに保持された試料をイオンビームの光軸の方向に沿って移動可能に支持するスライド機構と、を備えたイオンミリング装置が開示されている。特許文献1のイオンミリング装置では、スライド機構によって試料をイオンビームの光軸の方向に沿って移動させることで、加工幅を広げることができる。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2018-200815号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記のような試料加工装置では、試料の加工面に、イオンビームの照射痕である加工筋が生じる場合があった。

【課題を解決するための手段】

【0006】

50

本発明に係る試料加工装置の一態様は、  
 試料にイオンビームを照射するイオン源と、  
 前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転可能な第1回転体と、  
 前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転可能な第2回転体と、  
 を含み、

前記第1回転体の回転動作および前記第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射し、

前記試料は、第1面と、前記第1面とは反対側の第2面と、を有し、

前記イオンビームは、前記試料の前記第1面側から照射され、

前記第1面は、前記第1軸上に配置され、

前記第1面と前記第2軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第1面と前記第2軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する。

10

本発明に係る試料加工装置の一態様は、

試料にイオンビームを照射するイオン源と、

前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転可能な第1回転体と、

前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転可能な第2回転体と、

を含み、

前記第1回転体の回転動作および前記第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射し、

前記試料は、第1面と、前記第1面とは反対側の第2面と、を有し、

前記イオンビームは、前記試料の前記第1面側から照射され、

前記第1面は、前記第2軸上に配置され、

前記第1面と前記第1軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第1面と前記第1軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する。

20

本発明に係る試料加工装置の一態様は、

試料にイオンビームを照射するイオン源と、

前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転可能な第1回転体と、

前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転可能な第2回転体と、

を含み、

前記第1回転体の回転動作および前記第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射し、

前記第1軸と前記第2軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第1軸と前記第2軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する。

30

本発明に係る試料加工装置の一態様は、

試料にイオンビームを照射するイオン源と、

前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転可能な第1回転体と、

前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転可能な第2回転体と、

を含み、

前記第1回転体の回転動作および前記第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射し、

前記第1回転体の回転動作および前記第2回転体の回転動作により前記イオンビームの光軸に対する前記試料の傾斜角度の範囲を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更し、

40

50

前記試料の加工範囲の情報の入力を受け付ける入力部と、  
前記加工範囲の情報に基づいて、前記試料の傾斜角度の範囲を求める演算部と、  
 を含む。

【0007】

このような試料加工装置では、加工面の加工筋を低減でき、かつ、試料の加工範囲を広げることができる。

【0008】

本発明に係る試料加工方法の一態様は、

試料にイオンビームを照射して前記試料を加工する試料加工装置における試料加工方法であって、

前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転する第1回転体の回転動作、および前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転する第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射する工程を含み、

前記試料は、第1面と、前記第1面とは反対側の第2面と、を有し、

前記イオンビームは、前記試料の前記第1面側から照射され、

前記第1面は、前記第1軸上に配置され、

前記第1面と前記第2軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第1面と前記第2軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する。

本発明に係る試料加工方法の一態様は、

試料にイオンビームを照射して前記試料を加工する試料加工装置における試料加工方法であって、

前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転する第1回転体の回転動作、および前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転する第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射する工程を含み、

前記試料は、第1面と、前記第1面とは反対側の第2面と、を有し、

前記イオンビームは、前記試料の前記第1面側から照射され、

前記第1面は、前記第2軸上に配置され、

前記第1面と前記第1軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第1面と前記第1軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する。

本発明に係る試料加工方法の一態様は、

試料にイオンビームを照射して前記試料を加工する試料加工装置における試料加工方法であって、

前記試料を保持し、第1軸を回転軸として回転する第1回転体の回転動作、および前記第1回転体が配置され、前記第1軸とは異なる第2軸を回転軸として回転する第2回転体の回転動作によって前記試料を動かしながら、前記試料に前記イオンビームを照射する工程を含み、

前記第1軸と前記第2軸との間の距離は、変更可能であり、

前記第1軸と前記第2軸との間の距離を変更することによって、前記試料の加工範囲を変更する。

【0009】

このような試料加工方法では、加工面の加工筋を低減でき、かつ、試料の加工範囲を広げることができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】第1実施形態に係る試料加工装置の構成を示す図。

【図2】試料ステージ引出機構の動作を説明するための図。

10

20

30

40

50

- 【図 3】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 4】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 5】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 6】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 7】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 8】 イオンビームの照射範囲を模式的に示す図。
- 【図 9】 イオンビームの照射範囲と、傾斜軸と第 1 面との間の距離の関係を示すグラフ。
- 【図 10】 試料加工装置の G U I ( Graphical User Interface ) の一例を示す図。
- 【図 11】 イオンビームの照射範囲と試料の傾斜角度の関係を示すグラフ。
- 【図 12】 試料加工装置の G U I の一例を示す図。 10
- 【図 13】 試料加工装置の G U I の一例を示す図。
- 【図 14】 比較例に係る試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 15】 第 2 変形例に係る試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 16】 第 2 実施形態に係る試料加工装置の構成を示す図。
- 【図 17】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 18】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 19】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 20】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 21】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 22】 第 3 実施形態に係る試料加工装置の構成を示す図。 20
- 【図 23】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 24】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 25】 試料を 1 8 0 ° 回転させた状態を模式的に示す図。
- 【図 26】 試料を 1 8 0 ° 回転させた状態を模式的に示す図。
- 【図 27】 試料を第 1 面側からのみ加工したときの試料断面を模式的に示す図。
- 【図 28】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 29】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 30】 第 4 実施形態に係る試料加工装置の構成を示す図。
- 【図 31】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。
- 【図 32】 試料ホルダーに試料をセットした状態を模式的に示す図。 30
- 【図 33】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 34】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 35】 試料加工装置の動作を説明するための図。
- 【図 36】 第 2 変形例に係る試料加工装置を説明するための図。
- 【図 37】 第 5 実施形態に係る試料加工装置の構成を示す図。
- 【図 38】 加工観察カメラで取得された加工画像を模式的に示す図。
- 【発明を実施するための形態】
- 【 0 0 1 1 】
- 以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また、以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない。 40
- 【 0 0 1 2 】
1. 第 1 実施形態
- 1.1. 試料加工装置の構成
- まず、第 1 実施形態に係る試料加工装置について図面を参照しながら説明する。図 1 は、第 1 実施形態に係る試料加工装置 1 0 0 の構成を示す図である。図 1 には、互いに直交する 3 つの軸として、X 軸、Y 軸、および Z 軸を図示している。
- 【 0 0 1 3 】
- 試料加工装置 1 0 0 は、試料 2 にイオンビーム I B を照射して試料 2 を加工し、観察や分析用の試料を作製するイオンビーム加工装置である。試料加工装置 1 0 0 は、例えば、 50

試料 2 の断面を加工することができる。

【 0 0 1 4 】

試料加工装置 1 0 0 は、例えば、走査電子顕微鏡 ( S E M ) や、透過電子顕微鏡 ( T E M )、走査透過電子顕微鏡 ( S T E M ) などの電子顕微鏡用の試料を作製するために用いられる。また、試料加工装置 1 0 0 は、例えば、電子プローブマイクロアナライザー ( E P M A ) やオージェマイクロプローブなどの試料を作製するために用いられる。

【 0 0 1 5 】

試料加工装置 1 0 0 は、図 1 に示すように、真空チャンバー 1 0 と、試料ステージ引出機構 1 2 と、排気装置 1 4 と、排気制御部 1 6 と、イオン源 2 0 と、試料ホルダー 3 0 と、試料ホルダー回転機構 3 2 と、試料ステージ 4 0 と、試料ステージ回転機構 4 2 と、スライド機構 5 0 と、位置合わせカメラ 6 0 と、加工観察カメラ 6 2 と、処理部 7 0 と、入力部 8 0 と、表示部 8 2 と、記憶部 8 4 と、を含む。

10

【 0 0 1 6 】

真空チャンバー 1 0 内には、試料ステージ 4 0 が配置されている。真空チャンバー 1 0 内において、試料 2 にイオンビーム I B が照射される。真空チャンバー 1 0 内は、排気装置 1 4 で真空排気される。排気装置 1 4 は、排気制御部 1 6 で制御される。

【 0 0 1 7 】

試料ステージ引出機構 1 2 は、真空チャンバー 1 0 から試料ステージ 4 0 を引き出すための機構である。試料ステージ引出機構 1 2 は、真空チャンバー 1 0 の開口部を塞ぐように、真空チャンバー 1 0 に開閉可能に取り付けられている。試料ステージ引出機構 1 2 には、試料ステージ 4 0 が取り付けられている。

20

【 0 0 1 8 】

イオン源 2 0 は、イオンビーム I B を試料 2 に照射する。イオン源 2 0 は、真空チャンバー 1 0 の上部に取り付けられている。イオン源 2 0 は、例えば、イオン銃である。イオン源 2 0 は、所定の加速電圧でイオンビーム I B を加速させて放出する。イオン源 2 0 は、例えば、A r ガスをイオン化させてイオンビーム I B を放出する。

【 0 0 1 9 】

イオンビーム I B の径は、例えば、1 ~ 2 mm 程度である。イオン源 2 0 は、イオンビーム I B を Z 軸に沿って放出する。イオンビーム I B の光軸 ( 中心軸 ) は、Z 軸に平行である。イオン源 2 0 は、イオンビーム I B の径を変化させるためのレンズ ( 電極 ) を有している。

30

【 0 0 2 0 】

試料ホルダー 3 0 は、試料ホルダー回転機構 3 2 を介して試料ステージ 4 0 に取り付けられている。試料ホルダー 3 0 は、試料ステージ 4 0 に対して着脱可能である。試料ホルダー 3 0 は、試料 2 を保持している。試料ホルダー 3 0 には、遮蔽部材 3 4 が取り付けられている。遮蔽部材 3 4 は、試料 2 上に配置され、イオンビーム I B を遮蔽する。試料加工装置 1 0 0 では、試料 2 の遮蔽部材 3 4 から突き出た部分にイオンビーム I B が照射される。これにより、試料 2 の断面を加工できる。

【 0 0 2 1 】

試料ホルダー 3 0 は、試料ホルダー回転機構 3 2 によって回転する回転体 ( 第 1 回転体 ) である。試料ホルダー回転機構 3 2 は、試料ホルダー 3 0 を第 1 軸 A 1 を回転軸として回転させる。第 1 軸 A 1 は、イオンビーム I B の光軸に直交し、かつ、試料 2 が遮蔽部材 3 4 から突出する方向 ( Y 方向 ) に平行である。試料ホルダー 3 0 が回転することによって試料 2 が回転する。試料ホルダー回転機構 3 2 は、例えば、試料ホルダー 3 0 を回転させるモーターを含む。

40

【 0 0 2 2 】

試料ステージ 4 0 は、試料ステージ回転機構 4 2 を介して試料ステージ引出機構 1 2 に取り付けられている。試料ステージ 4 0 には、試料ホルダー回転機構 3 2 を介して試料ホルダー 3 0 が配置されている。

【 0 0 2 3 】

50



試料ステージ 40 は、試料ステージ回転機構 42 によって回転する回転体（第 2 回転体）である。試料ステージ 40 が回転することによって、試料ステージ 40 に配置された試料ホルダー 30 も回転する。試料ステージ回転機構 42 は、試料ステージ 40 を第 2 軸 A2 を回転軸として回転させる。試料ステージ回転機構 42 は、例えば、試料ステージ 40 を回転させるモーターを含む。

【0024】

試料ホルダー 30 の回転軸である第 1 軸 A1 と、試料ステージ 40 の回転軸である第 2 軸 A2 は、異なる軸である。すなわち、試料ホルダー 30 と試料ステージ 40 は、同一の回転軸で回転しない。図示の例では、第 1 軸 A1 と第 2 軸 A2 は、平行である。第 1 軸 A1 と第 2 軸 A2 は、Y 軸に平行である。

【0025】

スライド機構 50 は、試料ステージ 40 上に配置されている。スライド機構 50 は、試料ホルダー 30 を Z 軸に沿って移動可能に支持している。スライド機構 50 で試料ホルダー 30 を移動させることで、第 1 軸 A1 と第 2 軸 A2 との間の距離（以下「軸間距離」ともいう）を変更できる。

【0026】

スライド機構 50 は、図示はしないが、試料ステージ 40 上に配置されたレールと、レールに摺動可能に係合されたスライド溝を有するホルダー支持部と、を含む。ホルダー支持部は、試料ホルダー 30 に取り付けられている。ホルダー支持部には、保持穴が設けられ、保持穴に保持ねじが固定されることで、試料ホルダー 30 が固定される。

【0027】

位置合わせカメラ 60 は、試料ステージ引出機構 12 の上端部に取り付けられている。位置合わせカメラ 60 は、例えば、光学顕微鏡に取り付けられたカメラである。

【0028】

図 2 は、試料ステージ引出機構 12 の動作を説明するための図である。図 2 では、試料ステージ引出機構 12 を開いた状態を図示している。なお、図 2 では、便宜上、処理部 70、入力部 80、および記憶部 84 の図示を省略している。

【0029】

位置合わせカメラ 60 で取得された画像は、表示部 82 に表示される。例えば、図 2 に示す試料ステージ引出機構 12 を開いた状態において位置合わせカメラ 60 の視野の中心に試料 2 の目標加工位置を合わせると、図 1 に示す試料ステージ引出機構 12 を閉じた状態においてイオン源 20 から放出されるイオンビーム IB が目標加工位置に照射される。このように、試料加工装置 100 では、位置合わせカメラ 60 を用いて試料 2 の位置を調整することで、試料 2 の目標加工位置にイオンビーム IB を照射できる。

【0030】

加工観察カメラ 62 は、真空チャンバー 10 の外に配置されている。加工観察カメラ 62 は、真空チャンバー 10 に設けられた観察窓 64 を通して真空チャンバー 10 内を観察可能である。加工観察カメラ 62 の光軸は、Y 軸に平行である。加工観察カメラ 62 の光軸は、例えば、第 1 軸 A1 と一致する。加工観察カメラ 62 で撮影された画像は、表示部 82 に表示される。

【0031】

入力部 80 は、ユーザーが操作情報を入力するためのものであり、入力された操作情報を処理部 70 に出力する。入力部 80 の機能は、キーボード、マウス、ボタン、タッチパネルなどの入力機器により実現することができる。

【0032】

表示部 82 は、処理部 70 によって生成された画像を表示する。表示部 82 の機能は、LCD、CRT、入力部 80 としても機能するタッチパネルなどにより実現できる。

【0033】

記憶部 84 は、処理部 70 の各部としてコンピュータを機能させるためのプログラムや各種データを記憶している。また、記憶部 84 は、処理部 70 のワーク領域としても機能

10

20

30

40

50

する。記憶部 84 の機能は、ハードディスク、RAM (Random Access Memory) などにより実現できる。

【0034】

処理部 70 の機能は、各種プロセッサ (CPU、DSP 等) などのハードウェアで、プログラムを実行することにより実現できる。処理部 70 は、イオン源制御部 72 と、試料ホルダー制御部 74 と、試料ステージ制御部 76 と、を含む。

【0035】

イオン源制御部 72 は、イオン源 20 を制御する。イオン源制御部 72 は、イオン源 20 を制御するための制御信号を生成し、当該制御信号をイオン源制御回路 22 に出力する。イオン源制御回路 22 は、制御信号を、イオン源 20 を駆動するための駆動信号に変換し、イオン源 20 に出力する。

10

【0036】

試料ホルダー制御部 74 は、試料ホルダー 30 の回転動作を制御する。試料ホルダー制御部 74 は、試料ホルダー 30 の回転速度 (回転周期) および回転方向を制御する。試料ホルダー制御部 74 は、試料ホルダー回転機構 32 を制御して、試料ホルダー 30 に回転動作を行わせる。

【0037】

試料ホルダー制御部 74 は、試料ホルダー回転機構 32 を制御するための制御信号を生成し、当該制御信号を試料ホルダー制御回路 36 に出力する。試料ホルダー制御回路 36 は、制御信号を、試料ホルダー回転機構 32 を駆動するための駆動信号に変換し、試料ホルダー回転機構 32 に出力する。

20

【0038】

試料ステージ制御部 76 は、試料ステージ 40 の回転動作を制御する。試料ステージ制御部 76 は、試料ステージ 40 の回転速度 (回転周期) および回転方向を制御する。試料ステージ制御部 76 は、試料ステージ回転機構 42 を制御して、試料ステージ 40 に回転動作を行わせる。

【0039】

試料ステージ制御部 76 は、試料ステージ回転機構 42 を制御するための制御信号を生成し、当該制御信号を試料ステージ制御回路 44 に出力する。試料ステージ制御回路 44 は、制御信号を、試料ステージ回転機構 42 を駆動するための駆動信号に変換し、試料ステージ回転機構 42 に出力する。

30

【0040】

演算部 78 は、加工幅の情報に基づいて第 1 軸 A1 と第 2 軸 A2 との間の軸間距離を計算する処理や、加工幅の情報に基づいて試料 2 の傾斜角度の範囲を計算する処理などを行う。

【0041】

処理部 70 の各部の処理の詳細については後述する。

【0042】

1.2. 試料加工装置の動作

1.2.1. 試料加工装置の基本動作

40

試料加工装置 100 では、試料ホルダー 30 の回転動作および試料ステージ 40 の回転動作によって試料 2 を動かしながら、試料 2 にイオンビーム IB を照射して試料 2 を加工する。

【0043】

図 3 および図 4 は、試料ホルダー 30 に試料 2 をセットした状態を模式的に示す図である。なお、図 3 では、便宜上、遮蔽部材 34、試料ホルダー 30、および試料ステージ 40 のみを図示しており、図 4 では、試料ホルダー 30 および試料ステージ 40 のみを図示している。

【0044】

試料 2 は、第 1 面 3a と、第 1 面 3a とは反対側の第 2 面 3b と、を有している。図 3

50

および図 4 に示すように、試料 2 は、第 1 面 3 a が上 (+ Z 方向)、第 2 面 3 b が下 (- Z 方向) を向くように配置されている。試料 2 は、第 1 面 3 a が第 1 軸 A 1 上に位置するように配置されている。遮蔽部材 3 4 は、第 1 面 3 a 上に配置されており、第 1 軸 A 1 は、第 1 面 3 a と遮蔽部材 3 4 の境界を通る。イオンビーム I B は、試料 2 の第 1 面 3 a 側から照射される。

【 0 0 4 5 】

試料ホルダー 3 0 は、Z 方向において、第 1 軸 A 1 が第 2 軸 A 2 とは異なる位置になるように、スライド機構 5 0 で位置が調整されている。

【 0 0 4 6 】

図 5 ~ 図 7 は、試料加工装置 1 0 0 の動作を説明するための図である。図 5 ~ 図 7 は、  
図 4 に対応している。 10

【 0 0 4 7 】

図 5 は、試料ステージ 4 0 の傾斜角度  $\alpha_2 = 0^\circ$  の状態を示し、図 6 は、試料ステージ 4 0 の傾斜角度  $\alpha_2 = +30^\circ$  の状態を示し、図 7 は、試料ステージ 4 0 の傾斜角度  $\alpha_2 = -30^\circ$  の状態を示している。なお、図 5 ~ 図 7 では、傾斜角度  $\alpha_2$  は、鉛直上向きを基準とし、時計回りを「+」、反時計回りを「-」で示している。

【 0 0 4 8 】

試料加工装置 1 0 0 では、加工時には、試料ホルダー制御部 7 4 が試料ホルダー回転機構 3 2 を動作させて試料ホルダー 3 0 を回転動作させ、かつ、試料ステージ制御部 7 6 が試料ステージ回転機構 4 2 を動作させて試料ステージ 4 0 を回転動作させる。 20

【 0 0 4 9 】

ここで、試料ホルダー 3 0 の回転動作とは、試料ホルダー 3 0 を一方向に回転させる動作と、試料ホルダー 3 0 を揺動させる動作と、を含む。試料ホルダー 3 0 を揺動させるとは、往復傾斜 ( 回転 ) 運動させることをいう。試料ステージ 4 0 の回転動作についても同様である。

【 0 0 5 0 】

試料加工装置 1 0 0 では、試料ホルダー 3 0 を揺動動作させ、かつ、試料ステージ 4 0 を揺動動作させる。

【 0 0 5 1 】

試料ホルダー 3 0 は、第 1 軸 A 1 を回転軸 ( 傾斜軸 ) として揺動動作する。試料ホルダー 3 0 は、例えば、 $\pm 30^\circ$  の範囲で揺動する。すなわち、試料ホルダー 3 0 は、時計回りに回転して傾斜角度  $\alpha_1$  が  $+30^\circ$  となった後、反時計回りに回転して傾斜角度  $\alpha_1$  が  $-30^\circ$  となることを繰り返す。試料ホルダー 3 0 が揺動動作することによって、加工面の加工筋を低減できる。なお、図 5 ~ 図 7 では、傾斜角度  $\alpha_1$  は、時計回りを「+」、反時計回りを「-」で示している。 30

【 0 0 5 2 】

試料ステージ 4 0 は、第 2 軸 A 2 を回転軸 ( 傾斜軸 ) として揺動動作する。試料ステージ 4 0 は、例えば、 $\pm 30^\circ$  の範囲で揺動する。すなわち、試料ステージ 4 0 は、時計回りに回転して傾斜角度  $\alpha_2$  が  $+30^\circ$  になった後、反時計回りに回転して傾斜角度  $\alpha_2$  が  $-30^\circ$  となることを繰り返す。試料ステージ 4 0 が揺動動作することによって、試料 2 の加工幅を広げることができる。加工幅は、例えば、試料 2 の加工領域の深さ方向に直交する方向の大きさである。試料 2 の加工幅を広げることによって、加工範囲を広げることができる。 40

【 0 0 5 3 】

なお、試料ホルダー 3 0 の傾斜角度  $\alpha_1$  の範囲、および試料ステージ 4 0 の傾斜角度  $\alpha_2$  の範囲は、任意に設定可能である。例えば、上記では、傾斜角度  $\alpha_1$  の範囲と傾斜角度  $\alpha_2$  の範囲は等しいが、傾斜角度  $\alpha_1$  の範囲と傾斜角度  $\alpha_2$  の範囲を異ならせてもよい。

【 0 0 5 4 】

試料ホルダー 3 0 の回転速度は、例えば、一定である。また、試料ステージ 4 0 の回転速度は、例えば、一定である。試料ホルダー 3 0 の回転速度は、例えば、試料ステージ 4 50

0の回転速度よりも速い。すなわち、試料ホルダー30の揺動動作の周期は、試料ステージ40の揺動動作の周期よりも短い。なお、試料ホルダー30の回転速度および試料ステージ40の回転速度は、任意に設定可能である。例えば、試料ホルダー30の回転速度を、試料ステージ40の回転速度よりも遅くしてもよい。

【0055】

試料2は、試料ホルダー30の回転動作によって回転運動し、試料ホルダー30は試料ステージ40の回転動作によって回転運動する。そのため、試料2は、試料ホルダー30の回転動作によって回転運動しながら、試料ステージ40の回転動作によって回転運動している。試料2は、この2つの回転運動の組み合わせで動いている。

【0056】

ここで、試料加工装置100では、試料ホルダー30の第1軸A1と試料ステージ40の第2軸A2との間の軸間距離Dを変更することによって、試料2の加工幅を変更できる。

【0057】

また、試料加工装置100では、試料ホルダー30の回転動作および試料ステージ40の回転動作によりイオンビームIBの光軸に対する試料2の傾斜角度の範囲を変更することによって、試料2の加工幅を変更できる。

【0058】

以下では、まず、軸間距離Dを変更することによって試料2の加工幅を変更する場合を第1動作例として説明し、次に、試料2の傾斜角度の範囲を変更することによって試料2の加工幅を変更する場合を第2動作例として説明する。

【0059】

1.2.2. 第1動作例

(1) 原理

図8は、イオンビームの照射範囲(加工幅)を模式的に示す図である。

【0060】

図8に示すように、試料を傾斜軸Oを回転軸として揺動動作させる。このとき、イオンビームの径をa、イオンビームの光軸に対する試料の傾斜角度r、傾斜軸Oと試料の上面との間の距離をZとすると、イオンビームIBの照射範囲2Aは、次式(1)で表される。

【0061】

【数1】

$$2A = 2\left(Z \tan r + \frac{a}{2 \cos r}\right) = 2 \cdot \frac{2Z \sin r + a}{2 \cos r} = \frac{2Z \sin r + a}{\cos r} \quad (1)$$

【0062】

なお、試料の傾斜角度rは、試料ホルダー30の回転動作による試料2の傾斜角度と試料ステージ40の回転動作による試料2の傾斜角度の和に対応する。また、距離Zは、軸間距離Dに対応する。また、傾斜軸Oは、第2軸A2に対応する。また、イオンビームIBの照射範囲2Aは、試料2の加工幅に対応する。そのため、上記式(1)から、第1面3aと第2軸A2との間の距離、すなわち、軸間距離Dを変更することによって、試料2の加工幅を変更できることがわかる。上記式(1)を用いて、試料2の加工幅から、軸間距離Dを計算できる。

【0063】

図9は、イオンビームIBの照射範囲2Aと、傾斜軸Oと第1面3aとの間の距離Zの関係を示すグラフである。なお、図9に示すグラフの縦軸は、照射範囲2Aを示し、横軸は距離Zを示している。図9に示すグラフには、イオンビームIBの径aが1mmで傾斜角度rが±30°の範囲の場合(G1)、イオンビームIBの径aが1mmで傾斜角度rが±45°の範囲の場合(G2)、イオンビームIBの径aが2mmで傾斜角度rが±30°の範囲の場合(G3)、イオンビームIBの径aが2mmで傾斜角度rが±45°の範囲の場合(G4)を示している。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 4 】

例えば、イオンビーム I B の径  $a$  が 1 mm で傾斜角度  $r$  が  $\pm 30^\circ$  の範囲の場合 ( G 1 )、距離  $Z = 1$  mm で照射範囲 2 A は約 2 mm、距離  $Z = 2$  mm で照射範囲 2 A は約 3 mm、距離  $Z = 4$  mm で照射範囲 2 A は約 6 mm、距離  $Z = 6$  mm で照射範囲 2 A は約 8 mm となった。

## 【 0 0 6 5 】

このように、図 9 のグラフから、距離  $Z$  が大きくなるほど、イオンビーム I B の照射範囲 2 A が大きくなるのがわかる。したがって、試料加工装置 1 0 0 では、軸間距離  $D$  を大きくすることによって、加工幅を広げることができる。このように、軸間距離  $D$  を調整することによって、試料 2 の加工幅を調整することができる。

10

## 【 0 0 6 6 】

また、図 9 に示すように、イオンビーム I B の径  $a$  および試料 2 の傾斜角度  $r$  の範囲を変更することによっても、イオンビーム I B の照射範囲 2 A を変更できる。したがって、軸間距離  $D$  と、イオンビーム I B の径  $a$  と、傾斜角度  $r$  の範囲と、をそれぞれ変更することによって、加工幅を調整できる範囲を大きくできる。

## 【 0 0 6 7 】

## ( 2 ) 試料加工方法

まず、図 3 および図 4 に示すように、試料ホルダー 3 0 に試料 2 および遮蔽部材 3 4 をセットする。このとき、試料ホルダー 3 0 の第 1 軸 A 1 上に試料 2 の第 1 面 3 a が位置するように試料 2 をセットする。

20

## 【 0 0 6 8 】

次に、試料ホルダー 3 0 を試料ステージ 4 0 に取り付ける。試料ホルダー 3 0 の取り付けは、試料ステージ引出機構 1 2 を開いた状態で行う。次に、位置合わせカメラ 6 0 を用いて試料 2 の位置および遮蔽部材 3 4 の位置を調整する。

## 【 0 0 6 9 】

次に、上記の式 ( 1 ) を用いて、所望の加工幅に応じた軸間距離  $D$  を計算する。そして、軸間距離  $D$  が計算された値となるように、スライド機構 5 0 を用いて試料ホルダー 3 0 の位置を調整する。なお、後述するように、軸間距離  $D$  の値は、演算部 7 8 が計算し、G U I 画面に表示される。この G U I 画面に表示された軸間距離  $D$  の値を見て、試料ホルダー 3 0 の位置を調整してもよい。

30

## 【 0 0 7 0 】

次に、加工を開始する。具体的には、まず、試料ステージ引出機構 1 2 を閉じて真空チャンバー 1 0 内を真空排気して、真空チャンバー 1 0 内を真空状態にする。そして、試料ホルダー 3 0 の揺動動作および試料ステージ 4 0 の揺動動作によって試料 2 を動かしながら、遮蔽部材 3 4 を介して試料 2 にイオンビーム I B を照射する。試料ホルダー 3 0 の揺動動作によって加工筋を低減でき、試料ステージ 4 0 の揺動動作によって試料 2 の加工幅を所望の加工幅にすることができる。試料 2 の加工の状態は、加工観察カメラ 6 2 で確認できる。

## 【 0 0 7 1 】

以上の工程により、試料 2 を断面加工できる。

40

## 【 0 0 7 2 】

## ( 3 ) G U I

図 1 0 は、試料加工装置 1 0 0 の G U I ( Graphical User Interface ) の一例を示す図である。

## 【 0 0 7 3 】

G U I 1 0 1 は、試料ステージ 4 0 の傾斜角度 2 の範囲を入力するための入力エリア 1 0 2 と、試料ホルダー 3 0 の傾斜角度 1 の範囲を入力するための入力エリア 1 0 4 と、加工幅を入力するための入力エリア 1 0 6 と、結果表示エリア 1 0 8 と、を有している。G U I 1 0 1 は、表示部 8 2 に表示される。

## 【 0 0 7 4 】

50

入力エリア 102、入力エリア 104、および入力エリア 106 には、入力部 80 を用いて値を入力できる。ユーザーが、入力部 80 を用いて、入力エリア 102 に所望の試料ステージ 40 の傾斜角度 2 の範囲を入力し、入力エリア 104 に所望の試料ホルダー 30 の傾斜角度 1 の範囲を入力し、入力エリア 106 に所望の加工幅を入力すると、入力部 80 は、入力された情報を受け付けて、当該情報を処理部 70 に出力する。

【0075】

演算部 78 は、入力された、傾斜角度 2 の範囲、傾斜角度 1 の範囲、および加工幅を式 (1) に代入して、軸間距離 D を計算する。そして、演算部 78 は、計算された軸間距離 D の値を、結果表示エリア 108 に表示する。ユーザーは、結果表示エリア 108 に表示された軸間距離 D の値を見て、試料ホルダー 30 の位置を調整することができる。

10

【0076】

なお、上記では、結果表示エリア 108 には軸間距離 D が表示されたが、結果表示エリア 108 には第 1 面 3a と第 2 軸 A2 との間の距離が表示されてもよい。

【0077】

1.2.3. 第 2 動作例

(1) 原理

軸間距離 D を一定とした場合に、試料 2 の傾斜角度  $r$  の範囲を変更することによって試料 2 の加工幅を変更することができる。傾斜角度  $r$  の範囲は、試料ホルダー 30 の回転動作および試料ステージ 40 の回転動作を制御することによって変更可能である。上述した式 (1) を用いることで、加工幅から傾斜角度  $r$  の範囲を計算できる。

20

【0078】

図 11 は、イオンビーム IB の照射範囲 2A と、試料の傾斜角度  $r$  の関係を示すグラフである。なお、図 11 に示すグラフの縦軸は、照射範囲 2A を示し、横軸は傾斜角度  $r$  の範囲を示している。図 11 に示すグラフには、イオンビーム IB の径  $a$  が 1 mm で距離 Z が 5 mm の場合 (G5)、イオンビーム IB の径  $a$  が 2 mm で距離 Z が 5 mm の場合 (G6)、イオンビーム IB の径  $a$  が 1 mm で距離 Z が 7 mm の場合 (G7)、イオンビーム IB の径  $a$  が 2 mm で距離 Z が 7 mm の場合 (G8) を示している。

【0079】

例えば、イオンビーム IB の径  $a$  が 1 mm で距離 Z が 5 mm の場合 (G5)、傾斜角度  $r$  が  $\pm 10^\circ$  の範囲で照射範囲 2A は約 2 mm、傾斜角度  $r$  が  $\pm 20^\circ$  の範囲で照射範囲 2A は約 4 mm、傾斜角度  $r$  が  $\pm 30^\circ$  の範囲で照射範囲 2A は約 7 mm、傾斜角度  $r$  が  $\pm 40^\circ$  の範囲で照射範囲 2A は約 10 mm となった。

30

【0080】

このように、図 11 のグラフから、傾斜角度  $r$  の範囲が大きくなるほど、イオンビーム IB の照射範囲 2A が大きくなることがわかる。したがって、試料加工装置 100 では、傾斜角度  $r$  の範囲が大きくなることによって、加工幅を大きくすることができる。このように、傾斜角度  $r$  の範囲を調整することによって、試料 2 の加工幅を調整することができる。

【0081】

(2) 試料加工方法

40

まず、図 3 および図 4 に示すように、試料ホルダー 30 に試料 2 および遮蔽部材 34 をセットする。このとき、試料ホルダー 30 の第 1 軸 A1 上に試料 2 の第 1 面 3a が位置するように試料 2 をセットする。

【0082】

次に、試料ホルダー 30 を試料ステージ 40 に取り付ける。試料ホルダー 30 の取り付けは、試料ステージ引出機構 12 を開いた状態で行う。次に、位置合わせカメラ 60 を用いて試料 2 の位置および遮蔽部材 34 の位置を調整する。

【0083】

次に、スライド機構 50 を用いて、試料ホルダー 30 の位置を調整する。このとき、軸間距離 D は、あらかじめ設定された値とする。

50

## 【 0 0 8 4 】

次に、上記の式(1)を用いて所望の加工幅に応じた傾斜角度 $r$ を計算し、試料ホルダー30の傾斜角度 $\theta_1$ の範囲、および試料ステージ40の傾斜角度 $\theta_2$ の範囲を設定する。なお、後述するように、GUI画面に傾斜角度 $\theta_2$ の範囲および加工幅を入力すると、演算部78が傾斜角度 $\theta_1$ の範囲を計算し、計算された傾斜角度 $\theta_1$ の範囲および入力された傾斜角度 $\theta_2$ の範囲が設定される。

## 【 0 0 8 5 】

次に、加工を開始する。具体的には、まず、試料ステージ引出機構12を閉じて真空チャンバー10内を真空排気して、真空チャンバー10内を真空状態にする。そして、試料ホルダー30の揺動動作および試料ステージ40の揺動動作によって試料2を動かしながら、遮蔽部材34を介して試料2にイオンビームIBを照射する。

10

## 【 0 0 8 6 】

このとき、試料ホルダー制御部74は、設定された傾斜角度 $\theta_1$ の範囲で試料ホルダー30を揺動動作させ、試料ステージ制御部76は、設定された傾斜角度 $\theta_2$ の範囲で試料ステージ40を揺動動作させる。これにより、試料ホルダー30の揺動動作によって加工筋を低減でき、試料ステージ40の揺動動作によって試料2の加工幅を所望の加工幅にすることができる。

## 【 0 0 8 7 】

以上の工程により、試料2を断面加工できる。

## 【 0 0 8 8 】

## (3) GUI

図12は、試料加工装置100のGUIの一例を示す図である。

20

## 【 0 0 8 9 】

GUI201は、試料ステージ40の傾斜角度 $\theta_2$ の範囲を入力するための入力エリア202と、加工幅を入力するための入力エリア204と、結果表示エリア206と、を有している。GUI201は、表示部82に表示される。

## 【 0 0 9 0 】

入力エリア202および入力エリア204には、入力部80を用いて、値を入力できる。ユーザーが、入力エリア202に所望の試料ステージ40の傾斜角度 $\theta_2$ の範囲を入力し、入力エリア204に所望の加工幅を入力すると、入力部80は、入力された情報を受け付けて、当該情報を処理部70に出力する。

30

## 【 0 0 9 1 】

演算部78は、入力された傾斜角度 $\theta_2$ の範囲、入力された加工幅、およびあらかじめ設定された軸間距離 $D$ を式(1)に代入して、試料ホルダー30の傾斜角度 $\theta_1$ の範囲を計算する。そして、演算部78は、計算された傾斜角度 $\theta_1$ の範囲を、結果表示エリア206に表示する。また、試料ホルダー制御部74は、加工時に、演算部78で計算された傾斜角度 $\theta_1$ の範囲で試料ホルダー30を揺動動作させる。

## 【 0 0 9 2 】

図13は、試料加工装置100のGUIの一例を示す図である。

## 【 0 0 9 3 】

GUI301は、試料ステージ40の傾斜角度 $\theta_2$ の範囲を入力するための入力エリア302と、軸間距離 $D$ を入力するための入力エリア304と、加工幅を入力するための入力エリア306と、結果表示エリア308と、を有している。GUI301は、表示部82に表示される。

40

## 【 0 0 9 4 】

入力エリア302、入力エリア304、および入力エリア306には、入力部80を用いて、値を入力できる。ユーザーが、入力エリア302に所望の試料ステージ40の傾斜角度 $\theta_2$ の範囲を入力し、入力エリア304に所望の軸間距離 $D$ を入力し、入力エリア306に所望の加工幅を入力すると、演算部78は、入力された傾斜角度 $\theta_2$ の範囲、入力された軸間距離 $D$ 、および入力された加工幅を式(1)に代入して、試料ホルダー30の

50

傾斜角度 1 の範囲を計算する。そして、演算部 78 は、計算された傾斜角度 1 の範囲を、結果表示エリア 308 に表示する。試料ホルダー制御部 74 は、加工時に、演算部 78 で計算された傾斜角度 1 の範囲で試料ホルダー 30 を揺動動作させる。

【0095】

### 1.3. 効果

試料加工装置 100 では、試料 2 を保持し、第 1 軸 A1 を回転軸として回転可能な第 1 回転体としての試料ホルダー 30 と、試料ホルダー 30 が配置され、第 1 軸 A1 とは異なる第 2 軸 A2 を回転軸として回転可能な第 2 回転体としての試料ステージ 40 と、を含み、試料ホルダー 30 の回転動作および試料ステージ 40 の回転動作によって試料 2 を動かしながら、試料 2 にイオンビーム IB を照射する。そのため、試料加工装置 100 では、加工面の加工筋を低減でき、かつ、試料 2 の加工幅を広げることができる。したがって、試料加工装置 100 では、加工面の加工筋を低減でき、かつ、試料 2 の加工範囲を広げることができる。

10

【0096】

図 14 は、比較例に係る試料加工装置の動作を説明するための図である。図 14 に示す試料加工装置は、試料ステージを回転可能に支持する回転機構と、試料ホルダーに保持された試料をイオンビームの光軸の方向に沿って移動可能に支持するスライド機構と、を含む。試料は、軸 A を回転軸として揺動動作する。比較例の試料加工装置では、スライド機構を用いて、試料をスライドさせることにより軸 A と試料上面との間の距離を大きくすることによって、加工幅を広げることができる。

20

【0097】

比較例に係る試料加工装置では、1 つの回転体の回転動作によって試料を動かしている。これに対して、試料加工装置 100 では、上述したように、試料ホルダー 30 の回転動作によって加工筋を低減し、試料ステージ 40 の回転動作によって試料 2 の加工幅を広げている。このように、試料加工装置 100 では、2 つの回転体の回転動作によって試料を動かしている。したがって、図 14 に示す 1 つの回転体の回転動作によって試料 2 を回転させる場合と比べて、加工筋を低減できる。

【0098】

試料加工装置 100 では、試料 2 の第 1 面 3a は、第 1 軸 A1 上に配置され、試料 2 の第 1 面 3a と第 2 軸 A2 との間の距離は、変更可能であり、試料 2 の第 1 面 3a と第 2 軸 A2 との間の距離を変更することによって、試料 2 の加工幅を変更する。そのため、試料加工装置 100 では、試料 2 の加工幅を広げることができる。

30

【0099】

試料加工装置 100 では、第 1 軸 A1 と第 2 軸 A2 との間の軸間距離 D が変更可能であり、軸間距離 D を変更することによって試料 2 の加工幅を変更する。そのため、試料加工装置 100 では、試料 2 の加工幅を広げることができる。

【0100】

試料加工装置 100 では、試料ホルダー 30 の回転動作および試料ステージ 40 の回転動作によりイオンビーム IB の光軸に対する試料 2 の傾斜角度  $r$  の範囲を変更することによって、試料 2 の加工幅を変更する。そのため、試料加工装置 100 では、試料 2 の加工幅を広げることができる。

40

【0101】

試料加工装置 100 は、試料 2 上に配置され、イオンビーム IB を遮蔽する遮蔽部材 34 を含み、イオンビーム IB は、遮蔽部材 34 を介して、試料 2 に照射される。そのため、試料加工装置 100 では、試料 2 を断面加工することができる。

【0102】

試料加工装置 100 は、試料 2 の加工幅の情報の入力を受け付ける入力部 80 と、加工幅の情報に基づいて、第 1 軸 A1 と第 2 軸 A2 との間の軸間距離 D を計算する演算部 78 と、を含む。そのため、試料加工装置 100 では、所望の加工幅で加工を行うための軸間距離 D の情報を容易に得ることができる。

50



## 【 0 1 0 3 】

試料加工装置 1 0 0 は、試料 2 の加工幅の情報の入力を受け付ける入力部 8 0 と、加工幅の情報に基づいて試料 2 の傾斜角度  $r$  の範囲を求める演算部 7 8 と、を含む。そのため、試料加工装置 1 0 0 では、所望の加工幅で加工を行うための試料 2 の傾斜角度  $r$  の範囲の情報を容易に得ることができる。

## 【 0 1 0 4 】

## 1 . 4 . 変形例

次に、第 1 実施形態に係る試料加工装置の変形例について説明する。以下では、上述した試料加工装置 1 0 0 の例と異なる点について説明し、同様の点については説明を省略する。

## 【 0 1 0 5 】

## 1 . 4 . 1 . 第 1 変形例

上述した実施形態では、試料ホルダー 3 0 の回転速度は一定であり、試料ステージ 4 0 の回転速度は一定であったが、これに限定されない。

## 【 0 1 0 6 】

例えば、試料ホルダー 3 0 の回転速度を一定として、試料ステージ 4 0 の回転速度を周期的に変化させてもよい。また、例えば、試料ホルダー 3 0 の回転速度を周期的に変化させて、試料ステージ 4 0 の回転速度を一定にしてもよい。また、例えば、試料ホルダー 3 0 の回転速度を周期的に変化させ、試料ステージ 4 0 の回転速度を周期的に変化させてもよい。これにより、例えば、試料ホルダー 3 0 の回転速度が一定であり、かつ、試料ステージ 4 0 の回転速度が一定である場合と比べて、加工筋を低減できる。

## 【 0 1 0 7 】

例えば、試料ホルダー 3 0 の回転動作と試料ステージ 4 0 の回転動作が同期すると、試料 2 の特定の位置に同じ方向からイオンビーム I B が入射してしまい、加工筋ができる原因となる。第 1 変形例では、上記のように、試料ホルダー 3 0 の回転速度および試料ステージ 4 0 の回転速度の少なくとも一方が周期的に変化するため、試料ホルダー 3 0 の回転動作と試料ステージ 4 0 の回転動作が同期することを防ぐことができ、加工筋を低減できる。

## 【 0 1 0 8 】

## 1 . 4 . 2 . 第 2 変形例

第 2 変形例では、試料ホルダー 3 0 の回転動作と試料ステージ 4 0 の回転動作を連動させる。ここでは、試料 2 の傾斜角度  $r$  がプラスの状態と試料 2 の傾斜角度  $r$  がマイナスの状態の割合を等しくする。これにより、試料 2 に対して様々な方向からイオンビーム I B を入射することができる。

## 【 0 1 0 9 】

図 1 5 は、第 2 変形例に係る試料加工装置の動作を説明するための図である。

## 【 0 1 1 0 】

例えば、試料 2 の傾斜角度  $r$  が  $\pm R$  ( $R$  は任意の角度) の範囲となるように試料ホルダー 3 0 の回転動作および試料ステージ 4 0 の回転動作を制御する。

## 【 0 1 1 1 】

例えば、試料ステージ 4 0 は、所定の回転角度ごとに、所定時間だけ回転動作を停止し、試料ホルダー 3 0 は、試料ステージ 4 0 が回転動作を停止している所定時間に、1 周期以上の回転動作を行う。ここで、 $r = 1 + 2$  である。そのため、試料ステージ 4 0 の傾斜角度  $2$  が  $\theta$  のときに、試料ホルダー 3 0 の傾斜角度  $1$  の範囲を  $+R -$  から  $-R -$  の範囲で揺動動作させる。

## 【 0 1 1 2 】

例えば、 $R = 60^\circ$  とし、試料ステージ 4 0 が  $\pm 20^\circ$  の範囲で、 $10^\circ$  ごとに 60 秒間停止する揺動動作を行う。例えば、試料ステージ 4 0 は、傾斜角度  $2 = 0^\circ$ 、傾斜角度  $2 = +10^\circ$ 、傾斜角度  $2 = +20^\circ$ 、傾斜角度  $2 = -10^\circ$ 、傾斜角度  $2 = -20^\circ$  で停止する。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 3 】

このとき、試料ホルダー 30 は、傾斜角度  $2 = 0^\circ$  で試料ステージ 40 が停止している 60 秒の間に、 $+60^\circ$  から  $-60^\circ$  の範囲で揺動動作する。また、試料ホルダー 30 は、傾斜角度  $2 = +10^\circ$  で試料ステージ 40 が停止している 60 秒の間に、 $+50^\circ$  から  $-70^\circ$  の範囲で揺動動作する。また、試料ホルダー 30 は、傾斜角度  $2 = +20^\circ$  で試料ステージ 40 が停止している 60 秒の間に、 $+40^\circ$  から  $-80^\circ$  の範囲で揺動動作する。また、試料ホルダー 30 は、傾斜角度  $2 = -10^\circ$  で試料ステージ 40 が停止している 60 秒の間に、 $+70^\circ$  から  $-50^\circ$  の範囲で揺動動作する。また、試料ホルダー 30 は、傾斜角度  $2 = -20^\circ$  で試料ステージ 40 が停止している 60 秒の間に、 $+80^\circ$  から  $-40^\circ$  の範囲で揺動動作する。

10

## 【 0 1 1 4 】

これにより、試料 2 の傾斜角度  $r$  がプラスの状態と試料 2 の傾斜角度  $r$  がマイナスの状態の割合を等しくすることができる。

## 【 0 1 1 5 】

第 2 変形例では、試料ステージ 40 は、所定の回転角度ごとに、所定時間だけ回転動作を停止し、試料ホルダー 30 は、試料ステージ 40 が回転動作を停止している所定時間に、1 周期以上の回転動作を行う。これにより、試料 2 に対して様々な方向からイオンビーム IB を入射することができ、加工筋を低減できる。

## 【 0 1 1 6 】

## 1 . 4 . 3 . 第 3 変形例

第 3 変形例では、第 2 変形例と同様に、試料ホルダー 30 の回転動作と試料ステージ 40 の回転動作を連動させる。第 3 変形例では、試料ステージ 40 が回転動作を 1 周期分行う間に、試料ステージ 40 の傾斜角度  $2$  がプラス側で最大のときに、試料ホルダー 30 の傾斜角度  $1$  がプラス側で最大をとり、かつ、試料ステージ 40 の傾斜角度  $2$  がマイナス側で最大のときに、試料ホルダー 30 の傾斜角度  $1$  がマイナス側で最大をとるように、試料ホルダー 30 の回転動作と試料ステージ 40 の回転動作を連動させる。

20

## 【 0 1 1 7 】

例えば、試料ステージ 40 が  $\pm 30^\circ$  の範囲で揺動動作し、試料ホルダー 30 が  $\pm 30^\circ$  の範囲で揺動動作する場合、試料ステージ 40 の傾斜角度  $1$  が  $+30^\circ$  のときに試料ホルダー 30 の傾斜角度  $2$  が  $+30^\circ$  となり、かつ、試料ステージ 40 の傾斜角度  $2$  が  $-30^\circ$  のときに試料ホルダー 30 の傾斜角度  $2$  が  $-30^\circ$  となるように、試料ホルダー 30 の揺動動作と試料ステージ 40 の揺動動作を連動させる。

30

## 【 0 1 1 8 】

例えば、試料ステージ 40 は、所定の回転角度ごとに、所定時間だけ回転動作を停止し、試料ホルダー 30 は、試料ステージ 40 が回転動作を停止している所定時間に、1 周期以上の回転動作を行う。これにより、試料ステージ 40 が回転動作を 1 周期分行う間に、傾斜角度  $2$  がプラス側で最大のときに傾斜角度  $1$  がプラス側で最大をとり、かつ、傾斜角度  $2$  がマイナス側で最大のときに傾斜角度  $1$  がマイナス側で最大をとるように、試料ホルダー 30 の回転動作と試料ステージ 40 の回転動作を連動させることができる。

## 【 0 1 1 9 】

例えば、試料ステージ 40 は、傾斜角度  $2$  の範囲が  $\pm 30^\circ$  であり、 $10^\circ$  ごとに 60 秒間停止する揺動動作を行う。このとき、試料ホルダー 30 は、試料ステージ 40 が停止している 60 秒の間に、傾斜角度  $1$  の範囲が  $\pm 30^\circ$  の範囲で、揺動動作する。これにより、傾斜角度  $2$  が  $+30^\circ$  のときに傾斜角度  $1$  を  $+30^\circ$  とし、かつ、傾斜角度  $2$  が  $-30^\circ$  のときに傾斜角度  $1$  を  $-30^\circ$  とすることができる。

40

## 【 0 1 2 0 】

第 2 変形例では、試料ステージ 40 が回転動作を 1 周期分行う間に、傾斜角度  $2$  がプラス側で最大のときに傾斜角度  $1$  がプラス側で最大をとり、かつ、傾斜角度  $2$  がマイナス側で最大のときに傾斜角度  $1$  がマイナス側で最大をとるように、試料ホルダー 30 の回転動作と試料ステージ 40 の回転動作を連動させる。そのため、第 2 変形例では、加

50

工領域の幅方向の端部に、確実にイオンビーム I B を照射できる。

【 0 1 2 1 】

1 . 4 . 4 . 第 4 変形例

上述した実施形態では、スライド機構 5 0 を用いて、手動で、加工幅に応じた軸間距離 D に変更した。これに対して、例えば、スライド機構 5 0 は、モーターの回転力を駆動機構に伝えることで、直線運動するアクチュエーターであってもよい。すなわち、スライド機構 5 0 は、自動で、試料ホルダー 3 0 の Z 方向の位置を調整できる機構であってもよい。

【 0 1 2 2 】

例えば、試料ホルダー制御部 7 4 が、演算部 7 8 による軸間距離 D の計算結果に基づいてスライド機構 5 0 を動作させることによって、加工幅に応じて軸間距離 D を変更してもよい。

10

【 0 1 2 3 】

1 . 4 . 5 . 第 5 変形例

上述した実施形態では、スライド機構 5 0 を用いて試料ホルダー 3 0 を移動させることによって軸間距離 D を変更したが、軸間距離 D を変更する方法はこれに限定されない。例えば、試料加工装置 1 0 0 に、試料ステージ 4 0 を Z 方向に移動させるためのスライド機構を設けて、試料ステージ 4 0 を移動させることによって軸間距離 D を変更してもよい。

【 0 1 2 4 】

2 . 第 2 実施形態

2 . 1 . 試料加工装置の構成

次に、第 2 実施形態に係る試料加工装置について、図面を参照しながら説明する。図 1 6 は、第 2 実施形態に係る試料加工装置 2 0 0 の構成を示す図である。以下、第 2 実施形態に係る試料加工装置 2 0 0 において、第 1 実施形態に係る試料加工装置 1 0 0 の構成部材と同様の機能を有する部材については同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

20

【 0 1 2 5 】

上述した試料加工装置 1 0 0 では、試料ホルダー 3 0 の回転動作によって加工面の加工筋を低減し、試料ステージ 4 0 の回転動作によって試料 2 の加工幅を広げた。これに対して、試料加工装置 2 0 0 では、試料ホルダー 3 0 の回転動作によって試料 2 の加工幅を広げ、試料ステージ 4 0 の回転動作によって加工面の加工筋を低減する。

【 0 1 2 6 】

試料加工装置 2 0 0 では、第 2 軸 A 2 に加工観察カメラ 6 2 の光軸が一致するように加工観察カメラ 6 2 が配置されている。

30

【 0 1 2 7 】

2 . 2 . 試料加工装置の動作

図 1 7 および図 1 8 は、試料ホルダー 3 0 に試料 2 をセットした状態を模式的に示す図である。なお、図 1 7 は、図 3 に対応し、図 1 8 は、図 4 に対応している。

【 0 1 2 8 】

試料 2 は、図 1 7 および図 1 8 に示すように、第 1 面 3 a が第 2 軸 A 2 上に位置するように配置されている。遮蔽部材 3 4 は、第 1 面 3 a 上に配置されており、第 2 軸 A 2 は、第 1 面 3 a と遮蔽部材 3 4 の境界を通る。

40

【 0 1 2 9 】

図 1 9 ~ 図 2 1 は、試料加工装置 2 0 0 の動作を説明するための図である。図 1 9 ~ 図 2 1 は、図 5 ~ 図 7 に対応している。なお、図 1 9 ~ 図 2 1 では、傾斜角度 2 は、鉛直下向きを基準としている。

【 0 1 3 0 】

試料加工装置 2 0 0 では、試料加工装置 1 0 0 と同様に、加工時には、試料ホルダー制御部 7 4 が試料ホルダー回転機構 3 2 を動作させて試料ホルダー 3 0 を回転動作させ、かつ、試料ステージ制御部 7 6 が試料ステージ回転機構 4 2 を動作させて試料ステージ 4 0 を回転動作させる。

【 0 1 3 1 】

50

このとき、試料ホルダー 30 は、第 1 軸 A 1 を回転軸として揺動動作する。試料ホルダー 30 が揺動動作することによって、試料 2 の加工幅を広げることができる。また、試料ステージ 40 は、第 2 軸 A 2 を回転軸として揺動動作する。試料ステージ 40 が揺動動作することによって、加工面の加工筋を低減できる。

#### 【0132】

試料加工装置 200 では、試料 2 の第 1 面 3 a は、第 2 軸 A 2 上に配置され、試料 2 の第 1 面 3 a と第 1 軸 A 1 との間の距離は、変更可能であり、試料 2 の第 1 面 3 a と第 1 軸 A 1 との間の距離を変更することによって、試料 2 の加工幅を変更できる。

#### 【0133】

また、試料加工装置 200 では、試料加工装置 100 と同様に、試料ホルダー 30 の回転動作および試料ステージ 40 の回転動作によりイオンビーム IB の光軸に対する試料 2 の傾斜角度  $r$  の範囲を変更することによって、試料 2 の加工幅を変更できる。

#### 【0134】

##### 2.3. 効果

試料加工装置 200 では、上述した試料加工装置 100 と同様の作用効果を奏することができる。

#### 【0135】

##### 2.4. 変形例

上述した第 1 実施形態に係る試料加工装置 100 の第 1 変形例、第 2 変形例、第 3 変形例、第 4 変形例、および第 5 変形例は、第 2 実施形態に係る試料加工装置 200 にも適用できる。

#### 【0136】

##### 3. 第 3 実施形態

##### 3.1. 試料加工装置の構成

次に、第 3 実施形態に係る試料加工装置について、図面を参照しながら説明する。図 22 は、第 3 実施形態に係る試料加工装置 300 の構成を示す図である。以下、第 3 実施形態に係る試料加工装置 300 において、第 1 実施形態に係る試料加工装置 100 の構成部材と同様の機能を有する部材については同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

#### 【0137】

試料加工装置 100 では、試料ホルダー 30 に 1 つの遮蔽部材 34 が取り付けられていたが、試料加工装置 200 では、図 22 に示すように、試料ホルダー 30 に 2 つの遮蔽部材（第 1 遮蔽部材 34 a および第 2 遮蔽部材 34 b）が取り付けられている。

#### 【0138】

試料ホルダー 30 は、試料 2、第 1 遮蔽部材 34 a および第 2 遮蔽部材 34 b を Z 軸に沿って移動させるスライド機構 31 を有している。スライド機構 31 は、例えば、モーターの回転力を駆動機構に伝えることで、直線運動するアクチュエーターである。スライド機構 31 は、試料ホルダー制御部 74 によって制御される。

#### 【0139】

##### 3.2. 試料加工装置の動作

##### 3.2.1. 試料ホルダーの動作

図 23 および図 24 は、試料ホルダー 30 に試料 2 をセットした状態を模式的に示す図である。なお、図 23 は、図 3 に対応し、図 24 は、図 4 に対応している。

#### 【0140】

図 23 および図 24 では、試料 2 の第 1 面 3 a が上（+Z 方向）、試料 2 の第 2 面 3 b が下（-Z 方向）を向くように試料 2 が配置されている。試料 2 は、第 1 面 3 a が第 1 軸 A 1 上に位置するように配置されている。第 1 遮蔽部材 34 a は、第 1 面 3 a 上に配置され、第 2 遮蔽部材 34 b は、第 2 面 3 b 上に配置されている。

#### 【0141】

試料加工装置 300 では、試料ホルダー 30 を回転させることによって、試料 2 の第 1 面 3 a 側からイオンビーム IB を照射する状態と、試料 2 の第 2 面 3 b 側からイオンビー

10

20

30

40

50

ム I B を照射する状態と、を切り替え可能である。

【 0 1 4 2 】

図 2 5 および図 2 6 は、試料ホルダー 3 0 を回転させて、試料 2 を 1 8 0 ° 回転させた状態を模式的に示す図である。なお、図 2 5 は、図 2 3 に対応し、図 2 6 は、図 2 4 に対応している。

【 0 1 4 3 】

試料ホルダー 3 0 を 1 8 0 ° 回転させることによって、試料 2 の第 1 面 3 a が下、試料 2 の第 2 面 3 b が上を向くように試料 2 を配置できる。また、スライド機構 3 1 で試料 2 を試料 2 の厚さ分だけ - Z 方向に移動させることによって、試料 2 の第 2 面 3 b 上に第 1 軸 A 1 が位置するように試料 2 を配置できる。

10

【 0 1 4 4 】

この結果、図 2 5 および図 2 6 に示すように、試料 2 の第 2 面 3 b が上、試料 2 の第 1 面 3 a が下を向くように配置される。さらに、試料 2 の第 2 面 3 b が、第 1 軸 A 1 上に配置される。

【 0 1 4 5 】

### 3 . 2 . 2 . 試料加工方法

#### ( 1 ) 第 1 面の加工

まず、図 2 3 および図 2 4 に示すように、試料ホルダー 3 0 に試料 2、第 1 遮蔽部材 3 4 a、および第 2 遮蔽部材 3 4 b をセットする。このとき、試料ホルダー 3 0 の第 1 軸 A 1 上に試料 2 の第 1 面 3 a が位置するように試料 2 をセットする。

20

【 0 1 4 6 】

次に、試料ホルダー 3 0 を試料ステージ 4 0 に取り付ける。試料ホルダー 3 0 の取り付けは、試料ステージ引出機構 1 2 を開いた状態で行う。次に、位置合わせカメラ 6 0 を用いて試料 2 の位置、第 1 遮蔽部材 3 4 a の位置、および第 2 遮蔽部材 3 4 b の位置を調整する。

【 0 1 4 7 】

次に、上記の式 ( 1 ) を用いて、所望の加工幅に応じた軸間距離 D を計算する。そして、スライド機構 5 0 を用いて、軸間距離 D が計算された値となるように試料ホルダー 3 0 の位置を調整する。

【 0 1 4 8 】

次に、加工を開始する。具体的には、まず、試料ステージ引出機構 1 2 を閉じて真空チャンバー 1 0 内を真空排気して、真空チャンバー 1 0 内を真空状態にする。そして、試料ホルダー 3 0 の揺動動作および試料ステージ 4 0 の揺動動作によって試料 2 を動かしながら、第 1 遮蔽部材 3 4 a を介して試料 2 にイオンビーム I B を照射する。

30

【 0 1 4 9 】

以上の工程により、試料 2 を第 1 面 3 a 側から断面加工できる。

【 0 1 5 0 】

#### ( 2 ) 第 2 面の加工

次に、試料ホルダー 3 0 を 1 8 0 ° 回転させる。これにより、図 2 5 および図 2 6 に示すように、試料 2 の第 1 面 3 a が下、試料 2 の第 2 面 3 b が上を向くように試料 2 を配置できる。次に、スライド機構 3 1 で試料 2 を試料 2 の厚さ分だけ - Z 方向に移動させて、第 1 軸 A 1 上に第 2 面 3 b を配置する。この試料 2 の回転およびスライドは、真空チャンバー 1 0 を閉じた状態で行うことができる。

40

【 0 1 5 1 】

次に、加工を開始する。具体的には、試料ホルダー 3 0 の揺動動作および試料ステージ 4 0 の揺動動作によって試料 2 を動かしながら、第 2 遮蔽部材 3 4 b を介して試料 2 にイオンビーム I B を照射する。

【 0 1 5 2 】

以上の工程により、試料 2 を第 2 面 3 b 側から断面加工できる。

【 0 1 5 3 】

50

なお、上記では、試料加工方法として、軸間距離Dを変更することによって試料2の加工幅を変更する場合(「1.2.2. 第1動作例」参照)を適用した例について説明したが、試料加工方法として、試料2の傾斜角度の範囲を変更することによって試料2の加工幅を変更する場合(「1.2.3. 第2動作例」参照)を適用してもよい。

#### 【0154】

##### 3.3. 効果

試料加工装置300では、試料ホルダー30を回転させることによって、試料2の第1面3a側からイオンビームIBを照射する状態と、試料2の第2面3b側からイオンビームIBを照射する状態と、を切り替え可能である。そのため、試料加工装置300では、試料2を第1面3a側、および第2面3b側の両方から加工することができる。したがって、加工断面の傾斜が低減された試料2を効率よく作製できる。さらに、加工時間を低減できる。

10

#### 【0155】

図27は、試料2を第1面3a側からのみ加工したときの試料断面を模式的に示す図である。

#### 【0156】

試料2の加工レートは、イオン源20から離れるほど低下する。これは、イオンビームIBの電流密度が、イオン源20から離れるほど低下するためである。そのため、試料2を第1面3a側のみから加工した場合、第1面3a側から第2面3b側に向かうに従って加工レートが低下する。そのため、図27に示すように、断面4が傾斜してしまう。

20

#### 【0157】

これに対して、試料2の第1面3a側および第2面3b側の両方から加工を行うことによって、断面4の傾斜を低減できる。さらに、イオンビームIBの電流密度が高い状態で加工を行うことができるため、加工時間を短縮できる。

#### 【0158】

試料加工装置300では、上述した試料加工装置100と同様の作用効果を奏することができる。

#### 【0159】

##### 3.4. 変形例

次に、第3実施形態に係る試料加工装置の変形例について説明する。以下では、上述した試料加工装置300の例と異なる点について説明し、同様の点については説明を省略する。

30

#### 【0160】

##### 3.4.1. 第1変形例

上述した実施形態では、スライド機構31で試料2を試料2の厚さ分だけ-Z方向に移動させて、第1軸A1上に第2面3bを配置する場合について説明したが、これに限定されない。

#### 【0161】

図28および図29は、試料ホルダー30に試料2をセットした状態を模式的に示す図である。なお、図28は、図23に対応し、図29は、図24に対応している。

40

#### 【0162】

図28および図29に示すように、試料2の厚さ方向の中心、すなわち、第1面3aと第2面3bとの距離が等しい位置に、第1軸A1が位置するように、試料2を配置してもよい。これにより、試料2の第1面3a側からの加工と、試料2の第2面3b側からの加工を、同じ条件で行うことができる。

#### 【0163】

##### 3.4.2. 第2変形例

上述した実施形態では、試料ホルダー30を180°回転させることによって、試料2を第1面3a側および第2面3b側の両方から加工したが、試料ステージ40を180°回転させることによって、試料2を第1面3a側および第2面3b側の両方から加工して

50

もよい。

【 0 1 6 4 】

3 . 4 . 3 . 第 3 変形例

上述した第 1 実施形態に係る試料加工装置 1 0 0 の第 1 変形例、第 2 変形例、第 3 変形例、第 4 変形例、および第 5 変形例は、第 3 実施形態に係る試料加工装置 3 0 0 にも適用できる。

【 0 1 6 5 】

4 . 第 4 実施形態

4 . 1 . 試料加工装置の構成

次に、第 4 実施形態に係る試料加工装置について、図面を参照しながら説明する。図 3 0 は、第 4 実施形態に係る試料加工装置 4 0 0 の構成を示す図である。以下、第 4 実施形態に係る試料加工装置 4 0 0 において、第 1 実施形態に係る試料加工装置 1 0 0 の構成部材と同様の機能を有する部材については同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【 0 1 6 6 】

上述した試料加工装置 1 0 0 では、試料 2 の断面加工を行ったが、試料加工装置 4 0 0 では、試料 2 の平面加工を行うことができる。

【 0 1 6 7 】

試料加工装置 4 0 0 は、イオンビーム I B の光軸に対して試料 2 の表面 5 を傾斜させて配置するための傾斜機構 5 2 を含む。

【 0 1 6 8 】

傾斜機構 5 2 は、試料ホルダー 3 0 および試料ホルダー回転機構 3 2 を傾斜させる。傾斜機構 5 2 で試料ホルダー 3 0 を傾斜させることによって、試料 2 を傾斜させることができる。試料 2 は、例えば、表面 5 に対するイオンビーム I B の入射角度が、5 ° 以下となるように、試料ホルダー 3 0 に配置される。なお、試料加工装置 4 0 0 は、遮蔽部材を有していない。

【 0 1 6 9 】

4 . 2 . 試料加工装置の動作

図 3 1 および図 3 2 は、試料ホルダー 3 0 に試料 2 をセットした状態を模式的に示す図である。なお、図 3 1 は、図 3 に対応し、図 3 2 は、図 4 に対応している。

【 0 1 7 0 】

図 3 1 に示すように、試料ホルダー 3 0 は、イオンビーム I B の光軸に対して傾斜して配置されている。これにより、試料 2 をイオンビーム I B の光軸に対して傾斜して配置することができる。試料 2 の表面 5 に対するイオンビーム I B の入射角度は、例えば、5 ° 以下である。このように、試料 2 をイオンビーム I B の光軸に対して傾斜して配置することによって、試料 2 の表面 5 に対して斜めからイオンビーム I B を照射できる。この結果、試料 2 の平面加工を行うことができる。図示の例では、第 1 軸 A 1 が試料 2 の中心に位置するように試料 2 が配置されている。試料ホルダー 3 0 が傾斜して配置されることによって、第 1 軸 A 1 は、Y 軸に対して傾斜している。

【 0 1 7 1 】

図 3 3 ~ 図 3 5 は、試料加工装置 4 0 0 の動作を説明するための図である。図 3 3 ~ 図 3 5 は、図 3 2 に対応している。

【 0 1 7 2 】

図 3 3 ~ 図 3 5 に示すように、試料加工装置 4 0 0 では、加工時には、試料ホルダー制御部 7 4 が試料ホルダー回転機構 3 2 を動作させて試料ホルダー 3 0 を回転動作させ、かつ、試料ステージ制御部 7 6 が試料ステージ回転機構 4 2 を動作させて試料ステージ 4 0 を揺動動作させる。

【 0 1 7 3 】

試料ホルダー 3 0 は、第 1 軸 A 1 を回転軸として、一方向に回転する。図示の例では、試料ホルダー 3 0 は、時計回りに回転している。試料ホルダー 3 0 が回転動作することによって、加工面の加工筋を低減できる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 7 4 】

試料ステージ 4 0 は、第 2 軸 A 2 を回転軸として揺動動作する。試料ステージ 4 0 は、例えば、 $\pm 30^\circ$  の範囲で揺動する。試料ステージ 4 0 が揺動動作することによって、試料 2 の加工範囲を広げることができる。

## 【 0 1 7 5 】

試料加工装置 4 0 0 では、試料加工装置 1 0 0 と同様に、試料ホルダー 3 0 の第 1 軸 A 1 と試料ステージ 4 0 の第 2 軸 A 2 との間の軸間距離 D を変更することによって、試料 2 の加工範囲を変更できる。

## 【 0 1 7 6 】

また、試料加工装置 4 0 0 では、試料加工装置 1 0 0 と同様に、試料ホルダー 3 0 の回転動作および試料ステージ 4 0 の回転動作によりイオンビーム I B の光軸に対する試料 2 の傾斜角度  $r$  の範囲を変更することによって、試料 2 の加工範囲を変更できる。なお、試料加工装置 4 0 0 では、試料ホルダー 3 0 の回転動作では、試料 2 の傾斜角度  $r$  は変化しないため、試料ステージ 4 0 の揺動動作によって、試料 2 の傾斜角度  $r$  を変化させる。

10

## 【 0 1 7 7 】

試料加工装置 4 0 0 では、試料ステージ 4 0 の傾斜角度 2 の範囲が大きくなるほど、傾斜角度  $r$  が大きくなり、試料 2 の加工範囲を大きくできる。

## 【 0 1 7 8 】

## 4 . 3 . 効果

試料加工装置 4 0 0 は、イオンビーム I B の光軸に対して試料 2 の表面 5 を傾斜させて配置するための傾斜機構 5 2 を含む。そのため、試料加工装置 4 0 0 では、試料 2 に対して平面加工を行うことができる。

20

## 【 0 1 7 9 】

さらに、試料加工装置 4 0 0 では、上述した試料加工装置 1 0 0 と同様の作用効果を奏することができる。

## 【 0 1 8 0 】

## 4 . 4 . 変形例

次に、第 4 実施形態に係る試料加工装置の変形例について説明する。以下では、上述した試料加工装置 4 0 0 の例と異なる点について説明し、同様の点については説明を省略する。

30

## 【 0 1 8 1 】

## 4 . 4 . 1 . 第 1 変形例

試料加工装置 4 0 0 では、試料ホルダー 3 0 に遮蔽部材 3 4 が着脱可能となってもよい。また、傾斜機構 5 2 は、図 1 に示す試料 2 の第 1 面 3 a とイオンビーム I B の光軸とがなす角度が  $90^\circ$  の第 1 状態と、図 3 0 に示す試料 2 の表面 5 とイオンビーム I B の光軸とがなす角度が  $5^\circ$  以下の第 2 状態と、を切り替え可能であってもよい。これにより、試料加工装置 4 0 0 では、試料 2 の断面加工と試料 2 の平面加工の両方を行うことができる。

## 【 0 1 8 2 】

## 4 . 4 . 2 . 第 2 変形例

図 3 6 は、第 2 変形例に係る試料加工装置において、試料ホルダー 3 0 に試料 2 をセットした状態を模式的に示す図である。なお、図 3 6 は、図 3 1 に対応している。

40

## 【 0 1 8 3 】

図 3 1 に示す例では、傾斜機構 5 2 が試料ホルダー 3 0 を傾斜させることによって、試料 2 を傾斜させていたが、図 3 6 に示すように、傾斜機構が試料ステージ 4 0 を傾斜させることによって、試料 2 を傾斜させてもよい。

## 【 0 1 8 4 】

## 4 . 4 . 3 . 第 3 変形例

上述した第 1 実施形態に係る試料加工装置 1 0 0 の第 4 変形例および第 5 変形例は、第 4 実施形態に係る試料加工装置 4 0 0 にも適用できる。

50



## 【 0 1 8 5 】

## 5 . 第 5 実施形態

## 5 . 1 . 試料加工装置の構成

次に、第 5 実施形態に係る試料加工装置について、図面を参照しながら説明する。図 3 7 は、第 5 実施形態に係る試料加工装置 5 0 0 の構成を示す図である。以下、第 5 実施形態に係る試料加工装置 5 0 0 において、第 1 実施形態に係る試料加工装置 1 0 0 の構成部材と同様の機能を有する部材については同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

## 【 0 1 8 6 】

試料加工装置 5 0 0 は、試料ステージ 4 0 を Z 軸に沿って移動させる移動機構 9 0 を含む。また、処理部 7 0 は、移動機構 9 0 を制御する移動機構制御部 7 9 を含む。

10

## 【 0 1 8 7 】

移動機構 9 0 は、試料ステージ引出機構 1 2 に配置されている。試料ステージ 4 0 は、移動機構 9 0 に取り付けられている。移動機構 9 0 は、例えば、モーターの回転力を駆動機構に伝えることで、直線運動するアクチュエーターである。移動機構 9 0 で試料ステージ 4 0 を Z 軸に沿って移動させることによって、試料ホルダー 3 0 および試料 2 を Z 軸に沿って移動させることができる。

## 【 0 1 8 8 】

移動機構制御部 7 9 は、加工観察カメラ 6 2 から試料 2 の加工画像を取得し、当該加工画像に基づいて加工領域の深さ方向の先端の位置情報を取得する。移動機構制御部 7 9 は、当該位置情報に基づいて移動機構 9 0 に試料ステージ 4 0 を移動させる。これにより、イオン源 2 0 と加工領域の先端の位置との間の距離を一定にできる。この結果、加工レートを低下させることなく、一定の加工レートで試料 2 を加工できる。

20

## 【 0 1 8 9 】

## 5 . 2 . 試料加工装置の動作

試料加工装置 5 0 0 では、上述した試料加工装置 1 0 0 と同様に、試料 2 の加工が行われる。すなわち、試料加工装置 5 0 0 では、試料ホルダー 3 0 の揺動動作および試料ステージ 4 0 の揺動動作によって試料 2 を動かしながら、試料 2 にイオンビーム I B を照射する。

## 【 0 1 9 0 】

図 3 8 は、加工観察カメラ 6 2 で取得された加工画像 I 2 を模式的に示す図である。図 3 8 には、加工開始からの経過時間が異なる 3 つの加工画像 I 2 を図示している。

30

## 【 0 1 9 1 】

図 3 8 に示すように、加工開始時には、加工画像 I 2 の視野の中心に試料 2 の第 1 面 3 a が位置している。加工が進むと加工領域 7 が拡がり、加工領域 7 の深さ方向の先端 7 a の位置が下に（ - Z 方向に）移動する。

## 【 0 1 9 2 】

移動機構制御部 7 9 は、加工画像 I 2 を取得し、加工画像 I 2 から加工領域 7 の先端 7 a の位置を特定する。次に、移動機構制御部 7 9 は、イオン源 2 0 と先端 7 a との間の距離が一定となる試料 2 の位置を計算し、試料 2 の移動量を計算する。移動機構制御部 7 9 は、計算された移動量だけ試料 2 が移動するように移動機構 9 0 を動作させる。移動機構制御部 7 9 は、加工中に、これらの処理を繰り返し行い、イオン源 2 0 と先端 7 a との間の距離が一定となるように移動機構 9 0 を制御する。

40

## 【 0 1 9 3 】

## 5 . 3 . 効果

試料加工装置 5 0 0 は、試料 2 の加工領域 7 を観察するための加工観察カメラ 6 2 と、試料 2 を移動させる移動機構 9 0 と、加工観察カメラ 6 2 で取得された加工画像 I 2 に基づいて、移動機構 9 0 を制御する移動機構制御部 7 9 と、を含む。そのため、試料加工装置 5 0 0 では、イオン源 2 0 と先端 7 a との間の距離の変化を低減できる。したがって、試料加工装置 5 0 0 では、加工が進むに従って加工レートが低下することを防ぐことができる。

50

## 【 0 1 9 4 】

## 5 . 4 . 変形例

次に、第5実施形態に係る試料加工装置の変形例について説明する。以下では、上述した試料加工装置500の例と異なる点について説明し、同様の点については説明を省略する。

## 【 0 1 9 5 】

## 5 . 4 . 1 . 第1変形例

上述した実施形態では、移動機構制御部79は、加工画像I2に基づいて移動機構90を制御したが、移動機構制御部79は、加工を開始してからの経過時間の情報を取得し、当該経過時間に基づいて移動機構90を制御してもよい。例えば、移動機構制御部79は、試料2の加工レートの情報取得し、当該加工レートの情報に基づいて単位時間あたりの試料2の移動量を決定してもよい。これにより、イオン源20と先端7aとの間の距離の変化を低減できる。加工レートの情報は、ユーザーが入力部80を介して入力してもよいし、あらかじめ記憶部84に記憶されていてもよい。

10

## 【 0 1 9 6 】

## 5 . 4 . 2 . 第2変形例

上述した第1実施形態に係る試料加工装置100の第1変形例、第2変形例、第3変形例、第4変形例、および第5変形例は、第5実施形態に係る試料加工装置500にも適用できる。

## 【 0 1 9 7 】

なお、上述した実施形態及び変形例は一例であって、これらに限定されるわけではない。例えば各実施形態及び各変形例は、適宜組み合わせることが可能である。

20

## 【 0 1 9 8 】

本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、さらに種々の変形が可能である。例えば、本発明は、実施形態で説明した構成と実質的に同一の構成を含む。実質的に同一の構成とは、例えば、機能、方法、及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成である。また、本発明は、実施形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

30

## 【 符号の説明 】

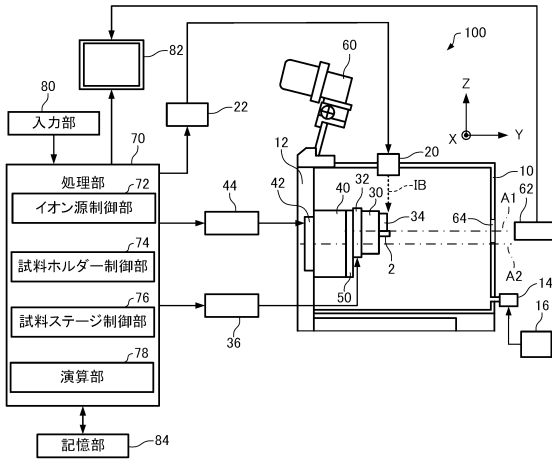
## 【 0 1 9 9 】

2 ... 試料、3 a ... 第1面、3 b ... 第2面、4 ... 断面、5 ... 表面、7 ... 加工領域、7 a ... 先端、10 ... 真空チャンパー、12 ... 試料ステージ引出機構、14 ... 排気装置、16 ... 排気制御部、20 ... イオン源、22 ... イオン源制御回路、30 ... 試料ホルダー、31 ... スライド機構、32 ... 試料ホルダー回転機構、34 ... 遮蔽部材、34 a ... 第1遮蔽部材、34 b ... 第2遮蔽部材、36 ... 試料ホルダー制御回路、40 ... 試料ステージ、42 ... 試料ステージ回転機構、44 ... 試料ステージ制御回路、50 ... スライド機構、52 ... 傾斜機構、60 ... 位置合わせカメラ、62 ... 加工観察カメラ、64 ... 観察窓、70 ... 処理部、72 ... イオン源制御部、74 ... 試料ホルダー制御部、76 ... 試料ステージ制御部、78 ... 演算部、79 ... 移動機構制御部、80 ... 入力部、82 ... 表示部、84 ... 記憶部、90 ... 移動機構、100 ... 試料加工装置、102 ... 入力エリア、104 ... 入力エリア、106 ... 入力エリア、108 ... 結果表示エリア、200 ... 試料加工装置、202 ... 入力エリア、204 ... 入力エリア、206 ... 結果表示エリア、300 ... 試料加工装置、302 ... 入力エリア、304 ... 入力エリア、306 ... 入力エリア、308 ... 結果表示エリア、400 ... 試料加工装置、500 ... 試料加工装置

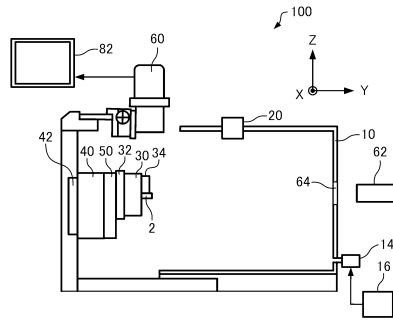
40

【図面】

【図 1】

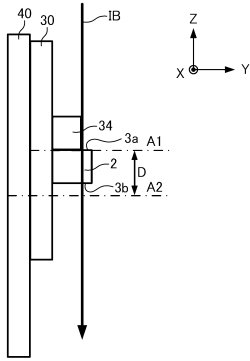


【図 2】

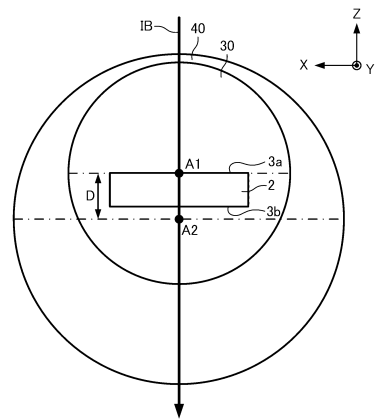


10

【図 3】



【図 4】



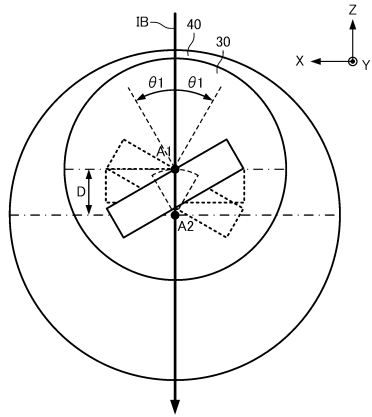
20

30

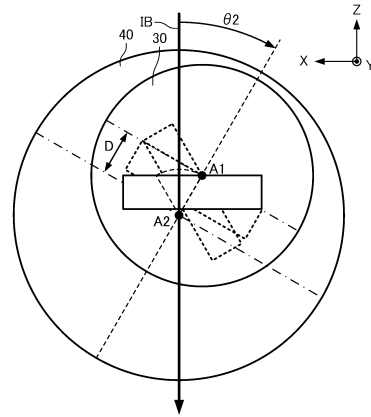
40

50

【図 5】

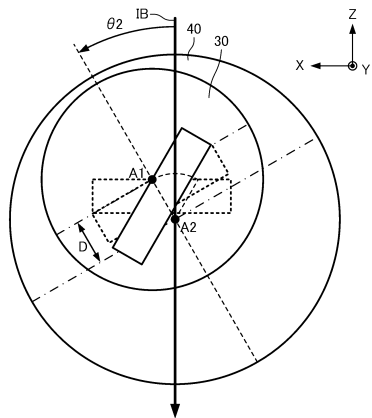


【図 6】

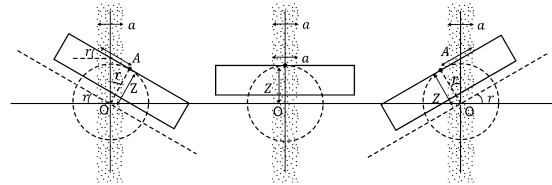


10

【図 7】

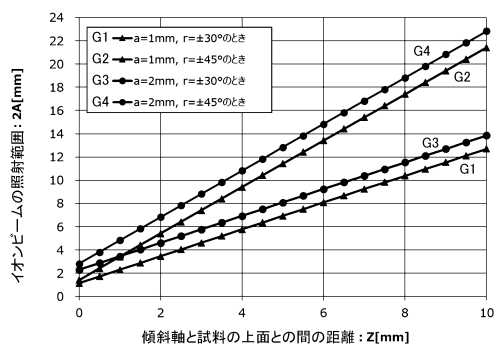


【図 8】

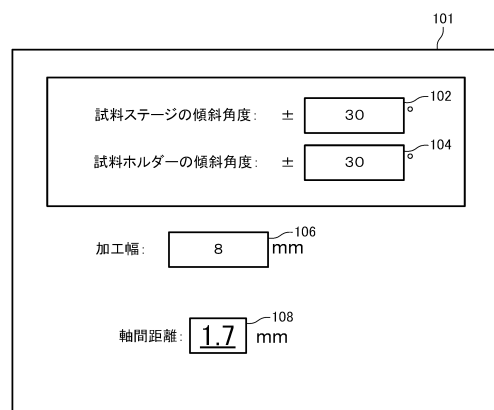


20

【図 9】



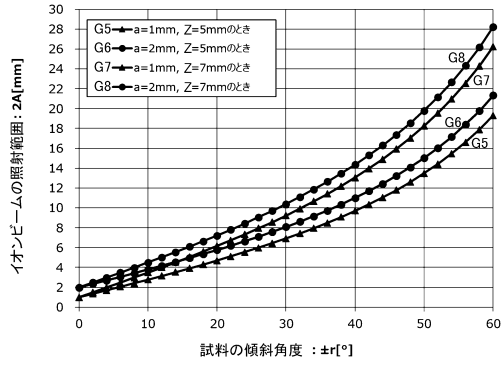
【図 10】



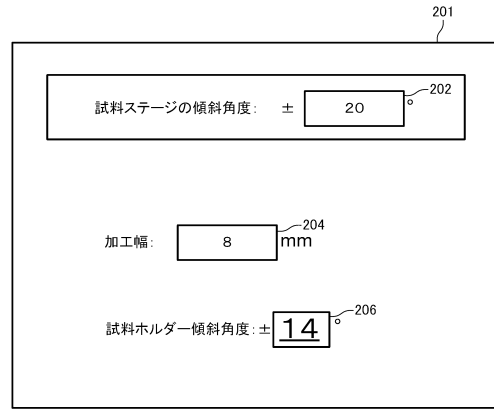
30

40

【図 1 1】

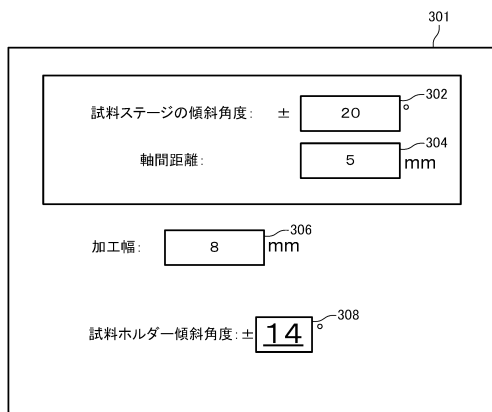


【図 1 2】

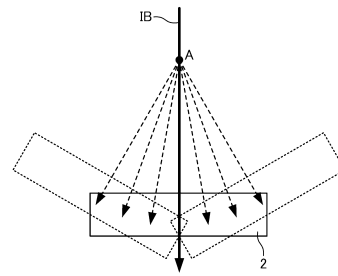


10

【図 1 3】

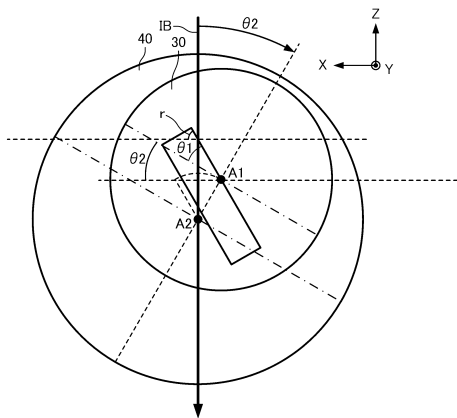


【図 1 4】

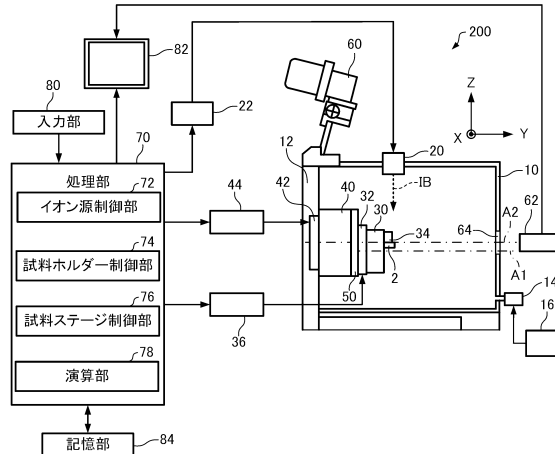


20

【図 1 5】



【図 1 6】

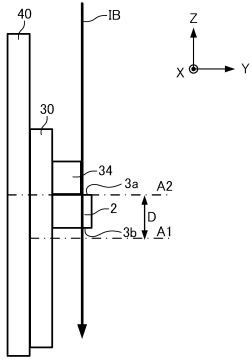


30

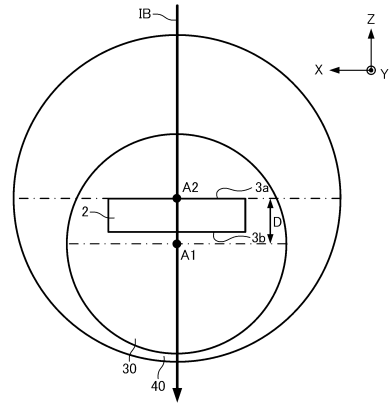
40

50

【 17 】

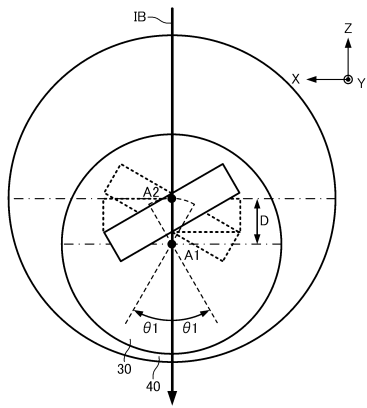


【 18 】

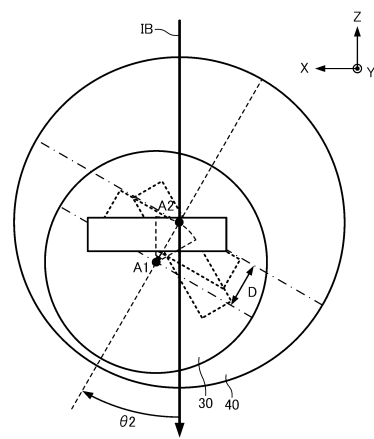


10

【 19 】



【 20 】



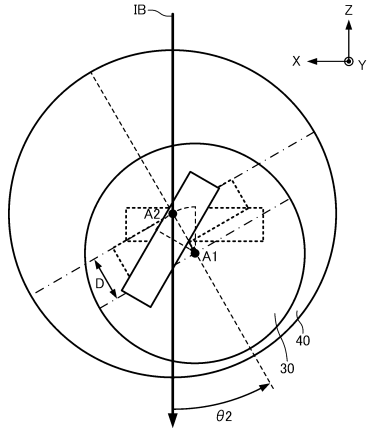
20

30

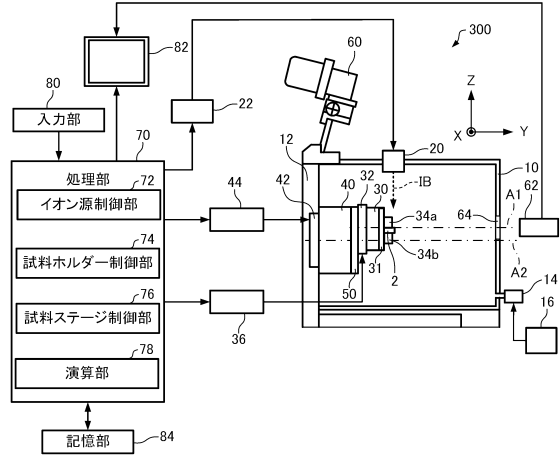
40

50

【図 2 1】

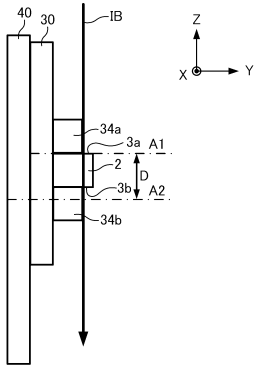


【図 2 2】

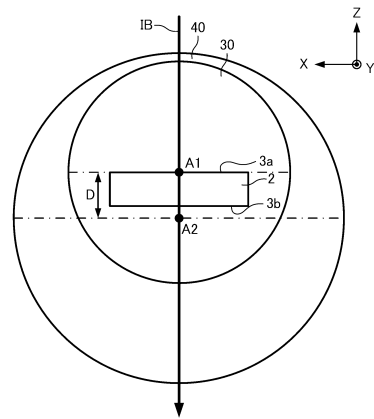


10

【図 2 3】



【図 2 4】



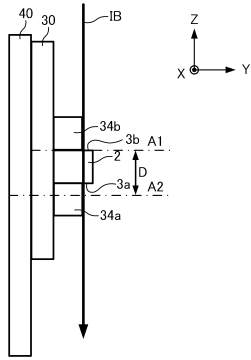
20

30

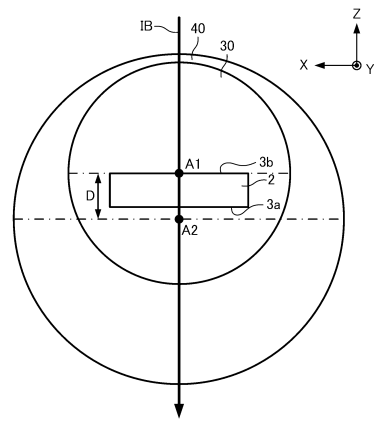
40

50

【図 25】

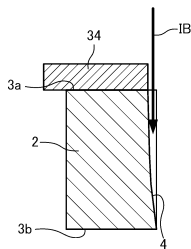


【図 26】

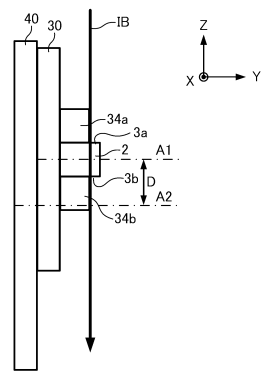


10

【図 27】

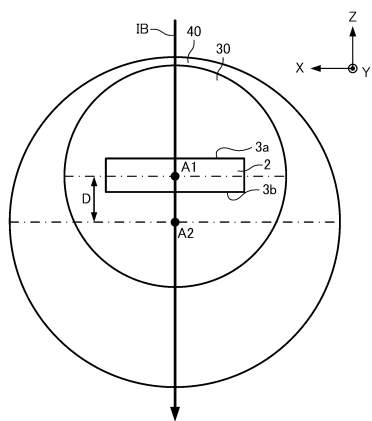


【図 28】

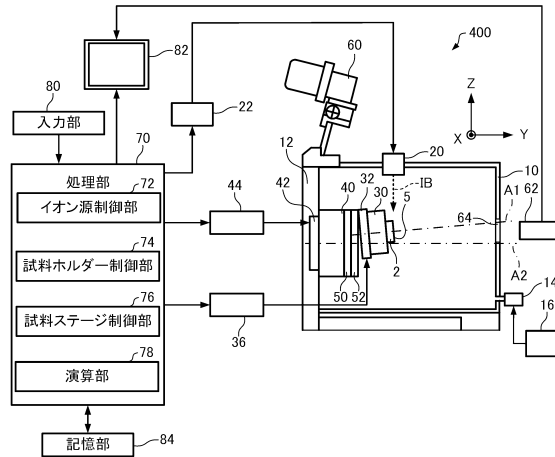


20

【図 29】



【図 30】

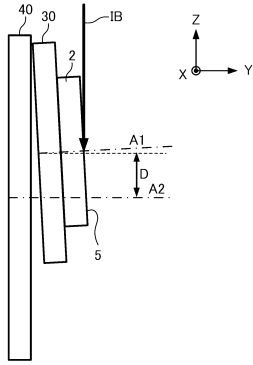


30

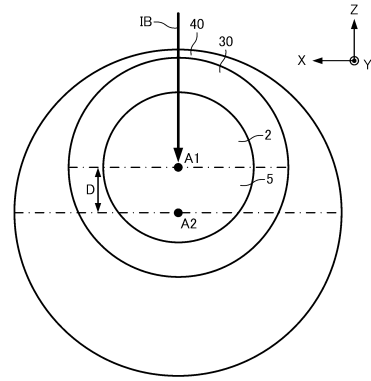
40



【図 3 1】

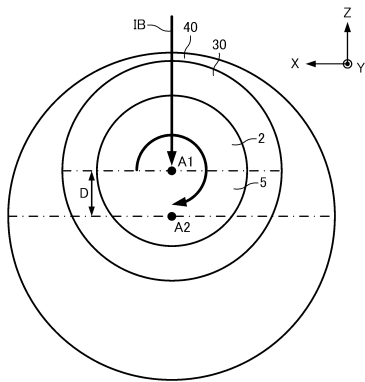


【図 3 2】

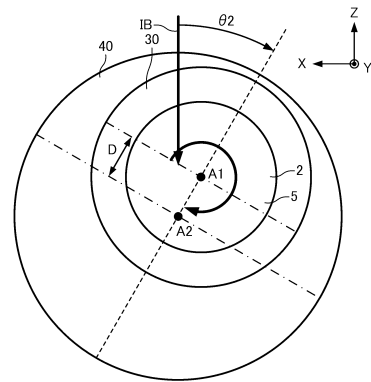


10

【図 3 3】

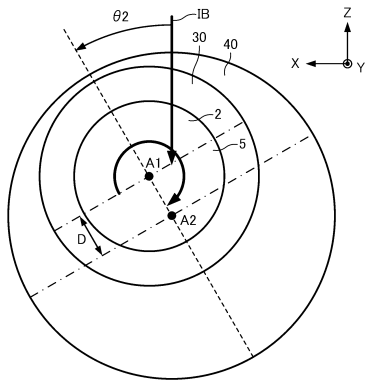


【図 3 4】

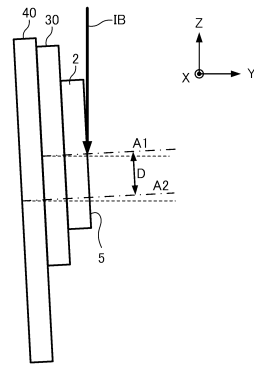


20

【図 3 5】



【図 3 6】

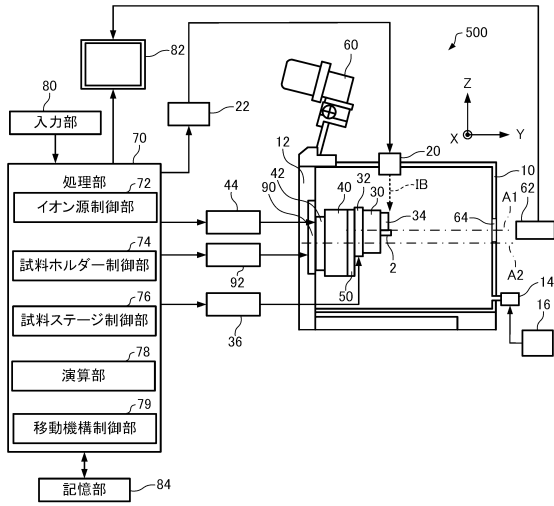


30

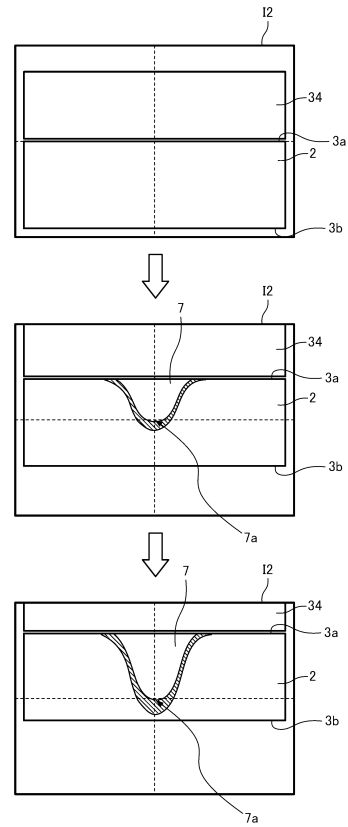
40

50

【図37】



【図38】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

審査官 小林 幹

- (56)参考文献 特開2016-072089(JP,A)  
特開2014-139938(JP,A)  
特開2013-137995(JP,A)  
特開2020-053406(JP,A)  
特開2007-129214(JP,A)  
米国特許出願公開第2017/0069526(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
H01J 37/00 - 37/36