

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2024年8月2日(02.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/157336 A1

(51) 国際特許分類:

H01J 37/20 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2023/001972

(22) 国際出願日:

2023年1月23日(23.01.2023)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(71) 出願人: 株式会社日立ハイテク  
(HITACHI HIGH-TECH CORPORATION) [JP/  
JP]; 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目  
17番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 東 佳 ▲ 徳 ▼ (HIGASHI, Yoshinori);  
〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目17番  
1号 株式会社日立ハイテク内 Tokyo (JP).  
岡部 衛(OKABE, Mamoru); 〒1056409 東京都  
港区虎ノ門一丁目17番1号 株式会  
社日立ハイテク内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人筒井国際特許事務所  
(TSUTSUI & ASSOCIATES); 〒1600022 東京都

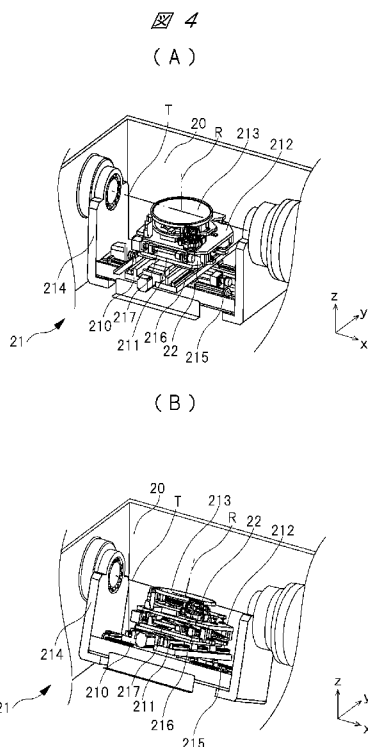
新宿区新宿2丁目3番10号 新宿御  
苑ビル3階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保  
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,  
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL,  
CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,  
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,  
HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE,  
KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,  
LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY,  
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,  
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,  
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,  
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保  
護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS,  
MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,  
TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,  
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS,

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE AND METHOD FOR PREPARING AND OBERVING SAMPLE  
PIECE

(54) 発明の名称: 荷電粒子ビーム装置及び試料片の作製・観察方法



(57) Abstract: Provided is a charged particle beam device that controls the orientation of a holder 6 capable of holding a plurality of carriers, and that is capable of transporting the holder independently of a wafer stage 21. The charged particle beam device comprises: a wafer stage 21 on which a wafer is placed and moved; a needle which holds a sample piece separated and removed from the wafer, and transports the sample piece to a plurality of carriers attached to the holder; and a sub-stage 22 which holds the holder, and moves independently of the wafer stage 21.

(57) 要約: 複数のキャリアを保持可能なホルダ6姿勢を制御し、ウェハステージ21と独立させてホルダを搬送可能な荷電粒子ビーム装置を提供する。荷電粒子ビーム装置は、ウェハを載置して移動するウェハステージ21と、ウェハから分離され摘出された試料片を保持して、ホルダに装着された複数のキャリアに搬送するニードルと、ホルダを保持し、ウェハステージ21と独立して移動するサブステージ22と、を備える。



WO 2024/157336 A1

IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,  
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,  
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,  
SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

## 明 細 書

発明の名称：荷電粒子ビーム装置及び試料片の作製・観察方法

### 技術分野

[0001] 本開示は、試料を加工及び観察する荷電粒子ビーム装置及び試料片の作製・観察方法に関する。

### 背景技術

[0002] 半導体デバイスの構造の微細化、回路パターンの高密度化、配線の多層化などが進むにつれ、信頼性向上などのために、例えば透過電子顕微鏡（TEM:Transmission Electron Microscope）または走査型透過電子顕微鏡（STEM:Scanning Transmission Electron Microscope）を用いたウェハの断面解析などの重要性が高まっている。

[0003] 半導体製造プロセスにおける試料の撮像、観察、計測、解析、評価、検査などでは、例えば、集束イオンビーム（FIB:Focused Ion Beam）装置によって、ウェハの指定箇所の薄片化加工が行われる。この薄片化加工によって、デバイスの断面構造が露出した試料片（ラメラ、薄膜試料などとも呼ばれる）が作製される。その試料片は、キャリアに移設（transfer）され、その試料片の断面構造が例えばTEM装置によって観察される。

[0004] 試料片のキャリアへの移設方法には、マイクロサンプリング法が知られている。マイクロサンプリング法では、荷電粒子ビーム装置において、試料からマイクロプローブで摘出された試料片がキャリア（TEMメッシュ）に移設される。試料片がキャリアに移設された後にキャリアの姿勢を変更するためには、キャリアをアンロードする必要がある。

[0005] 特許文献1には、FIBによる加工およびSEM（Scanning Electron Microscope）による観察を行うことが可能な荷電粒子ビーム装置が記載されている。この荷電粒子ビーム装置は、薄片試料を保持・固定する試料ホルダと、試料ホルダを載置する試料台とを備えている。試料台は、XYZの三軸方向の移動と、FIBの照射軸と直交する傾斜軸を中心にした傾斜と、回転とが

可能である。試料ホルダは、試料台上に載置された基台上でホルダシャフトを中心として回転する回転台と、回転台に形成された凹部に收容され、回転台とは独立してローラー軸を中心として回転するウォームホイールとを有する。ウォームホイールの最上部には、薄片試料が直接取付可能なキャリアが設けられる。この構造により、特許文献1の荷電粒子ビーム装置は、キャリアをアンロードすることなくキャリアの姿勢の変更を可能にしている。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0006] 特許文献1：特開2016-72089号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特許文献1の試料ホルダは1つのキャリアしか保持することができず、キャリアに移設可能な試料片の個数が制限され、試料片の観察効率が低いという課題があった。また、特許文献1の荷電粒子ビーム装置では、ウェハが載置される試料台と試料ホルダとが一体の構造として搬送される。このため、試料台を大型化すると搬送が困難となり、試料台を小型化すると試料台上に載置可能となるウェハのサイズに制限が生じる、という課題があった。

#### 課題を解決するための手段

[0008] 本願において開示される実施の形態のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、以下の通りである。

[0009] 一実施の形態における荷電粒子ビーム装置は、荷電粒子ビームを用いてウェハから試料片を作成する荷電粒子ビーム装置であって、前記荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム鏡筒と、前記ウェハを載置して移動するウェハステージと、前記ウェハから分離され摘出された前記試料片を保持して、試料片ホルダに装着された複数のキャリアに搬送する試料片移設機構と、前記試料片ホルダが着脱可能に装着され、前記ウェハステージと独立して移動す

る試料片ホルダ用ステージと、を備える。

[0010] 一実施の形態における試料片の作製・観察方法は、ウェハにイオンビームを照射し、前記ウェハの平面又は断面を観察面とする前記試料片を加工し、加工された前記試料片に試料片移設機構を取り付けて前記ウェハから摘出して分離し、傾斜及び回転が可能な試料片ホルダ用ステージに搭載された試料片ホルダ上のキャリアに、前記試料片を前記観察面が前記キャリアの表面と平行になるように取り付け、前記試料片の前記観察面を電子ビームにて観察可能なように、試料片ホルダ用ステージを回転させ、前記試料片の前記観察面の裏面を前記電子ビームにて観察可能なように、試料片ホルダ用ステージを回転させる。

[0011] 一実施の形態における試料片の作製・観察方法は、ウェハにイオンビームを照射し、前記ウェハの平面又は断面を観察面とする前記試料片を加工し、加工された前記試料片に試料片移設機構を取り付けて前記ウェハから摘出して分離し、傾斜及び回転が可能な試料片ホルダ用ステージに搭載された試料片ホルダ上のキャリアに、前記試料片を前記観察面が前記キャリアの表面と平行になるように取り付け、前記観察面が前記イオンビームの光軸に対して平行となるように前記試料片ホルダ用ステージを傾け、前記観察面又は前記観察面の裏面が電子ビームにて観察可能となるように、前記試料片ホルダ用ステージを回転させ、前記イオンビームの照射によって前記試料片の前記観察面又は前記裏面を加工して、前記試料片を薄膜化し、前記観察面と前記裏面とが平行に加工されるように、前記試料片ホルダ用ステージの傾斜を変化させて前記観察面又は前記裏面への前記イオンビームの入射角を調整し、前記イオンビームによって加工されている前記観察面又は前記裏面に前記電子ビームを照射して、前記観察面又は前記裏面の加工状態を観察する。

[0012] 一実施の形態における試料片の作製・観察方法は、ウェハにイオンビームを照射して、前記ウェハの平面又は断面を観察面とする前記試料片を加工し、加工された前記試料片に試料片移設機構を取り付けることによって前記ウェハから摘出して分離し、傾斜及び回転が可能な試料片ホルダ用ステージに

搭載された試料片ホルダ上のキャリアに、前記試料片を前記観察面が前記キャリアの表面と平行になるように取り付け、前記観察面が前記イオンビームの光軸に対して平行となるように前記試料片ホルダ用ステージを傾け、前記試料片ホルダ用ステージが搭載されるステージの傾斜軸と前記観察面とが交差するように前記試料片ホルダ用ステージを回転させ、前記観察面に対する前記イオンビームの入射角が変化するように、前記ステージを前記傾斜軸の周りに傾斜し、前記イオンビームの照射によって前記試料片の前記観察面又は前記観察面の裏面を加工して、前記試料片を薄膜化し、前記観察面と前記裏面とが平行に加工されるように、前記試料片ホルダ用ステージの傾斜を変化させて前記観察面又は前記裏面への前記イオンビームの入射角を調整し、前記イオンビームによって加工されている前記観察面又は前記裏面が電子ビームの照射によって観察可能となるように前記試料片ホルダ用ステージを回転させて、前記観察面又は前記裏面の加工状態を観察する。

### 発明の効果

[0013] 一実施の形態によれば、複数の駆動軸を持つ試験片ホルダ用ステージにより複数のキャリアを搭載できる試料片ホルダの姿勢をウェハステージに対して制御することができ、ウェハステージと独立させて試料片ホルダを搬送させることができる。

### 図面の簡単な説明

- [0014] [図1]実施の形態の検査システムの構成を示す図である。  
[図2]検査システムにおける検査処理の概要を示すフローチャートである。  
[図3]荷電粒子ビーム装置の構成を示す図である。  
[図4]ウェハステージ及びサブステージの外観斜視図である。  
[図5]サブステージの外観斜視図である。  
[図6]ホルダの外観斜視図である。  
[図7]キャリアの構造例を示す図である。  
[図8]形成された試料片の構造を模式的に示す図である。  
[図9]試料片をキャリアに移設する処理を説明する図である。

[図10]荷電粒子ビーム装置が第1動作を行う際の処理を示すフローチャートである。

[図11]断面自動サンプリング時のサブステージ、ホルダ及びキャリアの外観を示す図である。

[図12]断面自動サンプリングする際の移設処理を示すフローチャートである。

[図13]平面自動サンプリング時のサブステージ、ホルダ及びキャリアの外観を示す図である。

[図14]平面自動サンプリングする際の移設処理を示すフローチャートである。

[図15]仕上げ処理にて第1方式を行う場合の第2動作の処理を示すフローチャートである。

[図16]仕上げ処理にて第2方式を行う場合の第2動作の処理を示すフローチャートである。

[図17]仕上げ処理の第1処理のときのイオンビームと試料片との関係を模式的に示す図である。

[図18]仕上げ処理の第1処理を説明するフローチャートである。

[図19]試料片の観察面の外観を模式的に示す図である。

[図20]仕上げ処理の第2処理を行う場合のサブステージ、ホルダ、及びホルダに装着されたキャリアの外観を模式的に示す図である。

[図21]仕上げ処理の第2処理のときのイオンビームと試料片との関係を模式的に示す図である。

[図22]姿勢制御自動サンプリング時の試料片とニードルとの位置関係を模式的に示す図である。

[図23]姿勢制御自動サンプリング時のサブステージ、ホルダ及びキャリアの外観を模式的に示す図である。

[図24]姿勢制御自動サンプリング時の移設処理を示すフローチャートである。

## 発明を実施するための形態

[0015] 以下、図面を参照しながら本開示の実施の形態を詳細に説明する。図面において、同一部には原則として同一符号を付し、繰り返しの説明を省略する。図面において、構成要素の表現は、発明の理解を容易にするために、実際の位置、大きさ、形状、および範囲等を表していない場合がある。

[0016] 説明上、プログラムによる処理について説明する場合に、プログラムや機能や処理部等を主体として説明する場合があるが、それらについてのハードウェアとしての主体は、プロセッサ、あるいはそのプロセッサ等で構成されるコントローラ、装置、計算機、システム等である。計算機は、プロセッサによって、適宜にメモリや通信インタフェース等の資源を用いながら、メモリ上に読み出されたプログラムに従った処理を実行する。これにより、所定の機能や処理部等が実現される。プロセッサは、例えばCPUやGPU等の半導体デバイス等で構成される。プロセッサは、所定の演算が可能な装置や回路で構成される。処理は、ソフトウェアプログラム処理に限らず、専用回路でも実装可能である。専用回路は、FPGA、ASIC、CPLD等が適用可能である。

[0017] プログラムは、対象計算機に予めデータとしてインストールされていてもよいし、プログラムソースから対象計算機にデータとして配布されてもよい。プログラムソースは、通信網上のプログラム配布サーバでもよいし、非一過性のコンピュータ読み取り可能な記憶媒体（例えばメモリカード）でもよい。プログラムは、複数のモジュールから構成されてもよい。コンピュータシステムは、複数台の装置によって構成されてもよい。コンピュータシステムは、クラウドコンピューティングシステムやIoTシステム等で構成されてもよい。各種のデータや情報は、例えばテーブルやリスト等の構造で構成されるが、これに限定されない。

[0018] <実施の形態>

[システム全体構成]

以下に図面を参照して、本開示の実施の形態の荷電粒子ビーム装置及び荷



電粒子ビーム装置を備える検査システムについて説明する。図1は、実施の形態の検査システム1の概略構成を示す模式図である。

[0019] 検査システム1は、試料片作製機構1a、試料片観察機構及1c及び制御機構として上位制御部101などを備えている。図1に示されるように、試料片作製機構及1aとしては、荷電粒子ビーム装置10がある。試料片作製機構1aとしての荷電粒子ビーム装置10は、例えばFIB-SEM装置である。試料片観察機構1cとしては、例えばTEM装置等の試料片観察装置30である。

[0020] 制御機構としての上位制御部101は、例えばそれぞれの装置ごとに備えられる制御部である各コントローラを制御する。各装置のコントローラは、自装置の情報を管理し、自装置の処理動作を制御する。これらのコントローラは、各装置に内蔵されてもよいし、外部接続されてもよい。各装置のコントローラ間では、適宜に相互に通信が行われてもよい。装置ごとのコントローラが、相互に通信で連携しながら、それぞれ対応する装置を制御する構成としてもよい。

[0021] 検査システム1は、半導体製造工場の製造管理システム150から、検査指示や検査対象箇所情報を受信する。検査システム1は、半導体製造工場の半導体製造ライン1dから、検査対象の試料であるウェハ3を搬送によって受け取る。荷電粒子ビーム装置10には、搬送されたウェハ3がセットされる。半導体製造ライン1dと検査システム1の荷電粒子ビーム装置10の間では、所定の搬送機構によって、ウェハ3が搬送される。例えば、ウェハ3が格納された容器であるFOUPが、自動搬送システムまたは作業者の手動搬送によって搬送される。

[0022] 荷電粒子ビーム装置10であるFIB-SEM装置は、搬送されたウェハ3の指定された箇所（サイト）を薄片化加工することで、試料片4を形成・作製する。荷電粒子ビーム装置10は、形成・作製された試料片4をウェハ3から取り出して、キャリア（LC：Lamella Carrier）5へ移設する。試料片観察装置30であるTEM装置は、キャリア5上の試料片4の断面または

平面を観察、解析し、結果であるデータ9などを生成、出力する。

[0023] 検査システム1の各装置の間では、上位制御部101を介して、各種のデータ・情報が適宜に通信で授受される。各種のデータ・情報は、例えば、ウェハ3面における検査対象位置を示すデータ、試料片4の作成に成功した位置を示すデータ、キャリア5に搭載されている試料片4の位置を示すデータなどがある。また、検査結果のデータ9には、ビームが照射された試料片4から発生した二次電子などに関する検出信号、検出信号から得られた画像、画像を処理した結果得られたデータ、試料片4から発生したX線に関するデータなどがある。

[0024] 検査システム1は、指定されたウェハ3の指定された位置に試料片4を作製し、その試料片4を指定されたキャリア5上の指定された位置に移設するといった処理動作を、各装置の分担で行い、制御上、そのような処理動作、状態、位置などの情報を把握している。そして、検査システム1は、試料片4の検査結果をデータ9として出力する。

[0025] 荷電粒子ビーム装置10と試料片観察装置30の間では、搬送機構90によって、試料片4が搬送される。例えば、試料片4が移設されたキャリア5が、自動搬送システムによって搬送される。また、荷電粒子ビーム装置10から半導体製造ライン1dへ、図示しない搬送機構によって、ウェハ3を搬送して戻すことも可能である。各種の搬送時には、FOUPやキャリア5等が用いられる。FOUPは、窒素などの不活性ガスが充填された容器であり、その容器内部にウェハ3などを出し入れして保管が可能である。

[0026] 尚、実施の形態で用いられるウェハ3は、p型またはn型の不純物領域が形成された半導体基板、半導体基板上に形成されたトランジスタ等の半導体素子、および半導体素子上に形成された配線層等で構成されている。試料片4は、ウェハ3の一部に形成され、取り出される部分である。よって、試料片4は、ウェハ3の半導体基板、半導体素子、配線層等の構造を同様に含んでいる。また、実施の形態では、主に半導体製造ラインで用いられるウェハ3の試料片4の検査を対象とするが、これに限らず、試料は、半導体技術以

外で用いられる構造体としてもよい。

[0027] [検査システムの処理フロー]

図2は、検査システム1の処理フローを説明するフローチャートである。図2のフローチャートに示される各処理は、上位制御部101によって自動的に実行及び制御されることが好ましいが、一部を部分的に手動で制御されることも可能である。例えば、以下に示される各ステップでは、装置の処理の開始時に作業者が開始ボタンを押してもよい。

[0028] ステップS101では、半導体製造ライン1dから、搬送機構を通じて、検査対象、すなわち、断面解析又は表面解析を行いたいウェハ3が格納されたFOUPが荷電粒子ビーム装置10に搬送される。荷電粒子ビーム装置10は、FOUPを受け取り、ステージ上にウェハ3を設置する。また、この際、荷電粒子ビーム装置10の上位制御部101は、製造管理システム150から、ウェハ3の検査対象箇所情報や検査指示などのデータ・情報を取得する。

[0029] ステップS102で、上位制御部101は、荷電粒子ビーム装置10が備えるFIB-SEM装置に、ウェハ3に1つ以上の試料片4を形成・作製する薄片化加工の処理動作を行わせる。荷電粒子ビーム装置10は、製造管理システム150から受信した情報に基づいて、ステージ移動によって、ウェハ3の検査対象位置（サイト）に視野を位置付ける。そして、荷電粒子ビーム装置10は、その検査対象位置にFIBであるビームを照射することで、試料片4を形成する。

[0030] ステップS103では、上位制御部101は、荷電粒子ビーム装置10に、ウェハ3に形成された試料片4をキャリア5上に移設させる移設処理を行わせる。ステップS104では、上位制御部101は、搬送機構90に、試料片4が搭載されているキャリア5を、荷電粒子ビーム装置10から試料片観察装置30へ搬送させる搬送処理を行わせる。ステップS105では、上位制御部101は、試料片観察装置30が備えるTEM装置に、TEM像による断面観察又は平面観察を行わせる。断面観察又は平面観察によって行わ

れた解析・検査の結果は、データ9として記憶および出力される。

[0031] [荷電粒子ビーム装置の構成]

図3は、荷電粒子ビーム装置10の構成の概略を示す模式図である。荷電粒子ビーム装置10は、試料室20、イオンビームカラム11、イオンビームカラム制御器131、電子ビームカラム12、電子ビームカラム制御器132、ウェハステージ21、ウェハステージ制御器133、サブステージ22、サブステージ制御器134、ニードル112、ニードル制御器142等を備えている。また、荷電粒子ビーム装置10は、荷電粒子検出器109、検出器制御器136、試料室制御器137、統合制御部130、コンピュータシステム100等を備えている。

[0032] 尚、荷電粒子ビーム装置10は、図示しないウェハロード機構等を備える。ウェハロード機構は、FOUP内のウェハ3を試料室20内にロードしたり、試料室20内のウェハ3をFOUP内にアンロードしたりする機構である。

[0033] 試料室20には、イオンビームカラム11、電子ビームカラム12、ウェハステージ21、サブステージ22及びニードル112等が搭載されている。

[0034] イオンビームカラム11は、光軸OA1（一点鎖線で示す）が鉛直方向に沿って配置されている。電子ビームカラム12は、光軸OA2（一点鎖線で示す）が、イオンビームカラム11の光軸OA1に対し傾斜した方向に沿って配置されている。イオンビームカラム11からはクロスポイントCP1に向かってFIBであるイオンビームb11が照射され、電子ビームカラム12からはクロスポイントCP1に向かって電子ビームb12が照射される。イオンビームカラム11から出射されるイオンビームb11と、電子ビームカラム12から出射される電子ビームb12とは、それぞれの光軸の交点であるクロスポイントCP1にフォーカスされる。本例では、イオンビームカラム11の光軸に対し電子ビームカラム12の光軸が傾斜して配置されているが、このような構成に限定されない。

- [0035] イオンビームカラム11は、イオンビームb11を発生させるイオン源11a、イオンビームb11を集束させるレンズ11b, 11c、対物レンズ11d、イオンビームb11を走査などするための偏向器11e等の、FIB装置として必要な構成要素を含む。すなわち、イオンビームカラム11は、荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム鏡筒である。
- [0036] 電子ビームカラム12は、電子ビームb12を発生させる電子源12a、電子ビームb12を集束させるレンズ12b, 12c、対物レンズ12d、電子ビームb12を走査などするための偏向器12e等の、SEM装置として必要な構成要素を含む。すなわち、電子ビームカラム12は、荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム鏡筒である。
- [0037] ウェハステージ21は、試料であるウェハ3を載置可能な移動ステージである。サブステージ22は、試料片4またはキャリア5を載置可能な移動ステージである。尚、ウェハステージ21及びサブステージ22の詳細については、後述する。ウェハステージ21、サブステージ22等は、平面移動や回転移動が可能である。統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を介してウェハステージ21の移動を制御することで、ウェハ3面における対象箇所（例えば試料片4を形成する箇所）に対しビームを照射できるように位置付ける。統合制御部130は、サブステージ制御器134を介してサブステージ22の移動を制御することで、サブステージ22に搭載されたキャリア5の姿勢を制御する。
- [0038] 荷電粒子検出器109は、イオンビームb11が試料に照射された際に発生する荷電粒子、及び、電子ビームb12が試料に照射された際に発生する荷電粒子を検出信号として検出する。検出器制御器136は、荷電粒子検出器109の検出信号を演算処理して画像にする。検出器制御器136は、回路またはプログラム処理により実現される演算処理部を備える。
- [0039] 尚、試料室20には、他の種類の検出器として、試料から発生する後方散乱電子を検出するX線検出器及び後方散乱電子検出器などを備えてもよい。
- [0040] ニードル112は、クロスポイントCP1に到達可能に試料室20の内部

に設けられている。ニードル112は、ニードル制御器142によって制御されて駆動されることにより、ウェハ3から分離して摘出（リフトアウト）された試料片4を保持し、試料片4をキャリア5に搬送し移設する試料片移設機構として機能する。また、ニードル112は、平面移動、垂直移動及び回転移動を行うことができるので、ニードル112が試料片4を保持している場合、試料片4の姿勢を自由に変更させることが可能である。

[0041] 試料室20には、他の構成要素として、図示しないが、エッチングやデポジションの加工のために用いるガスを供給するガス供給ユニットなどを備える。試料室20の真空度は、試料室制御器137によって制御されている。試料室20は、振動を防止するために、防振台201上に設けられていてもよい。また、試料室20の内部には、上記の各構成の他に、更に、真空排気するための減圧装置、コールドトラップ又は光学顕微鏡などが設けられてもよい。

[0042] なお、荷電粒子ビーム装置10として、上記のようなFIB-SEM装置に限らず、SEM機構を備えないFIB装置を適用してもよいし、SEM機構の代わりに光学顕微鏡を備えたFIB装置などを適用してもよい。

[0043] 統合制御部130は、荷電粒子ビーム装置10の全体および各部を制御する。統合制御部130は、ウェハステージ制御器133、サブステージ制御器134等の各部の制御器と電氣的に接続されており、互いに通信可能である。統合制御部130は、各部の制御器等を制御信号によって制御する。複数の制御器は1つの制御器としてまとめられてもよい。各制御器は、コンピュータシステムや専用回路などで実装されてもよい。統合制御部130には、コンピュータシステム100が接続されている。統合制御部130は、コンピュータシステム100からの指示等に従って、荷電粒子ビーム装置10の全体および各部の動作を制御する。

[0044] コンピュータシステム100は、荷電粒子ビーム装置10を使用するユーザに対し、GUIを含むユーザインタフェースを提供し、ユーザによる各種の指示や設定等の入力を受け付ける。コンピュータシステム100には、入

カデバイス162や出力デバイス161、記憶装置などが、内蔵または外部接続されている。入力デバイス162は、キーボード、マウス、タッチパネル、マイク等が挙げられる。出力デバイス161は、ディスプレイ、プリンタ、スピーカ、ランプ等が挙げられる。ディスプレイには、GUIを伴う画面などが表示される。画面には、荷電粒子ビーム装置10で撮像した画像、設定情報、ユーザ指示情報等が表示される。

[0045] 作業者等のユーザは、ディスプレイに表示される画面で、各種の情報や画像等を確認できる。ユーザは、画面に対し、キーボード等を用いて各種の指示や設定等を入力する。コンピュータシステム100は、入力された指示や設定等に基づいて、統合制御部130に指示等を送信する。尚、統合制御部130とコンピュータシステム100とが一体化された構成としてもよい。

[0046] [ウェハステージ21及びサブステージ22]

図4(A)、図4(B)は、試料室20内に設けられたウェハステージ21及びサブステージ22の外観斜視図である。図4(A)は後述するT軸を中心とした回転角度が0°の場合を示し、図4(B)はT軸を中心とした回転角度が20°の場合を示している。

[0047] 以下、図4に示されるように、x軸、y軸及びz軸からなる直交座標系を用いて説明を行う。z軸は鉛直方向に沿って設定され、z軸+側に試料室20の上方、すなわち荷電粒子ビーム装置10の上方が位置する。x軸はz軸と直交する方向に設定され、y軸は、x軸及びz軸と直交する方向に設定される。直交座標系が設定されることにより、上述したイオンビームカラム11は、z軸+側からz軸-側に向けてイオンビームb11を照射する、ということが出来る。すなわち、イオンビームカラム11の光軸OA1は、z軸と平行である。また、電子ビームカラム12は、z軸+側かつy軸+側から、z軸-側かつy軸-側に向けて電子ビームb12を照射する。すなわち、電子ビームカラム12の光軸OA2は、xy平面に対して傾斜する。ウェハステージ21及びサブステージ22は、上記の方向に照射されるイオンビームb11及び電子ビームb12によって加工、観察が可能となるように、ウ

ェハステージ制御器 133 又はサブステージ制御器 134 によって姿勢が制御される。

[0048] [ウェハステージ 21]

ウェハステージ 21 は、ウェハ 3 を載置して移動可能に構成されている。具体的には、ウェハステージ 21 は、x ベース 210、y ベース 211、z ベース 212、回転ベース 213 及び支持機構 214 を有する。x ベース 210、y ベース 211、z ベース 212 及び回転ベース 213 は、図 4 (A) に示されるように、後述する T 軸の回転角度が  $0^\circ$  のとき、下方側、すなわち z 軸一側から上記の順序で試料室 20 内に設けられる。

[0049] x ベース 210 は、y 軸方向に延びる長辺を有する板状の部材である。x ベース 210 の下方側には、例えばモータ、ボールねじ及び x 軸に沿って延びるガイド部材等を有する x 軸駆動機構 215 が設けられる。x 軸駆動機構 215 のモータが駆動するとボールねじが回転して、x ベース 210 は第 1 方向である x 軸に沿って移動する。x ベース 210 が x 軸に沿って移動すると、x ベース 210 の上方側に設けられた y ベース 211、z ベース 212 及び回転ベース 213 も x ベース 210 と共に第 1 方向である x 軸に沿って移動する。

[0050] x 軸駆動機構 215 は、ウェハステージ制御器 133 を介して統合制御部 130 によって駆動が制御される。x 軸駆動機構 215 による x ベース 210 の移動は、例えばエンコーダ制御やリニアスケール制御等により制御され、x ベース 210 は高精度に位置決めされる。尚、x ベース 210 が移動可能な範囲は、例えば 300 mm サイズのウェハ 3 が収まる 0 ~ 327 mm である。また、x ベース 210 の上面には、y ベース 211 を移動させる y 軸駆動機構 216 が設けられる。

[0051] y ベース 211 は板状の部材であり、x ベース 210 の上面側に設けられる。より具体的には、y ベース 211 は、x ベース 210 の上面に設けられた y 軸駆動機構 216 上に設けられる。y 軸駆動機構 216 は、例えばモータ、ボールねじ及び x 軸と交差（直交）する第 2 方向に沿って延びるガイド



部材等を有する。第2方向は、後述するT軸の回転角度が $0^\circ$ （図4（A）参照）のときのy軸方向である。y軸駆動機構216のモータが駆動するとボールねじが回転して、yベース211は第2方向に沿って移動する。yベース211が第2方向に沿って移動すると、yベース211の上方側に設けられたzベース212及び回転ベース213もyベース211と共に第2方向に沿って移動する。すなわち、yベース211は、第1方向及び第2方向に移動可能である。

[0052] y軸駆動機構216は、ウェハステージ制御器133を介して統合制御部130によって駆動が制御される。y軸駆動機構216によるyベース211の移動は、例えばエンコーダ制御やリニアスケール制御等により制御され、yベース211は高精度に位置決めされる。尚、yベース211が移動可能な範囲は、例えば300mmサイズのウェハ3が収まる0~327mmである。また、yベース211の上面側には、zベース212を移動させるz軸駆動機構217が設けられる。

[0053] zベース212は板状の部材であり、yベース211に対して上面側に設けられる。より具体的には、zベース212は、yベース211の上面に設けられたz軸駆動機構217上に設けられる。z軸駆動機構217は、例えばモータ、ボールねじ及びx軸に沿って延び、yベース211に対して傾斜を有する楔形状のガイド部材等を有する。z軸駆動機構217のモータが駆動するとボールねじが回転して、zベース212は楔形状のガイド部材の斜面に沿って移動する。この結果、zベース212はyベース211に対して直交する方向、すなわち第1方向及び第2方向と直交する第3方向に沿って移動する。すなわち、zベース212は、第1方向、第2方向及び第3方向に移動可能である。第3方向は、後述するT軸の回転角度が $0^\circ$ （図4（A）参照）のときのz軸方向である。zベース212が第3方向に沿って移動すると、zベース212の上方側に設けられた回転ベース213もzベース212と共に第3方向に沿って移動する。すなわち、図4（A）に示されるように、T軸を中心とした回転角度が $0^\circ$ の場合、zベース212はz軸に

沿って移動し、この移動に伴って、回転ベース 213 も z 軸に沿って移動する。

[0054] z 軸駆動機構 217 は、ウェハステージ制御器 133 を介して統合制御部 130 によって駆動が制御される。z 軸駆動機構 217 による z ベース 212 の移動は、例えばエンコーダ制御やリニアスケール制御等により制御され、z ベース 212 は高精度に位置決めされる。

[0055] 回転ベース 213 は z ベース 212 上に設けられる。回転ベース 213 は、ウェハ 3 が載置される載置台であり、z ベース 212 と交差（直交）する第 1 軸である R 軸を中心として回転可能に配置される。第 1 軸である R 軸は、後述する T 軸の回転角度が  $0^\circ$ （図 4（A）参照）のとき、z 軸と平行である。回転ベース 213 は、ウェハステージ制御器 133 を介して統合制御部 130 によって駆動が制御される駆動機構によって回転される。この場合、例えば超音波モータでセラミックリングが回転されることによって、回転ベース 213 は回転されるとともに、高精度に回転方向の位置決めが可能である。回転ベース 213 は静電チャックを有する。ウェハ 3 は、静電チャックの静電気力にて吸着されることにより回転ベース 213 上に載置される。

[0056] 支持機構 214 は、試料室 20 が有する x 軸と交差する 2 つの側壁にギヤ等を介して回転可能に保持される。支持機構 214 は、試料室 20 の 2 つの側面に設けられたギヤが同期して駆動することにより、x 軸に平行な第 2 軸である T 軸を中心として回転する。支持機構 214 は、x ベース 210 の下面側に設けられた x 軸駆動機構 215 を支持することにより、その上方に設けられた x ベース 210、y ベース 211、z ベース 212 及び回転ベース 213 を一体的に支持する。このため、支持機構 214 が T 軸を中心として回転することにより、例えば図 4（B）に示されるように、ウェハ 3 が載置される回転ベース 213 を x y 平面に対して傾斜させることが可能となる。換言すると、T 軸は、ウェハ 3 が載置されるウェハステージ 21 を x y 平面に対して傾斜させる傾斜軸である。

[0057] [サブステージ 22]

サブステージ22は、後述するホルダ6が着脱可能に装着され、ウェハステージ21と独立して移動可能な試料片ホルダ用ステージである。具体的には、図4(A)、図4(B)に示されるように、サブステージ22は、上述したウェハステージ21のzベース212上に設けられる。このため、上述したようにウェハステージ21が第1方向軸、第2方向、第3方向に沿って移動すると、サブステージ22もウェハステージ21と共に第1方向、第2方向、第3方向に沿って移動する。また、ウェハステージ21がT軸を中心に回転しxy平面に対して傾斜すると、サブステージ22もウェハステージ21と共にT軸を中心に回転しxy平面に対して傾斜する。

[0058] 図5は、サブステージ22の外観斜視図である。尚、図5は、上述したT軸の回転角度が0°の場合のサブステージ22を示している。サブステージ22は、キャリア5が搭載されるホルダ6が着脱可能に装着(ロード)される装着部221と、装着部221を支持する装着支持部222と、傾斜機構223とを有する。装着部221は、不図示の載置面を有し、この載置面上に搬送機構90により搬送されたホルダ6が載置され、装着される。装着支持部222は、zベース212と交差(直交)する第3軸であるθ軸を中心に回転可能にzベース212に取り付けられる。装着支持部222は、サブステージ制御器134により制御される駆動機構によって回転される。

[0059] 傾斜機構223は、装着部221に固定されたアーム部材であり、一方側の端部でθ軸と交差(直交)する第4軸であるF軸を中心として回転可能に装着支持部222に取り付けられ、他方側の端部にギヤが形成されている。このため、傾斜機構223は、サブステージ制御器134により制御された駆動機構の駆動力がギヤを介して伝達されると、F軸を中心として回転する。傾斜機構223の回転に伴って、傾斜機構223に固定された装着部221がF軸を中心として回転する。この結果、装着部221及びホルダ6は、zベース212と平行な面に対して傾斜する。

[0060] また、サブステージ制御器134により制御された駆動機構の駆動力によって装着支持部222がθ軸を中心として回転すると、装着支持部222の

回転とともに傾斜機構 2 2 3 及び装着部 2 2 1 は、 $\theta$  軸を中心として回転する。この結果、装着部 2 2 1 は、 $z$  ベース 2 1 2 と平行な面内で、 $z$  ベース 2 1 2 と直交する軸を中心に回転する。尚、図 5 においては、 $\theta$  軸と  $z$  軸とが平行であり、 $F$  軸と  $y$  軸と平行である場合が図示されている。

[0061] サブステージ 2 2 が上記の構成を有することにより、サブステージ 2 2 は、ウェハステージ 2 1 に対して独立して  $\theta$  軸を中心として移動（回転）し  $F$  軸を中心として移動（傾斜）する。これにより、ホルダ 6 及びホルダ 6 に搭載されたキャリア 5 もウェハステージ 2 1 に対して独立して  $\theta$  軸を中心として回転し、 $F$  軸を中心として傾斜することができる。尚、装着部 2 2 1 に取り付けられたホルダ 6 に搭載されたキャリア 5 と回転ベース 2 1 3 に載置されたウェハ 3 は、高さ、すなわち  $z$  ベース 2 1 2 からの第 3 方向に沿う距離が等しくなるように設計されている。

[0062] [ホルダ 6]

ホルダ 6 は、複数のキャリア 5 を搭載する試料片ホルダであり、試料片ホルダ用ステージであるサブステージ 2 2 に着脱可能に取り付けられる。図 6 は、ホルダ 6 の外観斜視図である。ホルダ 6 は柱状形状を有する。以下、図 6 に示されるように、 $u$  軸、 $v$  軸、 $w$  軸からなる直交座標系を用いて説明を行う。 $u$  軸は、ホルダ 6 の長手方向に沿って設定された軸である。 $v$  軸は、 $u$  軸に直交し、ホルダ 6 の短手方向に沿って設定された軸である。 $w$  軸は、 $u$  軸及び  $v$  軸に直交し、ホルダ 6 の高さ方向に沿って設定された軸である。

[0063] ホルダ 6 の  $w$  軸+側の面 6 0 a には、搭載されたキャリア 5 を保持するためのキャリア保持部 6 1 が設けられる。キャリア保持部 6 1 は板状の部材であり、 $w$  軸-側に設けられたコイルスプリング等の付勢部 6 2 によって  $w$  軸-方向へ向かう付勢力が付与される。キャリア保持部 6 1 の  $w$  軸-側の面と、面 6 0 a との間にキャリア 5 が挟まれることにより、キャリア 5 がホルダ 6 に搭載される。図 6 に示されるように、キャリア保持部 6 1 に保持されて搭載されたキャリア 5 は、ホルダ 6 の  $v$  軸+側の面 6 0 b よりも  $v$  軸+側に突出する。尚、図 6 においては、ホルダ 6 が 4 個のキャリア保持部 6 1 を有

する場合が示されているが、キャリア保持部 6 1 の個数は 3 個以下の複数でもよいし、5 個以上でもよい。

[0064] ホルダ 6 は、上述したサブステージ 2 2 の装着部 2 2 1 に装着される。上述したように、ホルダ 6 が装着される装着部 2 2 1 は傾斜機構 2 2 3 に固定されていることから、ホルダ 6 は、傾斜機構 2 2 3 と独立してサブステージ 2 2 に着脱可能に装着される、とすることができる。

[0065] 尚、上述したサブステージ 2 2 に取り付けられたホルダ 6 の面 6 0 a が z 軸 + 側にて z ベース 2 1 2 に平行のとき、サブステージ 2 2 の F 軸の回転角度を  $0^\circ$  とする。また、サブステージ 2 2 に取り付けられたホルダ 6 の u 軸の + 方向及び - 方向と y 軸の + 方向及び - 方向とがそれぞれ一致するときのサブステージ 2 2 の  $\theta$  軸の回転角度を  $0^\circ$  とする。従って、上述した図 5 は、サブステージ 2 2 の  $\theta$  軸の回転角度が  $0^\circ$ 、F 軸の回転角度が  $90^\circ$  の場合を示している。

[0066] [キャリア 5]

図 7 は、キャリア 5 の構造例を示す図である。このキャリア 5 は、ラメラグリッド、TEMメッシュ等と呼ばれる場合もある。このキャリア 5 は、ハーフムーン型の基体 5 0 と、基体 5 0 の表面内にて直線部 5 1 から突出した複数のピラー 5 3 とを含む。各ピラー 5 3 は、試料片 4 が搭載・保持できる構造を有する試料片支持部である。

[0067] ピラー 5 3 が設けられていない基体 5 0 の両端部（キャリア 5 の上面の平面視では円周部）には、基体 5 0 を貫通する穴によって構成されるマーク 5 5 が設けられている。マーク 5 5 は、互いに異なる形状のマークとして設けられており、ここでは円形状および三角形状のマーク 5 5 が例示されている。マーク 5 5 によりキャリア 5 の前後の識別が容易になる。また、試料片 4 をどのピラー 5 3 の位置に移設するかを決定する際に、マーク 5 5 を基準として所望のピラー 5 3 を探すことができ、移設位置の特定が容易になる。

[0068] [荷電粒子ビーム装置の動作]

上記の構成を有する荷電粒子ビーム装置 1 0 の動作について説明する。荷

電粒子ビーム装置 10 は、ウェハ 3 から試料片 4 の形成・作製及び移設（サンプリング）を行い、サンプリングされた試料片 4 を観察する第 1 動作と、サンプリングされた試料片 4 に対して仕上げ加工を行う第 2 動作と、試料片 4 のサンプリングのみが行われる第 3 動作との何れかの動作を行う。以下、第 1 動作、第 2 動作及び第 3 動作のそれぞれについて説明を行う。

[0069] [第 1 動作]

荷電粒子ビーム装置 10 は、第 1 動作として、準備処理が行われた後、作製・観察方法に含まれる加工処理と、移設処理と、観察処理とが行われる。

[0070] [準備処理]

統合制御部 130 は、試料片 4 を形成・作製する処理のための事前準備としての準備処理を行う。この準備処理は、上述した図 2 に示されるステップ S101 に対応する処理である。具体的には、ウェハステージ 21 の回転ベース 213 上にウェハ 3 がロードされ、キャリア 5 が装着されたホルダ 6 がサブステージ 22 にロードされる。イオンビームカラム 11 及び電子ビームカラム 12 からそれぞれ照射されるイオンビーム b11 及び電子ビーム b12 の調整が行われる。

[0071] 統合制御部 130 は、ウェハステージ制御器 133 を制御して、ウェハステージ 21 の x 軸、y 軸、z 軸、T 軸及び R 軸の位置を調整させて、ウェハ 3 の位置のアライメントを行う。そして、統合制御部 130 は、上位制御部 101 から、ウェハ 3 上にて試料片 4 が形成・作製される位置を示す位置データを入力する。統合制御部 130 は、入力された位置データに基づいて、ウェハステージ制御器 133 を制御してウェハステージ 21 を移動させ、形成・作製される試料片 4 を上記のクロスポイント CP1 に位置させる。

[0072] [加工処理]

上記の準備処理が終了すると、統合制御部 130 は、ウェハ 3 を加工して、試料片 4 を形成する加工処理を行う。この加工処理は、上述した図 2 に示されるステップ S102 に対応する処理である。

[0073] 図 8 は、加工処理により形成・作製される試料片 4 の構造を模式的に示す

図である。図8は、ウェハ3の断面構造を観察（断面観察）する際に形成・作製される試料片4を示している。この場合、試料片4は、y軸方向の幅がx軸方向及びz軸方向の幅よりも薄い薄片である。この場合、ウェハ3の断面が、試料片4の後述する観察面40となる。尚、ウェハ3の平面構造を観察（平面観察）するための試料片4が形成・作製される場合には、試料片4は、z軸方向の幅がx軸方向及びy軸方向の幅よりも薄い薄片とすればよい。この場合、ウェハ3の平面が試料片4の後述する観察面となる。

[0074] ウェハ3には試料片4の形状に基づいて保護膜が形成される。この場合、ウェハ3上にイオンビームカラム11からイオンビームb11を照射して試料片4が形成・作製される位置が観察された状態で、例えばカーボンガス等の保護膜材料を流し込むことにより、ウェハ3の表面に保護膜が形成される。イオンビームカラム11は、保護膜よりも外側のウェハ3へイオンビームb11を照射し、ウェハ3の一部をエッチング加工する。これにより、試料片4が形成・作製される。

[0075] この結果、加工処理では、ウェハ3にイオンビームb11が照射されることによって、ウェハ3の平面又は断面を観察面とする試料片4が加工される。尚、この時点で、試料片4は、接続箇所4aによってウェハ3と接続されている。換言すると、この時点では、試料片4は、接続箇所4a及びウェハ3は一体化しており、後述するように、ニードル112によってキャリア5に移設される際に、試料片4は接続箇所4aから分離する。

[0076] [移設処理]

移設処理では、加工処理にて加工された試料片4に試料片移設機構であるニードル112が取り付けられることにより試料片4がウェハ3から摘出及び分離（リフトアウト）される。そして、リフトアウトされた試料片4は、サブステージ22に装着されたホルダ6上のキャリア5に、試料片4の観察面40がキャリア5の表面と平行になるように取り付けられる。この処理は、図2に示されるステップS103に対応する処理であり、自動マイクロサンプリング方式により行われる。

[0077] 図9は、移設処理を説明する説明図である。まず、図9(A)に示されるように、ニードル112は、ニードル制御器142によって制御され、試料片4に接近(アプローチ)する。試料室20内でデポジション加工が行われることにより、ニードル112が試料片4の一部に接着される。尚、図に示されるように、ニードル112は、接続箇所4aに対して反対側の試料片4の側面4bに接着される。イオンビームカラム11は、試料片4とウェハ3とを接続している接続箇所4aにイオンビームb11を照射してエッチング加工する。これにより、試料片4はウェハ3から切断され、摘出され、分離される。

[0078] 次に、図9(B)に示されるように、ニードル112によって保持されている試料片4は、ニードル制御器142に制御されたニードル112の移動によりキャリア5上のピラー53の位置に移動される。上述したように、キャリア5はサブステージ22に取り付けられたホルダ6に装着されているため、キャリア5はウェハ3とは異なる位置に置かれている。また、断面観察を行う場合には、サブステージ22は、F軸及びθ軸の回転角度が何れも90°の位置に駆動される。平面観察を行う場合には、サブステージ22は、F軸及びθ軸の角度がそれぞれ0°及び90°の位置に駆動される。そして、ニードル制御器142によりニードル112の移動が制御され、試料片4がピラー53の位置に接近する。尚、試料片4のキャリア5への移設における各部の動作については、詳細を後述する。

[0079] 図9(C)に示されるように、試料片4がニードル112と接続している側面4bとは反対側の側面4cは、ピラー53に近接している。この側面4cの近傍にデポジション加工が行われることにより、ピラー53と試料片4とが接着される。このとき、ウェハ3の断面又は平面である試料片4の観察面40は、キャリア5の表面と平行となるように取り付けられる。そして、イオンビームカラム11は、側面4bの試料片4とニードル112とが接続している箇所にイオンビームb11を照射してエッチング加工する。これにより、試料片4はニードル112から切断される。



[0080] 尚、図9においては、1つのピラー53の1つの試料片4が支持されている場合が示されている。しかし、ピラー53を高くした構造とすることにより1つのピラー53に複数の試料片4が支持されてもよい。

[0081] [観察処理]

観察処理では、試料片4の観察面40が電子ビームb12に照射されて観察可能となるようにサブステージ22が $\theta$ 軸の周りに回転される。試料片4の観察面40の観察が行われると、試料片4の観察面40の裏面が電子ビームb12に照射されて観察可能となるようにサブステージ22が $\theta$ 軸の周りに回転される。具体的には、移設処理により、キャリア5のピラー53に試料片4が支持されるように移設されると、電子ビームカラム12はピラー53に支持された試料片4の観察面40に電子ビームb12を照射する。例えば、断面観察を行う場合には、サブステージ22は、サブステージ制御器134により制御され、 $\theta$ 軸の回転角度が $90^\circ$ の位置に駆動されている。すなわち、キャリア5に移設された試料片4の観察面40が電子ビームカラム12と対向する。

[0082] 荷電粒子検出器109は、試料片4の観察面40から発生する荷電粒子を検出し、検出器制御器136は、検出された荷電粒子に含まれる検出信号を演算処理し、画像化する。この画像から、試料片4の観察面40の構造等を解析することが可能となる。また、荷電粒子ビーム装置10がX線検出器を有する場合には、X線検出器が試料片4の観察面40から発生するX線を検出し、試料片4の観察面40を構成する物質等を解析することもできる。

[0083] 上記のようにして観察された試料片4の観察面40とは反対側の裏面を観察する場合には、サブステージ22は、サブステージ制御器134により制御され、 $\theta$ 軸を中心に $180^\circ$ 回転された $\theta$ 軸の回転角度が $-90^\circ$ の位置に駆動される。すなわち、試料片4の裏面が電子ビームカラム12と対向する。そして、試料片4の観察面40が観察される場合と同様にして、試料片4の裏面に電子ビームb12が照射されて観察処理が行われる。尚、サブステージ22が、 $\theta$ 軸の回転角度が上記の $90^\circ$ 又は $-90^\circ$ の位置に駆動さ

れるのは一例である。θ軸の回転角度は、観察箇所に応じて任意の値とすることができる。

[0084] 荷電粒子ビーム装置10によって上記の処理動作が指定された試料片4の個数で行われた後、ウェハステージ21の回転ベース213からウェハ3が取り外し（アンロード）され、キャリア5が装着されたホルダ6がサブステージ22から取り外し（アンロード）される。

[0085] 図10は、荷電粒子ビーム装置10の動作フローを説明するフローチャートである。図10に示される各処理は、統合制御部130によって自動的に実行及び制御される。

[0086] ステップS201では、統合制御部130は、ウェハステージ21の回転ベース213上にウェハ3をロードし、キャリア5が搭載されたホルダ6をサブステージ22にロードさせる。ステップS202では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131及び電子ビームカラム制御器132を制御して、イオンビームカラム11及び電子ビームカラム12からそれぞれ照射されるイオンビームb11及び電子ビームb12の調整を行わせる。

[0087] ステップS203では、統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を制御して、ウェハステージ21を駆動させ、ウェハ3の位置をアライメントさせる。ステップS204では、統合制御部130は、上位制御部101から入力された位置データに基づいて、ウェハステージ制御器133を制御してウェハステージ21を移動させ、形成される試料片4をクロスポイントCP1に位置させる。上記のステップS201～S204までの処理が準備処理である。

[0088] ステップS205では、加工処理として、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11をウェハ3に照射させる。上述したように、イオンビームカラム11は、ウェハ3に形成された保護膜よりも外側のウェハ3へイオンビームb11を照射し、ウェハ3の一部をエッチング加工することにより試料片4が形成・作製される。

- [0089] ステップS206では、統合制御部130は、ニードル制御器142を制御して、ニードル112を試料片4に接近（アプローチ）させる。統合制御部130は、デポジション加工によりニードル112を試料片4の一部に接着させる。ステップS207では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11に接続箇所4aに対してイオンビームb11を照射させてエッチング加工させる。これにより、試料片4はウェハ3から切断される。ステップS208では、統合制御部130は、ニードル制御器142を制御して、ニードル112を移動させて、試料片4をウェハ3からリフトアウトする。
- [0090] ステップS209では、統合制御部130は、ニードル制御器142を制御して、ニードル112を移動させて、キャリア5上のピラー53の位置に移動させる。統合制御部130は、試料片4の側面4cの近傍にデポジション加工を行わせて、ピラー53と試料片4とを接着させる。そして、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11に試料片4とニードル112とが接続されている箇所4dにイオンビームb11を照射させてエッチング加工する。これにより、試料片4はニードル112から切断され、試料片4はピラー53、すなわちキャリア5に移設される。上述したステップS206～S209の処理が移設処理である。
- [0091] ステップS210では、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12にピラー53に支持された試料片4の観察面40に電子ビームb12を照射させる。そして、統合制御部130は、荷電粒子検出器109に、試料片4の観察面40から発生する荷電粒子を検出させ、荷電粒子に含まれる検出信号を演算処理し、画像化する観察処理を行う。
- [0092] ステップS211では、指定された個数の試料片4が形成・作製され、キャリア5に移設され、観察処理が行われたか否かが判定される。指定された個数の試料片4に対して各処理が行われた場合には、統合制御部130は肯

定判定を行い、処理はステップS 2 1 2へ進む。上記の各処理が行われた試料片4の個数が指定された個数に達していない場合には、統合制御部1 3 0は否定判定を行い、処理はステップS 2 0 4へ戻る。

[0093] ステップS 2 1 2では、統合制御部1 3 0は、ウェハステージ2 1の回転ベース2 1 3からウェハ3をアンロードさせ、キャリア5が装着されたホルダ6をサブステージ2 2からアンロードさせて、処理を終了する。

[0094] [移設処理の詳細]

上述した移設処理におけるステップS 2 0 9の詳細について説明する。断面観察を行う場合の移設処理（断面自動マイクロサンプリング）と、平面観察を行う場合の移設処理（平面自動サンプリング）とでは、サブステージ2 2のF軸及びθ軸の回転角度が異なる。以下、試料片4に対して断面自動サンプリングを行う場合と、平面自動サンプリングを行う場合とに分けて説明を行う。

[0095] [試料片を断面観察する場合の移設処理（断面自動サンプリング）]

図1 1は、サブステージ2 2、サブステージ2 2に取り付けられたホルダ6、及びホルダ6に装着されたキャリア5の外観を模式的に示す図である。図1 1（A）は、サブステージ2 2、ホルダ6及びキャリア5をz軸+側から見た外観であり、図1 1（B）は、サブステージ2 2、ホルダ6及びキャリア5をy軸+側から見た外観である。

[0096] 上述したように、断面観察を行う場合には、サブステージ2 2はF軸及びθ軸の回転角度が共に90°の位置に駆動される。このため、図1 1（A）、1 1（B）に示されるように、キャリア5の基体5 0の表面がz x面に平行でy軸+側を向き、ピラー5 3がz軸+側に向けて突出している。換言すると、キャリア5の基体5 0の表面は電子ビームカラム1 2に対向する。

[0097] この状態でイオンビームカラム1 1及び電子ビームカラム1 2は、それぞれイオンビームb 1 1及び電子ビームb 1 2をキャリア5に照射する。尚、イオンビームb 1 1及び電子ビームb 1 2が照射される間は、ニードル1 1 2は、イオンビームb 1 1及び電子ビームb 1 2による照射を受けない位置

、例えばz軸+側の退避位置に移動している。

[0098] イオンビームb 1 1の照射によって発生した荷電粒子は荷電粒子検出器1 0 9によって検出信号として検出され、検出信号は検出器制御器1 3 6によって画像化される。図1 1 (B)に示されるように、キャリア5はz軸+側からイオンビームb 1 1によって照射される。このため、検出器制御器1 3 6は、キャリア5をz軸+側から見た状態の画像(L C画像)を生成する。統合制御部1 3 0は、この画像を用いて、キャリア5のx y方向の位置ずれの有無を検出する。位置ずれがある場合には、ウェハステージ制御器1 3 3は、zベース2 1 2をx軸、y軸に移動させて、サブステージ2 2の位置ずれを調整する。

[0099] 電子ビームb 1 2の照射によって発生した荷電粒子は荷電粒子検出器1 0 9によって検出信号として検出され、検出信号は検出器制御器1 3 6によって画像化される。図1 1 (B)に示されるように、キャリア5はy軸+側から電子ビームb 1 2によって照射される。このため、検出器制御器1 3 6は、キャリア5をy軸+側から見た状態の画像(L C画像)を生成する。統合制御部1 3 0は、この画像を用いて、キャリア5のz x方向の位置ずれの有無を検出する。位置ずれがある場合には、ウェハステージ制御器1 3 3は、zベース2 1 2をx軸、z軸に移動させて、サブステージ2 2の位置ずれを調整する。

[0100] また、統合制御部1 3 0は、z軸+側から見た状態のL C画像と、y軸+側から見た状態のL C画像とに基づいて、試料片4を移設するピラー5 3の位置を判別する。ニードル制御器1 4 2は、L C画像に基づいて判別されたピラー5 3の近傍までニードル1 1 2を移動させる。このとき、統合制御部1 3 0は、ニードル1 1 2の退避位置の座標と、L C画像上で判別されたピラー5 3の位置の座標とに基づいて、ニードル1 1 2の移動量を算出する。ニードル制御器1 4 2は、算出された移動量にてニードル1 1 2を移動させる。

[0101] この状態でイオンビームカラム1 1及び電子ビームカラム1 2は、それぞれ

れイオンビーム b 1 1 及び電子ビーム b 1 2 をニードル 1 1 2 に接着された試料片 4 に照射する。イオンビーム b 1 1 の照射によって発生した荷電粒子は荷電粒子検出器 1 0 9 によって検出信号として検出され、検出信号は検出器制御器 1 3 6 によって画像化される。すなわち、試料片 4 及びニードル 1 1 2 を z 軸+側から見た状態の画像（ニードル画像）が生成される。統合制御部 1 3 0 は、この画像を用いて、試料片 4 の x y 方向の位置を特定する。

[0102] 電子ビーム b 1 2 の照射によって発生した荷電粒子は荷電粒子検出器 1 0 9 によって検出信号として検出され、検出信号は検出器制御器 1 3 6 によって画像化される。すなわち、試料片 4 及びニードル 1 1 2 を y 軸+側から見た状態の画像（ニードル画像）が生成される。統合制御部 1 3 0 は、この画像を用いて、試料片 4 の z x 方向の位置を特定する。

[0103] 統合制御部 1 3 0 は、ニードル画像に基づいて特定された試料片 4 の位置と、LC 画像に基づいて判別されたピラー 5 3 の位置とに基づいて、試料片 4 とピラー 5 3 との距離、すなわち試料片 4 の移動量を算出する。ニードル制御器 1 4 2 は、算出された移動量にてニードル 1 1 2 を移動させる。これにより、試料片 4 は、キャリア 5 のピラー 5 3 に接着可能な位置まで移動される。その後、上述したデポジション加工及び、ニードル 1 1 2 の試料片 4 からの切断が行われる。

[0104] 図 1 2 は、試料片 4 を断面自動サンプリングする場合に荷電粒子ビーム装置 1 0 が行う移設処理の動作フローを説明するフローチャートである。図 1 2 に示される各処理は、統合制御部 1 3 0 によって自動的に実行及び制御される。以下に説明される各処理は、上述した図 1 0 のフローチャートにて実行されるステップ S 2 0 9 の処理の詳細である。

[0105] ステップ S 3 0 0 では、統合制御部 1 3 0 は、ウェハステージ制御器 1 3 3 を制御して、x ベース 2 1 0、y ベース 2 1 1、z ベース 2 1 2 を x y 平面内で移動させて、サブステージ 2 2 をイオンビームカラム 1 1 及び電子ビームカラム 1 2 の下方（z 軸-側）に移動させる。ステップ S 3 0 1 では、統合制御部 1 3 0 は、サブステージ制御器 1 3 4 を制御して、F 軸及び  $\theta$  軸

の回転角度が共に $90^\circ$ の位置にサブステージ22を移動させる。ステップS302では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11をキャリア5に照射させる。同様に、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12から電子ビームb12をキャリア5に照射させる。統合制御部130は、荷電粒子検出器109, 110により検出された検出信号に基づいて検出器制御器136によって生成されたLC画像を用いて、退避位置のニードル112からピラー53までの移動量を算出する。

[0106] ステップS303では、統合制御部130は、ニードル制御器142を制御して、ニードル112をステップS302にて算出された移動量にて移動させる。ステップS304では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11をニードル112に接着された試料片4に照射させる。同様に、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12から電子ビームb12をニードル112に接着された試料片4に照射させる。統合制御部130は、荷電粒子検出器109により検出された検出信号に基づいて検出器制御器136によって生成されたニードル画像を用いて、ニードル112をピラー53に接着可能な位置までのニードル112の移動量を算出する。

[0107] ステップS305では、統合制御部130は、ニードル制御器142を制御して、ニードル112をステップS304にて算出された移動量にて移動させる。ステップS306では、統合制御部130は、上述したようにして、デポジション加工によりニードル112を試料片4の一部に接着させる。ステップS307では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11に試料片4とニードル112とが接続されている箇所4dにイオンビームb11を照射させて、ニードル112を試料片4から切断し、移設処理を終了する。

[0108] [試料片を平面観察する場合の移設処理（平面自動サンプリング）]

図13は、サブステージ22、サブステージ22に取り付けられたホルダ6、及びホルダ6に装着されたキャリア5の外観を模式的に示す図である。図13（A）は、サブステージ22、ホルダ6及びキャリア5をz軸+側から見た外観であり、図13（B）は、図13（A）に示されるキャリア5を拡大した外観である。尚、以下の説明では、試料片4を断面自動サンプリングする場合との相違点を主に説明する。特に説明を行わない点については、上述した試料片4を断面自動サンプリングする場合と同様である。

[0109] 上述したように、試料片4の平面自動サンプリングを行う場合には、F軸の回転角度が $0^\circ$ 、 $\theta$ 軸の回転角度が $90^\circ$ の位置にサブステージ22が駆動される。このため、図13（A）、13（B）に示されるように、キャリア5の基体50の表面がxy面に平行でz軸+側を向き、ピラー53がy軸+側に向けて突出している。換言すると、キャリア5の基体50の表面、すなわち試料片4の観察面40はイオンビームカラム11に対向する状態となる。この状態でイオンビームカラム11及び電子ビームカラム12は、それぞれイオンビームb11及び電子ビームb12をキャリア5に照射する。以下の処理は、試料片4を断面移動サンプリングする場合と同様の処理が行われる。

[0110] 図14は、試料片4を平面自動サンプリングする場合に荷電粒子ビーム装置10が行う移設処理の動作フローを説明するフローチャートである。図14に示される各処理は、統合制御部130によって自動的に実行及び制御される。以下に説明される各処理は、上述した図10のフローチャートにて実行されるステップS209の処理の詳細である。

[0111] ステップS400の処理は、図12のステップS300の処理と同様である。ステップS401では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、F軸の回転角度が $0^\circ$ 、 $\theta$ 軸の回転角度が $90^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動させる。以下のステップS402からステップS407までの各処理は、図12のステップS302からステップS307までの



各処理と同様である。

[0112] [第2動作]

荷電粒子ビーム装置10は、作製・観察方法として、準備処理と、加工処理と、移設処理と、仕上げ処理とを含む第2動作を行う。第2動作においても、準備処理と、加工処理と、移設処理とは、上述した第1動作のときと同様の処理が行われる。尚、移設処理の際に、試料片4の姿勢を自動制御する姿勢制御自動マイクロサンプリングが行われてもよい。姿勢制御自動マイクロサンプリングについては、詳細を後述する。

[0113] 仕上げ処理においては、第1方式と第2方式との何れかの方式が行われる。第1方式では、サンプリングされた1つの試料片4に対して仕上げ加工を施してから別の試料片4がウェハ3からサンプリングされる。第2方式では、ウェハ3から指定された個数の全ての試料片4がサンプリングされた後、それぞれの試料片4に仕上げ加工が施される。以下、第2動作を行う荷電粒子ビーム装置10の処理について説明する。

[0114] 図15は、仕上げ処理にて第1方式を行う場合の荷電粒子ビーム装置10の処理を説明するフローチャートである。図15に示される各処理は、統合制御部130によって自動的に実行及び制御される。ステップS501からステップS509までの各処理は、上述した図10に示されるステップS201からステップS209までの各処理と同様である。

[0115] ステップS510では、統合制御部130は、イオンビームカラム11、電子ビームカラム12、サブステージ22を制御して、ピラー53に接着された試料片4を、TEM観察用に、例えば100nm以下の薄膜片厚さに加工させる。尚、仕上げ処理の詳細については、説明を後述する。

[0116] ステップS511では、指定された個数の試料片4が形成・作製され、キャリア5に移設され、仕上げ処理が行われたか否かが判定される。指定された個数の試料片4に対して各処理が行われた場合には、統合制御部130は肯定判定を行い、処理はステップS512へ進む。上記の各処理が行われた試料片4の個数が指定された個数に達していない場合には、統合制御部13

0は否定判定を行い、処理はステップS504へ戻る。ステップS512では、統合制御部130は、図10に示されるステップS212と同様の処理を行い、第2動作の各処理を終了する。

[0117] 図16は、仕上げ処理にて第2方式を行う場合の荷電粒子ビーム装置10の処理を説明するフローチャートである。図16に示される各処理は、統合制御部130によって自動的に実行及び制御される。ステップS601からステップS609までの各処理は、図10に示されるステップS201からステップS209までの処理と同様である。

[0118] ステップS610では、指定された個数の試料片4が形成・作製され、キャリア5に移設されたか否かが判定される。指定された個数の試料片4に対して各処理が行われた場合には、統合制御部130は肯定判定を行い、処理はステップS611へ進む。上記の各処理が行われた試料片4の個数が指定された個数に達していない場合には、統合制御部130は否定判定を行い、処理はステップS604へ戻る。

[0119] ステップS611では、統合制御部130は、イオンビームカラム11、電子ビームカラム12、サブステージ22を制御して、ピラー53に接着された各試料片4をTEM観察用に、例えば100nm以下の厚さに加工させる。尚、仕上げ処理の詳細については、説明を後述する。ステップS612では、統合制御部130は、図10に示されるステップS212と同様の処理を行い、第2動作の各処理を終了する。

[0120] [仕上げ処理]

次に、仕上げ処理の詳細について説明する。尚、第1方式であっても第2方式であっても、仕上げ処理の際には以下に説明する各処理が共通して行われる。仕上げ処理では、イオンビームカラム11によってイオンビームb11が試料片4の観察面40又は観察面40の裏面に照射されることにより、試料片4が所望の厚さ（例えば、100nm以下）の薄膜片へと加工される。荷電粒子ビーム装置10は、仕上げ処理として第1処理と第2処理とを有し、第1処理及び第2処理の何れかにて仕上げ処理を実行する。第1処理で

は、サブステージ22のF軸の回転角度が制御された状態で加工が行われることにより、試料片4を照射するイオンビームb11の試料片4への入射角度が変更される。第2処理では、ウェハステージ21のT軸の回転角度が制御されることによってサブステージ22のT軸の回転角度が制御された状態で加工が行われることにより、試料片4にカーテニング効果が発生することが低減される。以下、第1処理及び第2処理のそれぞれについて詳細に説明する。

[0121] [第1処理]

仕上げ処理の第1処理の際には、上述した試料片4を断面自動サンプリング時の移設処理時の場合と同様に、サブステージ制御器134は、F軸及び $\theta$ 軸の回転角度が共に $90^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動する。すなわち、図11(A)、11(B)に示されるように、キャリア5の基体50の表面がz-x面に平行でy軸+側を向き、ピラー53がz軸+側に向けて突出している。z軸+側に突出するピラー53に接着された試料片4に対して、z軸+側からイオンビームカラム11によってイオンビームb11が照射されることにより、試料片4に仕上げ加工が施される。

[0122] 試料片4の仕上げ加工が施される面(観察面40)は、 $\theta$ 軸の回転角度が $90^\circ$ の位置にサブステージ22が駆動(回転)されていることから、電子ビームb12によって観察可能である。すなわち、試料片4の仕上げ加工が施される面の加工状態は、電子ビームカラム12によって照射される電子ビームb12に基づいて画像化されることにより観察される。尚、仕上げ加工に先立って、試料片4には、仕上げ加工が行われる領域を特定する加工枠が設定される。この加工枠にイオンビームカラム11からイオンビームb11が照射されることにより、試料片4が削られる。

[0123] 図17は、yz平面におけるイオンビームカラム11から照射されるイオンビームb11と試料片4の形状との関係を模式的に示す図である。図17(A)は、F軸の回転角度が $90^\circ$ の位置にサブステージ22が駆動された場合を示している。このとき、試料片4に対して、イオンビームb11は、

試料片4のz軸+側の面に対して垂直に入射する。すなわち、イオンビームb11の光軸OA1が試料片4の観察面40と平行となるように、サブステージ22がF軸の周りに回転して傾斜されている。試料片4の観察面40に対して、イオンビームb11の照射により大まかな薄膜化加工が行われる（以下、第1仕上げ加工と呼ぶ）。

[0124] 図17(B)は、第1仕上げ加工後の試料片4の形状を模式的に示す。第1仕上げ加工の際には、照射されるイオンビームb11のエネルギー分布に起因して、試料片4の観察面40が加工されて形成された加工断面41はz軸と平行とはならず、傾斜が発生する。例えば、試料片4の加工断面41のz軸-側は、z軸+側よりもy軸+側にせり出した形状となる。

[0125] 試料片4の加工断面41のせり出した部分を切削することにより、試料片4の加工断面41を垂直な断面とする加工が行われる（以下、第2仕上げ加工と呼ぶ）。第2仕上げ加工を行う際には、サブステージ制御器134は、 $\theta$ 軸の回転角度を $90^\circ$ のまま変更せず、F軸の回転角度が $(90 - \alpha)^\circ$ に変更されるようにサブステージ22を駆動する。尚、 $\alpha$ は、例えば $1^\circ \sim 1.5^\circ$ 程度の範囲の角度であり、試料片4の加工断面41の大きさやイオンビームb11のビーム強度等のビーム条件に応じて適宜設定される。

[0126] 図17(C)は、F軸の回転角度が $(90 - \alpha)^\circ$ の場合を模式的に示している。図に示されるように、イオンビームb11が試料片4に対して非垂直に入射する。すなわち、サブステージ22の傾斜が変化されることにより、イオンビームb11の試料片4の加工断面41に対する入射角が調整される。このため、試料片4の加工断面41のz軸-側のせり出し部分がイオンビームb11の照射により削られ、試料片4は、図17(C)の破線で示される仕上断面41aに加工される。これにより、傾斜の発生が抑制された仕上断面41aが試料片4に形成される。

[0127] 尚、第2仕上げ加工の際には、イオンビームカラム制御器131は、第1仕上げ加工時よりも低電流でイオンビームカラム11からイオンビームb11を出力させる。このため、イオンビームb11のビーム強度は第1仕上げ

加工時よりも低くなり、試料片4へ与える損傷を低減できる。

[0128] 試料片4の加工断面41には、電子ビームカラム12から電子ビームb12が照射されることにより、加工断面41が画像化され、観察面40の加工状態の観察が行われる。観察の結果、統合制御部130は、加工断面41が所望の形状である仕上断面41aとなった段階で第2仕上げ加工を停止する。観察は、ユーザが生成された画像を確認することにより行われてもよいし、統合制御部130が所望の形状である仕上断面41aが画像化されたテンプレート画像と加工断面41の画像とを比較することにより行われてもよい。

[0129] 次に、試料片4の裏面42側に対して仕上げ加工を施す（以下、第3仕上げ加工と呼ぶ）。第3仕上げ加工を行う際には、サブステージ制御器134は、第2仕上げ加工時の状態から、サブステージ22を $\theta$ 軸を中心として $180^\circ$ 回転させ、 $\theta$ 軸の回転角度が $-90^\circ$ の位置に駆動する。試料片4の仕上げ加工が施される面（観察面40の裏面42）は、 $\theta$ 軸の回転角度が $-90^\circ$ の位置にサブステージ22が駆動（回転）されていることから、電子ビームb12によって観察可能である。すなわち、試料片4の裏面42の加工状態は、電子ビームカラム12によって照射される電子ビームb12に基づいて画像化されることにより観察される。

[0130] また、サブステージ制御器134は、F軸の回転角度が $(90 + \alpha)^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動する。 $\alpha$ の値は、第2仕上げ加工時と同様の値である。この状態にて、イオンビームカラム11は、試料片4の裏面42にイオンビームb11を照射する。この結果、試料片4の裏面42も傾斜を有さない垂直な断面形状に加工される。すなわち、サブステージ22の傾斜が変化されることにより、イオンビームb11の試料片4の裏面42に対する入射角が調整され、試料片4の仕上断面41aと裏面42とが平行に加工される。第3仕上げ加工においても、試料片4の裏面42には、電子ビームカラム12から電子ビームb12が照射されることにより、裏面42が画像化され観察が行われる。観察の結果、統合制御部130は、裏面42が所望

の形状となった段階で第3仕上げ加工を停止する。この場合も、観察は、ユーザによる画像の確認により行われてもよいし、統合制御部130によるテンプレート画像と生成された画像との比較により行われてもよい。

[0131] 上述した第2仕上げ加工及び第3仕上げ加工によって、試料片4の薄膜化が行われる。尚、第2仕上げ加工及び第3仕上げ加工が行われた試料片4に対して、低加速イオンビームによってクリーニング加工が行われてもよい。

[0132] 図18は、荷電粒子ビーム装置10が行う仕上げ処理の第1処理の動作フローを説明するフローチャートである。図18に示される各処理は、統合制御部130によって自動的に実行及び制御される。以下に説明される各処理は、図15のステップS510又は図16のステップS611の処理の詳細である。すなわち、以下に説明する処理は、試料片4がキャリア5のピラー53に移設された後に行われる処理である。

[0133] ステップS701では、統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を制御して、xベース210、yベース211、zベース212をxy平面内で移動させて、サブステージ22をイオンビームカラム11及び電子ビームカラム12の下方(z軸側)に移動させる。尚、仕上げ処理が第1方式にて行われる場合、すなわち図15に示される処理が行われる場合には、ステップS701の処理は行われない。

[0134] ステップS702では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、F軸及びθ軸の回転角度が共に90°の位置にサブステージ22を駆動させる。ステップS703では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11を試料片4に照射させる。同様に、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12から電子ビームb12を試料片4に照射させる。統合制御部130は、荷電粒子検出器109により検出された検出信号に基づいて検出器制御器136によって生成された画像(試料片位置画像)を用いて、試料片4の位置を認識し、仕上げ加工を行う試料片4の位置を特定する。

- [0135] ステップS704では、統合制御部130は、試料片位置画像を用いて特定された位置に基づいて、試料片4の観察面40に加工枠を設定する。ステップS705では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11を試料片4の観察面40に設定した加工枠に照射させる。これにより、第1仕上げ加工が行われる。
- [0136] ステップS706では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、F軸の回転角度が $(90 - \alpha)^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動させる。ステップS707では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11を試料片4の加工断面41に照射させる。これにより、第2仕上げ加工が行われる。このとき、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12から電子ビームb12を試料片4の加工断面41に照射させる。統合制御部130は、荷電粒子検出器109により検出された検出信号に基づいて検出器制御器136によって生成された画像を用いて、試料片4の加工断面41を画像化する。
- [0137] 統合制御部130は、例えば生成された画像とテンプレート画像等とを比較することにより、試料片4の加工断面41が所望の形状、すなわち仕上断面41aの形状に加工されたか否かを判定する。統合制御部130は、試料片4の加工断面41が仕上断面41aの形状に加工されたと判定すると、イオンビームカラム制御器131及び電子ビームカラム制御器132を制御して、イオンビームカラム11からのイオンビームb11の照射と、電子ビームカラム12からの電子ビームb12の照射を停止させる。
- [0138] ステップ708では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、 $\theta$ 軸の回転角度が $-90^\circ$ 、F軸の回転角度が $(90 + \alpha)^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動させる。ステップS709では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11を試料片4の裏面42に照射させる。これに

より、第3仕上げ加工が行われる。

[0139] この場合も、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12から電子ビームb12を試料片4の裏面42に照射させる。統合制御部130は、荷電粒子検出器109により検出された検出信号に基づいて検出器制御器136が生成した画像を用いて、試料片4の裏面42を画像化する。統合制御部130は、ステップS707の場合と同様にして、生成した画像に基づいて試料片4の裏面42が所望の形状に加工されたと判定すると、第3仕上げ加工を終了する。すなわち、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131及び電子ビームカラム制御器132を制御して、イオンビームカラム11からのイオンビームb11の照射と、電子ビームカラム12からの電子ビームb12の照射を停止させ、仕上げ処理を終了する。

[0140] [第2処理]

仕上げ処理の第2処理においては、上述したように試料片4にカーテニング効果の発生することが低減されるように加工が行われる。カーテニング効果とは、イオンビームカラム11によってイオンビームb11に照射された試料片4の削れ具合にムラが発生することである。

[0141] 図19は、試料片4の観察面40の外観を模式的に示す図である。図19(A)はカーテニング効果が発生していない状態を示し、図19(B)はカーテニング効果が発生した状態を示している。カーテニング効果は、加工される試料片4の最表面49側、すなわちサブステージ22に装着されたキャリア5に移設された試料片4のz軸+側の材質や形状に起因して発生する。例えば、試料片4の最表面49側に硬い材質からなる構造物が存在する場合、その構造物400よりも底面47側(z軸-側)では、イオンビームカラム11から照射されたイオンビームb11による加工(切削)が進捗しにくくなる。また、試料片4の最表面49側に加工されやすい材質からなる構造物401が存在する場合には、イオンビームb11による加工(切削)が進捗しやすくなる。このため、試料片4の加工断面41に筋状の加工ムラ44



、45が生じる。この加工ムラは、試料片4の厚さのムラであるため、後段のTEM観察を行う際の妨げとなる。

[0142] 第2処理では、カーテニング効果を抑制するために、試料片4が加工断面41の面内方向で回転された状態にて、試料片4の加工断面41に対する加工が行われる。以下、具体的に説明する。第2処理においても、第1仕上げ加工までの処理は、上述した第1処理にて行われた処理と同様の処理が行われる。

[0143] 図20は、第2仕上げ加工時におけるホルダ6、キャリア5及び試料片4を模式的に示す。図20(A)はホルダ6、キャリア5及び試料片4をz軸+側から見た場合を模式的に示す。図20(B)はホルダ6に搭載されたキャリア5のピラー53と試料片4とをx軸-側から見たときの外観を拡大して模式的に示す。

[0144] 第2仕上げ加工に際して、サブステージ制御器134は、 $\theta$ 軸の回転角度が $0^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動する。すなわち、試料片4の観察面40から加工されて形成された加工断面41と、x軸と平行に設定されたウェハステージ21の傾斜軸であるT軸とが交差するようにサブステージ22が回転する。これにより、キャリア5のピラー53の側面は、zx平面と平行になり、電子ビームカラム12と対向する。また、サブステージ制御器134は、第1処理のときと同様に、F軸の回転角度が $(90 + \alpha)^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動する。

[0145] さらに、ウェハステージ制御器133は、ウェハステージ21のT軸の回転角度が $10^\circ$ の位置にウェハステージ21を駆動する。これにより、zベース212に設けられたサブステージ22は、xy平面に対して $10^\circ$ 傾斜する。尚、T軸の回転角度は $10^\circ$ に限定されるものではなく、試料片4の構造物400、401の形状や大きさ等に応じて好適な値に自動又は手動にて設定される。

[0146] この状態で、イオンビームカラム11は試料片4に対してイオンビームb11を照射する。サブステージ22のF軸の回転角度が $(90 + \alpha)^\circ$ であ

ることから、第1処理の場合と同様に、イオンビームb11が試料片4の加工断面41に対して非垂直に入射する。このため、試料片4の加工断面41のz軸側のせり出し部分がイオンビームb11の照射により削られ、垂直な仕上断面41aが形成される。

[0147] さらに、T軸の回転角度が $10^\circ$ である。すなわち、図20(B)に示されるように、ウェハステージ21がx軸と平行なT軸の周りに回転してxy平面に対して傾斜するため、試料片4の観察面40から加工された加工断面41へのイオンビームb11の入射角が変化する。入射角が変化したイオンビームb11は、試料片4の最表面49側の構造物400、401をかわして、構造物400、401よりも底面47側を照射する。この結果、試料片4の最表面49側の構造物400、401に起因して加工ムラ44、45が発生することが抑制される。尚、第2仕上げ加工の際には、イオンビームコラム制御器131は、第1仕上げ加工時よりも低電流でイオンビームコラム11からイオンビームb11を出力させる。

[0148] その後、サブステージ制御器134は、F軸及び $\theta$ 軸の回転角度が共に $90^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動する。ウェハステージ制御器133は、T軸の回転角度が $0^\circ$ の位置にウェハステージ21を駆動して、zベース212に設けられたサブステージ22のxy平面に対する傾斜を $0^\circ$ にする。すなわち、サブステージ22は、図11(A)、11(B)に示される姿勢となる。これにより、ピラー53に接着された試料片4の加工断面41は、電子ビームコラム12に対向する。この状態にて、試料片4の加工断面41には、電子ビームコラム12から電子ビームb12が照射されることにより、加工断面41が画像化され、加工状態の観察が行われる。観察の結果、統合制御部130は、加工断面41が所望の形状である仕上断面41aの形状となった段階で第2仕上げ加工を停止する。

[0149] 次に、試料片4の裏面42側に対して第3仕上げ加工を施す。第3仕上げ加工に際して、第1処理のときと同様に、サブステージ制御器134は、F軸の回転角度が $(90 - \alpha)^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動する。サブ

ステージ制御器 134 は、第 2 仕上げ加工のときと同様に、 $\theta$  軸の回転角度が  $0^\circ$  の位置にサブステージ 22 を駆動し、キャリア 5 のピラー 53 の側面を  $z-x$  平面と平行にさせて、電子ビームカラム 12 と対向させる。さらに、ウェハステージ制御器 133 は、 $T$  軸の回転角度が  $10^\circ$  の位置にウェハステージ 21 を駆動して、 $z$  ベース 212 に設けられたサブステージ 22 を  $x-y$  平面に対して  $10^\circ$  傾斜させる。

[0150] イオンビームカラム 11 は試料片 4 の裏面 42 に対してイオンビーム  $b11$  を照射する。サブステージ 22 の  $F$  軸の回転角度が  $(90 - \alpha)^\circ$  であり、かつ、 $T$  軸の回転角度が  $10^\circ$  であることから、試料片 4 の裏面 42 についても、カーテニング効果の発生が抑制された状態で、裏面 42 が垂直な断面に加工される。すなわち、サブステージ 22 の傾斜が変化されることにより、イオンビーム  $b11$  の試料片 4 の裏面 42 に対する入射角が調整され、試料片 4 の仕上断面 41a と裏面 42 とが平行に加工される。

[0151] その後、サブステージ制御器 134 は、 $F$  軸及び  $\theta$  軸の回転角度がそれぞれ  $90^\circ$ 、 $-90^\circ$  の位置にサブステージ 22 を駆動する。ウェハステージ制御器 133 は、 $T$  軸の回転角度が  $0^\circ$  の位置にウェハステージ 21 を駆動することにより、 $z$  ベース 212 に設けられたサブステージ 22 の  $x-y$  平面に対する傾斜を  $0^\circ$  に変更する。

[0152] 上記のサブステージ 22 の移動により、ピラー 53 に接着された試料片 4 の裏面 42 は、電子ビームカラム 12 に対向する。この状態にて、試料片 4 の裏面 42 には電子ビームカラム 12 から電子ビーム  $b12$  が照射され、裏面 42 が画像化され、加工状態の観察が行われる。観察の結果、統合制御部 130 は、裏面 42 が所望の形状となった段階で第 3 仕上げ加工を停止する。上述した第 2 処理により、カーテニング効果の発生が抑制された状態で、試料片 4 の観察面 40 と裏面 42 とが互いに平行な薄膜片が形成される。

[0153] 図 21 は、荷電粒子ビーム装置 10 が行う仕上げ処理の第 2 処理の動作フローを説明するフローチャートである。図 21 に示される各処理は、統合制御部 130 によって自動的に実行及び制御される。以下に説明される各処理

は、図15のステップS510又は図16のステップS611の処理の詳細である。すなわち、以下に説明する処理は、試料片4がキャリア5のピラー53に移設された後に行われる処理である。

[0154] ステップS801からステップS805までの各処理は、図18のステップS701からステップS705までの各処理と同様である。ステップS806では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、F軸の回転角度が $(90 + \alpha)^\circ$ 、 $\theta$ 軸の角度が $0^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動させる。統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を制御して、T軸の回転角度が $10^\circ$ の位置にウェハステージ21を駆動させて、zベース212に設けられたサブステージ22のxy平面に対する傾斜を $10^\circ$ に変更させる。

[0155] ステップS807では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11を試料片4の加工断面41に照射させる。これにより、第2仕上げ加工が行われる。ステップS808では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、F軸及び $\theta$ 軸の回転角度が共に $90^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動させる。統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を制御して、T軸の回転角度が $0^\circ$ の位置にウェハステージ21を駆動させて、サブステージ22のxy平面に対する傾斜を $0^\circ$ に変更させる。

[0156] ステップS809では、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12から電子ビームb12を試料片4の加工断面41に照射させる。統合制御部130は、荷電粒子検出器109により検出された検出信号に基づいて検出器制御器136によって生成された画像を用いて、試料片4の加工断面41を画像化する。統合制御部130は、例えば生成された画像とテンプレート画像等と比較することにより、試料片4の加工断面41（すなわち観察面40）が仕上断面41aの形状に加工されたか否かを判定する。統合制御部130は、試料片4が仕上断面41aの形状に加工されたと判定すると、電子ビームカラム制御器132を制御し

て、電子ビームカラム12からの電子ビームb12の照射を停止させる。

[0157] ステップS810では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、F軸の回転角度が $(90 - \alpha)^\circ$ 、 $\theta$ 軸の回転角度が $0^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動させる。統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を制御して、T軸の回転角度が $10^\circ$ の位置にウェハステージ21を駆動させて、サブステージ22のx y平面に対する傾斜を $10^\circ$ に変更させる。

[0158] ステップS811では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11からイオンビームb11を試料片4の裏面42に照射させる。これにより、第3仕上げ加工が行われる。ステップS812では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、サブステージ22のF軸の回転角度が $90^\circ$ 、 $\theta$ 軸の回転角度が $-90^\circ$ の位置にサブステージ22を駆動させる。統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を制御して、T軸の回転角度が $0^\circ$ の位置にウェハステージ21を駆動させて、サブステージ22のx y平面に対する傾斜を $0^\circ$ に変更させる。

[0159] ステップS813では、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12から電子ビームb12を試料片4の裏面42に照射させる。統合制御部130は、荷電粒子検出器109により検出された検出信号に基づいて検出器制御器136によって生成された画像を用いて、試料片4の裏面42を画像化する。統合制御部130は、ステップS809の場合と同様にして、生成した画像に基づいて試料片4の裏面42に所望の形状が加工されたと判定すると、仕上げ処理を終了する。すなわち、統合制御部130は、電子ビームカラム制御器132を制御して、電子ビームカラム12からの電子ビームb12の照射を停止させる。

[0160] [姿勢制御自動マイクロサンプリング]

次に、試料片4の姿勢を自動制御（姿勢制御自動マイクロサンプリング）する場合の移設処理について説明する。姿勢制御自動マイクロサンプリング

とは、ウェハ3から試料片4をサンプリングする際のウェハステージ21の回転方向（すなわちR軸の角度）と、サンプリング後のニードル112の回転角度とが制御されることにより、試料片4の姿勢を変化させてマイクロサンプリングを行う技術である。姿勢制御自動マイクロサンプリングによりサンプリングされた試料片4の移設先であるキャリア5の姿勢は、試料片4の姿勢変化に合わせて変化される。これにより、ピラー53に移設された試料片4の姿勢は、ウェハ3から摘出されたときの姿勢から変化することとなる。

[0161] 以下の説明では、ウェハ3からサンプリングされた試料片4の上下方向を反転させた状態でピラー53に移設する場合を例に挙げる。すなわち、試料片4は、その最表面49がキャリア5の基体50の直線部51と対向して移設される。

[0162] 図22は、ウェハ3から試料片4がサンプリングされる際の試料片4とニードル112との位置関係を模式的に示す図である。図22(A)は試料片4とニードル112とをz軸+側から見た図であり、図22(B)は試料片4とニードル112とを試料片4の観察面40側から見た図である。ニードル112を試料片4に接近させる際には、ウェハステージ制御器133は、回転ベース213をR軸を中心として約35°回転させる。また、ウェハ3から試料片4がサンプリングされる際にニードル112がウェハ3の表面、すなわちxy平面に対してなす角度（アプローチ角度） $\beta$ は、30°であるものとする。

[0163] また、サブステージ制御器134は、F軸の回転角度が0°、 $\theta$ 軸の回転角度が54.7°の位置にサブステージ22を駆動する。これにより、サブステージ22に取り付けられたホルダ6に装着されているキャリア5の基体50の表面は、xy平面に平行かつz軸+側を向く。

[0164] 図23(A)は上記のようにしてサブステージ22が移動されたときのサブステージ22とホルダ6とキャリア5とをz軸+側から見た図である。図23(B)は、図23(A)のうちキャリア5のピラー53と、そのピラー

53にアプローチされる試料片4とをz軸+側から見た図である。サブステージ22のθ軸の回転角度が54.7°であることにより、キャリア5のピラー53は、x軸に対して54.7°の角度をなして延びている。このピラー53に対して、試料片4の最表面49をキャリア5の基体50に対向させた状態で、試料片4の側面48を接着させる。

[0165] 具体的には、試料片4がウェハ3からリフトアウトされた後、ニードル制御器142は、試料片4と接着されたニードル112を約110°回転させる。その結果、図23(B)に示されるように、ニードル112が接着されていない側の試料片4の側面48がピラー53と対向し、かつ、試料片4の最表面49がキャリア5の基体50と対向する。

[0166] キャリア5に対する試料片4の姿勢が図23(B)に示される関係になった後、ニードル制御器142は、試料片4がピラー53に接着可能な位置までニードル112を移動する。以後、上述した移設処理と同様の処理が行われ、試料片4のピラー53への接着及びニードル112の試料片4からの切断が行われる。

[0167] 上記のようにして移設された試料片4に対して、上述した仕上げ処理の場合と同様にサブステージ22のF軸及びθ軸の回転角度が設定され、イオンビームカラム11からイオンビームb11が照射される。すなわち、ピラー53に移設された試料片4の底面47がz軸+側に位置された状態で仕上げ処理が行われる。一般的にF1Bによって仕上げ処理を行う場合、試料片4のうちイオンビームb11に照射される面、すなわち仕上げ処理の際、試料片4のうちz軸+側に位置する面が最も削られやすい。このため、試料片4のうちz軸+側に位置する面が極薄あるいは消失する可能性がある。試料片4の最表面49の近傍に観察したい構造物等が存在する場合に、上記の姿勢制御自動マイクロサンプリングにより試料片4の最表面49がz軸-側に向けて仕上げ処理が行われると、最表面49の近傍の観察したい構造物が仕上げ処理にて消失することが抑制される。

[0168] 図24は、試料片4を姿勢制御自動マイクロサンプリングする場合に荷電

粒子ビーム装置10が行う移設処理の動作フローを説明するフローチャートである。図24に示される各処理は、統合制御部130によって自動的に実行及び制御される。以下に説明される各処理は、上述した図15のステップS506からステップS509まで、又は図17のステップS606からステップS609までの処理の詳細である。

- [0169] ステップS901では、統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を制御して、回転ベース213をR軸の周りに約35°回転させる。ステップS902では、統合制御部130は、ニードル制御器142を制御して、ニードル112のアプローチ角度 $\beta$ を30°に設定する。そして、統合制御部130は、ニードル制御器142を制御して、ニードル112を移動させて試料片4に接近させる。統合制御部130は、デポジション加工を行い、ニードル112の先端に試料片4を接着させる。
- [0170] ステップS903では、統合制御部130は、イオンビームカラム制御器131を制御して、イオンビームカラム11から試料片4とウェハ3とが接続されている接続箇所4a（図8参照）に対してイオンビームb11を照射させ、試料片4をウェハ3から切り離す。ステップS904では、統合制御部130は、ニードル制御器142を制御して、ウェハ3から切り離され試料片4をリフトアウトさせ、ニードル112を約110°回転させる。ステップS905では、統合制御部130は、ウェハステージ制御器133を制御して、xベース210、yベース211、zベース212をxy平面内で移動させて、サブステージ22をイオンビームカラム11及び電子ビームカラム12の下方（z軸側）に移動させる。
- [0171] ステップS906では、統合制御部130は、サブステージ制御器134を制御して、F軸の回転角度が0°、 $\theta$ 軸の回転角度が54.7°の位置にサブステージ22を駆動させる。ステップS907からステップS912までの各処理は、図12のステップS302からステップS307までの各処理と同様である。
- [0172] 尚、アプローチ角度 $\beta$ は30°であるものに限定されず、試料片4の形状



や大きさ等に応じて好適な値とすることができる。また、アプローチ角度 $\beta$ の値に応じて、回転ベース213のR軸の回転角度、ニードル112の回転角度及びサブステージ22の $\theta$ 軸の回転角度は、上記の値とは異なる値となる。

[0173] [第3動作]

荷電粒子ビーム装置10は、第3動作として、上述した準備処理と、加工処理と、移設処理とを行う。すなわち、第3動作の場合には、上述した第1動作時の観察処理や、第2動作時の仕上げ処理は行われず、試料片4のサンプリングが行われるのみである。

[0174] この場合、統合制御部130は、図10のフローチャートに示されるステップS201からステップS209、ステップS211及びステップS212の各処理を実行する。

[0175] 上述した第1動作、第2動作又は第3動作によって試料片4が移設されたキャリア5が取り付けられたホルダ6は、搬送機構90によって試料片観察装置30へ搬送される。そして、試料片観察装置30が備えるTEM装置が、TEM像による断面観察又は平面観察を行う。

以上で説明した実施の形態によれば、以下の作用効果のうち少なくとも1つが得られる。

[0176] (1) 荷電粒子ビーム装置10は、ウェハ3を載置して移動するウェハステージ21と、ウェハ3から分離され摘出された試料片4を保持して、ホルダ6に装着された複数のキャリア5に搬送するニードル112と、ホルダ6が着脱可能に装着され、ウェハステージ21と独立して移動するサブステージ22と、を備える。これにより、ウェハステージ21に対して独立して、ホルダ6に搭載された複数のキャリア5の姿勢をウェハ3の姿勢と異ならせるように制御できるので、キャリア5に移設可能な試料片4の個数を増加させつつ、試料片4の移設効率を向上させることができる。

[0177] また、ホルダ6がサブステージ22に対して着脱可能に装着されることから、サブステージ22から取り外されたホルダ6のみが搬送されることによ

り、ウェハステージとホルダとが一体として搬送される従来の技術と比較して、大型の搬送機構が不要となり試料片4の搬送が容易になる。また、従来の技術のようにウェハステージとホルダとを一体として搬送する場合には、搬送の困難を低減するためにウェハステージを小型化すると、ウェハステージに載置可能なウェハのサイズに制限が生じた。これに対して、本実施の形態では、ホルダ6のみが搬送されるため、ウェハステージ21を小型化する必要がなくなり、ウェハステージ21に載置されるウェハ3のサイズに制限が生じることが抑制可能となる。

[0178] (2) サブステージ22は、zベース212上に設けられ、zベース212と交差する方向に延びる $\theta$ 軸と、 $\theta$ 軸と交差する方向に延びるF軸の周りに傾斜する。これにより、ウェハステージ21に対して独立してサブステージ22の姿勢を2軸で制御させることが可能となる。

[0179] (3) サブステージ22は、ホルダ6を傾斜させる傾斜機構223を有する。ホルダ6は、複数のキャリア5を搭載し、傾斜機構223と独立してサブステージ22に着脱可能である。これにより、サブステージ22に着脱可能に装着されたホルダ6の姿勢を制御することが可能となる。また、ホルダ6のみを搬送機構90にて搬送することが可能となる。

[0180] (4) 荷電粒子ビーム装置10は、試料片4の作製・観察方法として、加工処理と、移設処理と、観察処理とを含む第1動作を行う。加工処理では、ウェハ3にイオンビームb11が照射され、ウェハ3の平面又は断面を観察面40とする試料片4が加工される。移設処理では、加工された試料片4にニードル112が取り付けられてウェハ3から摘出して分離される。試料片4は、傾斜及び回転が可能なサブステージ22に搭載されたホルダ6上のキャリア5に、観察面40がキャリア5の表面と平行になるように取り付けられる。観察処理では、試料片4の観察面40と観察面40の裏面42とを電子ビームb12にて観察可能なように、サブステージ22が回転される。これにより、サブステージ22の姿勢がウェハステージ21に対して独立して制御されるため、リフトアウトされた試料片4をキャリア5に移設する際の

姿勢制御及びキャリア5に移設された試料片4を観察する際の姿勢制御が容易となり、移設処理及び観察処理の効率を向上させることができる。

[0181] (5) 荷電粒子ビーム装置10は、試料片4の作製・観察方法として、加工処理と、移設処理と、仕上げ処理の第1方式とを含む第2動作を行う。仕上げ処理の第1方式では、イオンビームb11の照射によって試料片4の観察面40又は裏面42が加工されて、試料片4が薄膜化される。観察面40と裏面42とが平行に加工されるように、サブステージ22がF軸を中心に回転されることにより、サブステージ22の傾斜が変化されて、観察面40又は裏面42へのイオンビームb11の入射角が調整される。イオンビームb11によって加工されている観察面40又は裏面42に電子ビームb12が照射され、観察面40又は裏面42の加工状態が観察される。これにより、サブステージ22の姿勢がウェハステージ21に対して独立して制御されるため、仕上げ処理時の試料片4の姿勢制御が容易となり、仕上げ処理の効率を向上させることができる。

[0182] (6) 荷電粒子ビーム装置10は、試料片4の作製・観察方法として、加工処理と、移設処理と、仕上げ処理の第2方式とを含む第2動作を行う。仕上げ処理の第2方式では、試料片4の観察面40がイオンビームb11の光軸OA1に対して平行となるようにサブステージ22がF軸の周りに傾けられる。ウェハステージ21の傾斜軸であるT軸と観察面40とが交差するようにサブステージ22が $\theta$ 軸を中心として回転される。試料片4の観察面40に対するイオンビームb11の入射角が変化するように、ウェハステージ21がT軸の周りに傾斜される。イオンビームb11の照射によって試料片4の観察面40又は裏面42が加工され、試料片4が薄膜化される。観察面40と裏面42とが平行に加工されるように、サブステージ22がF軸を中心に回転されることにより、サブステージ22の傾斜が変化されて、観察面40又は裏面42へのイオンビームb11の入射角が調整される。イオンビームb11によって加工されている観察面40又は裏面42が電子ビームb12の照射によって観察可能となるようにサブステージ22が $\theta$ 軸を中心に

回転されて、観察面40又は裏面42の加工状態が観察される。これにより、サブステージ22がT軸を中心として傾斜することにより、試料片4の観察面40に対するイオンビームb11の入射角が観察面40の面内で変化することから、カーテニング効果の発生が抑制された仕上げ処理を行うことができる。

[0183] 以上、本開示の実施の形態を具体的に説明したが、前述の実施の形態に限定されず、要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。各実施の形態は、必須構成要素を除き、構成要素の追加・削除・置換などが可能である。特に限定しない場合、各構成要素は、単数でも複数でもよい。各実施の形態を組み合わせた形態も可能である。

### 符号の説明

[0184] 1 検査システム、3 ウェハ、4 試料片、5 キャリア、6 ホルダ、10 荷電粒子ビーム装置、11 イオンビームカラム、12 電子ビームカラム、21 ウェハステージ、22 サブステージ、40 観察面、41 加工断面、42 裏面、112 ニードル、130 統合制御部、210 xベース、211 yベース、212 zベース、213 回転ベース、214 支持機構、221 装着部、222 装着支持部、223 傾斜機構

## 請求の範囲

- [請求項1] 荷電粒子ビームを用いてウェハから試料片を作成する荷電粒子ビーム装置であって、
- 前記荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム鏡筒と、
- 前記ウェハを載置して移動するウェハステージと、
- 前記ウェハから分離され摘出された前記試料片を保持して、試料片ホルダに装着された複数のキャリアに搬送する試料片移送機構と、
- 前記試料片ホルダが着脱可能に装着され、前記ウェハステージと独立して移動する試料片ホルダ用ステージと、を備える荷電粒子ビーム装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の荷電粒子ビーム装置において、
- 前記ウェハステージは、
- 第1方向に移動するXベースと、
- 前記Xベース上に設けられ、前記Xベースとともに前記第1方向に移動可能であり、前記第1方向と交差する第2方向に移動可能なYベースと、
- 前記Yベース上に設けられ、前記Xベース及び前記Yベースとともに前記第1方向に移動可能であり、前記Yベースとともに前記第2方向に移動可能であり、前記第1方向及び前記第2方向と交差する第3方向に移動可能なZベースと、
- 前記Zベース上に設けられ、前記ウェハが載置され、前記Zベースと交差する方向に延びる第1軸を中心として回転する回転ベースと、
- 前記Xベース、前記Yベース、前記Zベース及び前記回転ベースを、前記第1軸と交差する方向に延びる第2軸を中心として回転可能に支持する支持機構と、を有し、
- 前記試料片ホルダ用ステージは、前記Zベース上に設けられ、前記Zベースと交差する方向に延びる第3軸と、前記第3軸と交差する方

向に延びる第4軸の周りに傾斜する、荷電粒子ビーム装置。

[請求項3]

請求項1に記載の荷電粒子ビーム装置において、

前記試料片ホルダ用ステージは、前記試料片ホルダを傾斜させる傾斜機構を有し、

前記試料片ホルダは、複数の前記キャリアを搭載し、前記傾斜機構と独立して前記試料片ホルダ用ステージに着脱可能である、荷電粒子ビーム装置。

[請求項4]

試料片の作製・観察方法であって、

ウェハにイオンビームを照射し、前記ウェハの平面又は断面を観察面とする前記試料片を加工し、

加工された前記試料片に試料片移設機構を取り付けて前記ウェハから摘出して分離し、

傾斜及び回転が可能な試料片ホルダ用ステージに搭載された試料片ホルダ上のキャリアに、前記試料片を前記観察面が前記キャリアの表面と平行になるように取り付け、

前記試料片の前記観察面を電子ビームにて観察可能なように、試料片ホルダ用ステージを回転させ、

前記試料片の前記観察面の裏面を前記電子ビームにて観察可能なように、試料片ホルダ用ステージを回転させる、試料片の作製・観察方法。

[請求項5]

試料片の作製・観察方法であって、

ウェハにイオンビームを照射し、前記ウェハの平面又は断面を観察面とする前記試料片を加工し、

加工された前記試料片に試料片移設機構を取り付けて前記ウェハから摘出して分離し、

傾斜及び回転が可能な試料片ホルダ用ステージに搭載された試料片ホルダ上のキャリアに、前記試料片を前記観察面が前記キャリアの表面と平行になるように取り付け、

前記観察面が前記イオンビームの光軸に対して平行となるように前記試料片ホルダ用ステージを傾け、

前記観察面又は前記観察面の裏面が電子ビームにて観察可能となるように、前記試料片ホルダ用ステージを回転させ、

前記イオンビームの照射によって前記試料片の前記観察面又は前記裏面を加工して、前記試料片を薄膜化し、

前記観察面と前記裏面とが平行に加工されるように、前記試料片ホルダ用ステージの傾斜を変化させて前記観察面又は前記裏面への前記イオンビームの入射角を調整し、

前記イオンビームによって加工されている前記観察面又は前記裏面に前記電子ビームを照射して、前記観察面又は前記裏面の加工状態を観察する、試料片の作製・観察方法。

[請求項6]

試料片の作製・観察方法であって、

ウェハにイオンビームを照射して、前記ウェハの平面又は断面を観察面とする前記試料片を加工し、

加工された前記試料片に試料片移設機構を取り付けることによって前記ウェハから摘出して分離し、

傾斜及び回転が可能な試料片ホルダ用ステージに搭載された試料片ホルダ上のキャリアに、前記試料片を前記観察面が前記キャリアの表面と平行になるように取り付け、

前記観察面が前記イオンビームの光軸に対して平行となるように前記試料片ホルダ用ステージを傾け、

前記試料片ホルダ用ステージが搭載されるステージの傾斜軸と前記観察面とが交差するように前記試料片ホルダ用ステージを回転させ、

前記観察面に対する前記イオンビームの入射角が変化するように、前記ステージを前記傾斜軸の周りに傾斜し、

前記イオンビームの照射によって前記試料片の前記観察面又は前記観察面の裏面を加工して、前記試料片を薄膜化し、

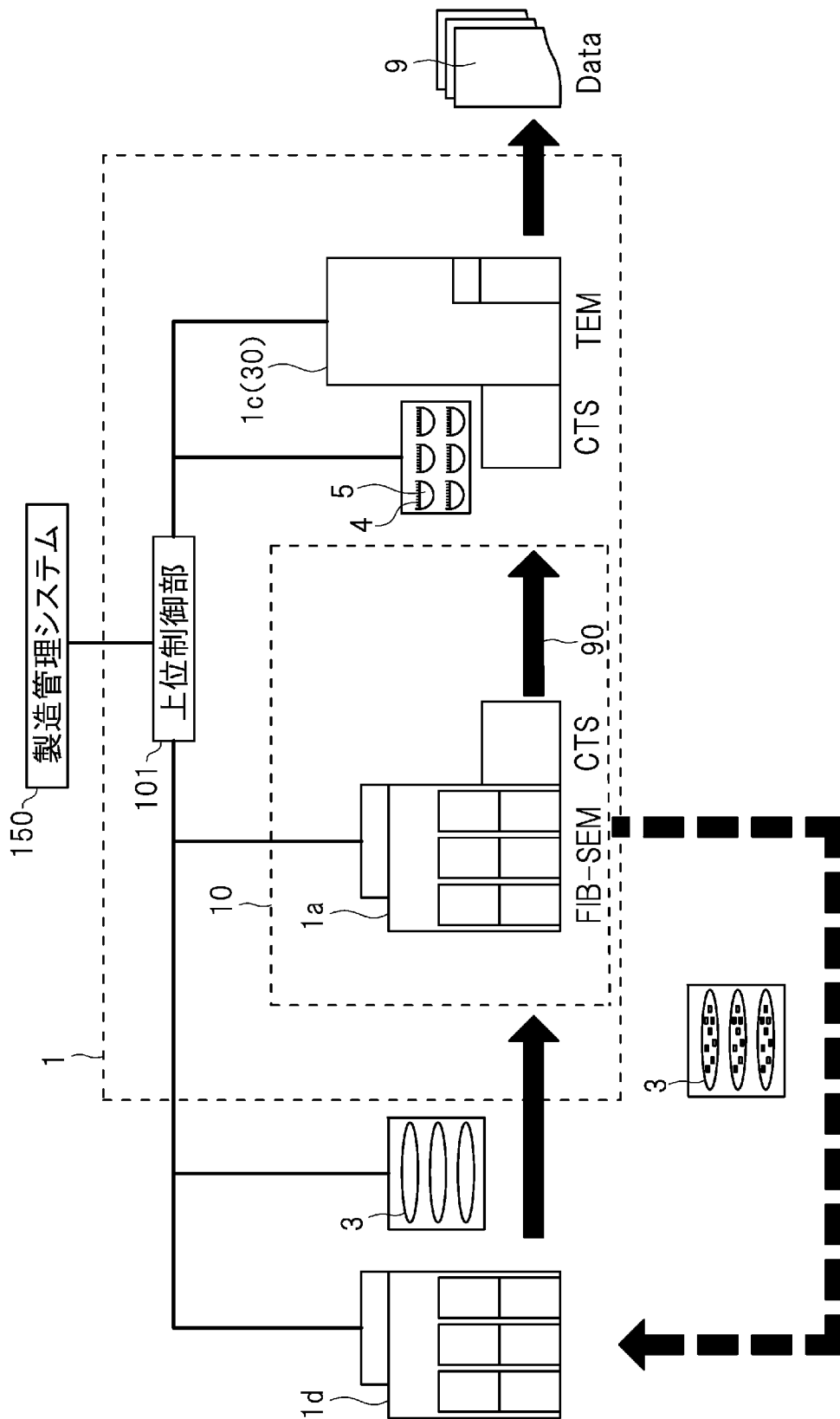
前記観察面と前記裏面とが平行に加工されるように、前記試料片ホルダ用ステージの傾斜を変化させて前記観察面又は前記裏面への前記イオンビームの入射角を調整し、

前記イオンビームによって加工されている前記観察面又は前記裏面が電子ビームの照射によって観察可能となるように前記試料片ホルダ用ステージを回転させて、前記観察面又は前記裏面の加工状態を観察する、試料片の作製・観察方法。



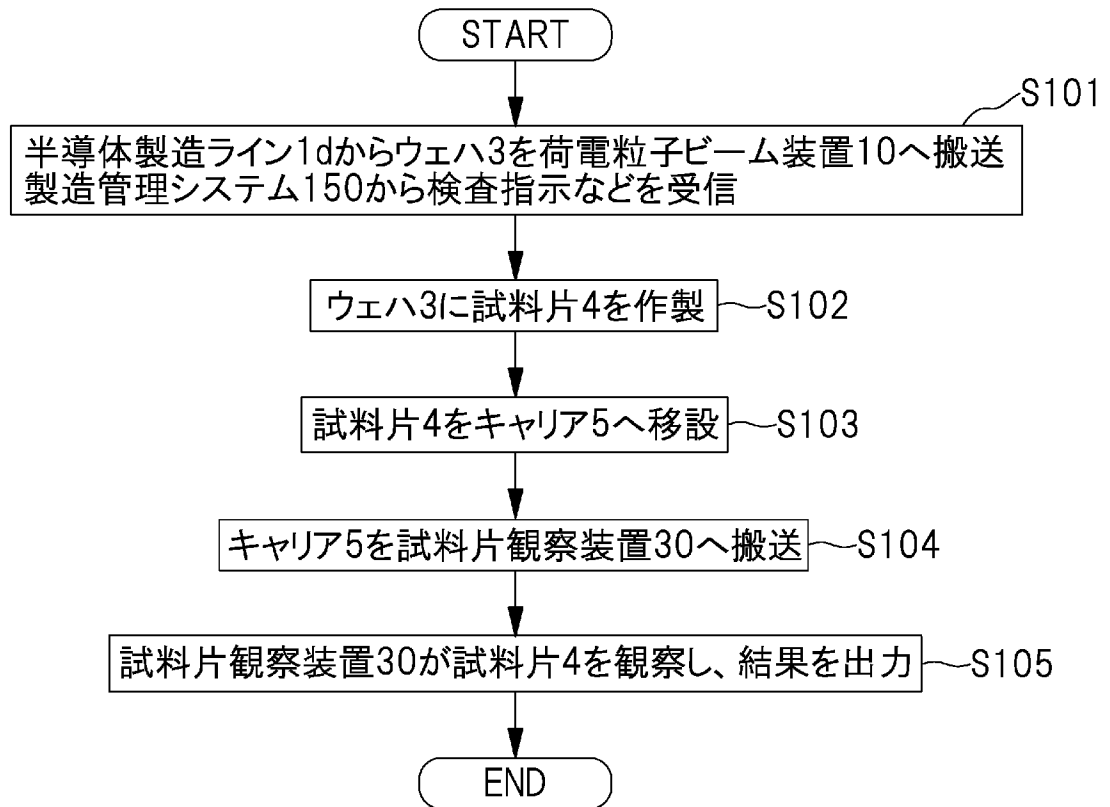
[図1]

図 1



[図2]

2

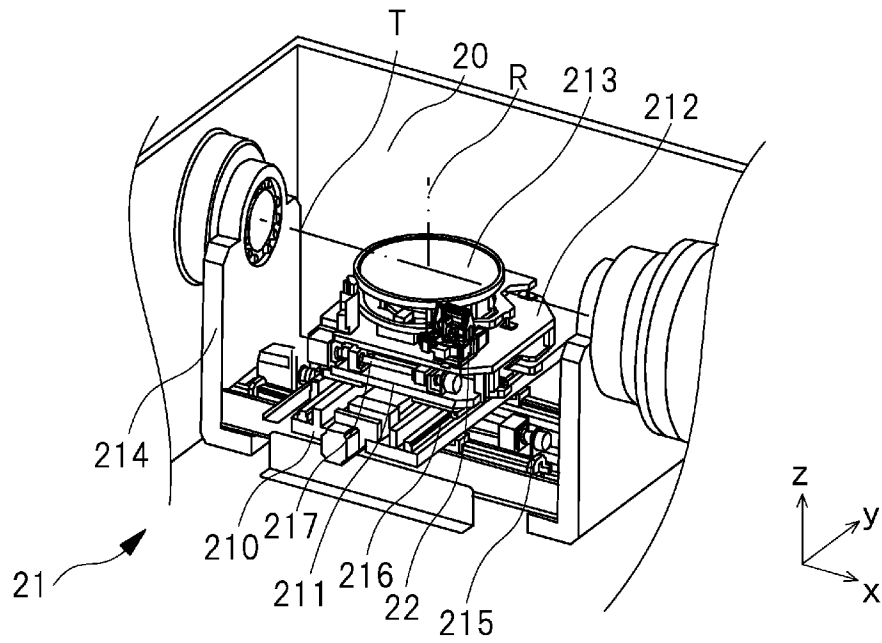




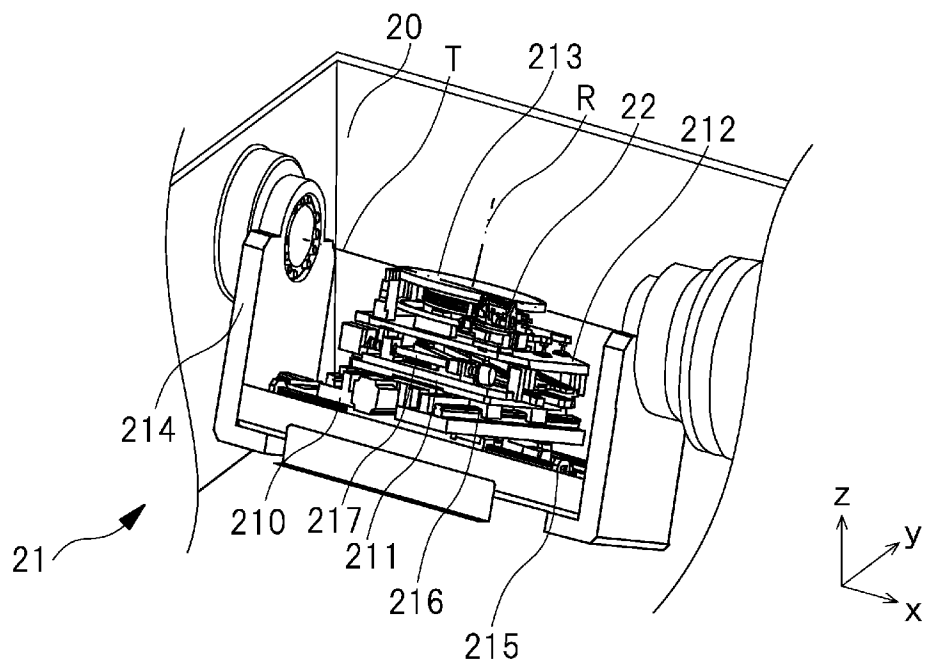
[図4]

4

(A)

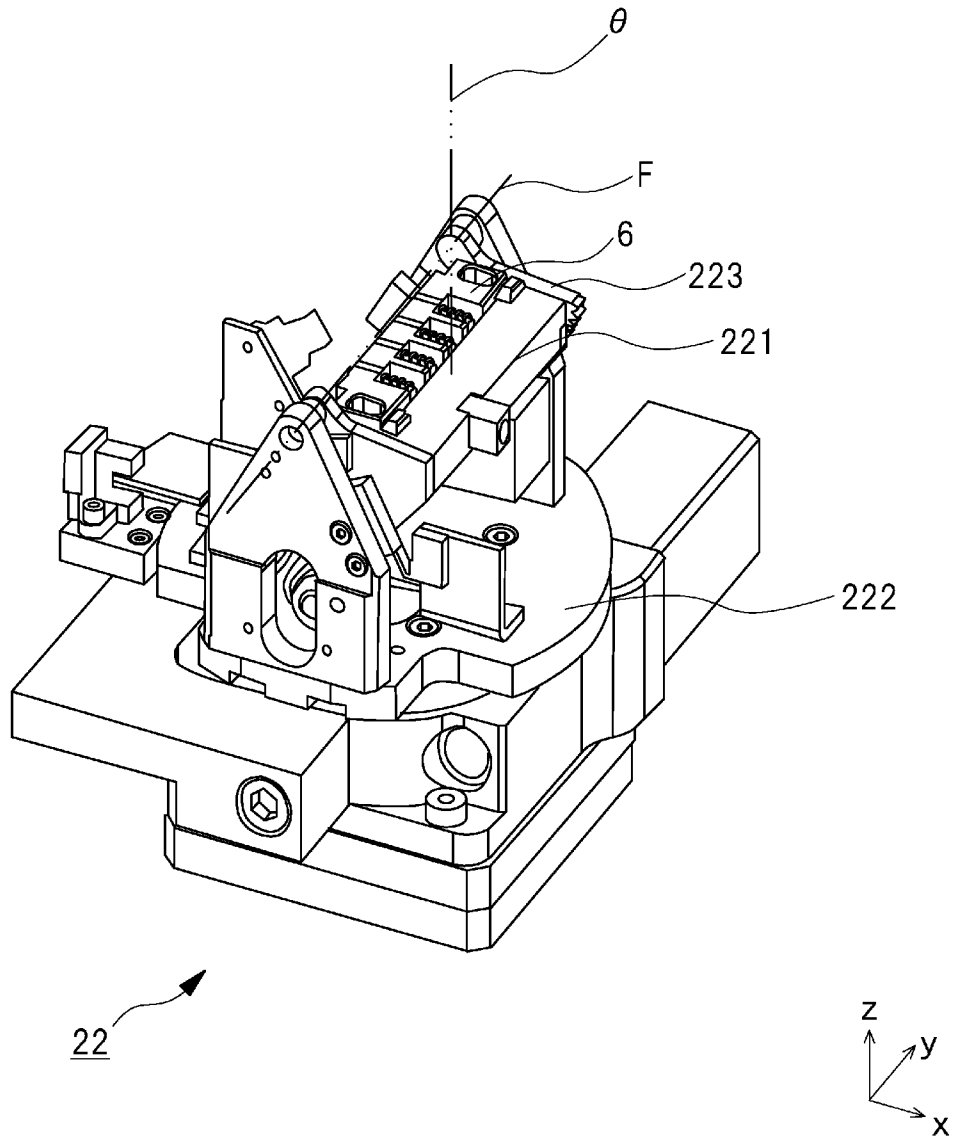


(B)



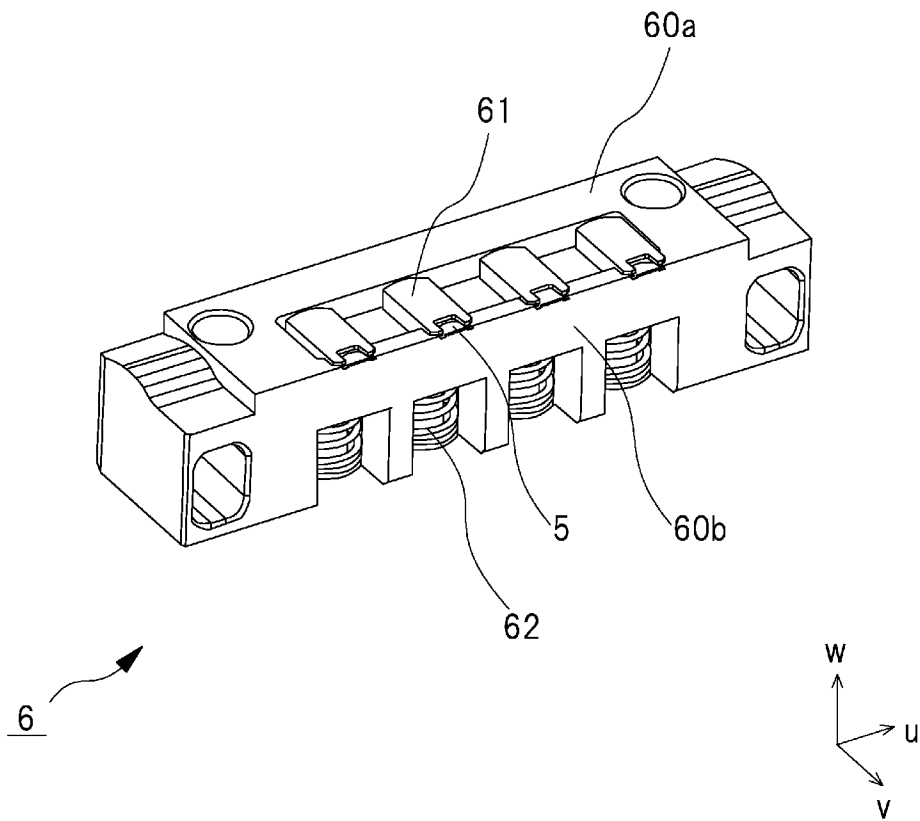
[図5]

図 5



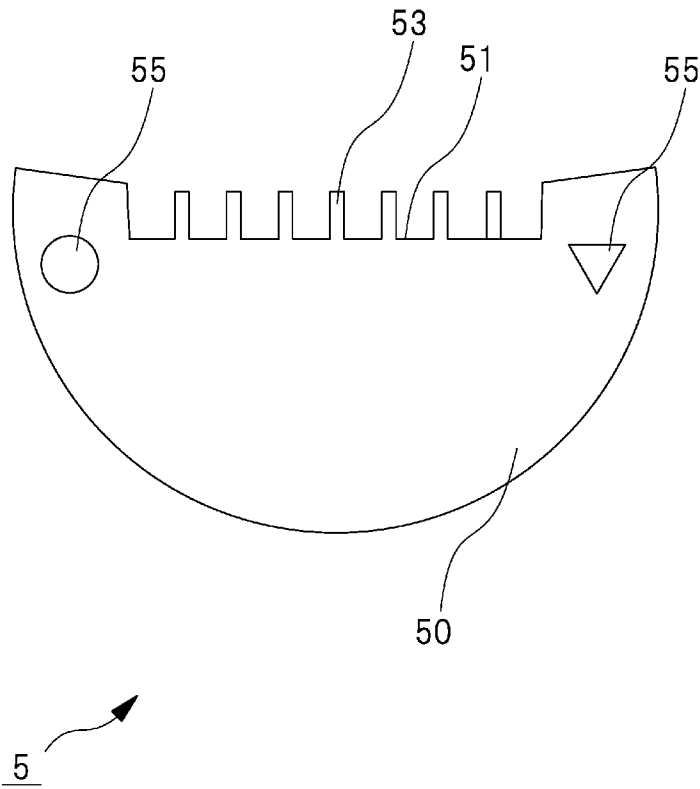
[図6]

図 6



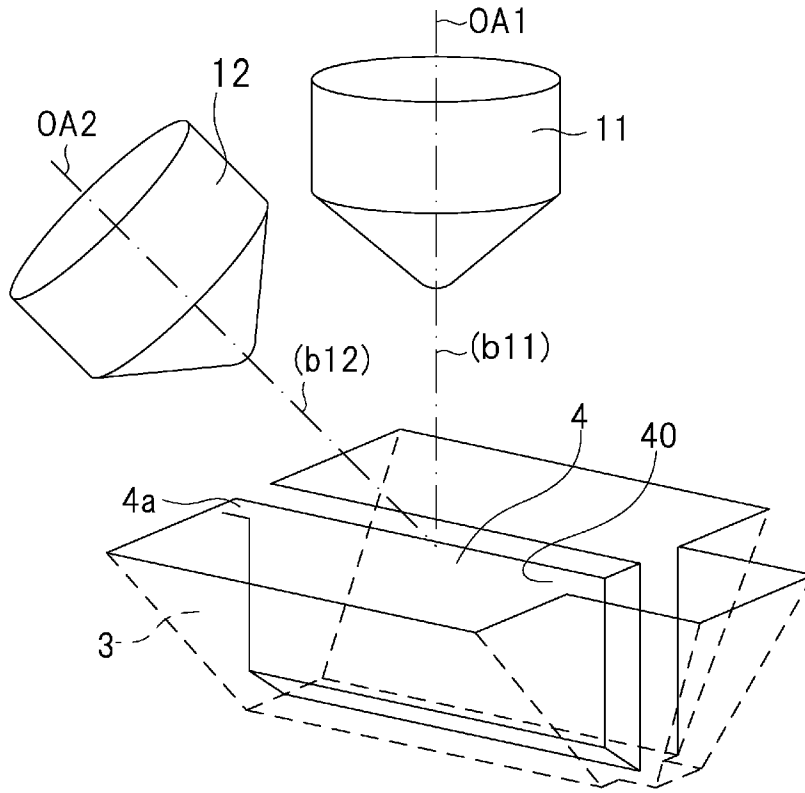
[図7]

7



[図8]

図 8

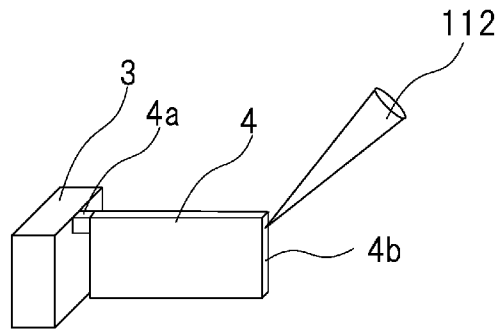




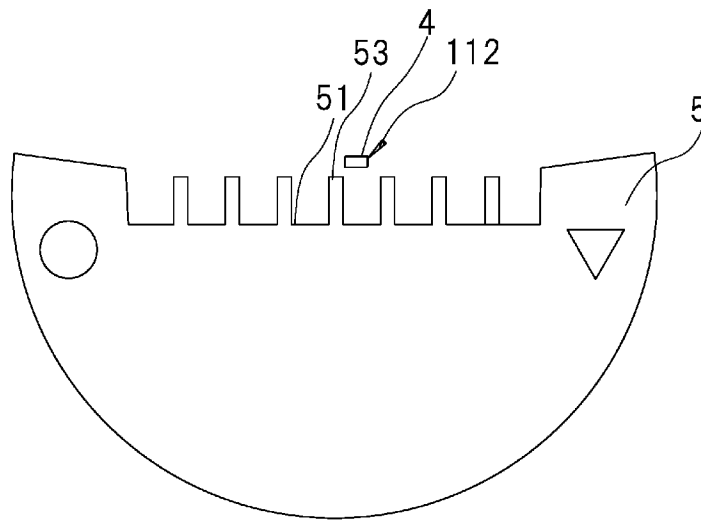
[図9]

9

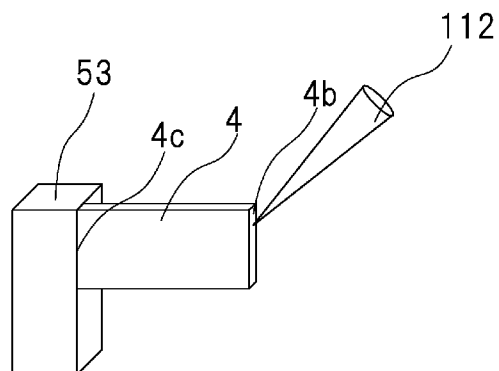
(A)



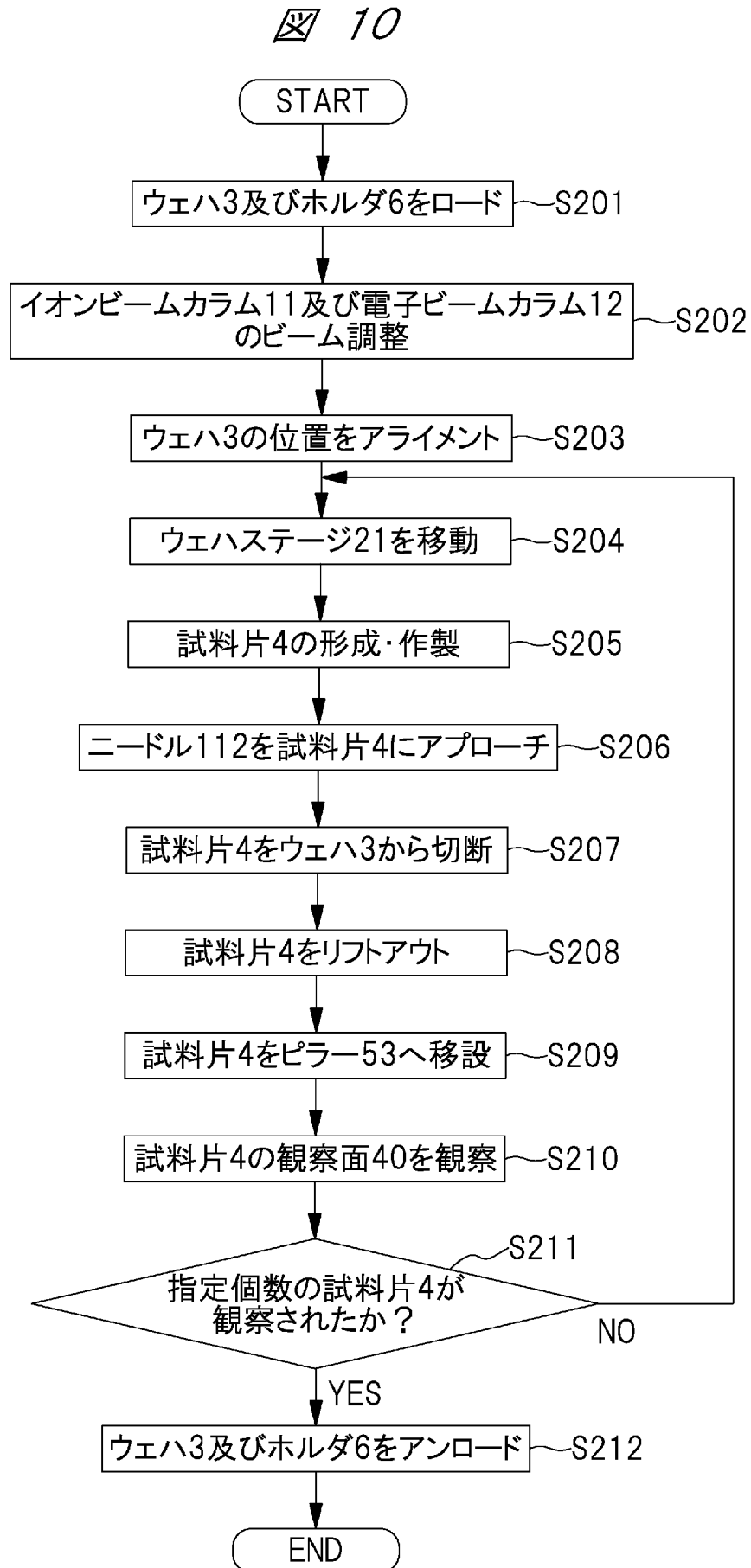
(B)




(C)



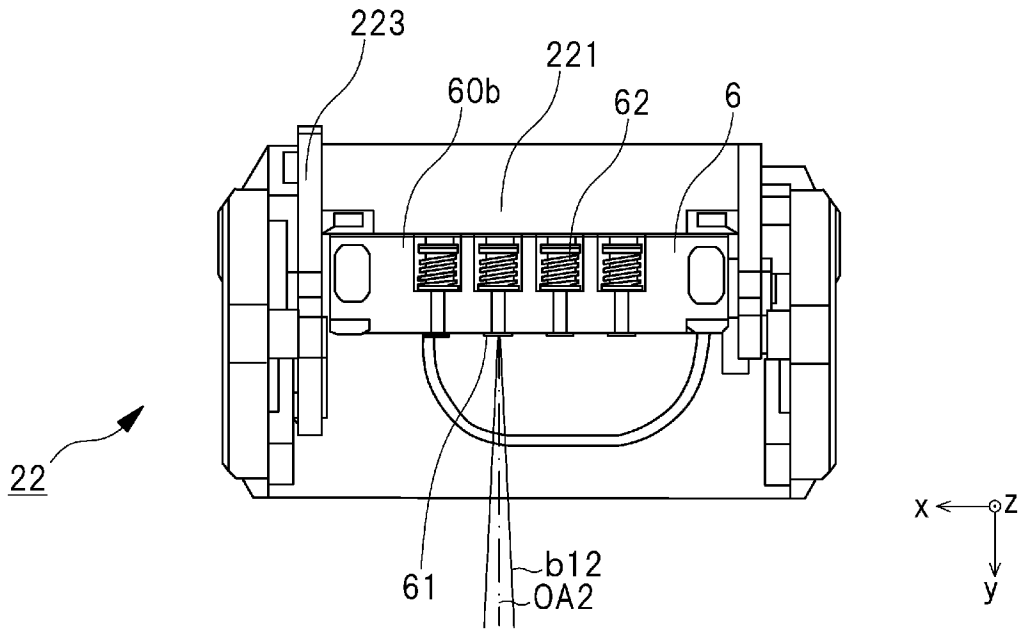
[図10]



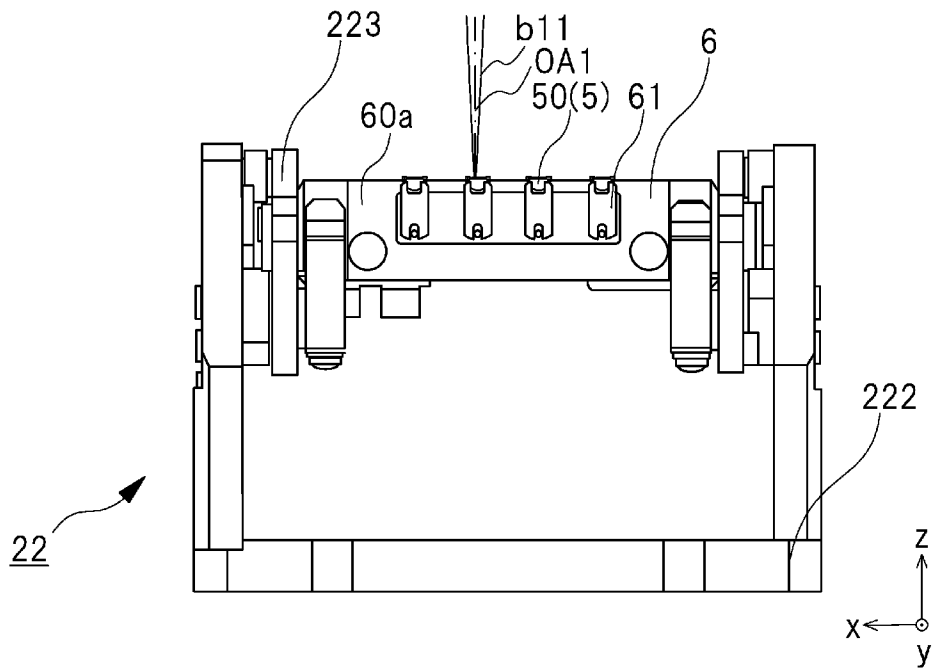
[図11]

 11

(A)

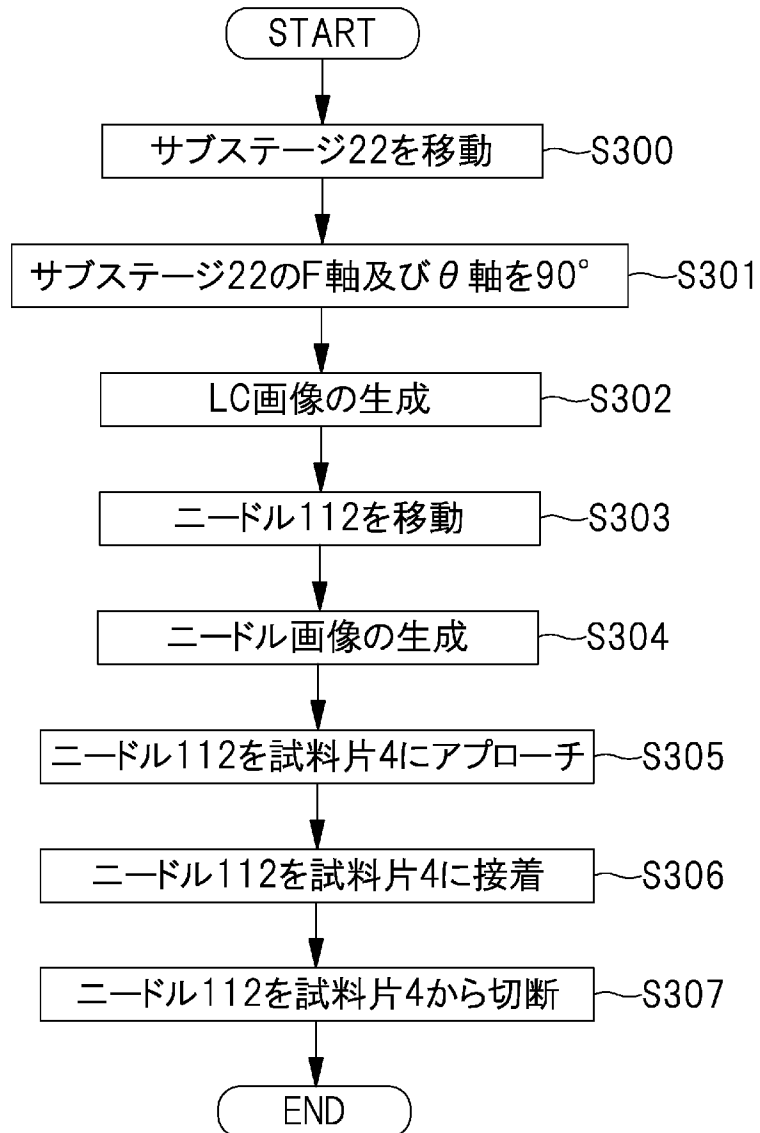


(B)



[図12]

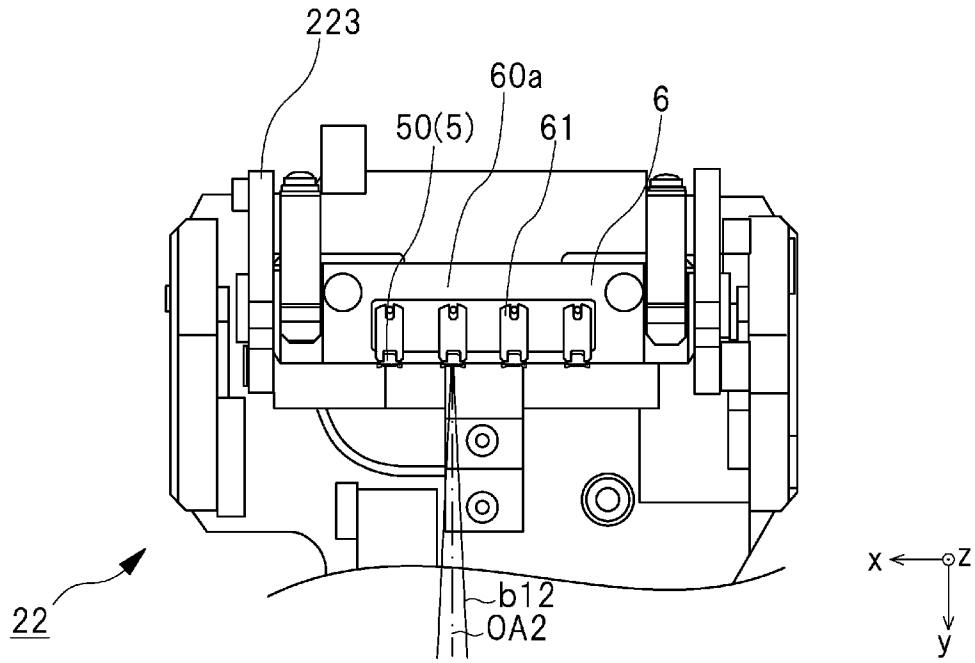
図 12



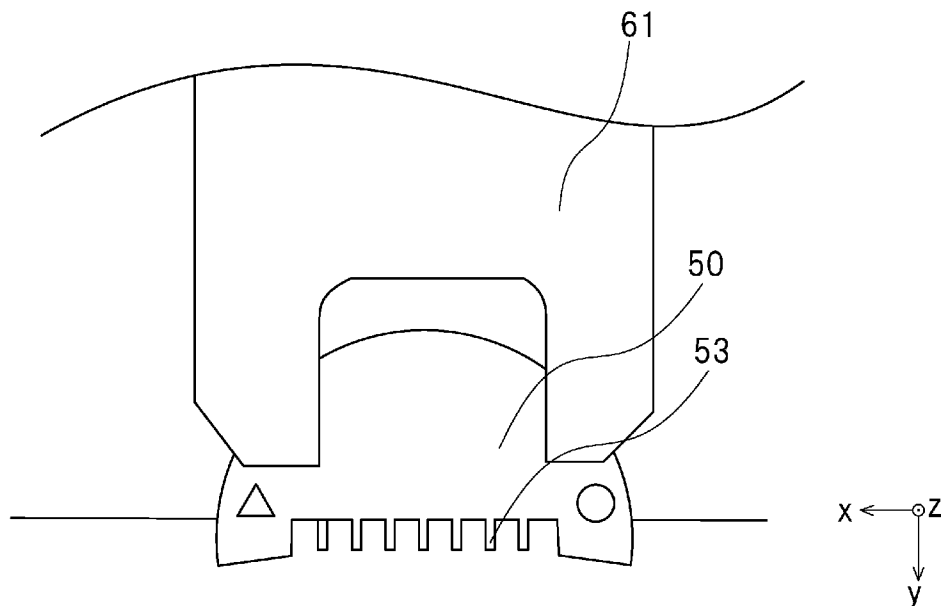
[図13]

図 13

(A)

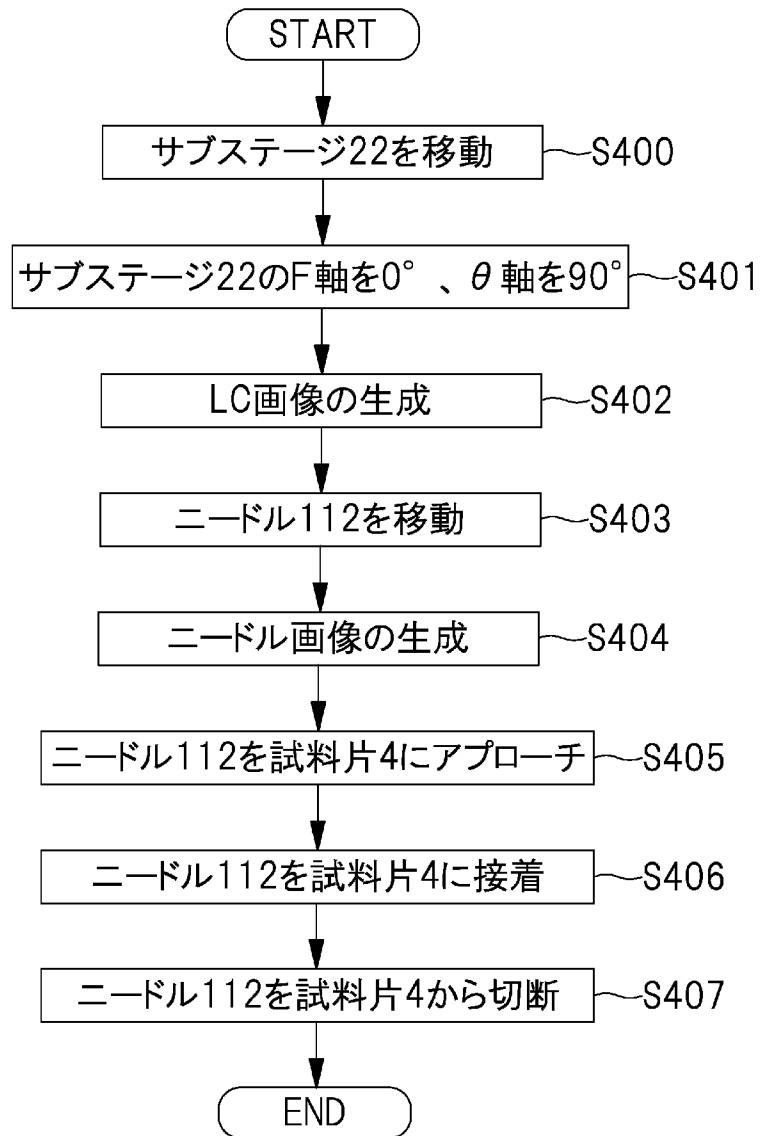


(B)



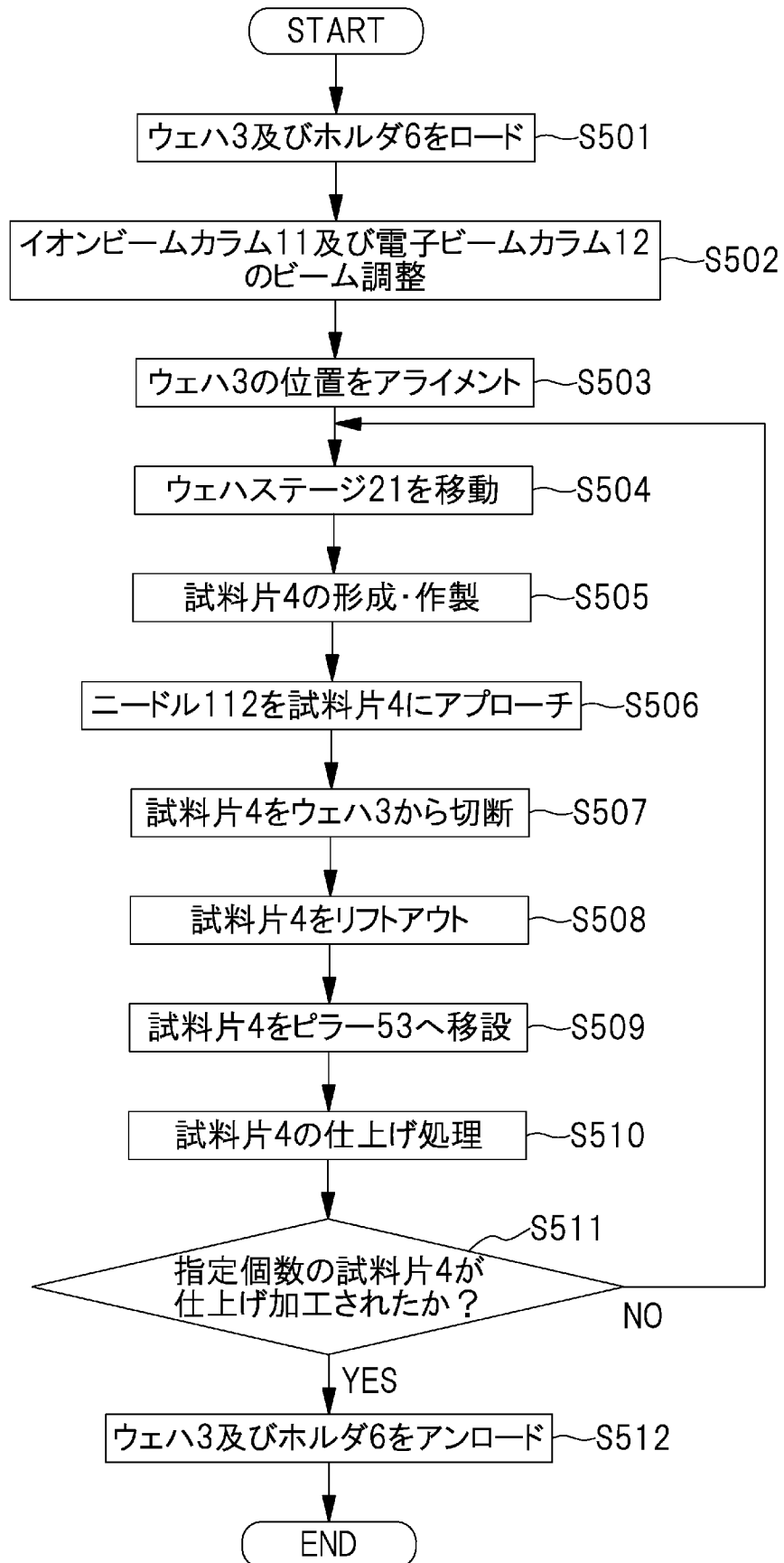
[図14]

図 14



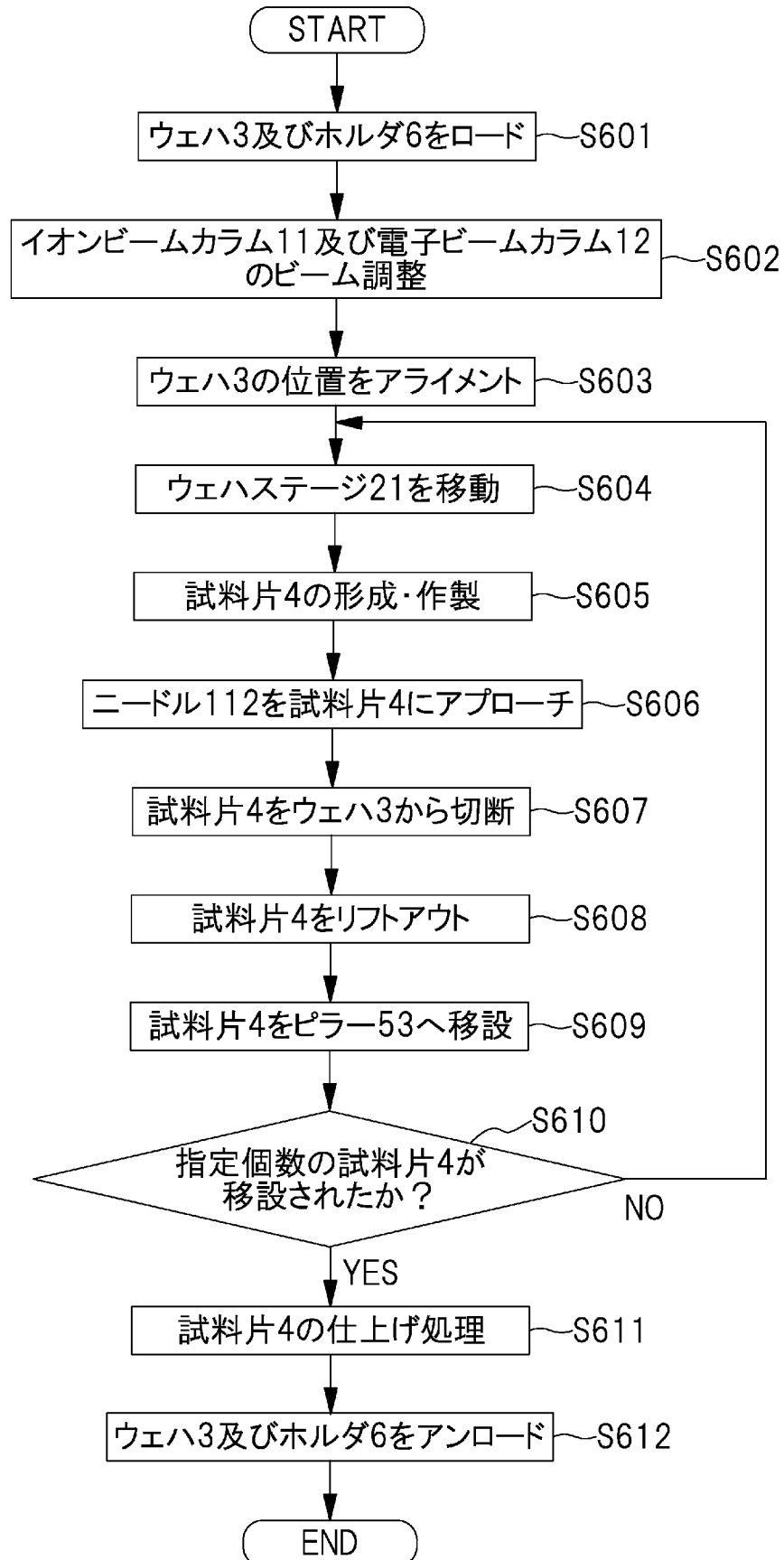
[図15]

図 15



[図16]

## 図 16

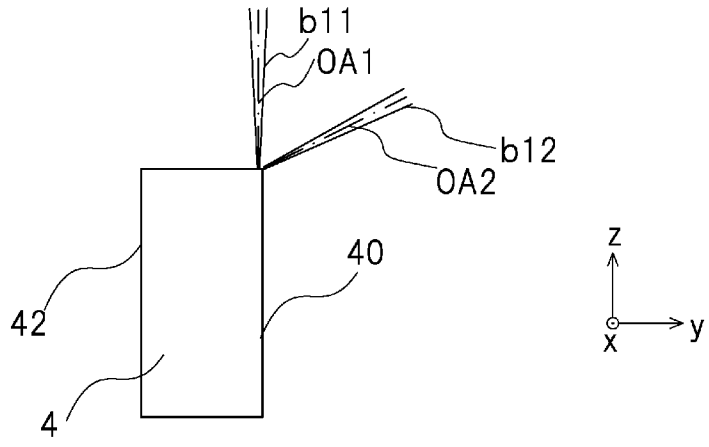




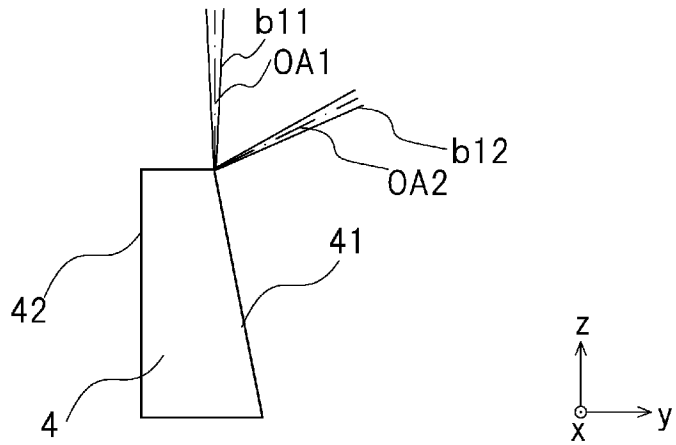
[図17]

図 17

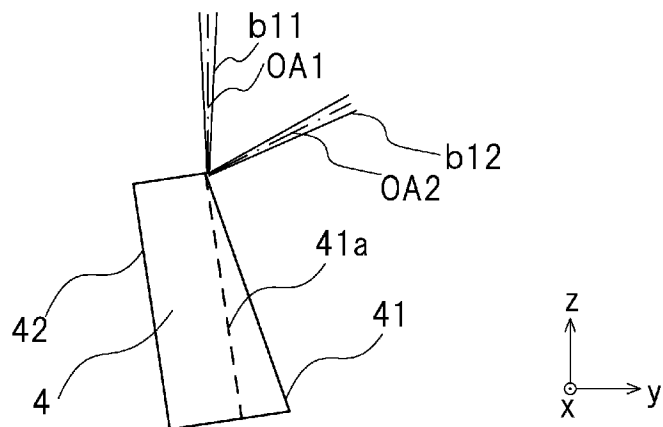
(A)



(B)

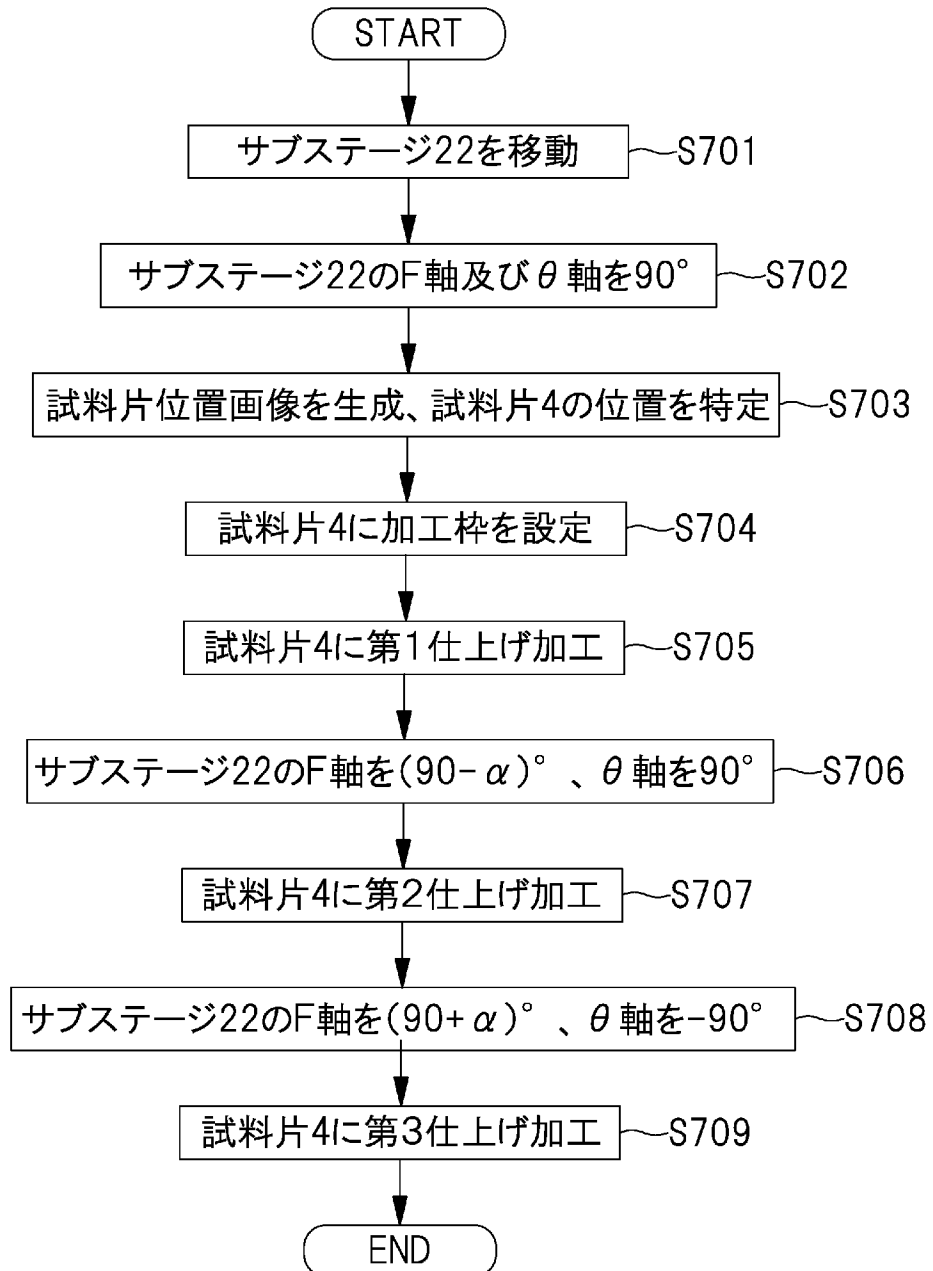


(C)



[図18]

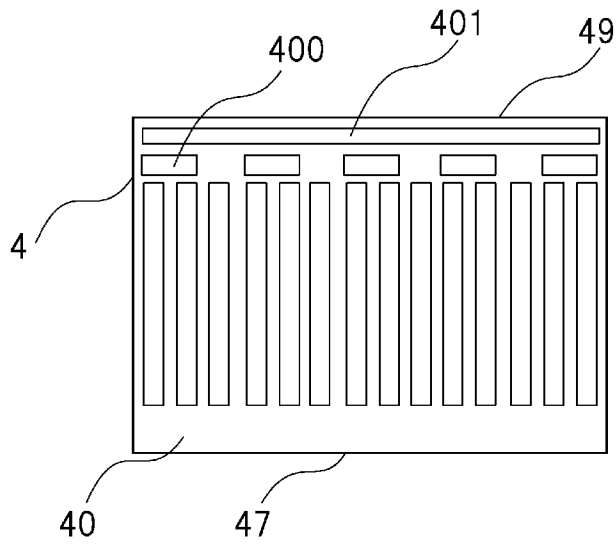
図 18



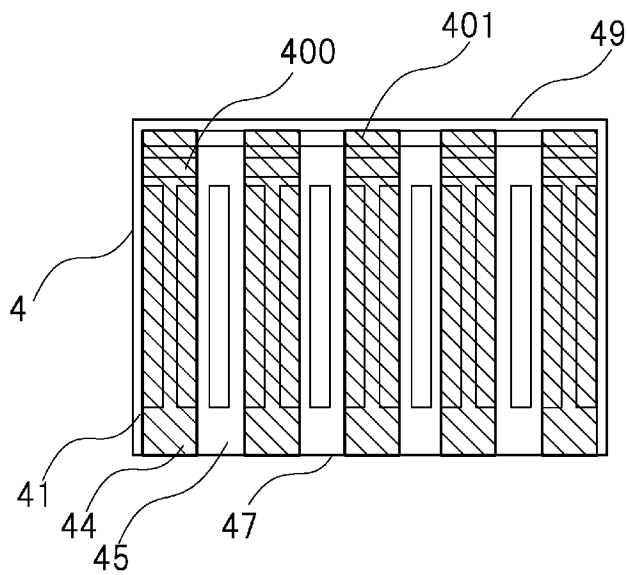
[図19]

19

(A)



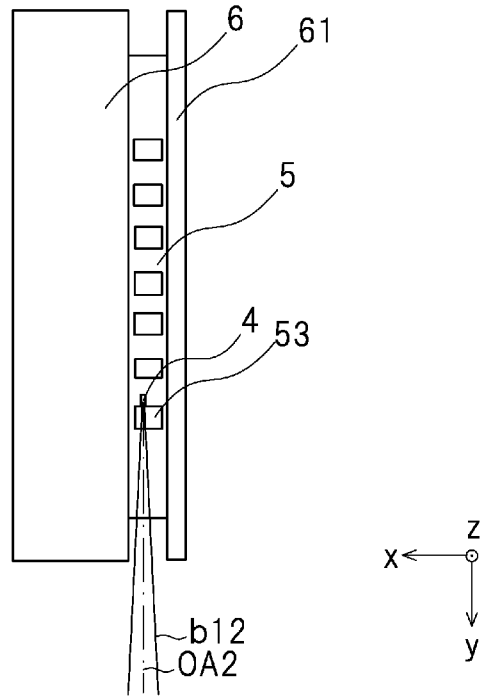
(B)



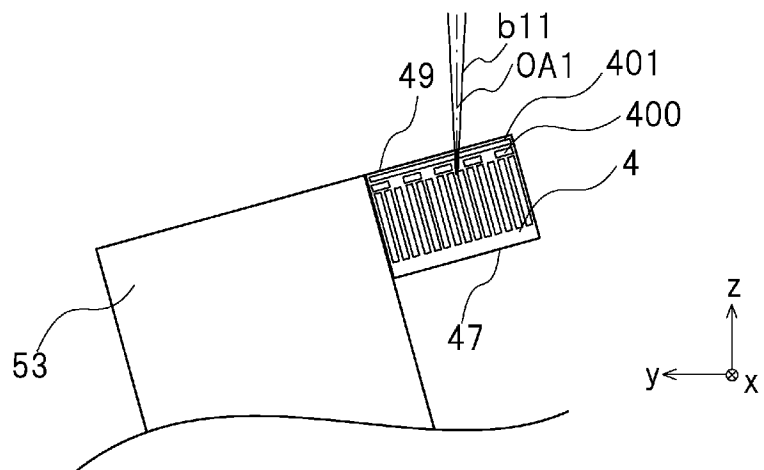
[図20]

20

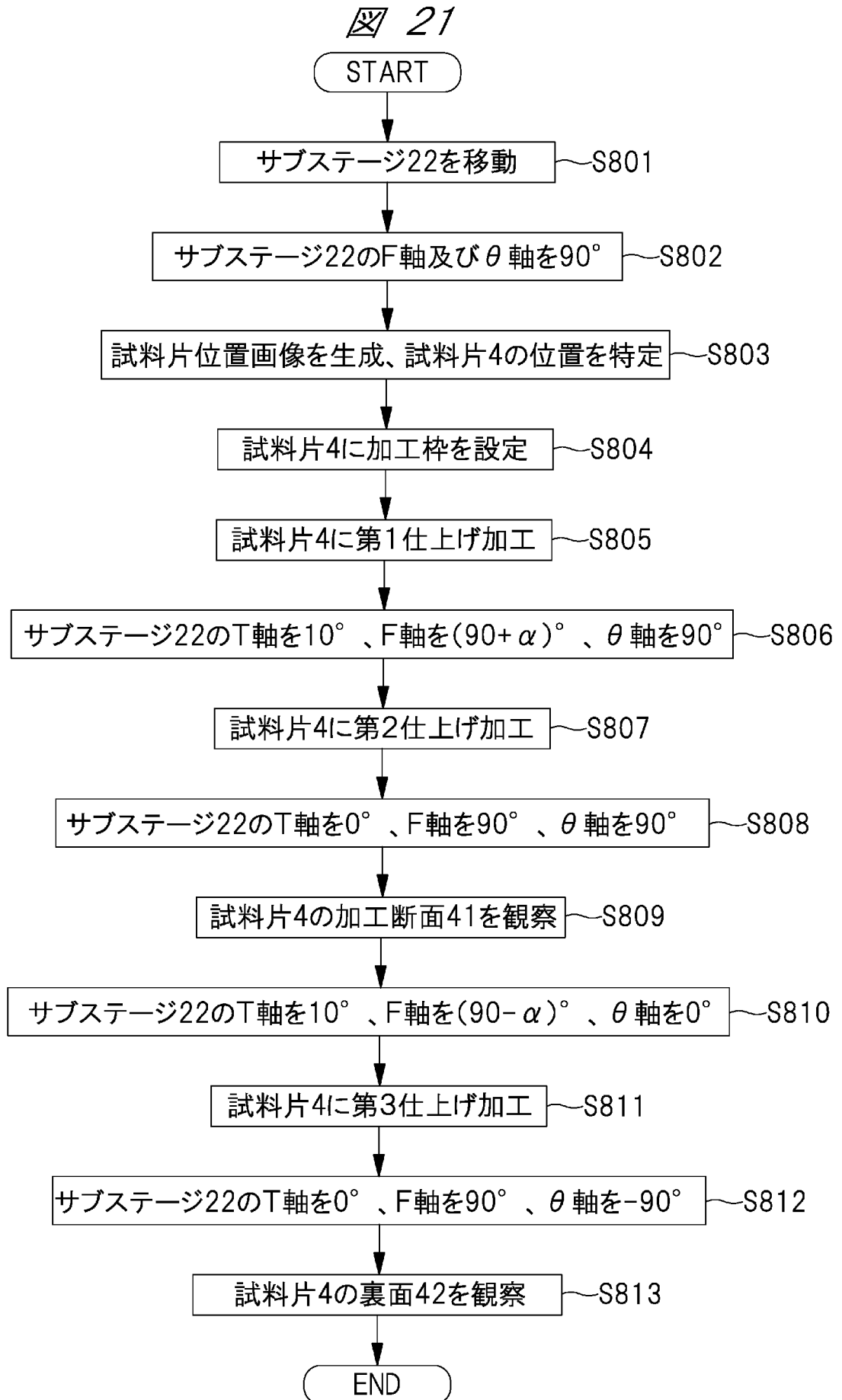
(A)



(B)



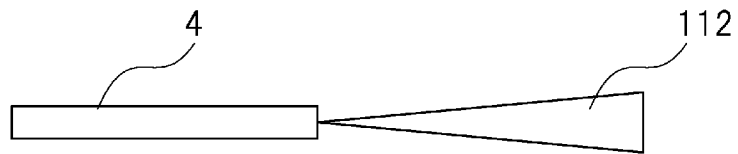
[図21]



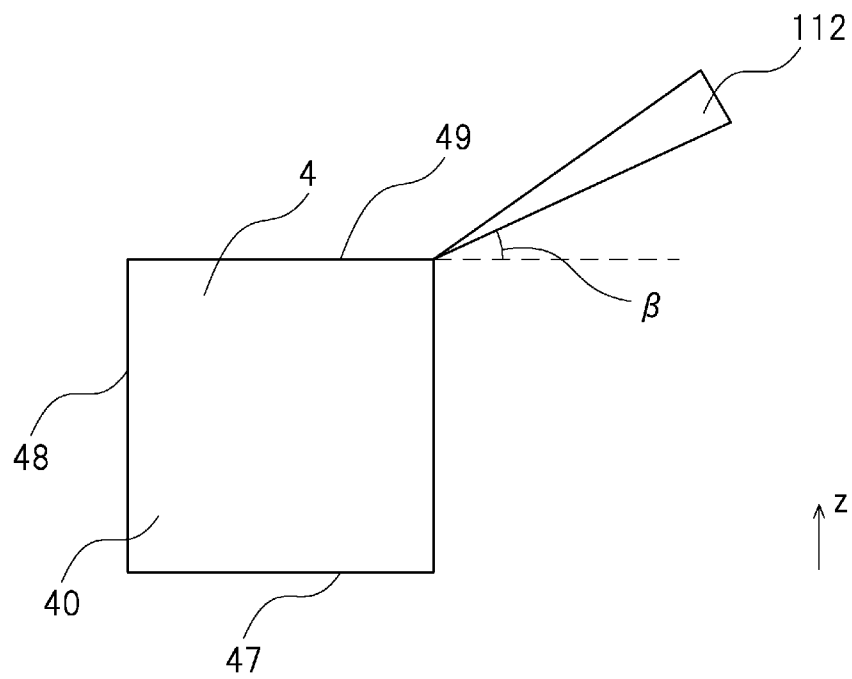
[図22]

22

(A)



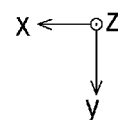
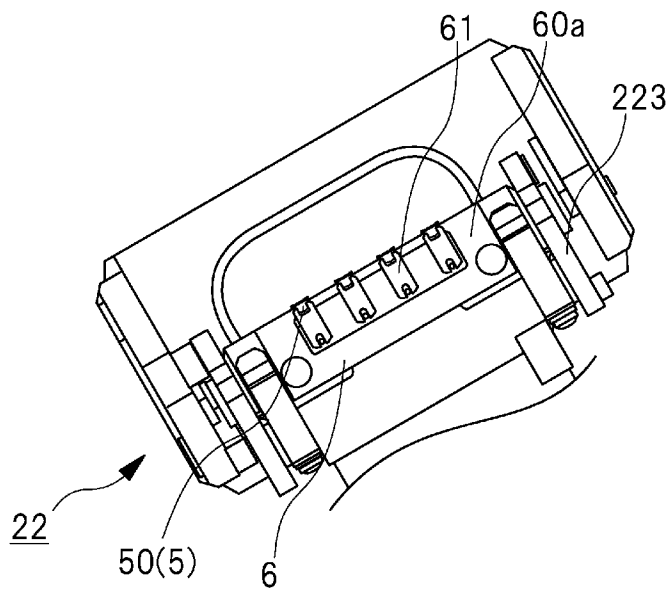
(B)



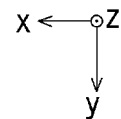
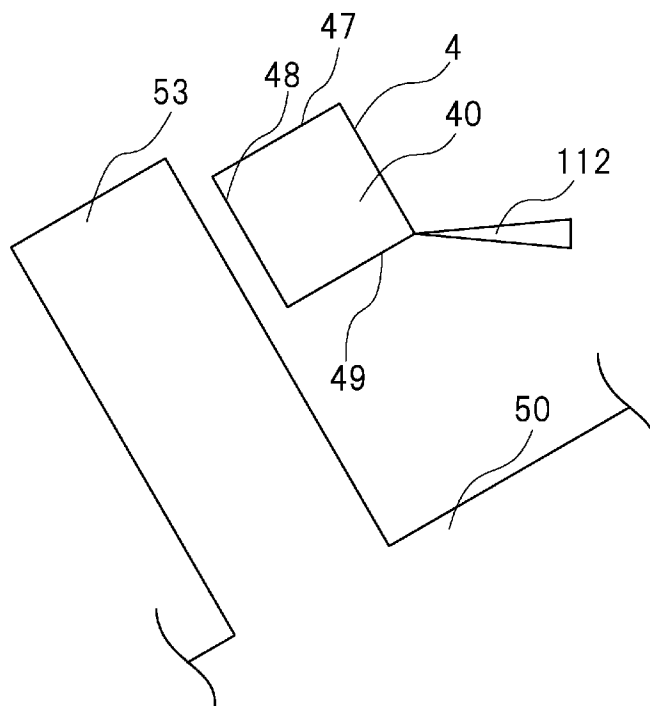
[図23]

23

(A)

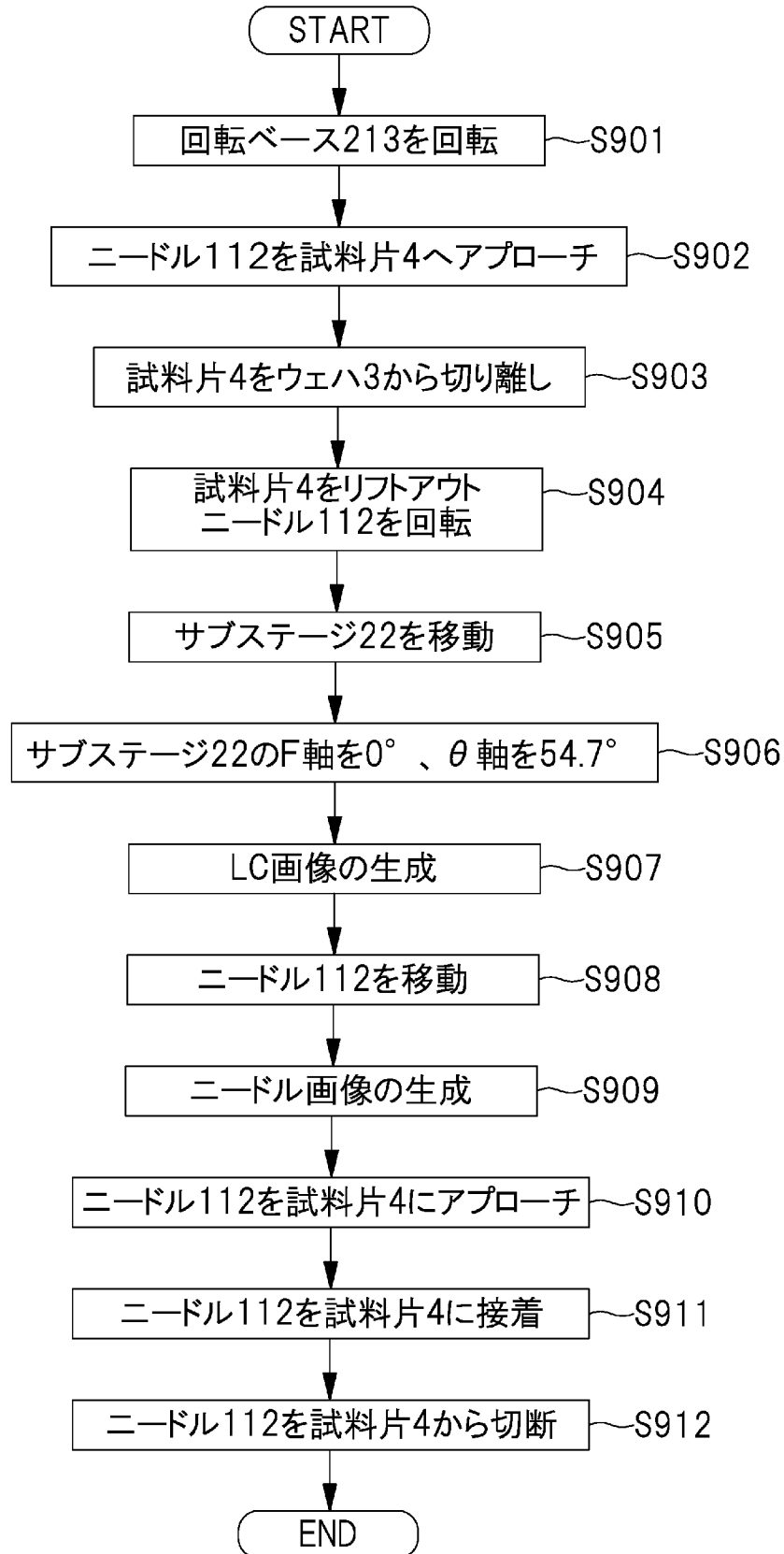


(B)



[図24]

図 24





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/001972

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>H01J 37/20</i> (2006.01)i FI: H01J37/20 A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01J37/20		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-214056 A (HITACHI, LTD.) 04 August 2000 (2000-08-04) paragraphs [0092]-[0097], [0103]-[0108], fig. 7-10	1, 3
Y		2
A		4-6
Y	WO 2021/130992 A1 (HITACHI HIGH-TECH CORPORATION) 01 July 2021 (2021-07-01) paragraphs [0053]-[0056], fig. 5	2
A		1, 3-6
Y	JP 2007-129214 A (FEI COMPANY) 24 May 2007 (2007-05-24) paragraphs [0026]-[0036], fig. 1, 3	2
A		1, 3-6
Y	JP 2011-216465 A (SII NANOTECHNOLOGY INC.) 27 October 2011 (2011-10-27) paragraphs [0020]-[0033], fig. 1-3	4-6
A		1-3
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search <b>03 March 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>20 March 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No. <b>PCT/JP2023/001972</b>
---

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2000-214056 A	04 August 2000	(Family: none)	
WO 2021/130992 A1	01 July 2021	(Family: none)	
JP 2007-129214 A	24 May 2007	US 2007/0125958 A1 paragraphs [0040]-[0055], fig. 1, 3 EP 1780764 A1 CN 1959416 A	
JP 2011-216465 A	27 October 2011	US 2011/0226947 A1 paragraphs [0036]-[0049], fig. 1-3	
JP 4-076437 A	11 March 1992	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01J 37/20(2006.01)i FI: H01J37/20 A		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01J37/20 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2000-214056 A (株式会社日立製作所) 04.08.2000 (2000-08-04) [0092]-[0097], [0103]-[0108], 図7-10	1, 3 2 4-6
Y A	WO 2021/130992 A1 (株式会社日立ハイテク) 01.07.2021 (2021-07-01) [0053]-[0056], 図5	2 1, 3-6
Y A	JP 2007-129214 A (エフイーアイカンパニ) 24.05.2007 (2007-05-24) [0026]-[0036], 図1, 3	2 1, 3-6
Y A	JP 2011-216465 A (エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社) 27.10.2011 (2011-10-27) [0020]-[0033], 図1-3	4-6 1-3
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 03.03.2023	国際調査報告の発送日 20.03.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 中尾 太郎 2G 1765 電話番号 03-3581-1101 内線 3226	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 4-076437 A (セイコーインスツルメンツ株式会社) 11.03.1992 (1992 - 03 - 11)	4-6
A	明細書第3頁, 第3図	1-3

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/001972

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2000-214056 A	04.08.2000	(ファミリーなし)	
WO 2021/130992 A1	01.07.2021	(ファミリーなし)	
JP 2007-129214 A	24.05.2007	US 2007/0125958 A1 [0040]-[0055], Figs. 1,3 EP 1780764 A1 CN 1959416 A	
JP 2011-216465 A	27.10.2011	US 2011/0226947 A1 [0036]-[0049], Figs. 1-3	
JP 4-076437 A	11.03.1992	(ファミリーなし)	