

(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
2020年10月1日(01.10.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/194986 A1

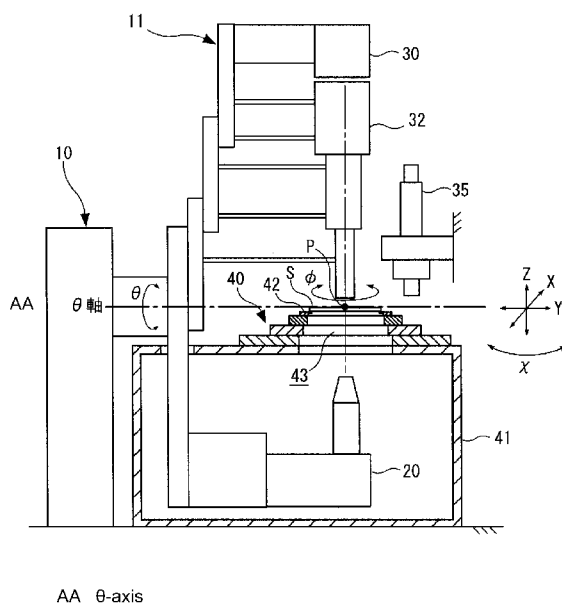
- (51) 国際特許分類:
G01N 23/20016 (2018.01) G01N 23/201 (2018.01)
G01N 23/20025 (2018.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/000234
- (22) 国際出願日: 2020年1月8日(08.01.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-065112 2019年3月28日(28.03.2019) JP
- (71) 出願人: 株式会社リガク (RIGAKU CORPORATION) [JP/JP]; 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 松嶋 直樹 (MATSUSHIMA Naoki); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP). 尾形 潔 (OGATA Kiyoshi); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP). 吉原 正 (YOSHIHARA Sei); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP).

- 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP). 伊藤 義泰 (ITO Yoshiyasu); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP). 表 和彦 (OMOTE Kazuhiko); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP). 本野 寛 (MOTONO Hiroshi); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP). 浅野 繁松 (ASANOO Shigematsu); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP). 洞田 克隆 (HORADA Katsutaka); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP). 安田 千水 (YASUDA Sensui); 〒1968666 東京都昭島市松原町三丁目9番12号 株式会社リガク内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 山本 寿武 (YAMAMOTO Toshitake); 〒1670054 東京都杉並区松庵3丁目20番11号 グレイス松庵 302 Tokyo (JP).

(54) Title: TRANSMISSIVE SMALL-ANGLE SCATTERING DEVICE

(54) 発明の名称: 透過型小角散乱装置

Fig. 1A



(57) Abstract: A transmissive small-angle scattering device according to the present invention is provided with a goniometer 10 including a rotary arm 11. The rotary arm 11 has an origin in a state of being vertically disposed and is rotatable around a θ -axis horizontally extending from the origin. In addition, this device has a vertical arrangement structure in which an X-ray radiation unit 20 is mounted on a lower end section of the rotary arm 11, and a two-dimensional X-ray detector 30 is mounted on an upper end section of the rotary arm 11.

(57) 要約: 本発明の透過型小角散乱装置は、回転アーム11を含むゴニオメータ10を備えている。回転アーム11は、鉛直方向の配置状態を原点として、当該原点から水平方向に延びる θ 軸周りに回転自在である。そして、回転アーム11の下側端部にX線照射ユニット20を搭載するとともに、回転アーム11の上側端部に二次元X線検出器30を搭載する、縦型の配置構造となっている。

(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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, IT, LT, LU, LV, MC, 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：透過型小角散乱装置

技術分野

[0001] この発明は、例えば、半導体製造工程の現場において非破壊で半導体デバイスを測定することができる透過型小角散乱装置（T-SAXS：Transmission - Small Angle X-ray Scattering）に関する。

背景技術

[0002] 近年の半導体デバイスは、性能向上のために高密度化、多層化、回路パターンの複雑化などが進んでいる。特に、三次元構造のNANDフラッシュメモリ（3D-NAND）においては、容量密度の増大に伴い多層化が進んでおり、その結果として、アスペクト比の大きなピラー（直径：数十～数百nm、高さ：数 μ m）やトレンチ（深溝）を有する構造となっている。

[0003] 従来、半導体デバイスの三次元構造の測定には、主に光寸法計測（OCD：Optical Critical Dimension）装置が用いられてきたが、同装置では上記のような複雑な構造を測定できない状況が生じている。走査型電子顕微鏡（SEM：Scanning Electron Microscope）や透過型電子顕微鏡（TEM：Transmission Electron Microscope）を用いれば、深さ方向の測定も可能ではある。しかし、これらの電子顕微鏡による測定は、測定対象を破壊しての測定手法となるために、半導体製造工程において製造された半導体デバイスを、その場で非破壊にて測定することはできない。

[0004] 近年、特許文献1に開示されているような透過型の小角散乱装置を、半導体デバイスの構造測定に用いるべく、分析機器メーカー各社が開発を進めているが、未だ実用化には至っていないのが現状である。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2017-125848号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] 本発明の目的は、上述した事情に鑑みてなされたもので、複雑な構造をした半導体デバイスの微細形状であっても、製造工程の現場において非破壊で効率的に測定することのできる透過型小角散乱装置の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明に係る透過型小角散乱装置は、検査対象となる試料を配置する試料保持部と、試料保持部を移動させる試料位置決め機構と、旋回アームを含むゴニオメータと、旋回アームに搭載されたX線照射ユニットと、旋回アームに搭載された二次元X線検出器とを備えている。そして、旋回アームは、鉛直方向の配置状態を原点として、当該原点から水平方向に延びる θ 軸周りに回動自在であり、X線照射ユニットは、旋回アームの下側端部に搭載され、二次元X線検出器は、旋回アームの上側端部に搭載されており、試料保持部に配置された試料に対して、X線照射ユニットから出射した収束X線を下方から照射するとともに、当該試料を透過した収束X線の周囲に生じた散乱X線を二次元X線検出器が試料の上方位置で検出する構成としたことを特徴とする。

このような縦型の配置構造とすることで、比較的狭い面積の床面にも設置することができる。

- [0008] ここで、旋回アームは、複数のアーム部材によって構成し、そのうち一つのアーム部材をゴニオメータの θ 回転軸に固定するとともに、当該 θ 回転軸に固定されたアーム部材に対し、他のアーム部材がスライドして重なり合う構成としてもよい。

このように各アーム部材を畳むことにより、全長を短くしてコンパクトな形態とすることができる。

- [0009] また、試料保持部は、試料保持枠の内側に形成され、この試料保持枠の内側はX線透過孔となっており、このX線透過孔に対面する状態で試料を支持する構成としてもよい。

さらに、試料保持枠の内周縁には、複数箇所から吸着支持片を内側へ突き

出して設け、これら吸着支持片によって試料の外周縁部の一部分を吸着支持する構成としてもよい。

[0010] このように構成することで、試料裏面の広い範囲に接触することなく、試料を支持することができる。

しかも、吸着支持片によって支持された一部の微小領域を除く試料のほぼ全域に対し、X線照射ユニットからのX線をX線透過孔を通して照射できるため、測定可能領域を広く確保することができる。

[0011] また、試料位置決め機構は、試料保持部に支持された試料を面内回転させるための面内回転機構と、試料保持部を前後方向に移動させるためのY軸移動機構と、試料保持部を横方向に移動するためのX軸移動機構と、試料保持部を上下方向に移動するためのZ軸移動機構と、試料保持部を揺動させる揺動機構とを含み、Z軸移動機構は、くさび状に組み合わされた案内部材と摺動部材とを含み、案内部材が一方向に移動することで摺動部材を押し上げ、案内部材が逆方向に移動することで摺動部材を下降させる構成とすることができる。試料保持部は、摺動部材とともに上下方向に移動する。

この構成によれば、くさび状に組み合わされた案内部材と摺動部材との間は常にながたつくことなく摺接状態を保っているため、試料保持部を正確に上下方向へ移動させて所望の高さ位置へ位置決めすることができる。

[0012] また、透過型小角散乱装置の周囲を覆うための外部筐体を備えることもできる。外部筐体は、筐体本体と、一または複数の筐体要素部材とを含み、筐体本体に対して筐体要素部材が上下方向に移動自在であり、筐体要素部材を筐体本体と重ねて置んだ形態と、筐体要素部材を筐体本体から引き延ばした形態とを形成できる構成となっている。

筐体要素部材を筐体本体に重ねて置んだ状態とすることで、高さ寸法の小さいコンパクトな形態を形成でき、外部筐体の運搬作業や設置作業がきわめて容易となる。

[0013] 以上説明したように、本発明によれば、X線照射ユニットと二次元X線検出器とを、ゴニオメータの旋回アームに搭載して、縦型の配置構造としたの

で、比較的狭い面積の床面にも設置することができる。その結果、複雑な構造をした半導体デバイスの微細形状であっても、製造工程の現場において非破壊で効率的に測定することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図 1 A は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置の全体構造を模式的に示す側面構成図である。図 1 B は、同じく正面構成図である。

[図2]図 2 は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置の外観を示す斜視図である。

[図3]図 3 は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置の外観を、図 2 とは異なる方向から見た斜視図である。

[図4]図 4 は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置を構成するゴニオメータの旋回アームと、その旋回アームに搭載された構成要素の外観を示す斜視図である。

[図5]図 5 は、図 4 に示したゴニオメータの旋回アームを畳んで、全長を短くした状態を示す斜視図である。

[図6]図 6 は、X線照射ユニットと二次元X線検出器との間に構成される光学系を模式的に示す図である。

[図7]図 7 は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置を構成する試料ステージの外観を示す斜視図である。

[図8]図 8 は、試料を支持する試料保持部と面内回転機構を拡大して示す平面図である。

[図9]図 9 は、試料を支持する試料保持部と面内回転機構を拡大して示す斜視図である。

[図10]図 10 A は、X軸移動機構、Y軸移動機構、Z軸移動機構を示す斜視図である。図 10 B は、案内部材と摺動部材を模式的に示す構成図である。

[図11]図 11 は、 χ 軸揺動機構を示す斜視図である。

[図12]図 12 は、試料ステージの縦断面図である。

[図13]図 13 は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置を外部筐体で

覆った状態を示す斜視図である。

[図14]図14は、本発明の実施形態に係る外部筐体を畳んだ状態を示す斜視図である。

[図15]図15Aは、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置を外部筐体で覆った状態を示す左側面図である。図15Bは、同じく平面図である。

[図16]図16は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置を外部筐体で覆った状態を示す縦断面図である。

[図17]図17は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置を組み込んだ半導体検査装置の外観を示す斜視図である。

[図18]図18は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置の制御系を示すブロック図である。

[図19]図19は、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置による測定動作の実行手順を示すフローチャートである。

[図20]図20Aは、半導体ウェハの傾きを測定するための手段に関する構成例を模式的に示す正面構成図である。図20Bは、半導体ウェハの傾きを測定するための手段に関する他の構成例を模式的に示す側面構成図である。

符号の説明

[0015] S : 試料、P : 測定位置、

10 : ゴニオメータ、11 : 旋回アーム、12 : 第1アーム部材、13 : 第2アーム部材、14 : 第3アーム部材、12a, 13a : 案内レール、15 : 下部保持部材、16 : 上部保持部材、17 : 支持部材

20 : X線照射ユニット、21 : X線管、22 : 集光ミラー、23 : アパーチャ、24 : ガードスリット、25 : スリット

30 : 二次元X線検出器、31 : ダイレクトビームストップ、32 : 真空パス、

35 : 光学顕微鏡、36 : レーザ傾き測定器、36a : レーザ光源、36b : レーザ検出器、37 : 移動テーブル、

40 : 試料ステージ、41 : 枠体、42 : 試料保持部、43 : 空洞、50 :

基枠、51：X軸移動枠、52： χ 軸旋回台、52a：軸受、53：Y軸移動台、54：Z軸駆動台、55：Z軸移動台、56：試料保持枠、57：X線透過孔、58：吸着支持片、59：真空ノズル、60：回転ガイド部、61：回転支持部、62：支持ローラ、63：従動側プーリ、64：面内回転用駆動モータ、65：駆動側プーリ、66：駆動ベルト、67：X軸駆動用モータ、68：ボールねじ、69：ねじ軸、70：ナット部材、71：案内レール、72：スライダ、73：軸受、74：揺動支軸、75：Y軸駆動用モータ、76：ボールねじ、77：ねじ軸、78：軸受、79：ナット部材、80：Z軸駆動用モータ、81：案内部材、82：摺動部材、83：案内レール、84：スライダ、85： χ 軸駆動用モータ、86：駆動力伝達ベルト、87：ウォーム、88：ウォームホイール、89：駆動側プーリ、90：従動側プーリ、91：案内レール、92：スライダ、93：案内レール、94：スライダ、95：ボールねじ、96：ナット部材、

100：中央処理装置、101：X線照射コントローラ、102：画像認識回路、103：フォーカスコントローラ、104：位置決めコントローラ、105：ゴニオコントローラ、106：記憶部、107：検出制御回路、110：試料位置決め機構、

200：外部筐体、201：筐体本体、202、203：筐体要素部材、210、211：案内レール、220：遮蔽パネル、

300：ファンフィルターユニット、310：基板搬送装置(EFEM)、320：電装部

発明を実施するための最良の形態

[0016] 以下、この発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

〔概要〕

まず、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置の概要を説明する。

試料にX線ビームを照射したときに、X線ビームの進行方向の近傍の小さな角度領域（小角領域）でX線が散乱する。この散乱を小角散乱と称し、これを測定することにより物質に関する粒径や周期構造などを知ることができ

る。さらに近年においては、この小角散乱測定により、半導体デバイスを形成する薄膜に対して種々の情報を得るための分析手法の開発が進められている。

この小角散乱を測定するための装置が、小角散乱装置である。

[0017] 小角散乱装置には、試料の表面にX線を照射し、試料表面から反射してきた散乱X線を検出する反射型の小角散乱装置と、試料の裏面にX線を照射し、表面から放出された散乱X線を検出する透過型の小角散乱装置とがある。

[0018] 本発明は透過型の小角散乱装置である。この透過型小角散乱装置は、試料を挟んでX線源と二次元X線検出器とを対向配置し、X線源からのX線を試料の裏面に照射し、試料の表面から特定の角度に放射されてきた散乱X線を二次元X線検出器で検出する基本構造を備えている。

[0019] 従来一般の小角散乱装置は、X線源と二次元X線検出器とを水平配置した横型の構造となっているため、大きな設置面積が必要となる。

これに対し、本実施形態に係る透過型小角散乱装置は、半導体製造ラインが構築されたクリーンルーム内の制限された面積の床面にも設置可能とするために、X線源と二次元X線検出器とを上下方向に配置した縦型の構造となっている。

〔全体構造〕

図1Aは、本発明の実施形態に係る透過型小角散乱装置の全体構造を模式的に示す側面構成図、図1Bは、同じく正面構成図である。また、図2および図3は、透過型小角散乱装置の外観をそれぞれ異なる方向から見た斜視図である。

[0020] 本実施形態に係る透過型小角散乱装置は、ゴニオメータ10を備えている。ゴニオメータ10は、水平方向に延びる θ 軸周りに旋回アーム11を旋回駆動する機能を有している。旋回アーム11には、その両端部にX線照射ユニット20と二次元X線検出器30とが搭載してある。ここで、旋回アーム11は鉛直方向の配置状態を原点としてある。そして、X線照射ユニット20は下側端部に、二次元X線検出器30は上側端部にそれぞれ搭載してある

。このような縦型の配置構造とすることで、比較的狭い面積の床面にも設置することができる。

[0021] X線照射ユニット20と二次元X線検出器30は、試料ステージ40を挟んで互いに対向配置されており、試料ステージ40の試料保持部42に支持された試料Sに対して、X線照射ユニット20が下方からX線を照射する。そして、試料Sから透過してきたX線の周囲で微小角度領域に生じた散乱X線を二次元X線検出器30で検出する構成となっている。

[0022] ここで、試料ステージ40には、図1Aおよび図1Bに示すように、X線照射ユニット20から出射されたX線を透過する空洞43が形成しており、この空洞43を通して試料Sの裏面にX線を照射する構成となっている。

[0023] ゴニオメータ10の旋回アーム11には、円筒状の真空パス32が搭載してある。この真空パス32は、試料Sを透過してきたX線が空気に衝突した際に生じる空気散乱を無くして小角散乱の測定精度を向上させる機能を有している。

[0024] 試料ステージ40は、後述する試料位置決め機構による駆動をもって、試料保持部42を水平面と平行な前後方向（Y方向）と横方向（X方向）、および水平面と垂直な上下方向（Z方向）にそれぞれ移動して、試料Sの被検査点を透過型小角散乱装置の測定位置Pへ位置決めする構成を備えている。

[0025] また、試料位置決め機構は、試料保持部42に支持された試料Sを面内回転（ ϕ 回転）させる機能を備えている。さらに、試料位置決め機構は、試料保持部42に支持された試料Sを、 χ 軸周りに揺動（ χ 揺動）させる機能を備えている。この χ 軸は、水平面内でゴニオメータ10の θ 軸に対して直角に交わっている。この θ 軸と χ 軸の交点は、透過型小角散乱装置の測定位置Pと合致するように位置決めしてある。

[0026] 試料ステージ40は、図2および図3に示すように、枠体41に支持されている。枠体41とゴニオメータ10の旋回アーム11は、互いに干渉しないように相互の位置関係を調整してある。

[0027] また、本実施形態に係る透過型小角散乱装置は、試料Sの表面を認識する

光学顕微鏡 35 を備えている。光学顕微鏡 35 は、試料位置決め機構により駆動される各部や、ゴニオメータ 10 により旋回される X 線照射ユニット 20 および二次元 X 線検出器 30 など、周囲の各構成部と干渉しない位置に設置してある。

試料 S は、試料位置決め機構によって、光学顕微鏡 35 の下方位置へ移動することができる。

[0028] [ゴニオメータの旋回アームと、同アームに搭載される構成要素]

次に、図 4 および図 5 を主に参照して、ゴニオメータの旋回アームと、それに搭載される各構成要素の詳細構造を説明する。

図 4 は、本実施形態に係る透過型小角散乱装置を構成するゴニオメータの旋回アームと、その旋回アームに搭載された構成要素の外観を示す斜視図である。図 5 は、図 4 に示したゴニオメータの旋回アームを畳んで全長を短くした状態を示す斜視図である。

[0029] ギニオメータ 10 の旋回アーム 11 は、複数のアーム部材によって構成してある。図 4 および図 5 に示す本実施形態の旋回アーム 11 は、第 1、第 2、第 3 アーム部材 12、13、14 で構成され、第 1 アーム部材 12 がゴニオメータの θ 回転軸（図 1 A の θ 軸）に固定されている。

この第 1 アーム部材 12 に対して、第 2 アーム部材 13 が長手方向にスライドするとともに、第 2 アーム部材 13 に対して第 3 アーム部材 14 が長手方向にスライドして、図 5 に示すように、各アーム部材 12、13、14 が重なり合って畳まれる構造としてある。

このように各アーム部材 12、13、14 を畳むことにより、全長を短くしてコンパクトな形態とすることができる。

旋回アーム 11 を図 5 に示すコンパクトな形態にすることで、搬送作業や現場での据付け作業がきわめて容易となり、その作業に要する作業時間の短縮と労力の軽減を実現することができる。

[0030] 具体的には、第 1 アーム部材 12 の表面には長手方向に案内レール 12 a が設けてあって、この案内レール 12 a に沿って第 2 アーム部材 13 がスラ

イド自在となっている。同様に、第2アーム部材13の表面にも長手方向に案内レール13aが設けてあって、この案内レール13aに沿って第3アーム部材14がスライド自在となっている。

[0031] 旋回アーム11には、図4に示すように、各アーム部材12, 13, 14を展開して全長を引き延ばした状態と、図5に示すように、各アーム部材12, 13, 14を畳んで全長を短くした状態とにおいて、それぞれその状態を保持するロック機構（図示せず）が組み込まれている。

[0032] 第1アーム部材12の下端部には、X線照射ユニット20を搭載するための下部保持部材15が設けてある。X線照射ユニット20はこの下部保持部材15に固定される。下部保持部材15には、X線照射ユニット20の固定位置を長手方向に移動調整するためのスライド機構（図示せず）が組み込まれている。

[0033] また、第3アーム部材14の上端部には、二次元X線検出器30を搭載するための上部保持部材16が設けてある。二次元X線検出器30はこの上部保持部材16に固定される。上部保持部材16にも、二次元X線検出器30の固定位置を長手方向に移動調整するためのスライド機構（図示せず）が組み込まれている。

[0034] 現場での据付け時には、X線照射ユニット20と二次元X線検出器30を移動調整することで、あらかじめ設定した仕様に合わせた装置の据え付けを実現できる。

[0035] また、上部保持部材16には、二次元X線検出器30の手前に、ダイレクトビームストッパ31が設置される。このダイレクトビームストッパ31は、X線照射ユニット20から試料Sを透過して直進してきたX線を遮蔽して、二次元X線検出器30に入射させない機能を有している。

[0036] 旋回アーム11には、既述したように真空パス32も搭載される。各アーム部材12, 13, 14には、この真空パス32を支持するための支持部材17が設けてある。真空パス32は、これらの支持部材17に支持されて、試料Sを透過してきたX線とその周囲に生じる散乱X線の光路上に配置され

る。真空パス 32 の上端面は、二次元 X 線検出器 30 の近傍に位置決めされる。

[0037] さて、試料 S を透過してきた散乱 X 線は、放射状に広がって二次元 X 線検出器 30 に到達する。そこで、真空パス 32 は、試料 S に対向する下端面の直径を小さくし、上端面に向かうに従い段階的に直径を大きくした構造としてある。

この真空パス 32 は、内部が密閉されて真空状態を形成しており、両端面は、X 線吸収率は小さいカーボン、ボロンカーバイド、カプトンなどの材料で形成してある。これにより、試料 S を透過してきた X 線および散乱 X 線を透過するとともに、空気散乱の発生を防止することができる。

[0038] [X 線照射ユニットを含む光学系と、二次元 X 線検出器]

図 6 は、X 線照射ユニットと二次元 X 線検出器との間に構成される光学系を模式的に示す図である。

X 線照射ユニット 20 は、X 線管 21 と、集光ミラー 22 と、アパーチャ 23 とを構成要素に含んでいる。また、試料 S の手前にはガードスリット 24 が配置される。

[0039] X 線管 21 としては、ターゲット上での電子線焦点サイズが $70\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $40\ \mu\text{m}$ 以下の X 線管球を用いる。ターゲット材料としては、銅 (Cu)、モリブデン (Mo)、銀 (Ag)、金 (Au) などが選択できるが、透過式の場合、基板である Si ウェハを透過できるエネルギーの高い X 線が必要なため、それを可能にするモリブデン (Mo) や銀 (Ag) を用いることが望ましい。

[0040] 集光ミラー 22 には、表面に多層膜が形成された 2 つの多層膜ミラーを L 字型に配置して一体化したサイド・バイ・サイド方式の集光ミラー 22 を採用することができる。またこの他にも、2 つの多層膜ミラーを独立して配置したカークパトリック・バエズ方式の集光ミラーを採用してもよい。

集光ミラー 22 は、二次元 X 線検出器 30 の検出面に焦点が合うように調整され、焦点において縦横 $100\ \mu\text{m}$ 以下、好ましくは $50\ \mu\text{m}$ 以下の矩形

スポットにX線を集光させる機能を有している。

[0041] アパーチャ23は、X線管21から出射してきたX線が集光ミラー22に入射せずそのまま外側を抜けてしまう漏れ光を遮蔽する機能を有している。X線管21から出射したX線は、アパーチャ23により漏れ光が遮蔽され、続いて集光ミラー22によって単色化されかつ収束される。

[0042] ガードスリット24は、ゲルマニウムの単結晶で製作した単結晶ピンホールスリットであり、旋回アーム11に設けられたスリット支持部材（図示せず）に支持されて、試料Sの手前に配置される。

通常のスリットは、X線が当たると寄生散乱が発生してバックグラウンドが大きくなる欠点がある。これに対してゲルマニウムの単結晶で形成されたガードスリット24は、寄生散乱を低減でき、バックグラウンドを抑制することができる。

なお、集光ミラー22とガードスリット24の間に、さらにX線の断面積を絞るためのスリット25を配置してもよい。

[0043] X線管21から出射したX線は、アパーチャ23により漏れ光が遮蔽されて集光ミラー22に入射する。そして、集光ミラー22で単色化されかつ収束されたX線は、ガードスリット24によって断面積を絞られて、試料S上にある微小面積の被検査点に照射される。

[0044] 続いて、試料Sを透過したX線と、その周囲の小角領域に発生した散乱X線は、図4に示した真空パス32を通過して二次元X線検出器30に向かって進行する。このうち、X線照射ユニット20から試料Sを透過して直進してきたX線は、二次元X線検出器30の手前に設けたダイレクトビームストップ31により遮蔽される。これにより、二次元X線検出器30には、X線の小角領域に発生した散乱X線のみが入射する。

[0045] ここで、X線管21の焦点から試料Sまでの距離L1は、試料Sに照射されるX線の集光面積に影響する。すなわち、距離L1が長いほど、試料Sに照射されるX線の集光面積が小さくなる。また、透過型小角散乱装置においては、試料Sから二次元X線検出器30までの距離L2をカメラ長と称し、

このカメラ長 L_2 は二次元X線検出器30の角度分解能に影響を与える。すなわち、カメラ長 L_2 が長いほど角度分解能が向上する。

[0046] しかし、本実施形態のように縦型に配置した透過型小角散乱装置では、距離 L_1 やカメラ長 L_2 を長く確保するにも限界がある。そこで、これらの寸法は、本装置を据え付ける現場の環境と、試料S上でのX線の集光面積と、角度分解能とを総合的に勘案して適宜決定することが好ましい。

[0047] 既述したように、旋回アーム11は、第1アーム部材12に対して、第2アーム部材13が長手方向にスライドするとともに、第2アーム部材13に対して第3アーム部材14が長手方向にスライドする構成となっているので、これらスライドする各アーム部材13、14のスライド位置を適宜調整することで、カメラ長 L_2 を任意に設定することができる。

[0048] なお、X線照射ユニット20をX線の光軸方向へ移動させて、距離 L_1 を任意に変更するための位置調整機構を、旋回アーム11に設けることもできる。さらに、二次元X線検出器30をX線の光軸方向へ移動させて、カメラ長 L_2 を任意に変更するための位置調整機構を、旋回アーム11に搭載した構成とすることもできる。

[0049] [試料ステージ]

次に、図7～図12を主に参照して、試料ステージの詳細構造を説明する。

図7は、本実施形態に係る透過型小角散乱装置を構成する試料ステージの外観を示す斜視図である。図8は、試料を支持する試料保持部を拡大して示す平面図、図9～図11は、試料位置決め機構を説明するために試料ステージのそれぞれ異なる部位を注目して見た斜視図、図12は、試料ステージの縦断面図である。

[0050] 既述したように、試料ステージ40は、試料Sを支持する試料保持部42と、この試料保持部42を駆動する試料位置決め機構を備えている。

試料位置決め機構は、試料保持部42に支持された試料Sを面内回転（ ϕ 回転）させるための面内回転機構と、試料保持部42に支持された試料Sの

表面と平行な前後方向（Y軸方向）に、試料保持部42を移動させるためのY軸移動機構と、試料保持部42に支持された試料Sの表面と平行な横方向（X軸方向）に、試料保持部42を移動するためのX軸移動機構と、試料保持部42に支持された試料Sの表面と垂直な上下方向（Z軸方向）に、試料保持部42を移動するためのZ軸移動機構と、試料保持部42を χ 軸周りに揺動させる χ 軸揺動機構と、を含んでいる。

[0051] ここで、試料ステージ40は、図7に示すように、基枠50の上にX軸移動枠51が搭載され、このX軸移動枠51の上に χ 軸旋回台52が搭載され、また χ 軸旋回台52の上にY軸移動台53が搭載され、さらにY軸移動台53の上にZ軸駆動台54とZ軸移動台55が搭載され、そしてZ軸移動台55の上に試料保持部42を形成する試料保持枠56が搭載された構成となっている。

[0052] 図8に示すように、試料保持部42は、円形をした試料保持枠56の内側に形成される。この試料保持枠56の内側はX線透過孔57となっており、このX線透過孔57に対面する状態で試料Sを支持する構成となっている。試料保持枠56の内周縁には、複数箇所（図では4箇所）から吸着支持片58が内側へ突き出して設けてある。

試料Sは、これら吸着支持片58の上面に外周縁部の一部分が配置され、これら吸着支持片58の上面に真空吸着される。なお、各吸着支持片58の上面には、真空ノズル59が開口しており、図示しない真空吸引装置により真空ノズル59は真空吸引される。

[0053] 試料保持枠56の内側に形成したX線透過孔57は、図1Aおよび図1Bに示した試料ステージ40の空洞43と連通している（図12参照）。X線照射ユニット20から出射されたX線は、空洞43からX線透過孔57を抜けて吸着支持片58に支持された試料Sの裏面に照射される。

[0054] 従来のX線検査装置は、カプトンなどのX線吸収率の低い材料で試料保持部42を形成し、試料Sの裏面全体をその試料保持部42の上面に密着して配置する構成のものが一般的である。しかし、例えば、半導体ウェハに形成

された半導体デバイスが検査対象であった場合は、カプトンなどの材料で形成された試料保持部42に半導体ウェハの裏面が接触して汚染されるおそれがある。

[0055] 本実施形態の試料保持部42によれば、試料Sの裏面は、外周縁部の限られた一部のみが吸着支持片58に接触するだけであるため、回路パターンが形成された半導体ウェハの中央部分に触れることなく試料Sを支持することができる。

[0056] しかも、吸着支持片58によって支持された一部の微小領域を除く試料Sのほぼ全域に対し、X線照射ユニット20からのX線を空洞43およびX線透過孔57を通して照射できるため、測定可能領域を広く確保することができる。なお、吸着支持片58によって支持された一部の微小領域については、試料S搬送ロボットにより吸着位置を変更することで、X線を照射することが可能となる。

[0057] 次に、図8および図9を主に参照して、面内回転機構について詳細に説明する。

試料保持部42を構成する試料保持枠56は、円形の外周縁部に回転ガイド部60が形成しており、この回転ガイド部60がZ軸移動台55の上面の複数箇所（図では4箇所）に設けた回転支持部61により、面内回転自在に支持されている。各回転支持部61は、上下一対の支持ローラ62によって回転ガイド部60を上下方向から支持している。

[0058] 試料保持枠56には従動側プーリ63が形成してある。また、Z軸移動台55には、面内回転用駆動モータ64が設置しており、この面内回転用駆動モータ64の駆動軸に設けた駆動側プーリ65と、試料保持枠56の従動側プーリ63との間に駆動ベルト66が巻掛けられている。

[0059] これら回転ガイド部60、回転支持部61、面内回転用駆動モータ64、駆動側プーリ65、従動側プーリ63および駆動ベルト66の各構成要素をもって、面内回転機構を構成している。すなわち、面内回転用駆動モータ64からの回転駆動力が駆動ベルト66を介して試料保持枠56に伝達される

。この回転駆動力により、回転支持部 6 1 に支持された試料保持枠 5 6 が面内回転する。

[0060] 次に、図 10 A を主に参照して、X 軸移動機構、Y 軸移動機構、Z 軸移動機構について詳細に説明する。

X 軸移動枠 5 1 は、X 軸移動機構を介して基枠 5 0 の上に搭載されている。

X 軸移動機構は、X 軸駆動用モータ 6 7 と、ボールねじ 6 8 と、案内レール 7 1 と、スライダ 7 2 とを含んでいる。

基枠 5 0 には、X 軸駆動用モータ 6 7 と、ボールねじ 6 8 のねじ軸 6 9 と、案内レール 7 1 とが設置してある。

案内レール 7 1 は X 軸方向に延びており、この案内レール 7 1 に沿ってスライダ 7 2 が移動自在となっている。案内レール 7 1 は、基枠 5 0 の両端部にそれぞれ設置してあり、各案内レール 7 1 に組み合わされたスライダ 7 2 が、X 軸移動枠 5 1 を移動自在に支持している。

[0061] ボールねじ 6 8 のねじ軸 6 9 は、基枠 5 0 に設けた軸受 7 3 により回転自在に支持されて、X 軸方向に延びている。このねじ軸 6 9 は、X 軸駆動用モータ 6 7 の回転駆動軸に連結してあり、同モータ 6 7 の回転駆動力により回転駆動される。

ねじ軸 6 9 には、ナット部材 7 0 が噛み合わされており、ねじ軸 6 9 の回転に伴い、ナット部材 7 0 が X 軸方向に移動する。ナット部材 7 0 は、X 軸移動枠 5 1 に固定され、ナット部材 7 0 と一体に X 軸移動枠 5 1 が X 軸方向に移動する。

[0062] この X 軸移動枠 5 1 には、図 10 A および図 7 に示すように、一对の軸受 5 2 a が両端部に設けてあり、これらの軸受 5 2 a に揺動自在に支持された揺動支軸 7 4 を介して、 χ 軸旋回台 5 2 が揺動自在に搭載されている。そして、この χ 軸旋回台 5 2 の上に Y 軸移動機構を介して Y 軸移動台 5 3 が搭載されている。

[0063] Y 軸移動機構は、Y 軸駆動用モータ 7 5 と、ボールねじ 7 6 と、図 12 に

示す案内レール 9 1 およびスライダ 9 2 とを含んでいる。案内レール 9 1 は、 x 軸旋回台 5 2 の両端部に設けられ、 Y 軸方向に延びている。各案内レール 9 1 にはスライダ 9 2 が移動自在に組み合わせられており、それらスライダ 9 2 によって Y 軸移動台 5 3 が支持されている。

[0064] x 軸旋回台 5 2 の側壁には、 Y 軸駆動用モータ 7 5 と、ボールねじ 7 6 のねじ軸 7 7 とが設置してある。ボールねじ 7 6 のねじ軸 7 7 は、 x 軸旋回台 5 2 の側壁に設けた軸受 7 8 により回転自在に支持されて、 Y 軸方向に延びている。このねじ軸 7 7 は、 Y 軸駆動用モータ 7 5 の回転駆動軸に連結しており、同モータ 7 5 の回転駆動力により回転駆動される。

ねじ軸 7 7 には、ナット部材 7 9 が噛み合わされており、ねじ軸 7 7 の回転に伴い、ナット部材 7 9 が Y 軸方向に移動する。ナット部材 7 9 は、 Y 軸移動台 5 3 に固定され、ナット部材 7 9 と一体に Y 軸移動台 5 3 が Y 軸方向に移動する。

[0065] さらに、 Y 軸移動台 5 3 の上には Z 軸駆動台 5 4 が搭載されている。

Y 軸移動台 5 3 の上には、 Y 軸方向に延びる案内レール 9 3 が設置しており、その案内レール 9 3 にスライダ 9 4 が組み合わせられている（図 1 2 参照）。 Z 軸駆動台 5 4 は、そのスライダ 9 4 に支持されて Y 軸移動台 5 3 の上に搭載されている。

[0066] さらに、 Y 軸移動台 5 3 の上には、図 1 2 に示すボールねじ 9 5 と、図 1 0 A に示す Z 軸駆動用モータ 8 0 が設置しており、同モータ 8 0 の回転駆動軸にボールねじ 9 5 のねじ軸が連結されている。このねじ軸は、図示されない軸受により Y 軸移動台 5 3 の上で回転自在に支持されている。

そして、図 1 2 に示すナット部材 9 6 がそのねじ軸に噛み合わされており、当該ねじ軸の回転に伴い、ナット部材 9 6 が Y 軸方向に移動する。ナット部材 9 6 は、 Z 軸駆動台 5 4 に固定され、当該ナット部材 9 6 と一体に Z 軸駆動台 5 4 が Y 軸方向に移動する。

[0067] Z 軸移動台 5 5 は、図 1 0 B に示すようなくさび状に組み合わせられた案内部材 8 1 と摺動部材 8 2 を介して Z 軸駆動台 5 4 の上に支持されている。

案内部材 8 1 は、Z 軸駆動台 5 4 の両端部にそれぞれ設置してある。それらの各案内部材 8 1 に組み合わされた摺動部材 8 2 は、Z 軸移動台 5 5 の底面に固定されている。

[0068] また、Y 軸移動台 5 3 の両端部には Z 軸方向に延びる案内レール 8 3 が設置しており、Z 軸移動台 5 5 には、この案内レール 8 3 と組み合わされたスライダ 8 4 が固定してある。これにより Z 軸移動台 5 5 は、案内レール 8 3 に沿ってスライダ 8 4 と一体に Z 軸方向に移動自在となっている。

[0069] そして、Z 軸駆動用モータ 8 0 の回転駆動力を受けて Y 軸の一方向へ Z 軸駆動台 5 4 が移動すると、案内部材 8 1 も同じ方向へ一体に移動する。この移動に伴い、くさび状の組み合わされた摺動部材 8 2 を Z 軸方向に押し上げる。また、Z 軸駆動台 5 4 が逆方向へ移動すると、案内部材 8 1 も同じ方向へ一体に移動し、くさび状に組み合わされた摺動部材 8 2 が下降する。これにより Z 軸移動台 5 5 が、案内レール 8 3 に沿って上下方向に移動する。

くさび状に組み合わされた案内部材 8 1 と摺動部材 8 2 との間は常にがたつくことなく摺接状態を保っているため、試料保持部 4 2 を正確に上下方向へ移動させて所望の高さ位置へ位置決めすることができる。

[0070] 次に、図 1 1 を主に参照して、 χ 軸揺動機構について詳細に説明する。

χ 軸揺動機構は、X 軸移動枠 5 1 と χ 軸旋回台 5 2 との間に組み込まれている。すなわち、 χ 軸揺動機構は、 χ 軸駆動用モータ 8 5 と、駆動力伝達ベルト 8 6 と、ウォーム 8 7 およびウォームホイール 8 8 とを含んでいる。

扇形のウォームホイール 8 8 は、X 軸移動枠 5 1 の一端部に設けられた軸受 5 2 a の下方位置に設けられ、そのピッチ円は軸受 5 2 a に支持された揺動支軸 7 4 の同一軸上に位置決めされている。

[0071] χ 軸駆動用モータ 8 5 とウォーム 8 7 は、 χ 軸旋回台 5 2 の側壁外面に設置してある。そして、 χ 軸駆動用モータ 8 5 の回転駆動軸に設けた駆動側プーリ 8 9 と、ウォーム 8 7 の回転軸に設けた従動側プーリ 9 0 との間に、駆動力伝達ベルト 8 6 が巻掛けられている。これにより、 χ 軸駆動用モータ 8 5 からの回転駆動力が駆動力伝達ベルト 8 6 を介してウォーム 8 7 に伝達さ

れる。この回転駆動力により、ウォーム 87 が回転してウォームホイール 88 のピッチ円に沿って回転し、ウォーム 87 と一体に χ 軸旋回台 52 が揺動支軸 74 を中心にして旋回する。揺動支軸 74 の中心軸は、図 1 B に示した χ 軸と一致するように位置決めされている。

[0072] 試料保持部 42 に支持された試料 S に対する入射 X 線の光軸角度は、上述した χ 軸揺動機構や、ゴニオメータ 10 の旋回アーム 11 の駆動により、任意に変更することができる。

[0073] 本実施形態の試料ステージ 40 は、図 12 に示すように、空洞 43 の断面積を、試料保持枠 56 の X 線透過孔 57 に連通する上端開口部 43a から、入射 X 線を取り込む下端開口部 43b に向かって広げた構成としてある。これにより、入射 X 線が空洞 43 の周囲にある部材によって遮られることなく傾斜できる角度範囲（すなわち、試料 S に対する入射 X 線の光軸を傾斜できる角度範囲）が広がり、種々の測定条件に柔軟に対応することが可能となる。

[0074] 例えば、図 12 に示した寸法例では、半径 150 mm の半導体ウェハ（試料 S）に対して、鉛直方向から入射する X 線の光軸に対して、角度 20° まで傾斜させることができる構造としてある。

[0075] 〔外部筐体の構造〕

図 13 は、本実施形態に係る透過型小角散乱装置を外部筐体で覆った状態を示す斜視図である。図 15 A は同じく左側面図、図 15 B は同じく平面図、図 16 は同じく縦断面図である。図 14 は、外部筐体を畳んだ状態を示す斜視図である。

一般に、X 線を使用する透過型小角散乱装置は、X 線に対する防護のために、外部筐体により周囲を覆った状態で据え付けられる。

[0076] 本実施形態に係る透過型小角散乱装置 1 は、試料保持部 42 に支持された試料 S に対して鉛直方向に X 線を照射するために、縦方向に長尺な構造となっている（図 1 A ～ 図 3 参照）。そのため、図 13 に示すように、外部筐体 200 も縦方向に長尺な構造となる。

[0077] ここで、本実施形態では、この外部筐体 200 を筐体本体 201 と、複数の筐体要素部材 202、203 とで構成し、筐体本体 201 に対して各筐体要素部材 202、203 を上下方向に移動自在な構造としてある。

具体的には、図 15 A および図 15 B に示すように、筐体本体 201 に対して中段の筐体要素部材 202 は、案内レール 210 に沿って上下方向に移動自在となっており、さらに筐体要素部材 202 に対して上段の筐体要素部材 203 が、案内レール 211 に沿って上下方向に移動自在となっている。

そして、図示しない駆動モータからの駆動力を、図示しない駆動機構を介して各筐体要素部材 202、203 に伝達して、これら各筐体要素部材 202、203 を上下方向に駆動する構成としてある。

[0078] 外部筐体 200 を運搬したり、現場に設置する際には、図 14 に示すように、各筐体要素部材 202、203 を共に下方位置へ移動させ、筐体本体 201 の内側に重ねて置んだ状態とする。このように、高さ寸法の小さいコンパクトな形態とすることで、外部筐体 200 の運搬作業や設置作業がきわめて容易となり、その作業に要する作業時間の短縮と労力の軽減を実現することができる。

外部筐体 200 は重量物のため、筐体本体 201 に対して各筐体要素部材 202、203 を分解する構造では、分解・組立て作業が煩雑となるが、上述したように駆動モータによる駆動力をもって筐体要素部材 202、203 を上下方向へ駆動する構造とすることで、現場での分解・組立て作業が必要なくなり、現場での設置作業や撤去作業がいっそう容易となる。

[0079] なお、図 13～図 15 A では、外部筐体 200 の内側を視認するために、透過型小角散乱装置を覆う壁面の一部または全部を省略して示してある。また、外部筐体 200 の正面には、後述するように基板搬送装置 310 が併設されるが、その併設箇所には壁面は設けられず、外部筐体 200 の内部へ連通するように構成される。

[0080] また、図 16 に示すように、外部筐体 200 の内部空間は、試料ステージ 40 の上方位置に水平配置した遮蔽パネル 220 により上下に仕切られてい

る。そして、遮蔽パネル 220 で仕切られた下側の空間（すなわち、試料ステージ 40 が設置された下部空間）には、外部筐体 200 の外側に併設されるファンフィルターユニット 300 から高精度に除塵されたエアが供給される。これにより当該下部空間は、塵埃のきわめて少ないクリーンな空間となり、試料保持部 42 に支持された半導体ウェハ（試料 S）に対し、塵埃の付着を防止することができる。

遮蔽パネル 220 は、ファンフィルターユニット 300 からのエアの上方への流動を遮り、半導体ウェハとその周辺に対するエアの効率的かつ経済的な供給を実現している。

[0081] 〔半導体検査装置としての全体構造〕

図 17 は、本実施形態に係る透過型小角散乱装置を組み込んだ半導体検査装置の外観を示す斜視図である。

同図に示すように、透過型小角散乱装置の周囲を覆う外部筐体 200 の外側には、上述したファンフィルターユニット 300 の他、基板搬送装置 (EFEM) 310 や、電装部 320 が併設されて、半導体検査装置が構築される。

[0082] 基板搬送装置 310 は、測定対象となる半導体ウェハ（試料 S）を試料保持部 42 へ自動搬送するとともに、測定が終了した半導体ウェハを試料保持部 42 から自動で搬出する機能を備えている。なお、半導体ウェハは、密閉型カセット（FOUP）内に格納された状態で自動搬送される。

また、電装部 320 には、透過型小角散乱装置への電力供給用の電源や、同装置を制御するためのコンピュータが設置されている。

さらに、半導体検査装置は、図示しないユーティリティ供給のための設備を備えている。

これらの構成により、本実施形態に係る透過型小角散乱装置を組み込んだ半導体検査装置は、半導体ウェハを自動搬送し、半導体製造工程の途中でインラインによる自動測定の実施を実現している。

[0083] 〔制御系〕

図 18 は本実施形態に係る透過型小角散乱装置の制御系を示すブロック図

である。

X線照射ユニット20の制御は、X線照射コントローラ101が実行する。

また、光学顕微鏡35が捉えた試料Sの画像は、画像認識回路102で画像認識される。これら光学顕微鏡35と画像認識回路102は、試料保持部42に配置された試料Sの画像を観察する画像観察手段を構成している。なお、光学顕微鏡35の焦点位置はフォーカスコントローラ103によって調整される。

[0084] 位置決めコントローラ104は、試料位置決め機構110を駆動制御する。特に、試料Sの被検査点を装置の測定位置Pへ配置する際には、光学顕微鏡35で捉えられ、画像認識回路102により認識された試料Sの画像に基づいて、位置決めコントローラ104が試料位置決め機構110を駆動制御する。

[0085] ゴニオメータ10は、ゴニオコントローラ105によって駆動制御される。

X線照射コントローラ101、画像認識回路102、フォーカスコントローラ103、位置決めコントローラ104、ゴニオコントローラ105の各構成部は、中央処理装置100から送られてくる設定情報に基づいてそれぞれ作動する。ここで、設定情報はレシピとしてあらかじめ記憶部106に記憶されており、中央処理装置100が読み出して上記各構成部に出力する。

二次元X線検出器30は、検出制御回路107によって制御される。

[0086] [測定動作の実行手順]

図19は、上述した構成の本実施形態に係る透過型小角散乱装置による測定動作の実行手順を示すフローチャートである。

ここでは、半導体デバイスの回路パターンが形成された半導体ウェハを試料Sとした場合の測定動作について説明する。

[0087] 記憶部106には、小角散乱測定を実行するためのソフトウェアがあらかじめ記憶されており、中央処理装置100(CPU)はそのソフトウェアに

従い、以下のような処理ステップを実行していく。

[0088] 試料保持部42に検査対象となる試料Sである半導体ウェハを吸着支持した後、まず位置決めコントローラ104が試料位置決め機構110を駆動制御して、半導体ウェハを光学顕微鏡35の下方位置に配置する（ステップS1）。

[0089] 次に、光学顕微鏡35によって半導体ウェハの表面を観察し、光学顕微鏡35からの画像データに基づき、画像認識回路102が半導体ウェハの表面に形成されているユニークポイントを認識する（ステップS2）。

ここで、記憶部106には、半導体ウェハの表面に形成されているユニークポイントが、レシピとしてあらかじめ記憶してある。ユニークポイントとしては、例えば、半導体ウェハの表面に形成される特徴的なパターン形状など、光学顕微鏡35からの画像情報により画像認識回路102が判断に迷うことなく認識できる部位が設定される。

[0090] 次に、画像認識回路102により認識されたユニークポイントを基準として、あらかじめ設定してある被検査点の位置情報に基づき、位置決めコントローラ104が試料位置決め機構110を駆動制御して、被検査点を装置の測定位置Pに配置する（ステップS3）。

[0091] 続いて、小角散乱測定を実行し（ステップS4）、中央処理装置100が測定データを解析する（ステップS5）。

ここで、例えば、半導体ウェハの表面に形成された深穴のチルト角の解析などの形状解析測定を実施する場合は、ゴニオメータ10の旋回アーム11を駆動するか、または χ 軸揺動機構により半導体ウェハを揺動して、半導体ウェハに対するX線の光軸角度を変更することで、深穴のチルト角などの形状解析を実行することができる。

[0092] 上述したS3～S5の各ステップは、半導体ウェハに設定した被検査点のすべてについて実行され（ステップS6）、すべての被検査点に対して小角散乱測定を実行した後、測定動作を終了する。

[0093] [半導体デバイスの測定例と、半導体ウェハの傾き測定手段]

半導体デバイスは、通常、半導体ウェハ上に形成され、測定対象となる散乱体が半導体ウェハの主面に平行な方向に周期的に配列している。

測定対象としては、半導体デバイスを構成する微細なホールやピラーが挙げられる。

半導体デバイスは、微細化・高集積化が日進月歩で進化しており、ホールやピラーの径が数十nm、深さ（高さ）が数 μ mと、極めて微細かつ高アスペクトになるケースがある。このような構造に対し、本実施形態に係る透過型小角散乱装置を用いることで、これらホールやピラーの正確な三次元形状を特定することができる。

[0094] ここで、小角散乱測定を行う前に、半導体ウェハの表面の傾きを測定し、入射X線の光軸に対して半導体ウェハの表面が垂直になるように調整することが好ましい。

[0095] 図20Aは、半導体ウェハの傾きを測定するための手段に関する構成例を模式的に示す正面構成図である。

図20Aに示すように、ゴニオメータ10の旋回アーム11に、二次元X線検出器30とともにレーザ傾き測定器36を併設する。これら二次元X線検出器30とレーザ傾き測定器36は、横方向に移動する移動テーブル37に搭載してある。

そして、図示しない駆動モータの駆動力をもって移動テーブル37が横方向に移動して、X線照射ユニット20から出射されるX線の光軸Oと対向する位置に、二次元X線検出器30とレーザ傾き測定器36のいずれか一方を切り替えて配置できる構造となっている。

[0096] レーザ傾き測定器36は、レーザ光源36aとレーザ検出器36bとを含み、試料保持部42に支持された半導体ウェハ（試料S）の表面に、レーザ光源36aからのレーザ光を照射し、同表面から反射してきたレーザ光をレーザ検出器36bにより検出することで、光軸Oに対する半導体ウェハの表面の傾きを測定できる機能を有している。

[0097] このレーザ傾き測定器36により測定した光軸Oに対する半導体ウェハの

表面の傾きに基づき、試料ステージ40の χ 軸揺動機構や面内回転機構を駆動して入射X線の光軸Oに対して半導体ウェハの表面が垂直になるように調整する。

[0098] このように半導体ウェハの表面の傾きを調整すれば、調整後の方位を原点($\chi = 0^\circ$ 、 $\theta = 0^\circ$)として、 χ 軸揺動機構やゴニオメータ10の旋回アーム11を駆動して、半導体ウェハに対するX線の光軸角度を任意に変更することができる。

半導体ウェハの表面傾き調整により、半導体ウェハに形成されたホールやピラーの、半導体ウェハの表面に対する位置関係(傾き)を測定することが可能となり、デバイス形状に関する有益な情報を得ることができる。

この後、図19のフローチャートに従い、小角散乱測定を実行していく。

[0099] 図20Bは、半導体ウェハの傾きを測定するための手段に関する他の構成例を模式的に示す側面構成図である。

図20Bに示す構成では、レーザ傾き測定器36を光学顕微鏡35と並べて設置してある。半導体ウェハ表面の傾きを測定するには、試料ステージ40のY軸移動機構やX軸移動機構を駆動して、試料保持部42に支持した半導体ウェハ(試料S)を、レーザ傾き測定器36の下方位置まで移動させる。

レーザ傾き測定器36は、半導体ウェハの表面にレーザ光源36aからのレーザ光を照射し、同表面から反射してきたレーザ光をレーザ検出器36bにより検出することで、半導体ウェハの表面の傾きを測定できる機能を有している。

ここで、レーザ傾き測定器36は、例えば、あらかじめ水平面を基準とした傾きを測定できるようにレーザ光源36aおよびレーザ検出器36bの位置を調整しておけば、水平面または鉛直軸に対する半導体ウェハ表面の傾きを測定することができる。

[0100] なお、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、必要に応じて種々の変形実施や応用実施が可能であることは勿論である。

例えば、旋回アームは、図4に示したように3つのアーム部材12, 13, 14による構成に限定されるものではなく、2または4つ以上のアーム部材で構成することもできる。

[0101] また、外部筐体は、図13～図16に示したように、筐体本体201に対して2つの筐体要素部材202, 203を移動自在とした構成に限定されるものではなく、筐体本体に対して1つまたは3つ以上の筐体要素部材が移動自在な構成としてもよい。さらに、これら筐体要素部材の移動は、駆動モータからの駆動力による以外にも、必要に応じて手動により移動させる構成とすることもできる。

請求の範囲

- [請求項1] 検査対象となる試料を配置する試料保持部と、
前記試料保持部を移動させる試料位置決め機構と、
旋回アームを含むゴニオメータと、
前記旋回アームに搭載されたX線照射ユニットと、
前記旋回アームに搭載された二次元X線検出器とを備え、
前記旋回アームは、鉛直方向の配置状態を原点として、当該原点から水平方向に延びる θ 軸周りに回動自在であり、
前記X線照射ユニットは、前記旋回アームの下側端部に搭載され、
前記二次元X線検出器は、前記旋回アームの上側端部に搭載されており、
前記試料保持部に配置された試料に対して、前記X線照射ユニットから出射した収束X線を下方から照射するとともに、当該試料を透過した収束X線の周囲に生じた散乱X線を前記二次元X線検出器が前記試料の上方位置で検出することを特徴とする透過型小角散乱装置。
- [請求項2] 前記旋回アームは、複数のアーム部材によって構成してあり、そのうち一つのアーム部材が前記ゴニオメータの θ 回転軸に固定されており、当該 θ 回転軸に固定されたアーム部材に対し、他のアーム部材がスライドして重なり合う構成としたことを特徴とする請求項1に記載の透過型小角散乱装置。
- [請求項3] 前記試料保持部は、試料保持枠の内側に形成され、
前記試料保持枠の内側はX線透過孔となっており、このX線透過孔に対面する状態で前記試料を支持する構成であることを特徴とする請求項1又は2に記載の透過型小角散乱装置。
- [請求項4] 前記試料保持枠の内周縁には、複数箇所から吸着支持片が内側へ突き出しており、これら吸着支持片によって前記試料の外周縁部の一部分を吸着支持する構成であることを特徴とする請求項3に記載の透過型小角散乱装置。

[請求項5] 前記試料位置決め機構は、前記試料保持部に支持された試料を面内回転させるための面内回転機構と、前記試料保持部を前後方向に移動させるためのY軸移動機構と、前記試料保持部を横方向に移動するためのX軸移動機構と、前記試料保持部を上下方向に移動するためのZ軸移動機構と、前記試料保持部を揺動させる揺動機構とを含み、

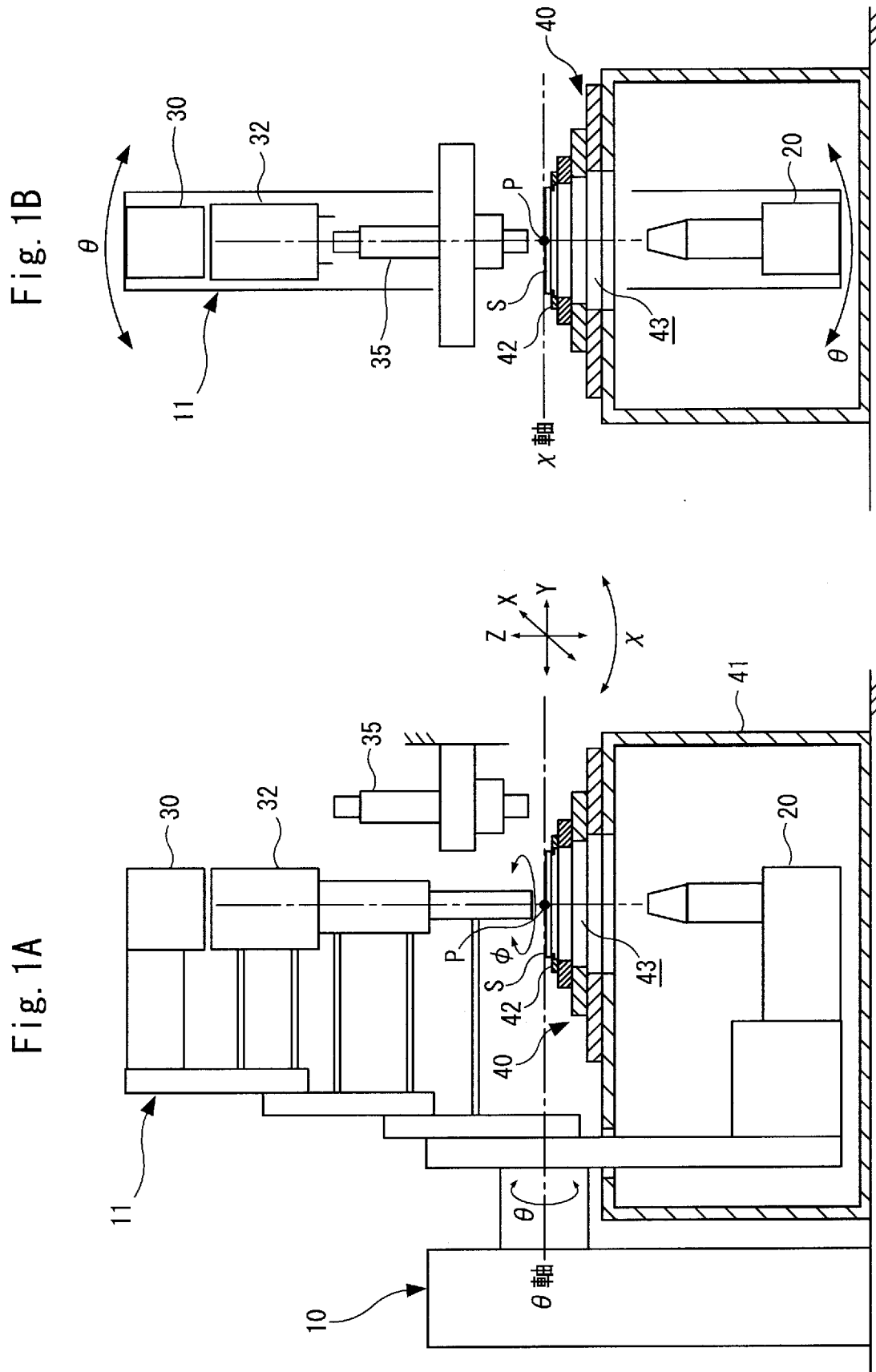
前記Z軸移動機構は、くさび状に組み合わされた案内部材と摺動部材とを含み、前記案内部材が一方向に移動することで前記摺動部材を押し上げ、前記案内部材が逆方向に移動することで前記摺動部材を下降させる構成であって、当該摺動部材とともに前記試料保持部を上下方向に移動させることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一項に記載の透過型小角散乱装置。

[請求項6] 周囲を覆うための外部筐体を備えた透過型小角散乱装置であって、

前記外部筐体は、筐体本体と、一または複数の筐体要素部材とを含み、前記筐体本体に対して前記筐体要素部材が上下方向に移動自在であり、

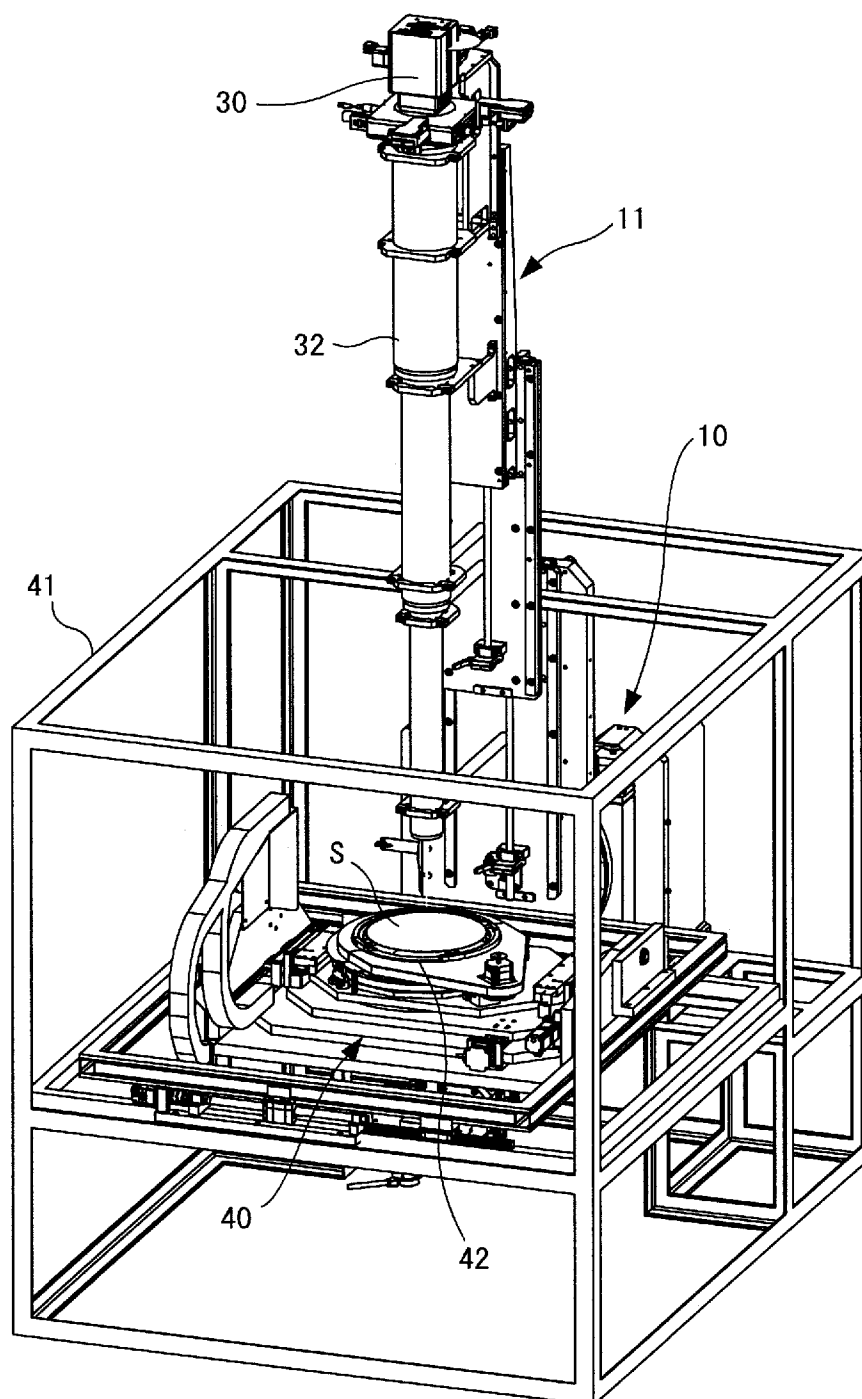
前記筐体要素部材を前記筐体本体と重ねて畳んだ形態と、前記筐体要素部材を前記筐体本体から引き延ばした形態とを形成することを特徴とした請求項1乃至5のいずれか一項に記載の透過型小角散乱装置。

[図1]



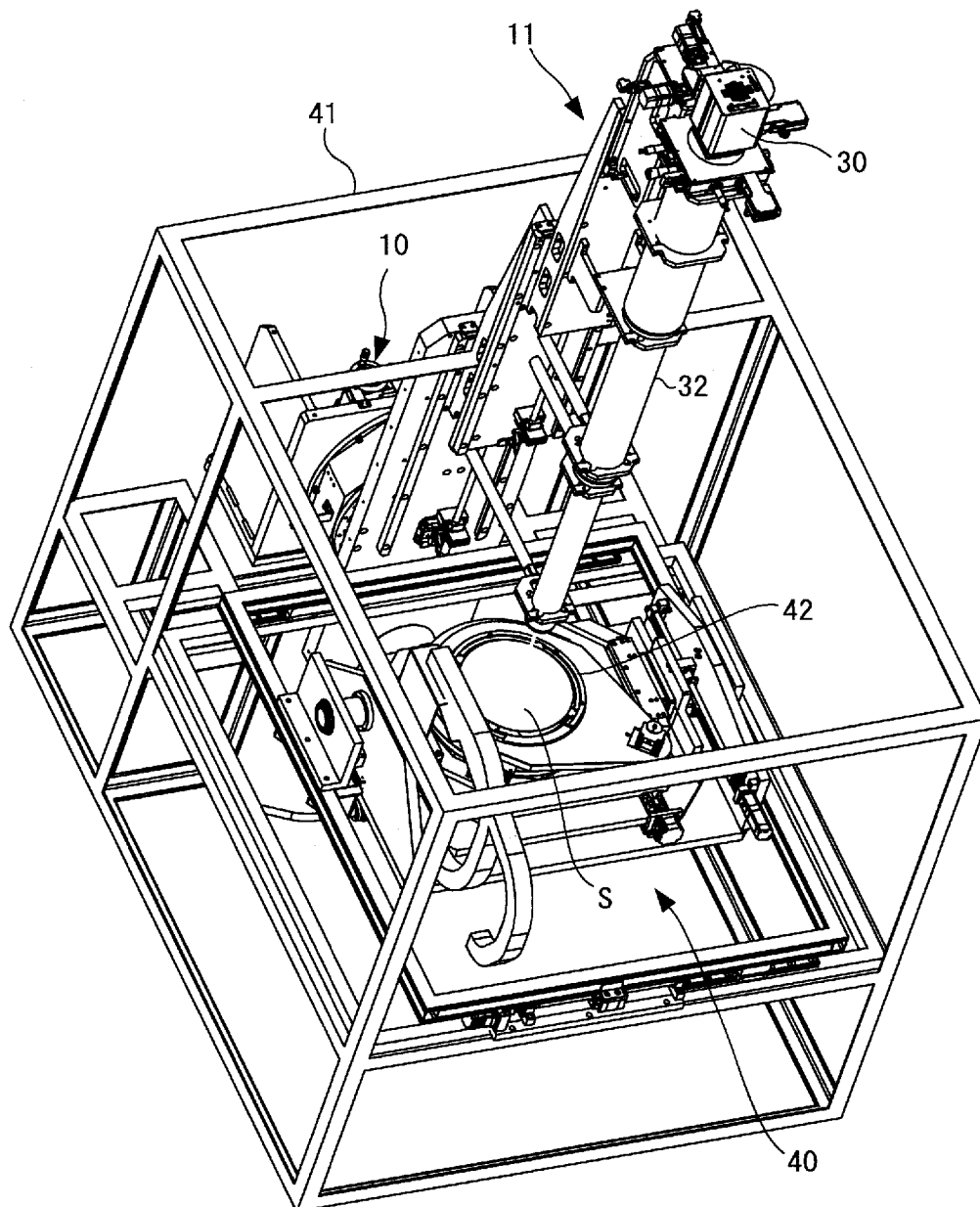
[図2]

Fig. 2



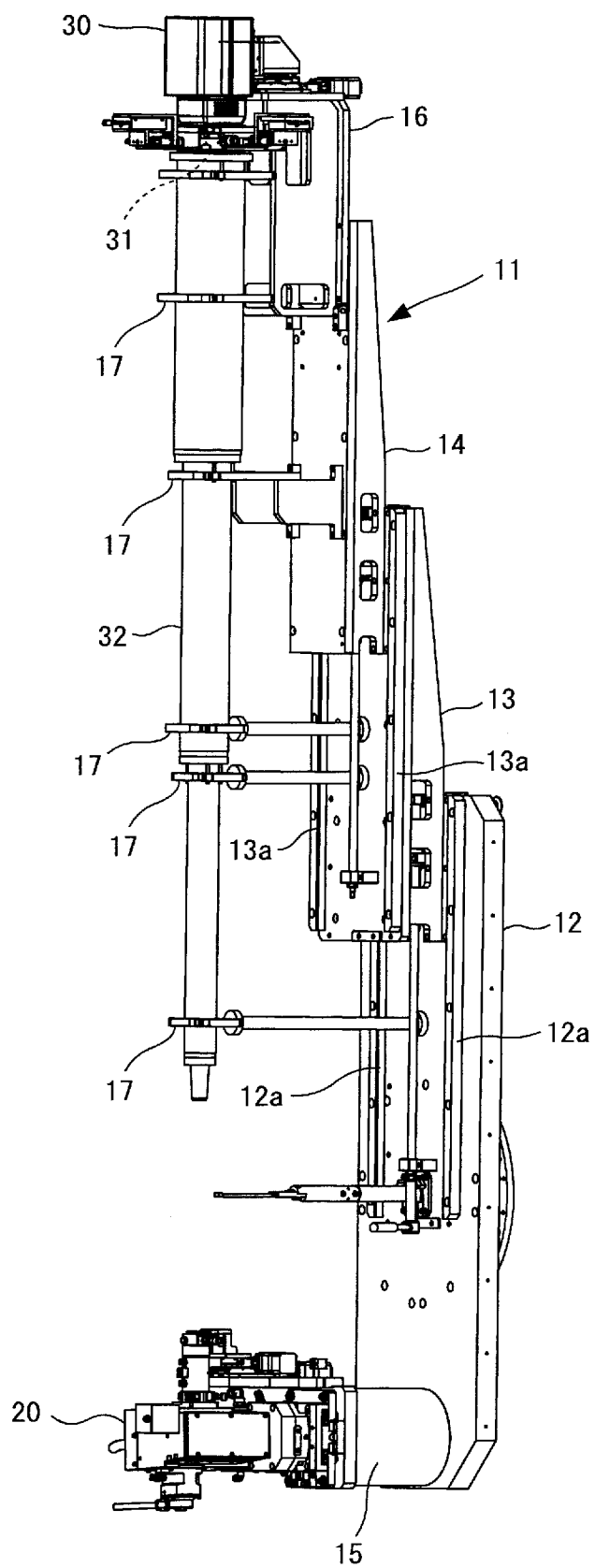
[図3]

Fig. 3



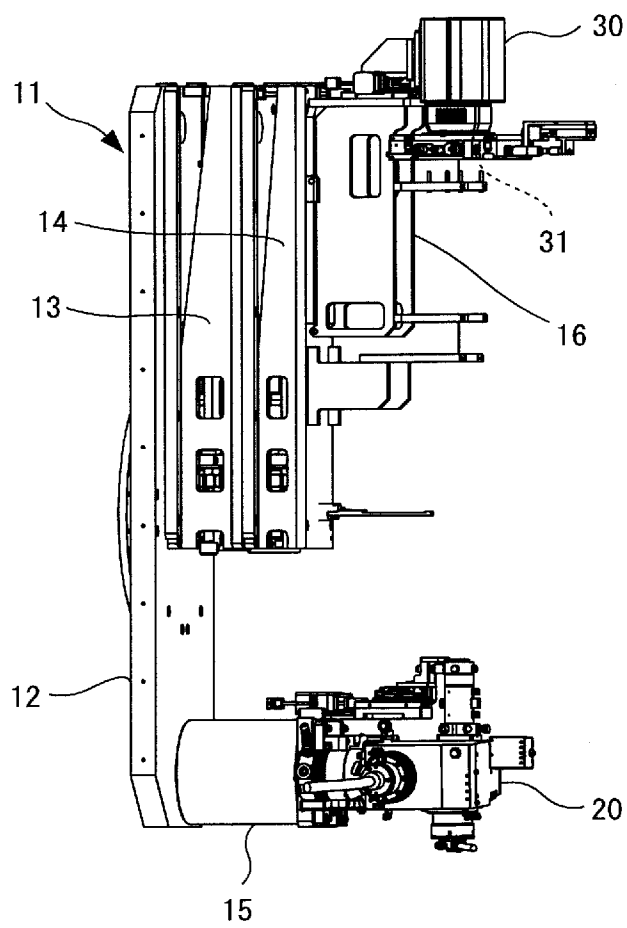
[図4]

Fig. 4



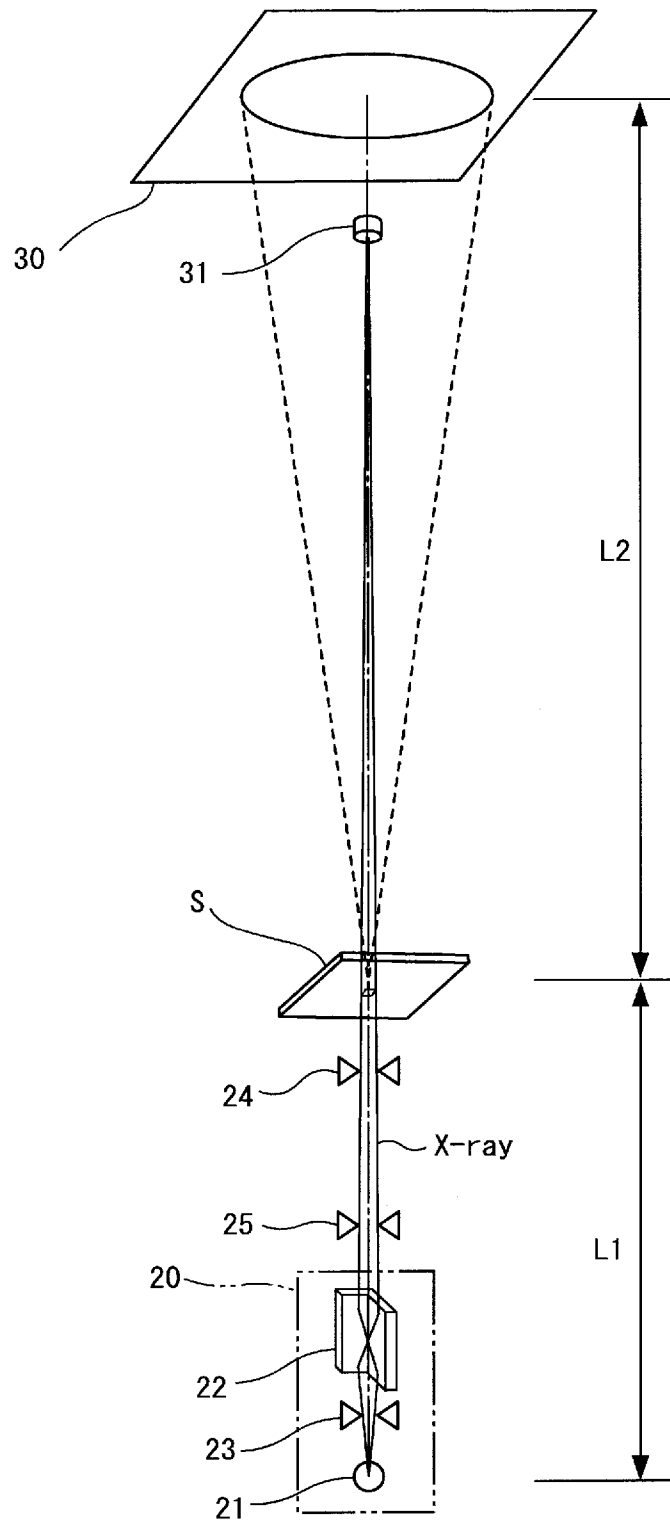
[図5]

Fig. 5



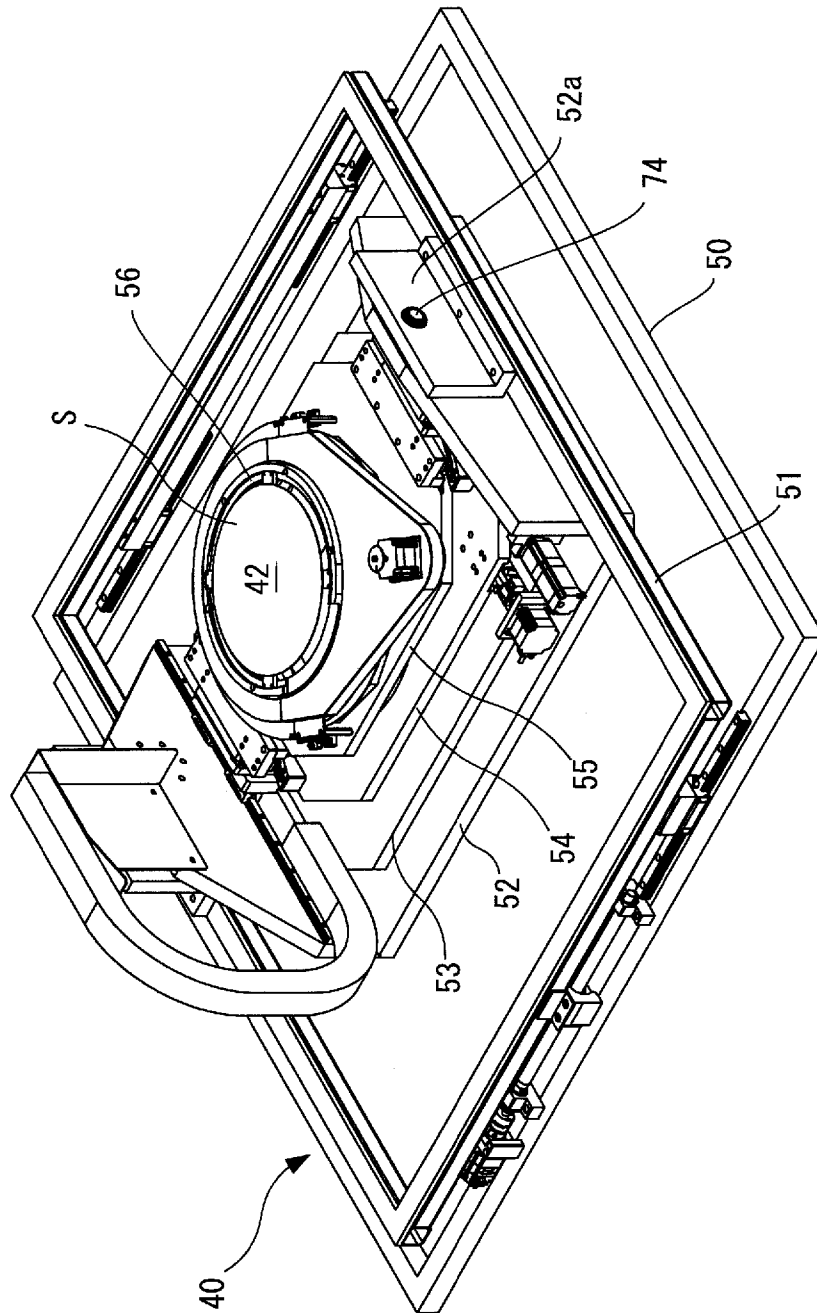
[図6]

Fig. 6

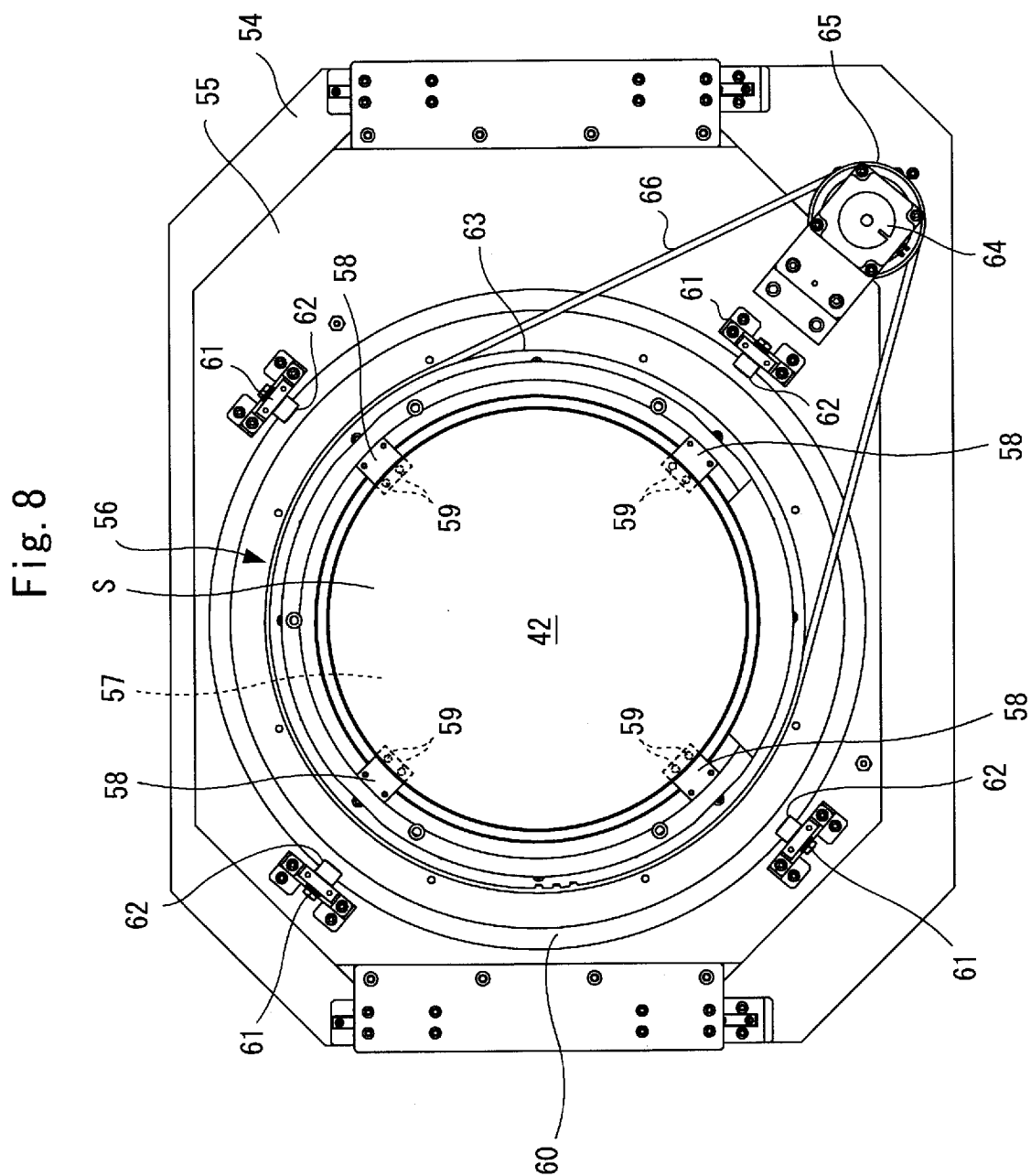


[図7]

Fig. 7

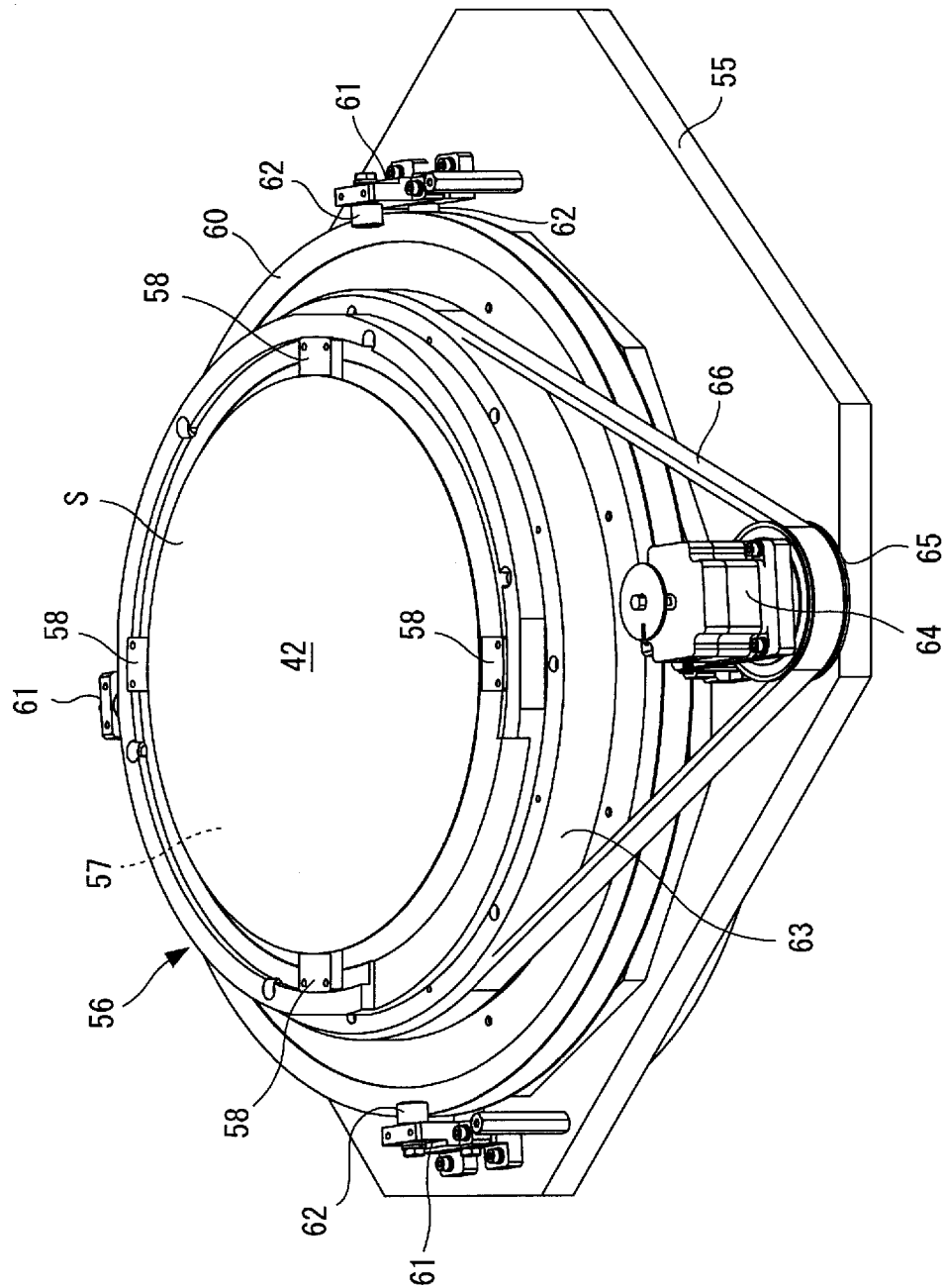


[図8]



[図9]

Fig. 9



[図10]

Fig. 10B

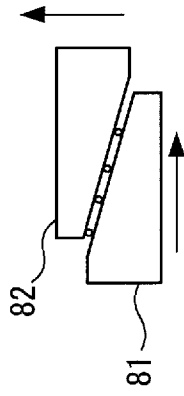
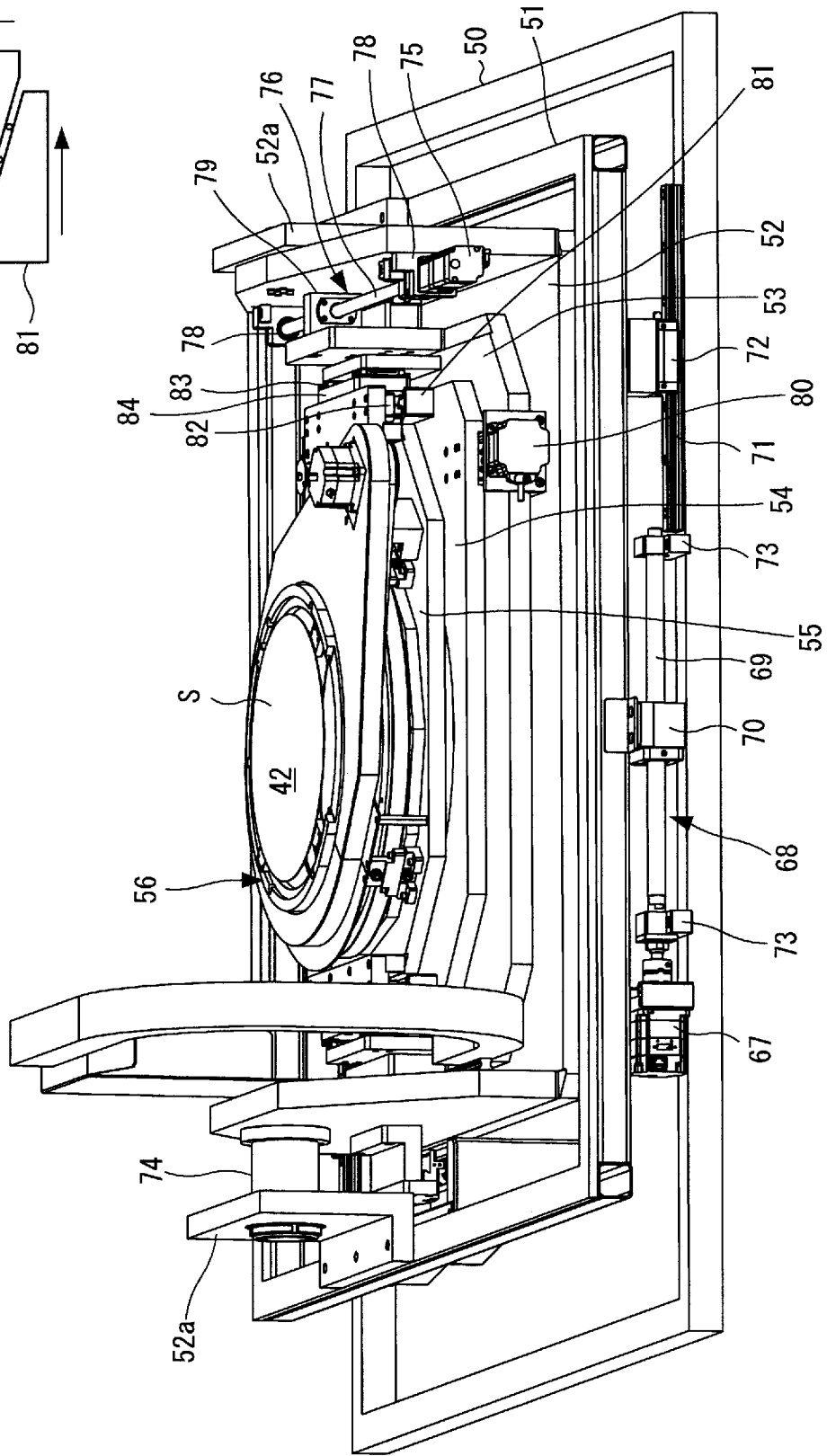
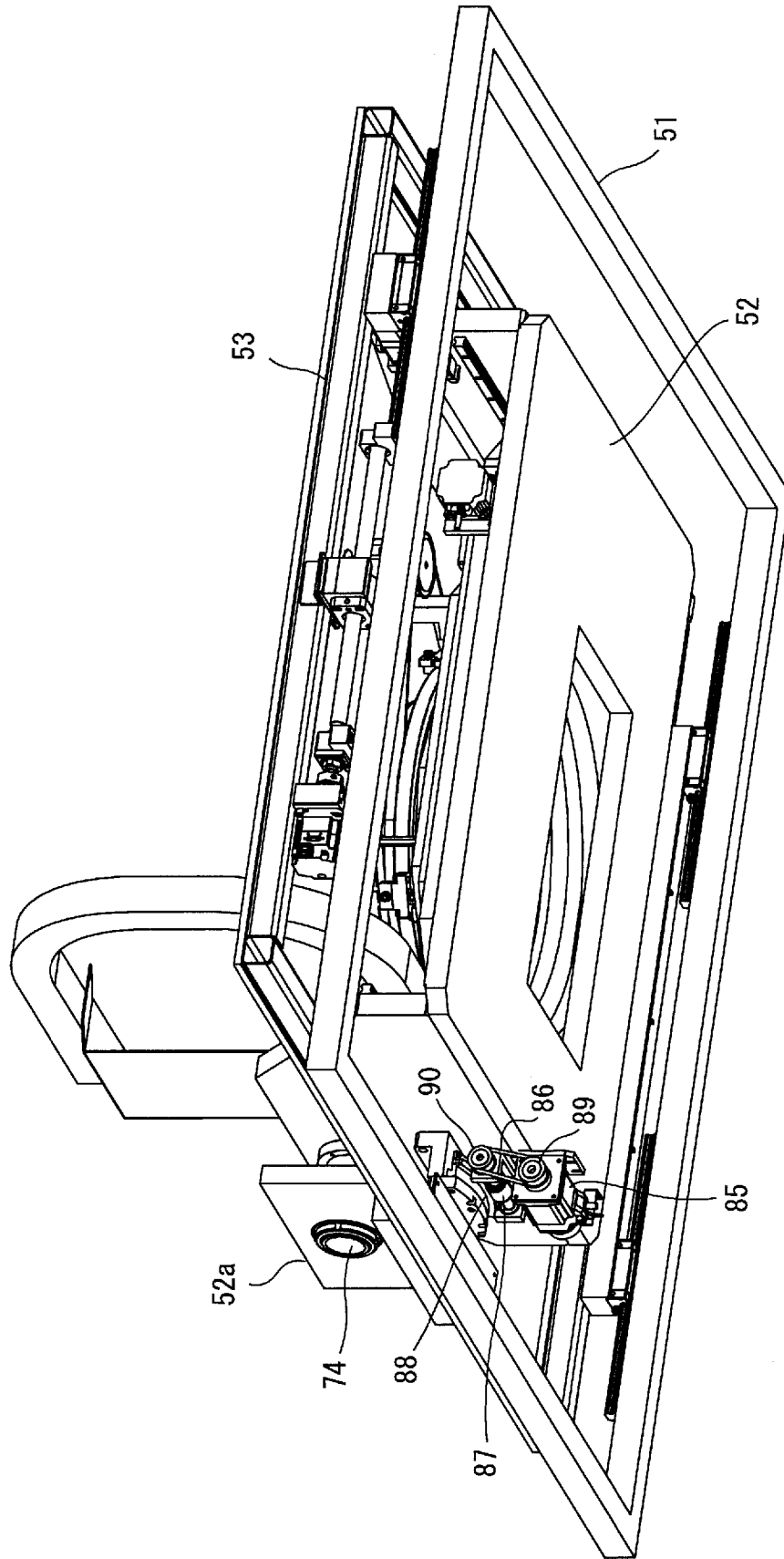


Fig. 10A



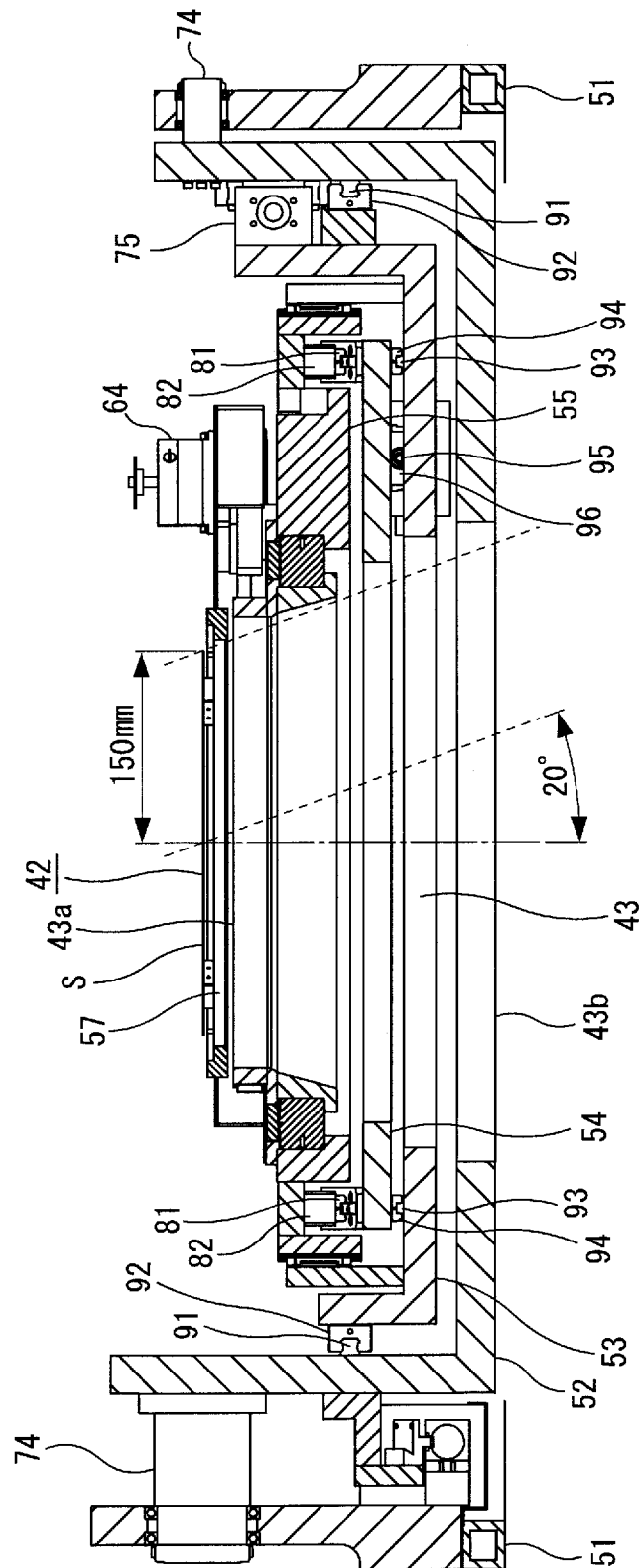
[図11]

Fig. 11



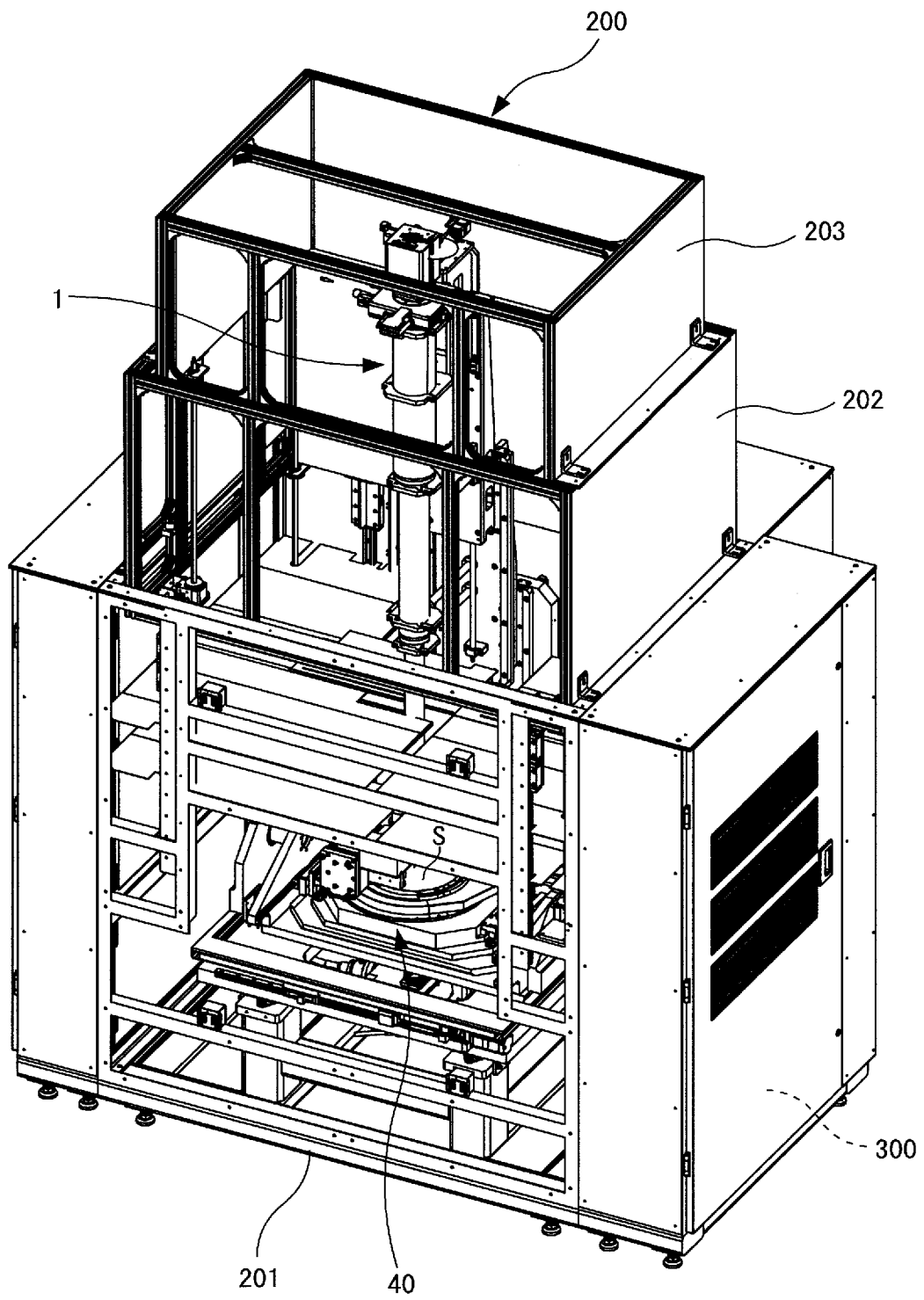
[図12]

Fig. 12



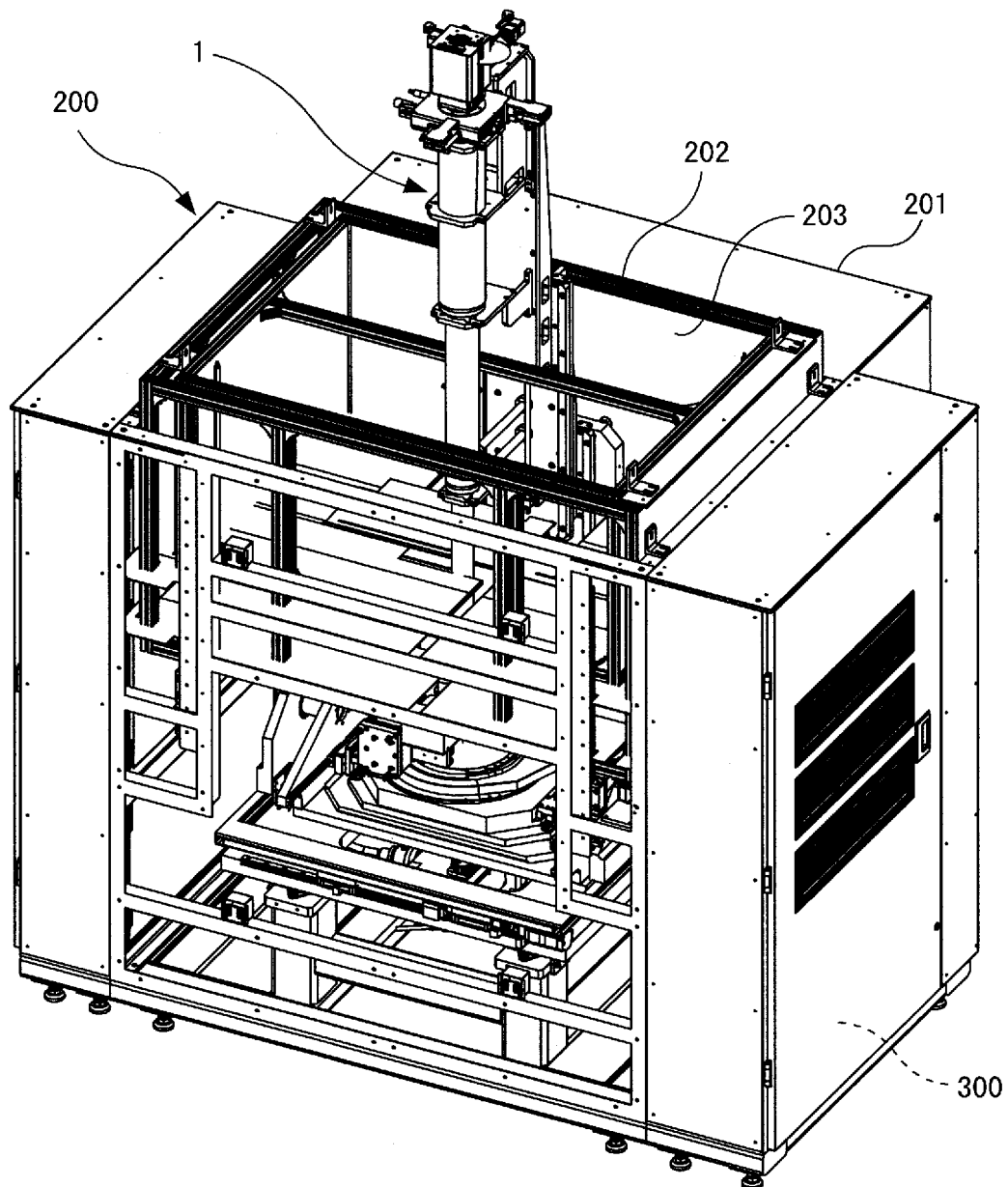
[図13]

Fig. 13



[図14]

Fig. 14



[図15]

Fig. 15B

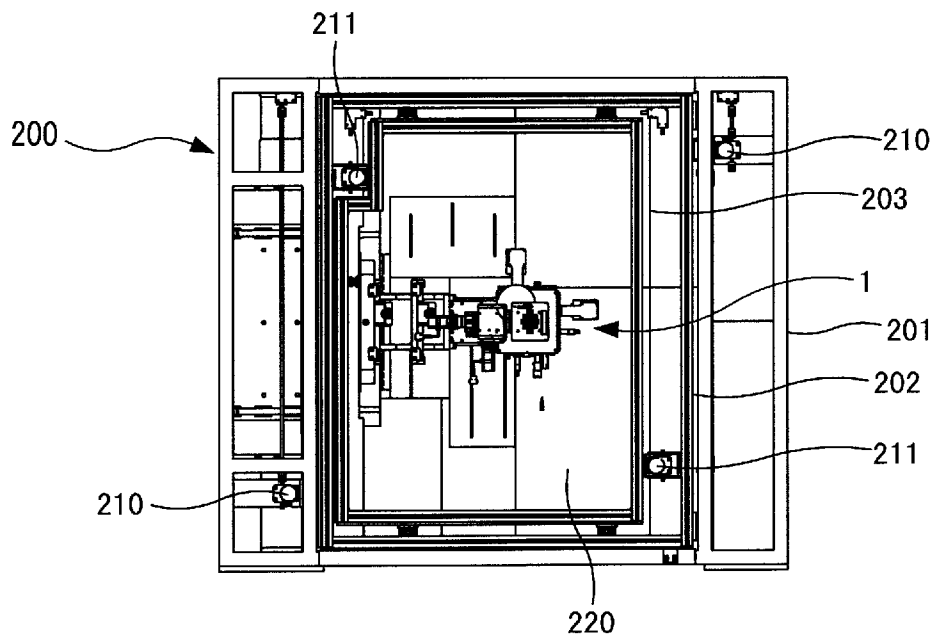
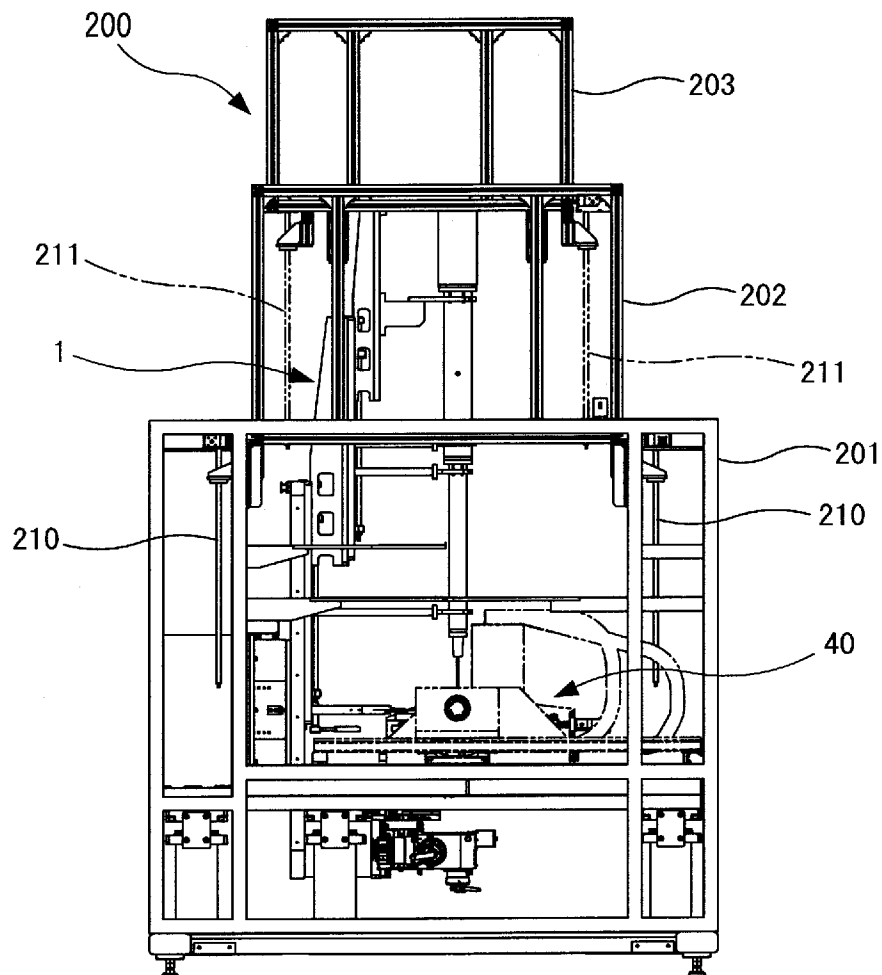
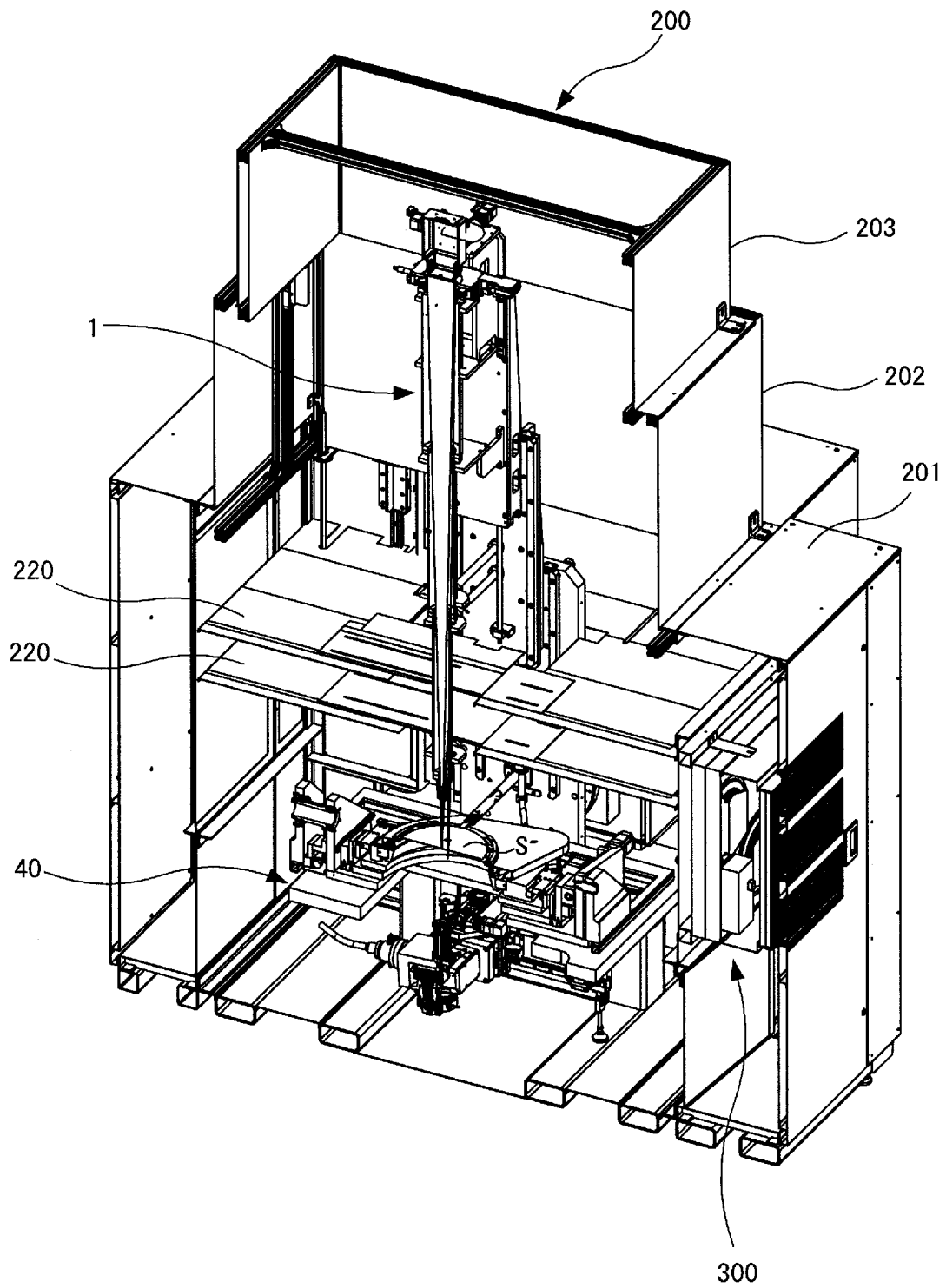


Fig. 15A



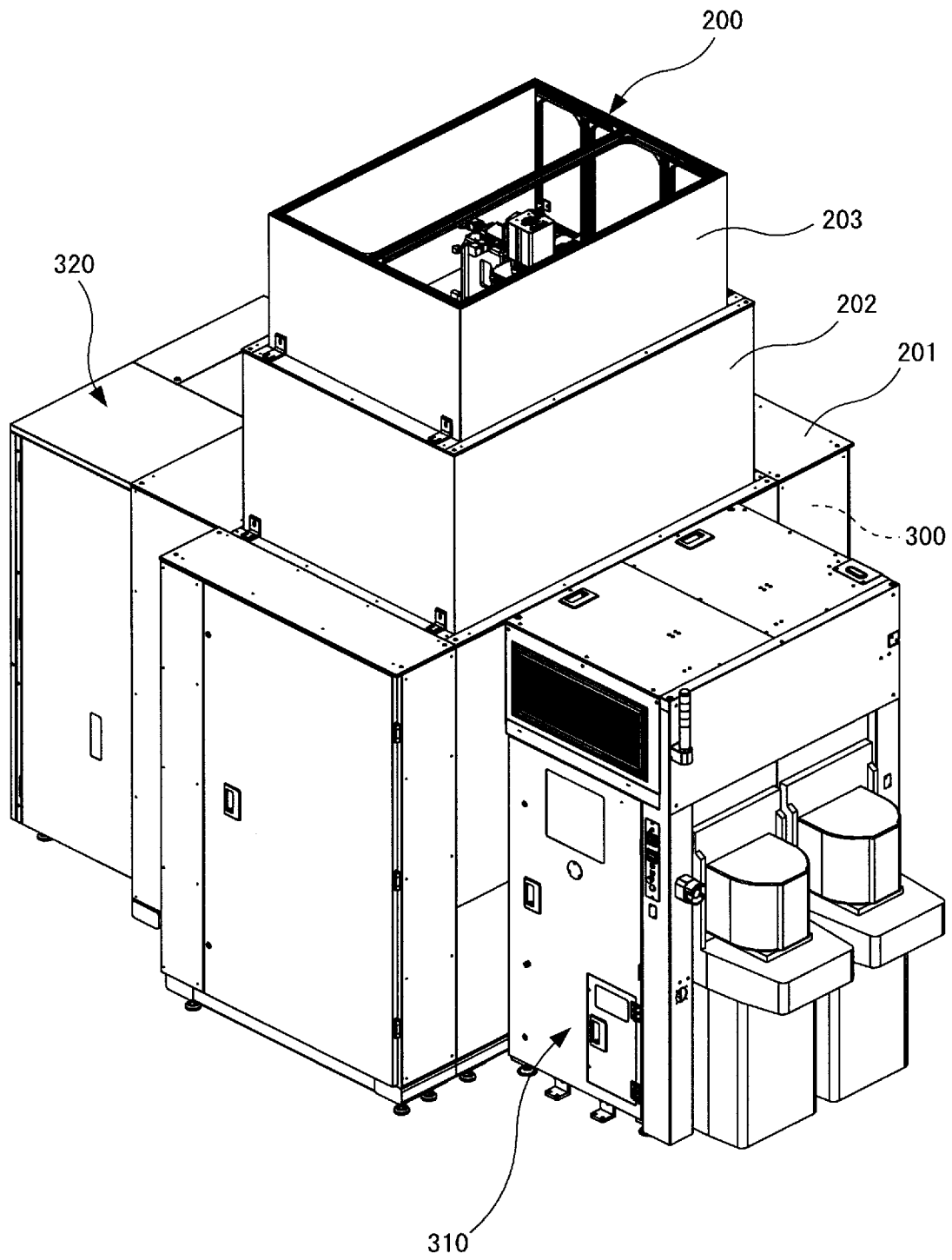
[図16]

Fig. 16



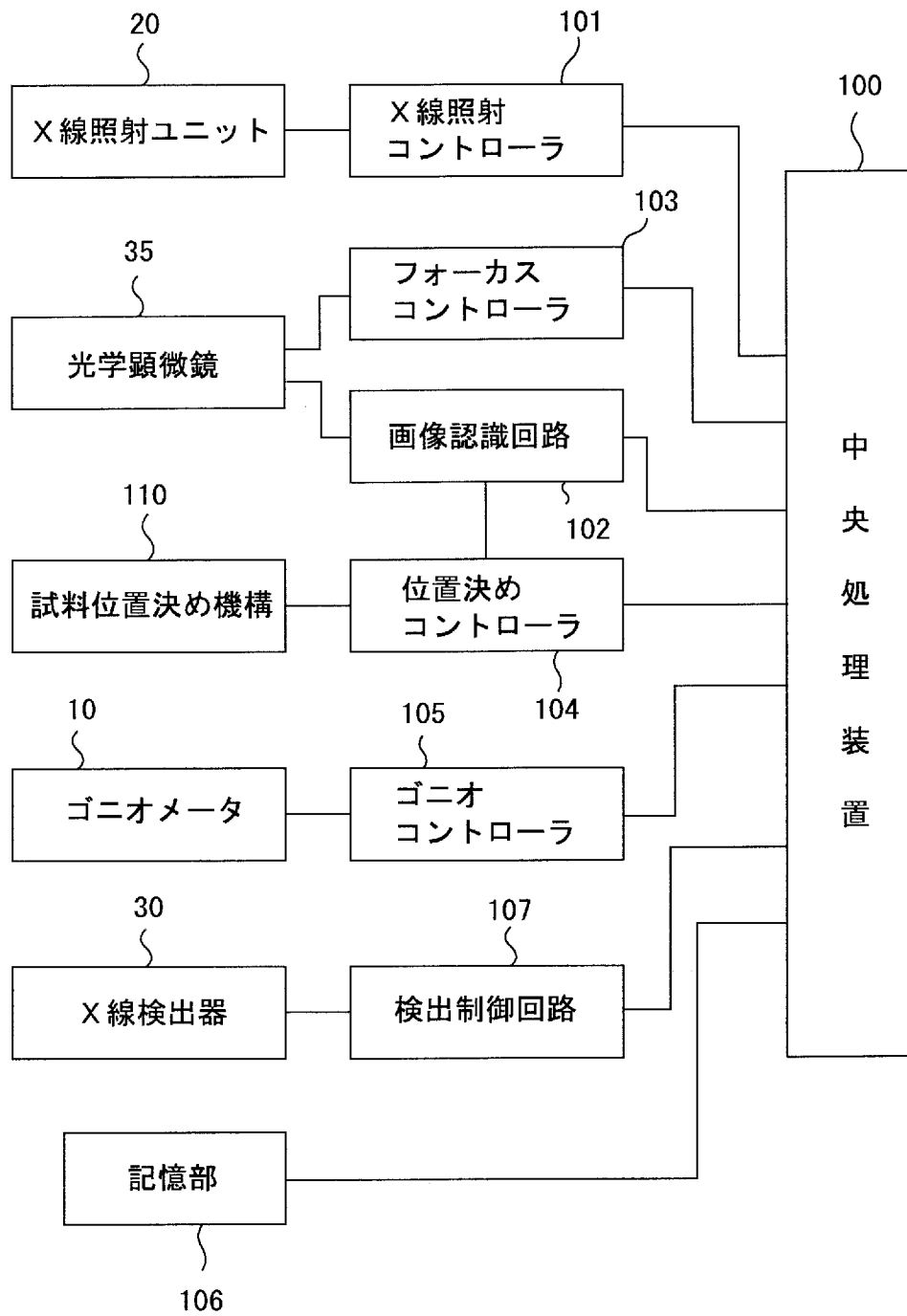
[図17]

Fig. 17



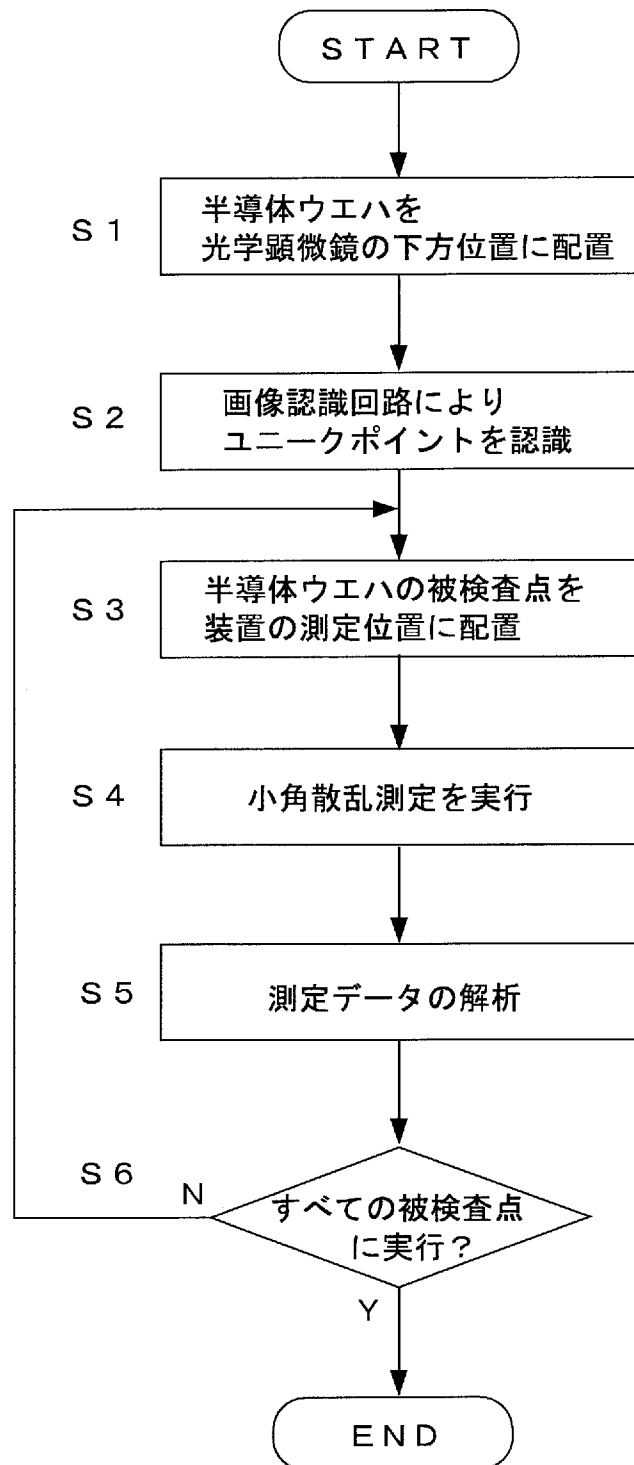
[図18]

Fig. 18



[図19]

Fig. 19



[図20]

Fig. 20A

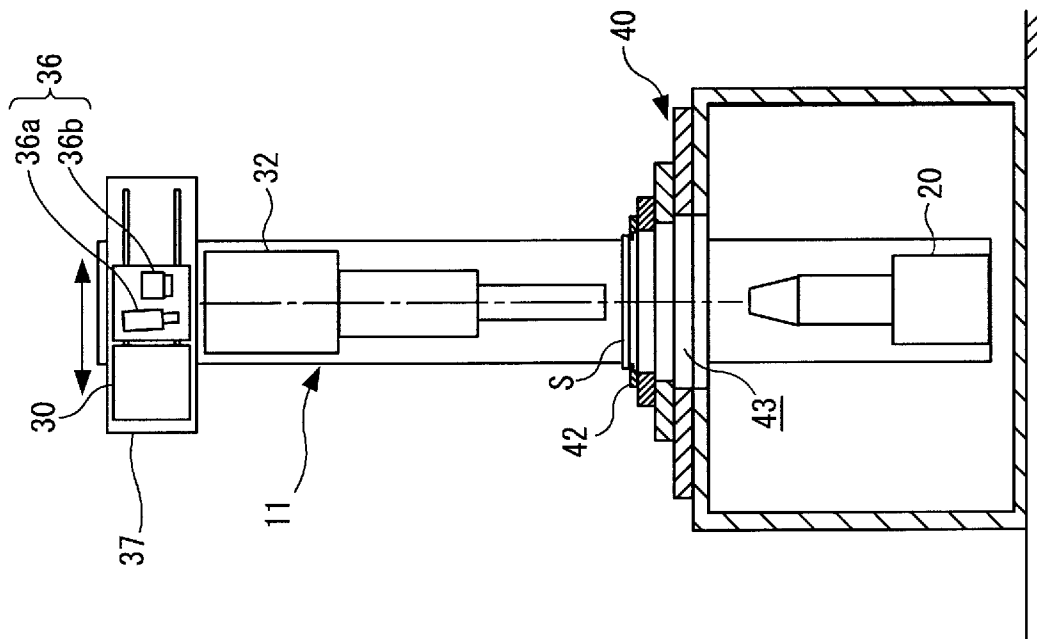
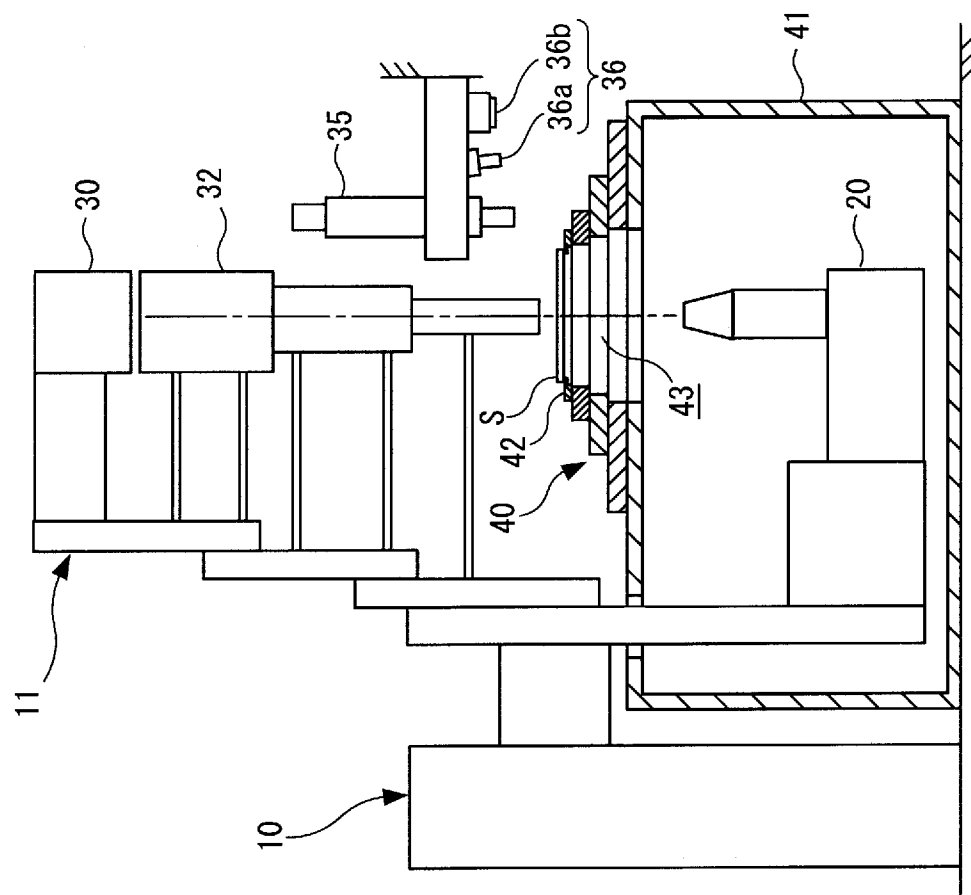


Fig. 20B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/000234

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01N23/20016(2018.01)i, G01N23/20025(2018.01)i, G01N23/201(2018.01)i
FI: G01N23/201, G01N23/20025, G01N23/20016

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. G01N23/00-23/2276, G21K1/00-1/16, H01L21/00-21/98, G01B15/00-15/08

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JST7580/JSTChina (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2017/0307548 A1 (KLA-TENCOR CORPORATION) 26 October 2017, paragraphs [0043]-[0080], fig. 1-3	1-6
A	US 2018/0113084 A1 (KLA-TENCOR CORPORATION) 26 April 2018	1-6
A	WO 2007/026461 A1 (RIGAKU CORPORATION) 08 March 2007	1-6
A	WO 2018/016430 A1 (RIGAKU CORPORATION) 25 January 2018	1-6
A	JP 2005-221362 A (RIGAKU CORPORATION) 18 August 2005	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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
21.02.2020

Date of mailing of the international search report
10.03.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/JP2020/000234

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-221363 A (RIGAKU CORPORATION) 18 August 2005	1-6
A	JP 2004-177248 A (RIGAKU DENKI CO., LTD.) 24 June 2004	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/000234

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 2017/0307548 A1	26.10.2017	JP 2019-519759 A WO 2017/185101 A1 CN 109073902 A	
US 2018/0113084 A1	26.04.2018	WO 2018/075999 A1 CN 109863583 A	
WO 2007/026461 A1	08.03.2007	JP 2008-157968 A JP 4669004 B2 US 2009/0213992 A1 EP 1925932 A1 EP 2458372 A1	
WO 2018/016430 A1	25.01.2018	US 2019/0227006 A1 CN 109416330 A	
JP 2005-221362 A	18.08.2005	(Family: none)	
JP 2005-221363 A	18.08.2005	(Family: none)	
JP 2004-177248 A	24.06.2004	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 23/20016(2018.01)i; G01N 23/20025(2018.01)i; G01N 23/201(2018.01)i FI: G01N23/201; G01N23/20025; G01N23/20016														
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）） G01N23/00-23/2276; G21K1/00-1/16; H01L21/00-21/98; G01B15/00-15/08 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2020年</td> </tr> </table> 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） JSTPlus/JST7580/JSTChina (JDreamIII)			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2020年	日本国実用新案登録公報	1996-2020年	日本国登録実用新案公報	1994-2020年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2020年													
日本国実用新案登録公報	1996-2020年													
日本国登録実用新案公報	1994-2020年													
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												
A	US 2017/0307548 A1 (KLA-TENCOR CORPORATION) 26.10.2017 (2017-10-26) [0043]-[0080], FIG. 1-FIG. 3	1-6												
A	US 2018/0113084 A1 (KLA-TENCOR CORPORATION) 26.04.2018 (2018-04-26)	1-6												
A	WO 2007/026461 A1 (株式会社リガク) 08.03.2007 (2007-03-08)	1-6												
A	WO 2018/016430 A1 (株式会社リガク) 25.01.2018 (2018-01-25)	1-6												
A	JP 2005-221362 A (株式会社リガク) 18.08.2005 (2005-08-18)	1-6												
A	JP 2005-221363 A (株式会社リガク) 18.08.2005 (2005-08-18)	1-6												
A	JP 2004-177248 A (理学電機株式会社) 24.06.2004 (2004-06-24)	1-6												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 21.02.2020	国際調査報告の発送日 10.03.2020													
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） 嶋田 行志 2W 8353 電話番号 03-3581-1101 内線 3257													

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/JP2020/000234

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
US	2017/0307548	A1	26.10.2017	JP	2019-519759	A	
				WO	2017/185101	A1	
				CN	109073902	A	
US	2018/0113084	A1	26.04.2018	WO	2018/075999	A1	
				CN	109863583	A	
WO	2007/026461	A1	08.03.2007	JP	2008-157968	A	
				JP	4669004	B2	
				US	2009/0213992	A1	
				EP	1925932	A1	
				EP	2458372	A1	
WO	2018/016430	A1	25.01.2018	US	2019/0227006	A1	
				CN	109416330	A	
JP	2005-221362	A	18.08.2005	(ファミリーなし)			
JP	2005-221363	A	18.08.2005	(ファミリーなし)			
JP	2004-177248	A	24.06.2004	(ファミリーなし)			