

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4046865号
(P4046865)

(45) 発行日 平成20年2月13日 (2008. 2. 13)

(24) 登録日 平成19年11月30日 (2007. 11. 30)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 N 23/20 (2006. 01)

G O 1 N 23/20

G O 1 B 15/00 (2006. 01)

G O 1 B 15/00

A

請求項の数 12 (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願平10-251523
 (22) 出願日 平成10年9月4日 (1998. 9. 4)
 (65) 公開番号 特開2000-81398 (P2000-81398A)
 (43) 公開日 平成12年3月21日 (2000. 3. 21)
 審査請求日 平成17年8月31日 (2005. 8. 31)

(73) 特許権者 391017540
 東芝 I T コントロールシステム株式会社
 東京都中央区日本橋本町四丁目9番11号
 (74) 代理人 100083806
 弁理士 三好 秀和
 (74) 代理人 100100712
 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
 (74) 代理人 100100929
 弁理士 川又 澄雄
 (72) 発明者 宇山 喜一郎
 東京都府中市晴見町2丁目24番地の1
 東芝エフエーシステムエンジニアリング株
 式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 結晶方位測定装置及び結晶方位測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

略円筒状結晶である被検体を保持する保持手段と、前記被検体の側面の略1点に向けてX線ビームを放射し回折された回折X線を検出することで前記側面に略直交する結晶面法線の方向を測定する測定部と、前記被検体もしくは前記測定部を略前記被検体の軸である ω 軸の周りに ω 回転させる ω 回転機構と、この ω 回転における第1及び第2の位置でそれぞれ測定した互いに非平行な第1の結晶面法線 h_1 及び第2の結晶面法線 h_2 より前記 ω 軸に略平行な第3の結晶面法線 h_0 を、

$$h_0 = \pm (h_1 \times h_2) / \sqrt{\{1 - (h_1 \cdot h_2)^2\}}$$

($\times$ はベクトル積、 $\cdot$ は内積を示す)

なる数式に基づいて求めるデータ処理部とを有することを特徴とする結晶方位測定装置

。

【請求項 2】

前記データ処理部は、前記第1及び第2の結晶面法線を前記測定部の測定基準である測定座標から前記被検体を基準とする被検体座標へ変換する機能を持つことを特徴とする請求項1記載の結晶方位測定装置。

【請求項 3】

前記データ処理部は、前記被検体座標の少なくとも1つの軸について前記被検体もしくは前記測定部が反転されたときの、この反転の前後でそれぞれ測定した結晶面法線より前記測定座標と前記被検体座標との変換係数を求める機能を持つことを特徴とする請求項2

10

20

記載の結晶方位測定装置。

【請求項 4】

前記データ処理部は、前記 ω 回転における第 1 の位置もしくは第 2 の位置が未知である場合、既知量である第 1 及び第 2 の結晶面法線間の角度を用いて前記第 3 の結晶面法線を求めることを特徴とする請求項 1 記載の結晶方位測定装置。

【請求項 5】

周囲に被検体軸に沿った溝を持つ前記被検体について、前記測定部の測定基準である測定座標における略前記側面に直交する座標軸が前記 ω 軸に対し前記溝の幅の $1/2$ 以上の距離をもって交差するように前記測定部が前記 ω 軸に対し変位して配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の結晶方位測定装置。

10

【請求項 6】

前記被検体はプレートが取付けられた略円筒状結晶であり、前記保持手段は前記プレートを位置決めし前記被検体座標は前記プレートを基準に設定されることを特徴とする請求項 2 乃至 5 の何れかに記載の結晶方位測定装置。

【請求項 7】

前記保持手段は前記被検体の側面を位置決めし、前記被検体座標は前記被検体の側面を基準に設定されることを特徴とする請求項 2 乃至 5 の何れかに記載の結晶方位測定装置。

【請求項 8】

周囲に被検体軸に沿ったマークを持つ前記被検体について、前記マークを基準に前記 ω 回転を位置決めする ω 位置決め手段を持ち、前記 ω 回転における第 1 及び第 2 の位置の何れか一方は前記マークを基準に設定されることを特徴とする請求項 6 又は 7 記載の結晶方位測定装置。

20

【請求項 9】

略円筒状結晶である被検体を保持する保持手段と、前記被検体の側面の略 1 点に向けて X 線ビームを放射し回折された回折 X 線を検出することで前記側面に略直交する結晶面法線 h_0 の方向を測定する測定部と、前記被検体もしくは前記測定部を略前記被検体の軸である ω 軸の周りに ω 回転させる ω 回転機構とを用い、この ω 回転の第 1 及び第 2 の位置でそれぞれ測定した互いに非平行な第 1 の結晶面法線 h_1 及び第 2 の結晶面法線 h_2 より前記 ω 軸に略平行な第 3 の結晶面法線 h_0 を、

$$h_0 = \pm (h_1 \times h_2) / \sqrt{\{1 - (h_1 \cdot h_2)\}^2}$$

($\times$ はベクトル積、 $\cdot$ は内積を示す)

30

なる数式に基づいて求めることを特徴とする結晶方位測定方法。

【請求項 10】

前記第 1 及び第 2 の結晶面法線を前記測定部の測定基準である測定座標から前記被検体を基準とする被検体座標へ変換した上で第 3 の結晶面法線を求めることを特徴とする請求項 9 記載の結晶方位測定装置。

【請求項 11】

前記被検体座標の少なくとも 1 つの軸について前記被検体もしくは前記測定部を反転し、この反転の前後でそれぞれ測定した結晶面法線より前記測定座標と前記被検体座標との変換係数を求めることを特徴とする請求項 10 記載の結晶方位測定方法。

40

【請求項 12】

前記 ω 回転における第 1 の位置もしくは第 2 の位置が未知である場合、既知量である第 1 及び第 2 の結晶面法線間の角度を用いて前記第 3 の結晶面法線を求めることを特徴とする請求項 9 記載の結晶方位測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えばシリコンや水晶等の単結晶試料の結晶方位を X 線回折を利用して測定する結晶方位測定装置及び結晶方位測定方法に関する。

【0002】

50

【従来の技術】

シリコンや水晶等の単結晶を半導体や発振体等の工業製品として使用するためには、その表面が結晶格子面に対して特定の角度になるように切断する必要がある。そのために、試料の結晶格子面を知る必要があるが、最も一般的に用いられている結晶の格子面測定方法は、X線回折を利用するものである。図32は、このX線回折を利用した試料の格子面測定方法を示している。つまり、試料200に対して単一波長のX線を入射させるとき、X線の入射角が θ_0 になると、そのX線が原子Aにより回折される。この時の角度を回折角度（ブラッグ角）と称し、その角度 θ_0 は、次の式（1）で求められる。

【0003】

$$\theta_0 = \arcsin(n\lambda / 2d) \quad \cdots (1)$$

n；1，2，3，…の自然数

λ ；X線の波長（既知）

d；格子面間隔（既知）

このように、 θ_0 が計算できるので、X線の入射角方向を変えながら回折X線を測定することで結晶の方位を測定することができる。

【0004】

ここで、円筒状の単結晶インゴットを厚さ0.3mm程度の円板（ウェーハ）に加工する工程で結晶方位測定は通常2度に分けて行われる。まず、単結晶インゴットを円筒状に研削し側面（円筒面）に対し第1の結晶方位の測定を行い側面に軸に沿ったオリエンテーションフラット面（OF面）あるいはV溝を加工し方位の目印とする。次に円筒軸に直角に端部を切断し、この試断面に対し第2の結晶方位の測定を行い定められた結晶面と試断面の傾斜角を求め、結晶面と平行にあるいは所定の角度をなすようにスライディングマシンでウェーハに加工する。ウェーハは周囲のOF面により周方向の結晶方位がわかる。

【0005】

上記の第1の円筒面の結晶方位測定を行う結晶方位測定装置としては、例えば、図33に示すようなものがある（特開昭62-116243号公報）。単結晶インゴット205はローラ203a，203bで保持され、ハンドル204でローラ203a，203bを回転させることでその軸回りに回転させられる。この軸に直交する平面内でX線投光器208からX線ビーム210aを結晶表面C点に当て回折X線ビーム210bをX線受光器209で測定する。X線投光器208とX線受光器209はC点を中心に 2α の角度をなすよう台座207に固定されている。 α は結晶面で決まる回折角を θ_0 として $\alpha = 90^\circ - \theta_0$ の値に設定される。単結晶インゴット205を回転させると、結晶面の法線方向がX線ビーム210aと α の角度（図のCD方向）になったとき、X線受光器209の出力が最大となり結晶面の法線方向がわかる。マーカーで印をつけ側面にOF面の加工を行う。

【0006】

第2の試断面の結晶方位測定を行う結晶方位測定装置としては、例えば、図34に示すようなものがある（特開平2-31145号公報）。結晶303は、その試断面を下方に向けてヘッド302に取付けられ、ヘッド302は測定時、ヘッド回転軸318で回転され、X線回折位置Aにセットされる。結晶方位測定装置310は、本体314に取付けられたX線発生器311とX線検出器312により試断面にX線を照射し、回折X線を測定する。照射角は水平面に対し結晶面で決まる回折角、 θ_0 に設定される。本体314は下部に回転支持ベース316がありスライディングマシン301に取り付いた案内板317の上で水平面内で 90° 回転でき、回折測定面をx，y方向に切換えできる。まず、図のように回折測定面をy方向に設定し、y方向微調ツマミ321で結晶303をy方向に傾斜させながらX線検出器312の出力ピークを探し、固定する。次にx方向に切換え、x方向微調ツマミ320で同様にx方向の調整を行う。これにより結晶面が水平になるように結晶303が傾斜される。次にヘッド302を 90° 回転させ、カッタ位置Bに設定し、結晶303を切断カッタ304側に送り出し薄板に切断する。切断カッタ304は水平に固定されているので結晶面に沿って切断できる。

10

20

30

40

50

【0007】

この試断面の結晶方位測定装置の例は、スライシングマシンと一体で、直接傾斜角の調整を行うタイプであるが、別置きで傾斜角の測定のみを行うこともできる。第1の円筒面の結晶方位測定と第2の試断面の結晶方位測定は同一の装置で配置を変えて2度に分けて測定することもできる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

従来は、単結晶インゴットのOF面の加工用の結晶方位測定とスライス加工用の結晶方位測定が別々の測定で行われていた。このために別々の装置が必要になるという問題点があった。また1台の装置で兼用する場合でも工程として2度の測定を必要とし効率が悪いという問題点があった。

10

【0009】

本発明は、上記に鑑みてなされたもので、円筒状結晶の側面からの測定のみでその法線が略円筒軸方向である所定の結晶面の方位を求めることができ、また、その円筒状結晶の側面に直交する方向の結晶面法線と円筒軸方向の結晶面法線とを1つの装置で求めることができる結晶方位測定装置及び結晶方位測定方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項1記載の結晶方位測定装置は、略円筒状結晶である被検体を保持する保持手段と、前記被検体の側面の略1点に向けてX線ビームを放射し回折された回折X線を検出することで前記側面に略直交する結晶面法線の方向を測定する測定部と、前記被検体もしくは前記測定部を略前記被検体の軸である ω 軸の周りに ω 回転させる ω 回転機構と、この ω 回転における第1及び第2の位置でそれぞれ測定した互いに非平行な第1の結晶面法線 h_1 及び第2の結晶面法線 h_2 より前記 ω 軸に略平行な第3の結晶面法線 h_0 を、

20

$$h_0 = \pm (h_1 \times h_2) / \sqrt{\{1 - (h_1 \cdot h_2)\}^2}$$

($\times$ はベクトル積、 $\cdot$ は内積を示す)

なる数式に基づいて求めるデータ処理部とを有することを要旨とする。この構成により、測定部で、被検体の結晶面のうち、その法線が ω 軸に略直交する互いに非平行な第1及び第2の結晶面法線が測定される。データ処理部で、この第1及び第2の結晶面法線に対し所定の位置関係にある ω 軸に略平行な第3の結晶面法線が計算により求められる。

30

【0011】

請求項2記載の結晶方位測定装置は、上記請求項1記載の結晶方位測定装置において、前記データ処理部は、前記第1及び第2の結晶面法線を前記測定部の測定基準である測定座標から前記被検体を基準とする被検体座標へ変換する機能を持つことを要旨とする。この構成により、測定座標と被検体座標のずれが補正されて、被検体座標を基準とした第3の結晶面法線が精度良く求められる。

【0012】

請求項3記載の結晶方位測定装置は、上記請求項2記載の結晶方位測定装置において、前記データ処理部は、前記被検体座標の少なくとも1つの軸について前記被検体もしくは前記測定部が反転されたときの、この反転の前後でそれぞれ測定した結晶面法線より前記測定座標と前記被検体座標との変換係数を求める機能を持つことを要旨とする。この構成により、反転の前後で測定された結晶面法線の被検体座標に対する対称性を利用して被検体座標の軸位置を求め、測定座標から被検体座標への変換係数が求められる。この変換係数を用いて測定座標から被検体座標への変換が行われる。

40

【0013】

請求項4記載の結晶方位測定装置は、上記請求項1記載の結晶方位測定装置において、前記データ処理部は、前記 ω 回転における第1の位置もしくは第2の位置が未知である場合、既知量である第1及び第2の結晶面法線間の角度を用いて前記第3の結晶面法線を求めることを要旨とする。この構成により、 ω 回転位置が未知のとき測定した第1あるいは第

50

2の結晶面法線の方位は定まらないが、その第1及び第2の結晶面法線間の角度が既知であることを利用して、その未定の第1あるいは第2の結晶面法線の方位を確定し、これより第3の結晶面法線が求められる。

【0014】

請求項5記載の結晶方位測定装置は、上記請求項1記載の結晶方位測定装置において、周囲に被検体軸に沿った溝を持つ前記被検体について、前記測定部の測定基準である測定座標における略前記側面に直交する座標軸が前記 ω 軸に対し前記溝の幅の $1/2$ 以上の距離をもって交差するように前記測定部が前記 ω 軸に対し変位して配置されていることを要旨とする。この構成により、周囲に結晶面法線の周方向の方位を示す溝が加工されている被検体について、被検体軸から略溝の方向を向いた結晶面法線を、溝に干渉されることなく測定することが可能となる。

10

【0015】

請求項6記載の結晶方位測定装置は、上記請求項2乃至5の何れかに記載の結晶方位測定装置において、前記被検体はプレートが取付けられた略円筒状結晶であり、前記保持手段は前記プレートを位置決めし前記被検体座標は前記プレートを基準に設定されることを要旨とする。この構成により、被検体に位置決め用のプレートが取り付けられているとき、このプレートを基準とした被検体座標で第3の結晶面法線が求められる。

【0016】

請求項7記載の結晶方位測定装置は、上記請求項2乃至5の何れかに記載の結晶方位測定装置において、前記保持手段は前記被検体の側面を位置決めし、前記被検体座標は前記被検体の側面を基準に設定されることを要旨とする。この構成により、被検体が、その側面で保持手段に位置決めされているとき、その被検体の側面を基準とした被検体座標で第3の結晶面法線が求められる。

20

【0017】

請求項8記載の結晶方位測定装置は、上記請求項6又は7記載の結晶方位測定装置において、周囲に被検体軸に沿ったマークを持つ前記被検体について、前記マークを基準に前記 ω 回転を位置決めする ω 位置決め手段を持ち、前記 ω 回転における第1及び第2の位置の何れか一方は前記マークを基準に設定されることを要旨とする。この構成により、周囲に結晶面法線の周方向の方位を示す溝等のマークを持つ被検体の場合、 ω 回転方向についてこのマークを基準に第3の結晶面法線が求められる。

30

【0018】

請求項9記載の結晶方位測定方法は、略円筒状結晶である被検体を保持する保持手段と、前記被検体の側面の略1点に向けてX線ビームを放射し回折された回折X線を検出することで前記側面に略直交する結晶面法線（以下、第1及び第2の結晶面法線）の方向を測定する測定部と、前記被検体もしくは前記測定部を略前記被検体の軸である ω 軸の周りに ω 回転させる ω 回転機構とを用い、この ω 回転の第1及び第2の位置でそれぞれ測定した互いに非平行な第1の結晶面法線 h_1 及び第2の結晶面法線 h_2 より前記 ω 軸に略平行な第3の結晶面法線 h_0 を、

$$h_0 = \pm (h_1 \times h_2) / \sqrt{\{1 - (h_1 \cdot h_2)^2\}}$$

($\times$ はベクトル積、 $\cdot$ は内積を示す)

なる数式に基づいて求めることを要旨とする。この構成により、被検体の結晶面のうち、その法線が ω 軸に略直交する互いに非平行な第1及び第2の結晶面法線が測定され、この第1及び第2の結晶面法線に対し所定の位置関係にある ω 軸に略平行な第3の結晶面法線が計算により求められる。

40

請求項10記載の結晶方位測定方法は、上記請求項9記載の結晶方位測定方法において、前記第1及び第2の結晶面法線を前記測定部の測定基準である測定座標から前記被検体を基準とする被検体座標へ変換した上で第3の結晶面法線を求めることを要旨とする。この構成により、測定座標と被検体座標のずれが補正されて、被検体座標を基準とした第3の結晶面法線が精度良く求められる。

【0019】

請求項11記載の結晶方位測定方法は、上記請求項10記載の結晶方位測定方法におい

50

て、前記被検体座標の少なくとも1つの軸について前記被検体もしくは前記測定部を反転し、この反転の前後でそれぞれ測定した結晶面法線より前記測定座標と前記被検体座標との変換係数を求めることを要旨とする。この構成により、反転の前後で測定された結晶面法線の被検体座標に対する対称性を利用して被検体座標の軸位置を求め、測定座標から被検体座標への変換係数が求められる。

この変換係数を用いて測定座標から被検体座標への変換が行われ、第3の結晶面法線が、この被検体座標を基準として求められる。

【0020】

請求項12記載の結晶方位測定方法は、上記請求項9記載の結晶方位測定方法において、前記 ω 回転における第1の位置もしくは第2の位置が未知である場合、既知量である第1及び第2の結晶面法線間の角度を用いて前記第3の結晶面法線を求めることを要旨とする。この構成により、 ω 回転位置が未知のとき測定した第1あるいは第2の結晶面法線の方位は定まらないが、その第1及び第2の結晶面法線間の角度が既知であることを利用して、その未定の第1あるいは第2の結晶面法線の方位を確定し、これより第3の結晶面法線が求められる。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

【0022】

図1及び図2は、本発明の第1の実施の形態を示す図である。本実施の形態は、簡略化された実施の形態であり、予め略円筒状結晶であるワークの結晶面法線の側面周方向の方位が分っている場合に適用できるものである。まず、図1を用いて本実施の形態の構成を説明する。円筒形の結晶インゴットであるワーク（被検体）1が、ワーク軸である ω 軸の周りに手で回転可能に保持手段としての保持台9で支えられている。測定部12は、X線管3によりワーク1側面のC点に水平方向からX線ビーム6aを照射し、その回折されたX線ビーム6bをX線検出器5で測定する。X線管3とX線検出器5は δ フレーム7上でC点を中心に角度 2α をもって配置されており、X線管3には線源コリメータ4が付いている。 α はブラッグ角 θ_0 に対し $\alpha = 90^\circ - \theta_0$ で計算される角度である。 δ フレーム7は水平面内で δ 駆動部8により δ 回転される。 δ 駆動部8は機構制御部10で制御される。データ処理部11はX線検出器5と δ 駆動部8に接続され、検出器出力と δ 値を受け取り、検出器出力ピーク時の δ 値を取り込む。

【0023】

次に、図2を用いて、本実施の形態の作用を説明する。ワーク1は側面周囲にOF面2があり、周方向の結晶面法線の方位がOF面2に合っているが ω 軸に沿った方向の傾斜が不明なものである。まず、図2(a)に示すように、 ω 回転角 $\Omega = 180^\circ$ のOF面2水平位置に設定し、法線 h_1 を測定する。測定は δ 回転を行い検出器出力ピーク時の δ 値より測定基準z軸からx軸方向への h_1 の傾斜角 $\delta_0^{(1)}$ が求まる。次に、図2(b)に示すように、 ω 回転角 $\Omega = 270^\circ$ のOF面2垂直位置に設定し、法線 h_2 を測定する。同様に h_2 の傾斜角 $\delta_0^{(2)}$ が求まる。求める法線 h_0 は所定の法線 h_0 、 h_1 、 h_2 が互いに直交する関係を用いて計算される。 h_0 のワーク座標ZからのX、Y方向への傾斜角 $\delta_0^{(0)}$ 、 $\delta_{90}^{(0)}$ は図から明らかなように、それぞれ $\delta_0^{(0)} = \delta_0^{(1)}$ 、 $\delta_{90}^{(0)} = \delta_0^{(2)}$ で求められる。本実施の形態は、各傾斜角が大きい場合、結果に誤差が生じる。

【0024】

上述した第1の実施の形態によれば、側面からの測定でワーク軸方向の結晶面法線を求めることができる。また側面に直交する方向の結晶面法線（再測定）とワーク軸方向の結晶面法線を1つの装置で求めることができる。

【0025】

図3及び図4には、本発明の第2の実施の形態を示す。本実施の形態は、簡略化された実施の形態であるが、予め略円筒状結晶であるワーク1の結晶面法線の側面周方向の方位が分っていない場合にも適用できるものである。上述の第1の実施の形態との構成上の違い

は ϕ 駆動部13が追加された点である。 ϕ 駆動部13は δ フレーム7と δ 駆動部8をC点を原点とする z 軸(= ϕ 軸)の周りに回転させる。 ϕ 回転位置 0° で δ 回転面が水平、 90° で垂直になる。

【0026】

次に、図4を用いて、本実施の形態の作用を説明する。まず、 ϕ 回転を 90° に設定し、手動でワーク1を ω 回転させて検出器出力が概略ピークとなる位置に設定する。この姿勢でワーク座標XYZが図3のように設定される。ここで第1の実施の形態と同様に ϕ 回転 0° 及び 90° でそれぞれ x 軸方向、 y 軸方向への h_1 の傾斜角 $\delta_0^{(1)}$ 、 $\delta_{90}^{(1)}$ を求める。次にワーク1を約 90° CW方向へ ω 回転させ、この位置で同様に ϕ 回転 0° で x 軸方向への h_2 の傾斜角 $\delta_0^{(2)}$ を求める。図4の作図から分るように、 $\delta_0^{(1)}$ 、 $\delta_{90}^{(1)}$ 、 $\delta_0^{(2)}$ より h_0 の傾斜角、 $\delta_0^{(0)}$ 、 $\delta_{90}^{(0)}$ が求められる。

【0027】

上述した第2の実施の形態によれば、側面からの測定でワーク軸方向の結晶面法線を求めることができる。また側面に直交する方向の結晶面法線とワーク軸方向の結晶面法線を1つの装置で求めることができる。

【0028】

図5乃至図10には、本発明の第3の実施の形態を示す。まず、図5を用いて機構部の構成を説明する。同図(a)は同図(b)のA-A線断面図、同図(b)は同図(a)の右側面図である。プレート17が接着された円筒形の結晶インゴットであるワーク16が被検体である。ワーク16は保持手段としての載置台18にプレート17を係合させて取り付けられる。載置台18はZフレーム23で支持され、略ワーク16の軸である ω 軸に対し ω 駆動部19により ω 回転される。Zフレーム23はZ駆動部24によりZ(ω 軸)方向に駆動され測定点Cの位置が変更できる。測定部15は、X線管25によりワーク16側面のC点にX線ビーム26aを照射し、その回折されたX線ビーム26bをX線検出器27で測定する。X線管25とX線検出器27は δ フレーム36上でC点を中心に角度 2α をもって配置されている。 δ フレーム36はC点を中心に δ 駆動部30により δ 回転される。 ϕ 駆動部31は δ フレーム36と δ 駆動部30をC点を原点とする z 軸(= ϕ 軸)の周りに回転させる。 ϕ 回転位置 0° で δ 回転面が水平、 90° で垂直になる。 ϕ 駆動部31は z 駆動部32により z 方向に駆動されC点をワーク16の側面に合わせる。測定部15は、測定座標 $x y z$ を基準に動き、この座標 $x y z$ で結晶面法線を求める。ワーク16に固定されたワーク座標XYZはプレート17を基準に設定され、図示されている ω 回転基準位置($\Omega = 180^\circ$)のとき測定座標と方向が一致するように設定されている。ワーク16の ω 回転角は後述する極座標 ω と区別するため大文字 Ω で表し、X軸が z 軸方向を向いたとき $\Omega = 0^\circ$ としCW方向を+にとる。X線管25は管電圧40 kVの銅をターゲットとするもので、約8 keVの銅の特性X線K α を使用する。X線検出器27はガスを用いた比例計数管であり、X線のフォトンカウントを行うものである。

【0029】

図6は、システム構成を示している。 δ 駆動部30、 ϕ 駆動部31、 ω 駆動部19、 z 駆動部32、Z駆動部24等の各機構部は、機構制御部51を介してデータ処理部52に接続されている。機構制御部51はデータ処理部52からの駆動タイミングや駆動量の指令を受け、それに従って各機構部を制御するとともに各機構部のステータス情報をデータ処理部52に送る。X線管25はX線制御部49を介してデータ処理部52に接続されている。X線制御部49はX線管25に電力を供給するとともに管電圧、管電流の制御及びデータ処理部52からの指令でX線管25のON・OFFを制御する。X線検出器27はデータ収集部50を介してデータ処理部52に接続されている。データ収集部50はデータ処理部52からの測定開始信号によりX線検出器27の出力パルスのカウントしてデジタルデータとしてデータ処理部52に送る。データ処理部52は通常のパソコンであり、マンマシンインタフェースとしてのキーボード53と表示器54とが接続されている。ここで、メニュー、ステータス、結果等の表示や、メニュー選択、測定開始、測定中断などの操作者による入力が行われる。データ処理部52は記憶されているシーケンスに従って各

10

20

30

40

50

部を制御し測定を行い、記憶されている計算プログラムに従って結果を計算する。

【0030】

次に、図7を用いて、本実施の形態の作用を説明する。この場合、測定する結晶面法線 h_1 , h_2 と求める結晶面法線 h_0 は互いに直交する関係にある。操作者はワーク16を設定し、測定開始を入力するとデータ処理部52は以下のように測定及び h_0 の計算を行い表示する。まず測定部15を $\phi = 90^\circ$, $\delta = 0^\circ$ に設定しワーク16を基準位置 ($\Omega = 180^\circ$) からCCW方向に回転させながら検出器出力のピークを探し、概略ピーク位置で回転を止める (ω サーチと称する)。このときの回転量を $\Delta\Omega_1$ (負値) とする。この位置で測定部15により結晶面法線 h_1 を測定する。 $\phi = 0^\circ$ 及び 90° それぞれで δ 回転スキャンを行い、それぞれ h_1 の z 軸からの x 方向、 y 方向の傾斜角 $\delta_0^{(1)}$, $\delta_{90}^{(1)}$ を求める。次にワーク16をさらに $\Delta\Omega_2$ (略 -90°) 回転させ、同様に結晶面法線 h_2 を測定し $\delta_0^{(2)}$, $\delta_{90}^{(2)}$ を求める。 $\Delta\Omega_2$ は法線 h が測定部15の測定範囲に入る程度の停止精度で回転させればよいが回転量は正確にデータ処理部52に取り込まれる。測定した結晶面法線 h_1 , h_2 より下記計算▲1▼で h_0 を計算する。

10

【0031】

<計算▲1▼: h_1 , h_2 から h_0 を計算 ($\Delta\Omega$ 既知、ワーク座標補正なし) > ; 平行しない2つのベクトル h_1 , h_2 から両者に直交する単位ベクトル h_0 を算出することができる。計算式はベクトル表示で次式となる。

【0032】

【数1】

20

$$h_0 = \pm (h_1 \times h_2) / \sqrt{\{1 - (h_1 \cdot h_2)^2\}} \quad \cdots (2)$$

ここで $\times$ はベクトル積、 $\cdot$ は内積を示す。具体的には、まず h_1 , h_2 をそれぞれ次式で直交座標に変換する。

【0033】

【数2】

$$x = \cos \delta_{90} \cdot \tan \delta_0 \cdot \sqrt{\{1 / (1 + \cos^2 \delta_{90} \cdot \tan^2 \delta_0)\}} \quad \cdots (3)$$

$$y = \cos \delta_0 \cdot \tan \delta_{90} \cdot \sqrt{\{1 / (1 + \cos^2 \delta_0 \cdot \tan^2 \delta_{90})\}} \quad \cdots (4)$$

$$z = \sqrt{(1 - x^2 - y^2)} \quad \cdots (5)$$

この式に $\delta_0^{(1)}$, $\delta_{90}^{(1)}$ を代入して x_1 , y_1 , z_1 を求め、 $\delta_0^{(2)}$, $\delta_{90}^{(2)}$ を代入して x_2 , y_2 , z_2 を求める。

30

【0034】

次いで、図8を参照して、 h_1 , h_2 をそれぞれ測定時のワーク座標へ変換する。変換式、

【数3】

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos(\Delta\Omega) & -\sin(\Delta\Omega) & 0 \\ -\sin(\Delta\Omega) & \cos(\Delta\Omega) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z \\ y \\ x \end{pmatrix} \quad \cdots (6)$$

40

により、それぞれ X_1 , Y_1 , Z_1 と X_2 , Y_2 , Z_2 を得るが、 h_1 は $\Delta\Omega = \Delta\Omega_1$, h_2 は $\Delta\Omega = \Delta\Omega_1 + \Delta\Omega_2$ を用いる。次に h_1 , h_2 から両者に直交する単位ベクトル h_0 を式(2)で求めるが、式(2)は具体的には符号を考慮して次式

【数4】

$$h_0 = \frac{\begin{vmatrix} i & j & k \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} \times \text{SIGN}(\sin(\Delta\Omega_2))}{\sqrt{\{1 - (X_1 \cdot X_2 + Y_1 \cdot Y_2 + Z_1 \cdot Z_2)\}^2}} \quad \dots (7)$$

となる。ここで $||$ は行列式、 i, j, k はそれぞれ X, Y, Z 方向の単位ベクトル、 $\text{SIGN}(s)$ は s の符号である。式 (7) で成分 X_0, Y_0, Z_0 が求まる。次に h_0 の Z 軸から X, Y 軸方向への傾斜角それぞれ $\delta_0^{(0)}, \delta_{90}^{(0)}$ を次式で求める。

【0035】

$$\delta_0 = \arctan(X/Z) \quad \dots (8)$$

$$\delta_{90} = \arctan(Y/Z) \quad \dots (9)$$

この式の X, Y, Z に X_0, Y_0, Z_0 を代入して $\delta_0^{(0)}, \delta_{90}^{(0)}$ を得る。ここで代りに Z 軸に対する最大傾斜 δ とその方位 ϕ を求めることもできる。計算は、

【数5】

$$\left. \begin{aligned}
 &|Z| \geq 1/\sqrt{2} \text{ の場合 } (h_0 \text{ の場合}) \\
 &\delta = \arcsin \{ \sqrt{(X^2 + Y^2)} \} \\
 &|Z| < 1/\sqrt{2} \text{ の場合 } (h_1, h_2 \text{ の場合}) \\
 &\delta = \arccos(Z)
 \end{aligned} \right\} \dots (10)$$

10

$$\left. \begin{aligned}
 &\delta = 0^\circ \text{ } (< \varepsilon) \text{ の場合} \\
 &\phi = 0^\circ \\
 &|X| \geq |Y| \text{ かつ } X > 0 \text{ の場合} \\
 &\phi = \arctan(Y/X) \\
 &\phi < 0 \text{ のとき } \phi = \phi + 360^\circ \\
 &|X| \geq |Y| \text{ かつ } X < 0 \text{ の場合} \\
 &\phi = 180^\circ + \arctan(Y/X) \\
 &|Y| > |X| \text{ かつ } Y > 0 \text{ の場合} \\
 &\phi = 90^\circ - \arctan(X/Y) \\
 &|Y| > |X| \text{ かつ } Y < 0 \text{ の場合} \\
 &\phi = 270^\circ - \arctan(X/Y)
 \end{aligned} \right\} \dots (11)$$

20

30

40

となり、 ϕ は $0^\circ \sim 360^\circ$ で得られる。この式の X , Y , Z に X_0 , Y_0 , Z_0 を代入して $\delta^{(0)}$, $\phi^{(0)}$ を得る。 h_1 , h_2 も同様に式 (10), (11) で δ , ϕ 表現で求めることができる。＜＞終了。

【0036】

50

計算▲1▼でワーク座標と測定座標がずれている場合、補正をすることができる（計算▲2▼）。

【0037】

<計算▲2▼： h_1 ， h_2 から h_0 を計算（ $\Delta\Omega$ 既知、ワーク座標補正あり）>； h_1 ， h_2 をそれぞれ式（3），（4），（5）で直交座標変換し、 x_1 ， y_1 ， z_1 ， x_2 ， y_2 ， z_2 を求める。基準位置 $\Omega = 180^\circ$ におけるワーク座標と測定座標の角度関係を予め測定しておき変換係数（ $X_x \sim Z_z$ ）がインプットされているものとするれば、これをワーク座標に変換できる。図9に座標の関係を示す。まず、 h_1 ， h_2 をそれぞれ測定座標 $x y z$ から基準位置でのワーク座標 $X_s Y_s Z_s$ へ変換し、次に測定時のワーク座標 $X Y Z$ に変換する。 $X_s Y_s Z_s$ 座標への変換式、

10

【数6】

$$\begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_x & X_y & X_z \\ Y_x & Y_y & Y_z \\ Z_x & Z_y & Z_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \cdots (12)$$

及び $X Y Z$ 座標への変換式、

【数7】

20

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\Delta\Omega) & -\sin(\Delta\Omega) & 0 \\ \sin(\Delta\Omega) & \cos(\Delta\Omega) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} \quad \cdots (13)$$

により、それぞれ X_1 ， Y_1 ， Z_1 と X_2 ， Y_2 ， Z_2 を得るが、 h_1 は $\Delta\Omega = \Delta\Omega_1$ ， h_2 は $\Delta\Omega = \Delta\Omega_1 + \Delta\Omega_2$ を用いる。次に h_1 ， h_2 から両者に直交する単位ベクトル h_0 を算出する。このワーク座標変換された値を用いて、計算▲1▼と同様に、式（7）～（11）で $\delta_0^{(0)}$ ， $\delta_{90}^{(0)}$ あるいは $\delta^{(0)}$ ， $\phi^{(0)}$ を求める。 h_1 ， h_2 も同様に式（10），（11）で δ ， ϕ 表現で求めることができる。以上の計算で、

30

【数8】

$$\begin{pmatrix} X_x & X_y & X_z \\ Y_x & Y_y & Y_z \\ Z_x & Z_y & Z_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \cdots (14)$$

40

と設定すれば、ずれの無い場合の計算となり、計算▲1▼と同じになる。<>終了。

【0038】

計算▲2▼で用いる測定座標からワーク座標への変換係数（ $X_x \sim Z_z$ ）は機械的な測定で求めることもできるが本実施の形態では、自動的に求めることができる。操作者は校正用ワークを載置台18に載置し、座標校正モードを選択して測定開始させ、表示に従って反転載置に替え、測定をさらに行うとデータ処理部52は以下のように各測定を行い変換係数を計算して記憶する。

【0039】

図10を参照して座標校正モードでの作用を説明する。校正には同図に示すような結晶面法線の概略方向に平行にプレート56を接着した校正用ワーク55を用いる。平行度は法

50

線が測定範囲に入る程度でよい。基準位置 $\Omega = 180^\circ$ でのワーク座標 X_s, Y_s, Z_s が測定対象である。基準位置で $\phi = 0^\circ$ 及び 90° それぞれで δ 回転スキャンを行い法線 $h_1(O)$ を求める。次に操作者による Y 反転（載置替え）と ω 回転による Z 反転を同時に行って X 反転させる。ここで法線 $h_1(X)$ を求める。次に $h_1(O)$ と $h_1(X)$ の中点が X_s 軸であることを利用して測定座標で X_s 軸が計算できる。また Y 反転、Z 反転で法線 $h_3(Y), h_3(Z)$ もそれぞれ求め、4 点を平均して X_s 軸を求めてもよい（ h_3 は h_1 の反対向き法線）。この場合、統計精度を上げることができる。ワーク座標を確定させるには、さらに X_s 軸に対する回転自由度を固定させる必要があるが、これは機械測定による Z_s 軸の zx 平面となす角 gz を用いる。 X_s 軸と比べ gz の精度は低くてよい。これにより、変換係数が計算される（計算▲3▼）。なお、この座標較正は頻繁に行う必要はない。

10

【0040】

<計算▲3▼：座標変換係数の計算>；測定座標 x, y, z と基準位置でのワーク座標 X_s, Y_s, Z_s との変換係数を求める。測定値を、

基準位置 $h_1(O) : \delta_0(O), \delta_{90}(O)$

X 反転 $h_1(X) : \delta_0(X), \delta_{90}(X)$

Y 反転 $h_3(Y) : \delta_0(Y), \delta_{90}(Y)$

Z 反転 $h_3(Z) : \delta_0(Z), \delta_{90}(Z)$

機械測定 Z_s 軸の zx 平面となす角： gz

とする。中点を求めるため、それぞれ式 (3), (4), (5) で直交座標変換し、 $h_1(O)$ と $h_1(X)$ の 2 点平均あるいは $h_1(O), h_1(X), h_3(Y), h_3(Z)$ の 4 点平均で 3 次元的中点 x_c, y_c, z_c を求める。中点と逆方向の単位ベクトルが基準位置での X_s 軸になるので X_s 軸の x, y, z 成分は（ s は省略して）、

$$r = \sqrt{(x_c^2 + y_c^2 + z_c^2)} \quad \dots (15)$$

$$X_x = -x_c / r \quad \dots (16)$$

$$X_y = -y_c / r \quad \dots (17)$$

$$X_z = -z_c / r \quad \dots (18)$$

で求まる。次に Z_s 軸を求める。 Z_s 軸と zx 平面の角度 gz （上向き+）は既知として、 Z_s 軸の y 成分は

$$Z_y = \sin(gz) \quad \dots (19)$$

となる。未知数 Z_x, Z_z は X_s 軸と Z_s の内積が 0 であることと、 $|Z_s| = 1$ の 2 つの式を条件 $Z_x > 0$ で解いて求められる。解は、

【数 9】

$$\begin{aligned} Z_x = & [-X_x \cdot X_y \cdot Z_y \\ & + \sqrt{\{X_x^2 \cdot X_y^2 \cdot Z_y^2 - (X_x^2 + X_z^2) \\ & \cdot ((X_y^2 + X_z^2) \cdot Z_y^2 - X_z^2)\}}] \\ & / (X_x^2 + X_z^2) \end{aligned} \quad \dots (20)$$

$$Z_z = (-X_x \cdot Z_x - X_y \cdot Z_y) / X_z \quad \dots (21)$$

40

となる。次に Y_s 軸を求める。 Z_s 軸と X_s 軸のベクトル積で求め、成分としては、

$$Y_x = Z_y \cdot X_z - Z_z \cdot X_y \quad \dots (22)$$

$$Y_y = Z_z \cdot X_x - Z_x \cdot X_z \quad \dots (23)$$

$$Y_z = Z_x \cdot X_y - Z_y \cdot X_x \quad \dots (24)$$

で計算される。求めた X_x ないし Z_z を使って基準位置でのワーク座標 X_s, Y_s, Z_s から測定座標 x, y, z への変換は、

【数 10】

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_x & Y_x & Z_x \\ X_y & Y_y & Z_y \\ X_z & Y_z & Z_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix} \quad \dots (25)$$

となる。逆の変換は転置行列で計算でき、前記の返却式（１２）となる。＜＞終了。

【００４１】

上述した第３の実施の形態によれば、ワーク１６の側面からの測定でワーク軸方向の結晶面法線を求めることができる。側面に直交する方向の結晶面法線とワーク軸方向の結晶面法線を１つの装置で求めることができる。ワーク１６のプレート１７を基準としたワーク座標で結晶面法線を求めることができる。またワーク座標と測定座標のずれを補正するので正確に結晶面法線を求めることができ、ずれの較正も自動的に行うことができる。

【００４２】

次に、第３の実施の形態の各変形例を述べる。上述した第３の実施の形態でワーク軸方向の結晶面法線だけでなく、側面に直交する方向の結晶面法線が測定されるので、これを基に結晶面法線の周方向の方位を示すノッチ（ｖ溝）あるいはＯＦ面を加工することもできる。

【００４３】

図１１には、第３の実施の形態の第１の変形例を示す。この変形例は、測定座標のｚ軸がω軸から距離ｄだけ離れるよう、測定部が変位して配置されている。ワーク１６の側面に結晶面法線の周方向の方位を示すノッチ（ｖ溝）５７が既に加工されているワーク１６の場合、このノッチ５７とＣ点が干渉して正常な測定ができない場合がある。少なくともｄをノッチ５７の幅の１／２以上とって配置することで、この干渉を防ぐことができ、ノッチ５７のある場合でも正確な測定が可能となる。

【００４４】

図１２には、第３の実施の形態の第２の変形例を示す。この変形例では、複数のワーク（結晶インゴット）５８ａ，５８ｂ，５８ｃがそれぞれサブプレート７１ａ，７１ｂ，７１ｃを介してプレート５９に接着されている。マルチワイヤソーによるスライディングマシンにかけて全スライス同時切断する前のワークであり、各ワーク５８ａ，５８ｂ，５８ｃはそれぞれ略軸方向の結晶面法線 h_0 がプレート５９に合うように接着されている。本実施の形態の装置では、スライディングマシンにかける前の接着ずれ有無の最終確認を行う。接着ずれがあるとそのワーク分全てが不良になってしまう。従来装置では中間に挟まったワーク５８ｂは軸方向法線 h_0 を測定することができなかったが、この変形例により全てのワーク５８ａ，５８ｂ，５８ｃそれぞれについて測定することが可能になる。

【００４５】

図１３には、第３の実施の形態の第３の変形例を示す。第３の実施の形態では、プレート基準でω回転基準位置を設定したが、この変形例はノッチ基準で設定するものである。ガイド１０１ａ，１０１ｂとスプリング１０２ａ，１０２ｂで上下方向にスライドする係合板１００ａ，１００ｂを上下２箇所に設け、ノッチ５７を上側あるいは下側に位置決めする。上下の係合板１００ａ，１００ｂは、プレート１７を下にしたときノッチ５７が右側にあるか左側にあるかで使い分ける。またω回転するときは係合板１００ａ，１００ｂは干渉しないように退避させる。

【００４６】

図１４には、第３の実施の形態の第４の変形例を示す。上記の係合板１００ａ，１００ｂは、図１４に示すように、左右２箇所に設けてもよい。同図では、ガイドとスプリングは省略されている。この場合、左右の係合板１００ａ，１００ｂはプレート１７を下にしたとき、ノッチ５７が上側にあるか下側にあるかで使い分け、上記と同様にω回転時には退避する。上記の第３、第４の変形例において、係合板１００ａ，１００ｂの代りに機械

10

20

30

40

50

式あるいは光学式センサを用いてもよい。

【0047】

第3の実施の形態の第5の変形例を説明する。OF面をもつワークに対し、水準器等の傾斜計でOF面の傾斜度を測ってOF面基準で ω 回転基準位置を設定することもできる。

【0048】

上述の第3～第5の変形例では、 $\Delta\Omega_1 = 0^\circ$ としてノッチやOF面を回転の基準とする。またここで $\Delta\Omega_2$ の正確な値が未知であっても、後述する第4の実施の形態における計算▲4▼を用いて h_0 を計算することができるので第3～第5の変形例では正確な ω 回転量を全く知ることなく h_0 を求めることができる。

【0049】

図15には、第3の実施の形態の第6の変形例を示す。第3の実施の形態ではプレート17が接着されたワーク16を載置台18にネジで固定するが、この第6の変形例では、さらにスプリング105で加勢されたロッド103でワーク16を載置台18に押し付ける。これにより回転時に接着部にかかる力を緩和させることができる。これは特に大きなワーク16の場合に有効である。

【0050】

図16乃至図20には、本発明の第4の実施の形態を示す。まず、図16を用いて機構部の構成を説明する。円筒形の結晶インゴットであるワーク60がワーク軸である ω 軸の周りに手で回転可能に保持板63a、63bを介して保持台62で支えられている。2つの保持板63a、63bは垂直な中心平面67に対し互いに鏡像の形をなしており、摩擦の少ないテフロン等が用いられている。この2つの保持板63a、63bの間にはノッチ（v溝）61に係合する係合板64が中心平面67上に配置され、中心平面67に沿って動くようにガイド65a、65bで保持されている。係合板64はスプリング66により加勢されノッチ61に係合される。これによりワーク60の中心軸である ω 軸とノッチ61が常に中心平面67の上になるように位置決めされる。ワーク60の側面側に測定部15が設置され、側面のC点にX線ビーム26aを照射し結晶面法線を測定する。測定部15は、前記第3の実施の形態と同じものである。第3の実施の形態の場合と同様に、測定部15は、測定座標xyzを基準に動き、この座標xyzで結晶面法線を求める。ワーク60に固定されたワーク座標XYZはワーク60の側面から決まる中心軸（ ω 軸）を基準に設定され、図示されているノッチ61に係合した位置である ω 回転基準位置（ $\Omega = 180^\circ$ ）のとき測定座標と方向が一致するように設定されている。ワーク60の ω 回転角は後述する極座標 ω と区別するため大文字 Ω で表し、X軸がZ軸方向を向いたとき $\Omega = 0^\circ$ としてCW方向を+にとる。機構部以外の構成部分は、前記第3の実施の形態と略同様である。

【0051】

次に、図17を用いて、本実施の形態の作用を説明する。この場合、測定する結晶面法線 h_1 、 h_2 と求める結晶面法線 h_0 は互いに直交する関係にある。操作者は、まずワーク60をノッチ61に係合した基準位置（ $\Omega = 180^\circ$ ）に設定し、測定開始を入力するとデータ処理部52は、この位置、 $\Delta\Omega_1 (= 0^\circ)$ で測定部15により結晶面法線 h_1 を測定する。 $\phi = 0^\circ$ 及び 90° それぞれで δ 回転スキャンを行い、それぞれ h_1 のZ軸からのx方向、y方向の傾斜角 $\delta_0^{(1)}$ 、 $\delta_{90}^{(1)}$ を求める。次にワーク60の回転の指示を表示する。操作者は、ワーク60を $\Delta\Omega_2$ （略 -90° ）回転させる。 $\Delta\Omega_2$ は既知の値とする。操作者が $\Delta\Omega_2$ と測定再開を入力すると、データ処理部52は同様に結晶面法線 h_2 を測定し $\delta_0^{(2)}$ 、 $\delta_{90}^{(2)}$ を求める。さらに測定した h_1 、 h_2 より h_0 を計算する。計算は第3の実施の形態と同様に、前記計算▲1▼で行われる。またワーク座標と測定座標がずれている場合、同様に前記計算▲2▼を用いて補正をすることができる。計算▲2▼で用いる測定座標からワーク座標への変換係数（ $X_x \sim Z_z$ ）は、機械的な測定で求めることもできるが、第3の実施の形態と同様に自動的に求めることができる。図18を参照して、操作者は中心軸に対向して付けられた2つのノッチ69a、69bをもつ較正用ワーク68を載置台62に載置し、座標較正モードを選択して測定開始させ、表示

10

20

30

40

50

に従って反転載置に替え、測定をさらに行うとデータ処理部52は各測定を行い変換係数を計算して記憶する。反転は、前記図10と同様である。変換係数の計算は前記計算▲3▼で行われる。図18に示すように、2つのノッチ69a, 69bが対向位置より ε だけずれている場合、X反転、Z反転時の測定法線 h_1 (X), h_3 (Z)は反対方向に ε だけずれる。したがって、このノッチ69a, 69bのずれ ε があっても4点、 h_1 (O), h_1 (X), h_3 (Y), h_3 (Z)を平均することで正確に X_s 軸を求めることができる。このように4点平均が好ましいが、ノッチ69a, 69bのずれがない場合は、 h_1 (O)と h_1 (X)の2点平均でよい。

【0052】

前記の計算▲1▼あるいは計算▲2▼は回転量 $\Delta\Omega_2$ が既知の場合であるが、 $\Delta\Omega_2$ の正確な値が未知であっても h_0 を計算することができる。 $\Delta\Omega_2$ は法線 h が測定部15の測定範囲に入る程度の停止精度で回転させればよく未知でもよい。この場合、法線 h_2 の方位が定まらないが、所定の法線 h_1 , h_2 間の角度 R_{12} (いまの場合 90°) が既知であることを利用して h_2 を確定し、これにより法線 h_0 を求める。 $\Delta\Omega_2$ が未知の場合、前記の計算▲1▼あるいは計算▲2▼の代りに下記の計算▲4▼を用いる。なお計算▲4▼は第3の実施の形態に対しても適用することができる。また h_1 と h_2 はどちらを先に測定してもよい。

【0053】

<計算▲4▼: h_1 , h_2 から h_0 を計算 ($\Delta\Omega_2$ 未知、ワーク座標補正あり)>; まず、 h_1 , h_2 をそれぞれ式(3), (4), (5)で直交座標変換し、 x_1 , y_1 , z_1 , x_2 , y_2 , z_2 を求める。基準位置 $\Omega = 180^\circ$ におけるワーク座標と測定座標の角度関係を予め測定しておき変換係数($X_x \sim Z_z$)がインプットされているものとするれば、これをワーク座標に変換できる。図19に座標の関係を示す。まず、 h_1 について測定座標 $x y z$ から基準位置でのワーク座標 $X_s Y_s Z_s$ へ変換し、次に測定時のワーク座標 $X Y Z$ (極座標 γ , ω)に変換する。前出の変換式(12), (13)で X_{s1} , Y_{s1} , Z_{s1} , X_1 , Y_1 , Z_1 を求める。ここで $\Delta\Omega = \Delta\Omega_1$ を用いる。次に、 X_1 , Y_1 , Z_1 を次式の極座標変換に代入し極座標表現 γ_1 , ω_1 に変換する。

【0054】

【数11】

$$\gamma = \arcsin(Z) \quad \dots (26)$$

|X| ≥ |Y| かつ X > 0 の場合

$$\omega = \arctan(Y/X)$$

$$\omega < 0^\circ \text{ のとき } \omega = \omega + 360^\circ$$

|X| ≥ |Y| かつ X < 0 の場合

$$\omega = 180^\circ + \arctan(Y/X)$$

|Y| > |X| かつ Y > 0 の場合

$$\omega = 90^\circ - \arctan(X/Y)$$

|Y| > |X| かつ Y < 0 の場合

$$\omega = 270^\circ - \arctan(X/Y) \quad \dots (27)$$

γ_1 , ω_1 は、 X_{s1} , Y_{s1} , Z_{s1} を上式の極座標変換で γ_{s1} , ω_{s1} に変換し、極座標での回転、

$$\gamma = \gamma_s \quad \dots (28)$$

$$\omega = \omega_s + \Delta\Omega \quad \dots (29)$$

で $\Delta\Omega = \Delta\Omega_1$ を用いて求めてもよい。また X_1 , Y_1 , Z_1 は逆に γ_1 , ω_1 から次式の直交座標変換で求めてもよい。

10

20

30

40

50

【0055】

$$X = \cos \gamma \cdot \cos \omega \quad \cdots (30)$$

$$Y = \cos \gamma \cdot \sin \omega \quad \cdots (31)$$

$$Z = \sin \gamma \quad \cdots (32)$$

次に h_2 について前記の式 (12) で $x y z$ 座標から $X_s Y_s Z_s$ 座標へ変換し、 X_{s2} , Y_{s2} , Z_{s2} を求める。そして X_{s2} , Y_{s2} , Z_{s2} を上式 (26), (27) で極座標表現 γ_{s2} , ω_{s2} に変換する。

【0056】

次に、図20に測定時のワーク座標 XYZ を固定した図、即ちワークに乗って h_1 , h_2 を見た図を示す。この図を参照して、 γ_{s2} , ω_{s2} を測定時のワーク座標 (極座標表現) γ_2 , ω_2 に変換するが、 $\Delta\Omega_2$ が未知であるので、 ω_2 がそのままでは求められない。しかしながら、 h_1 , h_2 間の角度 R_{12} が既知であるので、これを利用して ω_2 を求めることができる。図20(b)の三角形 $Z h_1 h_2$ に球面三角法を適用して、

【数12】

$$Cw = \text{SIGN}(\sin(\Delta\Omega_2)) : \Delta\Omega_2 \text{ は概略値} \quad \cdots (33)$$

$$\gamma_2 = \gamma_{s2} \quad \cdots (34)$$

$$\omega_2 = \omega_1 + Cw \cdot \arccos \{ (\cos R_{12} - \sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2) / (\cos \gamma_1 \cdot \cos \gamma_2) \} \quad \cdots (35)$$

で γ_2 , ω_2 が求められる。ここで Cw は $\sin \Delta\Omega_2$ の符号で +1 あるいは -1 のどちらかであり、この計算で用いる $\Delta\Omega_2$ は概略値である。即ち $\Delta\Omega_2$ は未知ではあるが $+90^\circ$ 側か、 -90° 側かの程度では知られているものとする。次に γ_2 , ω_2 を式 (30), (31), (32) で直交座標変換し、 X_2 , Y_2 , Z_2 を求める。

【0057】

次に、 h_1 , h_2 から両者に直交する単位ベクトル h_0 を、前記式 (7) と同様に、

【数13】

$$h_0 = \frac{\begin{vmatrix} i & j & k \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} \times Cw}{\sqrt{\{1 - (X_1 \cdot X_2 + Y_1 \cdot Y_2 + Z_1 \cdot Z_2)\}^2}} \quad \cdots (36)$$

で計算する。ここで $||$ は行列式、 i, j, k はそれぞれ X, Y, Z 方向の単位ベクトルである。測定時のワーク座標 XYZ はワークに固定されたワーク座標 XYZ に他ならない。上記 (36) 式で成分 X_0 , Y_0 , Z_0 が求まる。次に X_0 , Y_0 , Z_0 から計算▲1▼と同様に、式 (8) ~ (11) で $\delta_0^{(0)}$, $\delta_{90}^{(0)}$ あるいは $\delta^{(0)}$, $\phi^{(0)}$ を求める。 h_1 , h_2 も同様に式 (10), (11) で δ , ϕ 表現で求めることができる。以上の計算で、前記式 (14) のように設定すれば、ワーク座標補正なしの場合の計算となり、計算の▲1▼の $\Delta\Omega_2$ 未知の場合の計算となる。＜＞終了。

【0058】

上述した第4の実施の形態によれば、ワーク60の側面からの測定でワーク軸方向の結晶面法線を求めることができる。側面に直交する方向の結晶面法線とワーク軸方向の結晶面法線を1つの装置で求めることができる。ワーク60の側面から決まる中心軸 (ω 軸) 及びノッチを基準としたワーク座標で結晶面法線を求めることができる。ワーク座標と測定座標のずれを補正するので正確に結晶面法線を求めることができ、ずれの較正も較正用ワーク68を反転載置して測定することで自動的に行うことができる。またワーク60の正確な回転角が未知であっても正確に結晶面法線が測定できる。

【0059】

10

20

30

40

50

次に、第４の実施の形態の各変形例を述べる。上述した第４の実施の形態で係合板６４を用いる代りに機械式あるいは光学式センサを用いてノッチ６１の位置決めを行ってもよい。

【００６０】

図２１には、第４の実施の形態の第１の変形例を示す。この変形例は、保持板６３ａ、６３ｂの代りに２つのローラ７２ａ、７２ｂを用いてワーク６０を支えるようにしたものである。これによりスムーズに回転できる。各ローラ７２ａ、７２ｂは図２１（ｂ）に示すように、両端部だけでなく中間部も軸受け７５ａ～７５ｄで支えられている。これにより、たわみが少なくなり正確にワーク６０を位置決めできる。 ω 回転は手動でなくローラ７２ａ、７２ｂをモータで回転させて行ってもよい。

10

【００６１】

図２２には、第４の実施の形態の第２の変形例を示す。この変形例は、保持板６３ａ、６３ｂの代りに２つの軸７３ａ、７３ｂと２つの軸受け７４ａ、７４ｂでワーク６０の両端を支えるようにしたものである。ワーク６０は軸７３ａ、７３ｂを介して両側から軸受け７４ａ、７４ｂで挟まれることで保持される。あるいはワーク６０は軸７３ａ、７３ｂに接着されることで保持される。

【００６２】

図２３には、第４の実施の形態の第３の変形例を示す。この変形例は、ＯＦ面７７をもつワークの場合である。この場合、ＯＦ面７７を用いて基準位置の位置合わせを行う。これには例えば傾斜計７８等を用いてＯＦ面７７を水平あるいは垂直に合わせることができる。また ω 回転の回転角もこの傾斜計７８で測定できる。

20

【００６３】

図２４乃至図２６には、本発明の第５の実施の形態を示す。本実施の形態は、プレート付きワークを側面で支えるようにしたものである。まず、図２４を用いて機構部の構成を説明する。円筒形の結晶インゴットであるワーク８０がワーク軸である ω 軸の周りに手動で回転可能に２つのローラ８３ａ、８３ｂを介して保持台８４で支えられている。２つのローラ８３ａ、８３ｂは水平面内で互いに平行に配置されている。ワーク８０はプレート８２が接着されているもので、 ω 軸回転はプレート８２がローラ８３ａ、８３ｂに干渉しない 180° を少し超える範囲で可能である。プレート８２の傾斜は傾斜計８５で測定できる。ワーク８０はノッチ８１があるものでもＯＦ面のあるものでも何もないものでも対応可能である。ワーク８０の下面側に測定部１５が設置され、ワーク８０の下面のＣ点にＸ線ビーム２６ａを照射し結晶面法線を測定する。測定部１５は、前記第３の実施の形態と同じものである。第３の実施の形態の場合と同様に、測定部１５は、測定座標 $x y z$ を基準に動き、この座標 $x y z$ で結晶面法線を求める。ワーク８０に固定されたワーク座標 $X Y Z$ はワーク８０の側面から決まる中心軸（ ω 軸）を基準に設定され、図示されているプレート８２が水平になる位置である ω 回転基準位置（ $\Omega = 180^\circ$ ）のとき測定座標と方向が一致するように設定されている。ワーク８０の ω 回転角は Ω で表し、Ｘ軸がＺ軸方向を向いたとき $\Omega = 0^\circ$ としてＣＷ方向を＋にとる。測定部１５は測定座標のＺ軸が ω 軸から距離 d だけ離れるよう、変位して配置されており、ノッチ８１とＣ点の干渉を防ぐようになっている。機構部以外の構成部分は、前記第３の実施の形態と略同様である。

30

40

【００６４】

次に、図２５を用いて、本実施の形態の作用を説明する。この場合、測定する結晶面法線 h_1 、 h_2 と求める結晶面法線 h_0 は互いに直交する関係にある。操作者は、まずワーク８０を傾斜計８５を用いて基準位置（ $\Omega = 180^\circ$ ）から $\Delta\Omega_1$ （ＣＣＷ－）回転してノッチ８１が下方になるように設定し、 $\Delta\Omega_1$ 値と測定開始を入力する。ノッチやＯＦ面の無いワークの場合は手動で回転させながらＸ線検出器出力ピークを探し（ ω サーチ）固定してから $\Delta\Omega_1$ 値と測定開始を入力する。データ処理部５２は、この位置で、前記第４の実施の形態と同様に、測定部１５により結晶面法線 h_1 を測定し、 $\delta_0^{(1)}$ 、 $\delta_{90}^{(1)}$ を求め、次にワーク８０の回転の指示を表示する。操作者がワーク８０を $\Delta\Omega_2$ （略 $\pm 90^\circ$ ）回転させ、 $\Delta\Omega_2$ と測定再開を入力すると、データ処理部５２は同様に結晶面法線 h

50

δ_2 を測定し $\delta_0^{(2)}$, $\delta_{90}^{(2)}$ を求める。さらに測定した h_1 , h_2 より h_0 を計算する。計算は第 4 の実施の形態と同様に、 $\Delta\Omega_2$ は未知でもよく、前記計算▲1▼、計算▲2▼又は計算▲4▼を用いて行われる。計算▲2▼又は計算▲4▼で用いる測定座標からワーク座標への変換係数 ($X_x \sim Z_z$) は、機械的な測定で求めることもできるが、第 4 の実施の形態と同様に自動的に求めることができる。これには図 26 に示すような結晶面法線の概略方向に平行にプレート 88 を接着した校正用ワーク 87 を用いる。平行度は法線が測定の範囲に入る程度でよい。図 26 を参照して、操作者はプレート 88 面が垂直になるように各反転を行いそれぞれ測定を行う。データ処理部 52 は第 4 の実施の形態同様、前述した計算▲3▼により変換係数を計算して記憶する。

【0065】

10

上述した第 5 の実施の形態によれば、ワーク 80 の側面からの測定でワーク軸方向の結晶面法線を求めることができる。側面に直交する方向の結晶面法線とワーク軸方向の結晶面法線を 1 つの装置で求めることができる。ワーク 80 の側面から決まる中心軸 (ω 軸) 及びワーク 80 に取り付けられたプレート 82 を基準としたワーク座標で結晶面法線を求めることができる。ワーク座標と測定座標のずれを補正するので正確に結晶面法線を求めることができ、ずれの校正も校正用ワーク 87 を反転載置して測定することで自動的に行うことができる。ワーク 80 の正確な回転角が未知であっても正確に結晶面法線が測定できる。また、ノッチに邪魔されずに正確な測定が可能となる。

【0066】

次に、第 5 の実施の形態の各変形例を述べる。上述した第 5 の実施の形態で OF 面の付いたワークの場合、プレート 82 の傾斜を測って基準とする代りに OF 面の傾斜を測定してもよい。この場合、ワーク 80 の側面から決まる中心軸 (ω 軸) 及びワーク 80 に付けられた OF 面を基準としたワーク座標で結晶面法線を求めることができる。 ω 回転は手動ではなくローラ 83a, 83b をモータで回転させて行ってもよい。

20

【0067】

図 27 には、第 5 の実施の形態の第 1 の変形例を示す。この変形例は、 ω 回転角を測定するのに傾斜計 85 の代りにエンコーダ 90 を用いるものである。ワーク 80 の端面の略中央に吸盤あるいは粘着テープ等で取り付けた接合板 93 の回転をフレキシブルなジョイント 92 で固定台 91 上のエンコーダ 90 に伝達して回転量を測定する。またローラ 83a, 83b の軸にエンコーダを取り付けてもよく、エンコーダ専用ローラを介してエンコーダを取り付けてもよい。

30

【0068】

図 28 には、第 5 の実施の形態の第 2 の変形例を示す。この変形例は、ワーク 80 の端面にマークを付けるケガキ針やペン等のマーカ 94 とそれを水平方向あるいは垂直方向にスライドするスライド機構 95 を追加したものである。これにより基準位置や測定時の回転位置のマーク即ち測定の基準を直接ワーク 80 に付けることができる。

【0069】

図 29 には、第 5 の実施の形態の第 3 の変形例を示す。第 5 の実施の形態はプレート 82 を基準として ω 回転基準位置を設定したが、この変形例はノッチ 81 を基準とするものである。下方の係合板 97 と上方の係合板 98 が追加されている。各係合板 97, 98 の保持は省略されているが、図 16 の第 4 の実施の形態と同様である。各係合板 97, 98 は、 ω 軸に対して対称に位置する。この変形例ではノッチ 81 がどちらかの係合板に係合した状態を ω 回転基準位置とするが、ノッチ 81 がプレート 82 に近いときは上方の係合板 98 を用い、遠いときには下方の係合板 97 を用いる。上方の係合板 98 は回転時にはプレート 82 に干渉しないように退避させる。これにより、ワーク 80 の側面から決まる中心軸 (ω 軸) 及びワーク 80 に付けられたノッチ 81 を基準としたワーク座標で結晶面法線を求めることができる。

40

【0070】

図 30 及び図 31 には、本発明の第 6 の実施の形態を示す。本実施の形態は、前記第 3 の実施の形態で ω 回転をワークではなく、測定部 15 で行うようにしたものである。プレー

50

ト 1 1 1 が付いたワーク 1 1 0 は載置台 1 1 2 に固定され、Z 駆動部 1 1 4 により Z 方向に移動されるのみで、 ω 回転は測定部 1 5 が ω レール 1 1 5 上を動くことで行われる。測定部 1 5 の回転は C C W 方向を + とすることで相対的にワーク回転を C W + で回転すると全く同じになる。この構成によるワーク座標 X Y Z は ω レール 1 1 5 で決まる ω 軸を基準として設定される。このワーク座標 X Y Z とは別のプレート 1 1 1 で決まるプレート座標 $X_p Y_p Z_p$ を設定し、結果はこの座標 $X_p Y_p Z_p$ で求める。ワーク座標 X Y Z とプレート座標 $X_p Y_p Z_p$ は機械的に方向を合わせておく必要はない。測定部 1 5 は、測定座標 x y z で測定を行う。測定座標 x y z に乗ってみた場合の ω 回転基準位置におけるワーク座標とプレート座標をそれぞれ $X_s Y_s Z_s$, $X_{ps} Y_{ps} Z_{ps}$ とし、測定時のワーク座標とプレート座標をそれぞれ X Y Z , $X_p Y_p Z_p$ とする。

10

【0071】

次に、本実施の形態の作用を説明する。本実施の形態の作用は、ワーク 1 1 0 が回転する代りに測定部 1 5 が回転するだけで、前記第 3 の実施の形態と同様である。結果の結晶面法線 h_0 , h_1 , h_2 はプレート座標で求めるが計算は次の計算▲5▼で行う。

【0072】

< 計算▲5▼ : h_1 , h_2 から h_0 を計算 (計算▲1▼▲2▼▲4▼のプレート座標変換付き) > ; ワーク座標で求めた結晶面法線をさらに別の座標に変換して求めることができる。この別の座標をここではプレート座標と名付けるが必ずしもプレートに基づいた座標でなくてもよい。まず前記計算▲1▼▲2▼あるいは▲4▼を用いて h_1 , h_2 , h_0 をワーク座標 X Y Z で求め、次に変換

20

【数 1 4】

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad \dots (37)$$

でプレート座標 $X_p Y_p Z_p$ へ変換する。ここで変換係数 P_{ij} は既知であるとする。次に $X_p Y_p Z_p$ を用いて計算▲1▼▲2▼▲4▼と同様に、 $\delta_0^{(0)}$, $\delta_{90}^{(0)}$ あるいは $\delta^{(0)}$, $\phi^{(0)}$ を求める。 h_1 , h_2 も同様に δ , ϕ 表現で求めることができる。計算▲5▼はワーク回転の場合にも適用できる。< > 終了。

30

【0073】

計算▲5▼で用いるプレート座標 $X_p Y_p Z_p$ への変換係数 (P_{ij}) 及び測定座標から基準位置でのワーク座標 $X_s Y_s Z_s$ への変換係数 ($X_x \sim Z_z$) は、機械的な測定で求めることもできるが、本実施の形態では自動的に求めることができる。操作者は校正用ワークを載置台 1 1 2 に載置し、座標校正モードを選択して測定開始させ、表示に従って反転載置に替え、測定をさらに行うとデータ処理部は以下のように各測定を行い変換係数を計算して記憶する。

【0074】

40

図 3 1 を参照して座標校正モードでの作用を説明する。座標校正は x y z 座標、 $X_s Y_s Z_s$ 座標及び $X_{ps} Y_{ps} Z_{ps}$ 座標間の変換係数を求める校正である。校正には図 3 1 (a) に示すような校正用ワーク 1 2 0 を用いる。校正用ワーク 1 2 0 は 180° は反転載置可能なプレート 1 2 1 を結晶面法線の概略方向に平行になるように接着したものである。平行度は法線が測定の範囲に入る程度でよい。図 3 1 (b) に反転を示す。 ω 回転基準位置における各軸の反転はワーク 1 2 0 の載置替えで行い、Z 軸の反転は測定部 1 5 の ω 回転で行う。図 3 1 (c) に測定値の関係を示す。各位置での測定法線を h_1 (O) , h_1 (X_p) , h_3 (Y_p) , h_3 (Z_p) , h_3 (Z) とする (h_3 は h_1 の反対向き法線)。ここで h_1 (O) と h_1 (X_p) の中点が X_{ps} 軸であることを利用して測定座標で X_{ps} 軸が計算できる。また h_1 (O) , h_1 (X_p) , h_3 (Y_p) , h_3 (Z_p) の 4 点を

50

平均して X_{ps} 軸を求めてもよい。次に h_1 (O), h_3 (Z) の中点を X_s 軸として求める (定義)。各座標を確定させるには、さらに Y_{ps} , X_s 軸に対する回転自由度を固定させる必要があるが、これは機械測定による Z_{ps} , Z_s 軸の z x 平面となす角それぞれ g_z , g_z を用いる。 X_{ps} , X_s 軸と比べ g_z , g_z の精度は低くてよい。これにより、変換係数が計算される (計算▲6▼)。なお、この座標較正は頻繁に行う必要はない。

【0075】

<計算▲6▼：座標変換係数の計算>；測定座標 x y z と基準位置でのワーク座標 X_s , Y_s , Z_s 、プレート座標 X_{ps} , Y_{ps} , Z_{ps} との変換係数を求める。測定値を

【数15】

基準位置 h_1 (O) : δ_0 (O), δ_{90} (O)

X_p 反転 h_1 (X_p) : δ_0 (X_p), δ_{90} (X_p)

Y_p 反転 h_3 (Y_p) : δ_0 (Y_p), δ_{90} (Y_p)

Z_p 反転 h_3 (Z_p) : δ_0 (Z_p), δ_{90} (Z_p)

Z反転 h_3 (Z) : δ_0 (Z), δ_{90} (Z)

機械測定 Z_s 軸の z x 平面となす角： g_z

Z_{ps} 軸の z x 平面となす角： g_z

とする。まず、 X_s , Y_s , Z_s 軸を求める。測定値をそれぞれ式 (3), (4), (5) で直交座標変換し、 h_1 (O) と h_3 (Z) の2点平均で3次元的中点 x_c , y_c , z_c を求める。計算▲3▼と同様に、式 (15) ~ (24) で X_s , Y_s , Z_s 軸それぞれの x y z 成分 X_x , X_y , X_z , Y_x , Y_y , Y_z , Z_x , Z_y , Z_z が求められる。次に、 X_{ps} , Y_{ps} , Z_{ps} 軸を求める。同様に測定値を直交座標変換し、 h_1 (O) と h_1 (X_p) 2点平均あるいは h_1 (O), h_1 (X_p), h_3 (Y_p), h_3 (Z_p) の4点平均で3次元的中点 x_c , y_c , z_c を求め、式 (15) ~ (24) で X_{ps} , Y_{ps} , Z_{ps} 軸それぞれの x y z 成分 X_{px} , X_{py} , X_{pz} , Y_{px} , Y_{py} , Y_{pz} , Z_{px} , Z_{py} , Z_{pz} が求められる。求めた X_x ないし Z_z を使って X_s , Y_s , Z_s 座標から x y z 座標への変換は前記変換式 (25) のようになる。逆の変換は転置行列で計算でき、前記変換式 (12) となる。また、 X_{px} ないし Z_{pz} を使って X_{ps} , Y_{ps} , Z_{ps} 座標から x y z 座標への変換は、同様に

【数16】

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{px} & Y_{px} & Z_{px} \\ X_{py} & Y_{py} & Z_{py} \\ X_{pz} & Y_{pz} & Z_{pz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{ps} \\ Y_{ps} \\ Z_{ps} \end{pmatrix} \quad \dots (38)$$

となる。逆の変換は転置行列で計算でき

【数17】

$$\begin{pmatrix} X_{ps} \\ Y_{ps} \\ Z_{ps} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{px} & X_{py} & X_{pz} \\ Y_{px} & Y_{py} & Y_{pz} \\ Z_{px} & Z_{py} & Z_{pz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \dots (39)$$

となる。次に、式 (25) と (39) より、 X_s , Y_s , Z_s 座標から X_{ps} , Y_{ps} , Z_{ps} 座標への変換式

【数18】

$$\begin{pmatrix} X_{ps} \\ Y_{ps} \\ Z_{ps} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{px} & X_{py} & X_{pz} \\ Y_{px} & Y_{py} & Y_{pz} \\ Z_{px} & Z_{py} & Z_{pz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_x & Y_x & Z_x \\ X_y & Y_y & Z_y \\ X_z & Y_z & Z_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix}$$

… (40)

10

が得られる。XYZ座標と X_p Y_p Z_p 座標の位置関係は、 X_s Y_s Z_s 座標と X_{ps} Y_{ps} Z_{ps} 座標の位置関係と全く同じなので、XYZ座標から X_p Y_p Z_p 座標への変換式は式(40)と同じになり、

【数19】

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{px} & X_{py} & X_{pz} \\ Y_{px} & Y_{py} & Y_{pz} \\ Z_{px} & Z_{py} & Z_{pz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_x & Y_x & Z_x \\ X_y & Y_y & Z_y \\ X_z & Y_z & Z_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

20

… (41)

となる。ここで変換係数を (P_{ij}) とおけば、

【数20】

$$(P_{ij}) \equiv \begin{pmatrix} X_{px} & X_{py} & X_{pz} \\ Y_{px} & Y_{py} & Y_{pz} \\ Z_{px} & Z_{py} & Z_{pz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_x & Y_x & Z_x \\ X_y & Y_y & Z_y \\ X_z & Y_z & Z_z \end{pmatrix} \quad \dots (42)$$

30

式(41)は、前記式(37)となる。計算▲6▼はワーク回転の場合にも適用できる。
<>終了。

【0076】

上述した第6の実施の形態によれば、ワーク110の側面からの測定でワーク軸方向の結晶面法線を求めることができる。側面に直交する方向の結晶面法線とワーク軸方向の結晶面法線を1つの装置で求めることができる。ワーク110のプレート111を基準としたプレート座標で結晶面法線を求めることができる。プレート座標と測定座標のずれを補正するので正確に結晶面法線を求めることができ、ずれの較正も自動的に行うことができる。プレート111が ω 回転軸とずれていてもプレート座標で結晶面法線を求めることができ、ずれの較正も自動的に行うことができる。また、ワーク110を回転させずに測定できる利点があり、寸法の大きなワークに適している。

40

【0077】

次に、第6の実施の形態の変形例を述べる。上述した第6の実施の形態で ω 回転をワーク110に行わせることもできる。これは、即ち第3の実施の形態でプレート17がワーク座標XYZとずれて設定されている場合である。この場合第6の実施の形態と同様の手順と計算をすることでプレートを基準とする座標 X_p Y_p Z_p で結果を求めることができる。

50

【0078】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項1記載の結晶方位測定装置によれば、略円筒状結晶である被検体を保持する保持手段と、前記被検体の側面の略1点に向けてX線ビームを放射し回折された回折X線を検出することで前記側面に略直交する結晶面法線の方法を測定する測定部と、前記被検体もしくは前記測定部を略前記被検体の軸である ω 軸の周りに ω 回転させる ω 回転機構と、この ω 回転における第1及び第2の位置でそれぞれ測定した互いに非平行な第1及び第2の結晶面法線より前記 ω 軸に略平行な第3の結晶面法線を所定の数式を用いて求めるデータ処理部とを具備させたため、略円筒状結晶である被検体の側面からの測定のみで、略円筒軸方向の第3の結晶面法線を求めることができる。また、被検体の側面に直交する方向の結晶面法線と円筒軸方向の結晶面法線とを1つの装置で求めることができる。

10

【0079】

請求項2記載の結晶方位測定装置によれば、前記データ処理部は、前記第1及び第2の結晶面法線を前記測定部の測定基準である測定座標から前記被検体を基準とする被検体座標へ変換する機能を持つようにしたため、測定座標と被検体座標のずれが補正されて、被検体座標を基準とした第3の結晶面法線を精度よく求めることができる。

【0080】

請求項3記載の結晶方位測定装置によれば、前記データ処理部は、前記被検体座標の少なくとも1つの軸について前記被検体もしくは前記測定部が反転された時の、この反転の前後でそれぞれ測定した結晶面法線より前記測定座標と前記被検体座標との変換係数を求める機能を持つようにしたため、変換係数を自動的に計算することができる。

20

【0081】

請求項4記載の結晶方位測定装置によれば、前記データ処理部は、前記 ω 回転における第1の位置もしくは第2の位置が未知である場合、既知量である第1及び第2の結晶面法線間の角度を用いて前記第3の結晶面法線を求めるようにしたため、 ω 回転位置が未知であっても、第3の結晶面法線を精度よく求めることができる。

【0082】

請求項5記載の結晶方位測定装置によれば、周囲に被検体軸に沿った溝を持つ前記被検体について、前記測定部の測定基準である測定座標における略前記側面に直交する座標軸が前記 ω 軸に対し前記溝の幅の $1/2$ 以上の距離をもって交差するように前記測定部が前記 ω 軸に対し変位して配置されているようにしたため、周囲に結晶面法線の周方向の方位を示す溝が加工されている被検体についても溝に干渉されることなく、第3の結晶面法線を正確に求めることができる。

30

【0083】

請求項6記載の結晶方位測定装置によれば、前記被検体はプレートが取付けられた略円筒状結晶であり、前記保持手段は前記プレートを位置決めし前記被検体座標は前記プレートを基準に設定されるようにしたため、被検体に位置決め用のプレートが取り付けられているとき、このプレートを基準とした被検体座標で第3の結晶面法線を正確に求めることができる。

40

【0084】

請求項7記載の結晶方位測定装置によれば、前記保持手段は前記被検体の側面を位置決めし、前記被検体座標は前記被検体の側面を基準に設定されるようにしたため、被検体が、その側面で保持手段に位置決めされているとき、その被検体の側面を基準とした被検体座標で第3の結晶面法線を正確に求めることができる。

【0085】

請求項8記載の結晶方位測定装置によれば、周囲に被検体軸に沿ったマークを持つ前記被検体について、前記マークを基準に前記 ω 回転を位置決めする ω 位置決め手段を持ち、前記 ω 回転における第1及び第2の位置の何れか一方は前記マークを基準に設定されるようにしたため、周囲に結晶面法線の周方向の方位を示す溝等のマークを持つ被検体の場合、

50

このマークを ω 回転の測定基準として第3の結晶面法線を容易に求めることができる。

【0086】

請求項9記載の結晶方位測定方法によれば、略円筒状結晶である被検体を保持する保持手段と、前記被検体の側面の略1点に向けてX線ビームを放射し回折された回折X線を検出することで前記側面に略直交する結晶面法線の方法を測定する測定部と、前記被検体もしくは前記測定部を略前記被検体の軸である ω 軸の周りに ω 回転させる ω 回転機構とを用い、この ω 回転の第1及び第2の位置でそれぞれ測定した互いに非平行な第1及び第2の結晶面法線より前記 ω 軸に略平行な第3の結晶面法線を求めるようにしたため、略円筒状結晶である被検体の側面からの測定のみで、略円筒軸方向の第3の結晶面法線を計算により求めることができる。

10

請求項10記載の結晶方位測定方法によれば、前記第1及び第2の結晶面法線を前記測定部の測定基準である測定座標から前記被検体を基準とする被検体座標へ変換した上で第3の結晶面法線を求めるようにしたため、測定座標と被検体座標のずれが補正されて、被検体座標を基準とした第3の結晶面法線が精度良く求めることができる。

【0087】

請求項11記載の結晶方位測定方法によれば、前記被検体座標の少なくとも1つの軸について前記被検体もしくは前記測定部を反転し、この反転の前後でそれぞれ測定した結晶面法線より前記測定座標と前記被検体座標との変換係数を求めるようにしたため、変換係数を自動的に計算することができる。

【0088】

20

請求項12記載の結晶方位測定方法によれば、前記 ω 回転における第1の位置もしくは第2の位置が未知である場合、既知量である第1及び第2の結晶面法線間の角度を用いて前記第3の結晶面法線を求めるようにしたため、 ω 回転位置が未知であっても、第3の結晶面法線を精度よく求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態である結晶方位測定装置の構成図である。

【図2】上記第1の実施の形態の作用を説明するための図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態の構成図である。

【図4】上記第2の実施の形態における h_0 計算を説明するための図である。

【図5】本発明の第3の実施の形態における機構部の構成図である。

30

【図6】上記第3の実施の形態における制御系を示すブロック図である。

【図7】上記第3の実施の形態の作用を説明するための図である。

【図8】上記第3の実施の形態における h_0 計算▲1▼を説明するための図である。

【図9】上記第3の実施の形態における h_0 計算▲2▼を説明するための図である。

【図10】上記第3の実施の形態におけるワーク座標校正を説明するための図である。

【図11】上記第3の実施の形態の第1の変形例を説明するための図である。

【図12】上記第3の実施の形態の第2の変形例を説明するための図である。

【図13】上記第3の実施の形態の第3の変形例を説明するための図である。

【図14】上記第3の実施の形態の第4の変形例を説明するための図である。

【図15】上記第3の実施の形態の第6の変形例を説明するための図である。

40

【図16】本発明の第4の実施の形態における機構部の構成図である。

【図17】上記第4の実施の形態の作用を説明するための図である。

【図18】上記第4の実施の形態におけるワーク座標校正を説明するための図である。

【図19】上記第4の実施の形態における h_0 計算▲4▼を説明するための図である。

【図20】上記第4の実施の形態における h_0 計算▲4▼を説明するための他の図である。

。

【図21】上記第4の実施の形態の第1の変形例を説明するための図である。

【図22】上記第4の実施の形態の第2の変形例を説明するための図である。

【図23】上記第4の実施の形態の第3の変形例を説明するための図である。

【図24】本発明の第5の実施の形態における機構部の構成図である。

50

【図 2 5】 上記第 5 の実施の形態の作用を説明するための図である。

【図 2 6】 上記第 5 の実施の形態におけるワーク座標校正を説明するための図である。

【図 2 7】 上記第 5 の実施の形態の第 1 の変形例を説明するための図である。

【図 2 8】 上記第 5 の実施の形態の第 2 の変形例を説明するための図である。

【図 2 9】 上記第 5 の実施の形態の第 3 の変形例を説明するための図である。

【図 3 0】 本発明の第 6 の実施の形態における機構部の構成図である。

【図 3 1】 上記第 6 の実施の形態におけるワーク座標校正を説明するための図である。

【図 3 2】 X 線回折を一般的に説明するための図である。

【図 3 3】 結晶方位測定装置の第 1 の従来技術の構成図である。

【図 3 4】 結晶方位測定装置の第 2 の従来技術の構成図である。

10

【符号の説明】

1, 16, 58, 60, 76, 80, 110 ワーク（被検体）

3, 25 X 線管

5, 27 X 線検出器

6a, 26a X 線ビーム

6b, 26b 回折 X 線

9, 62, 84 保持台（保持手段）

11, 52 データ処理部

12, 15 測定部

17, 56, 59, 82, 88, 111 プレート

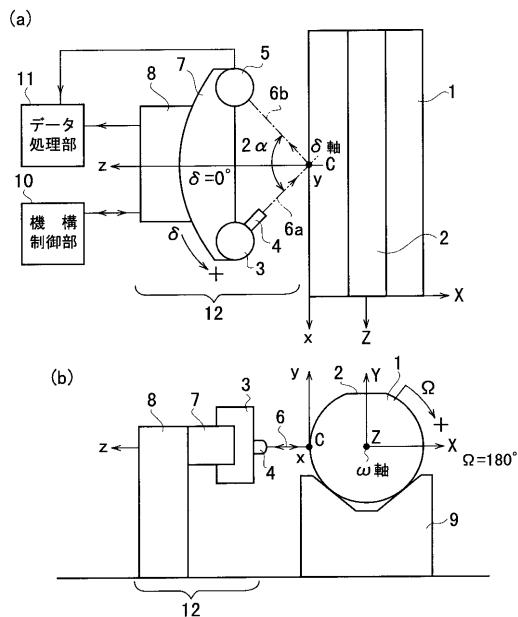
18, 112 載置台（保持手段）

19, 116 ω 駆動部

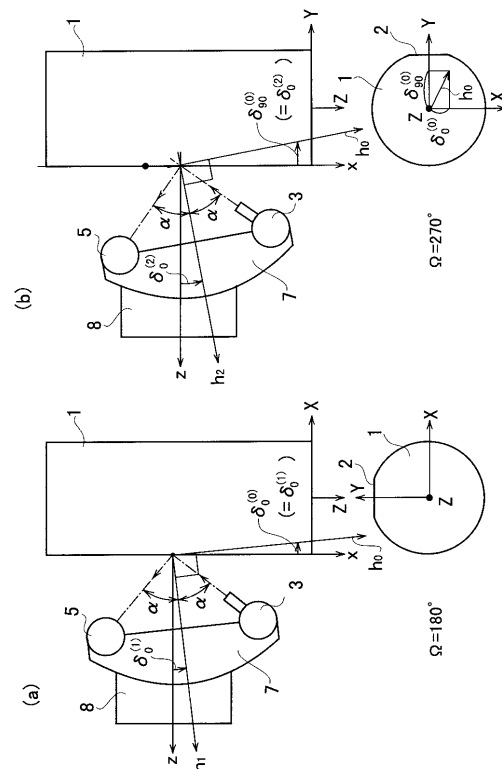
57, 61, 69, 81 v 溝

20

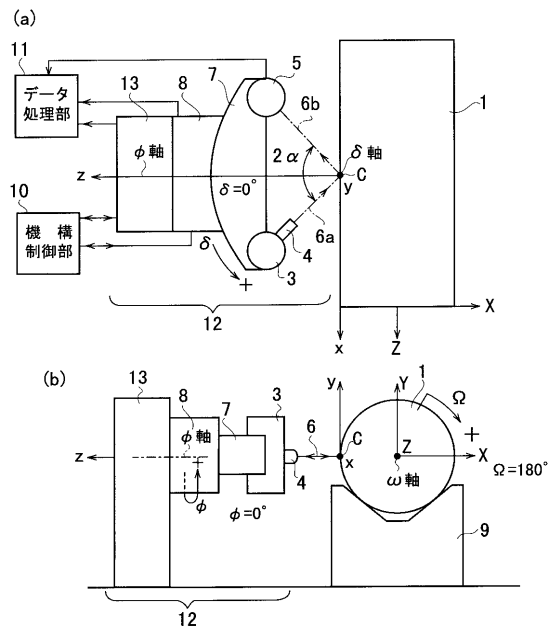
【図 1】



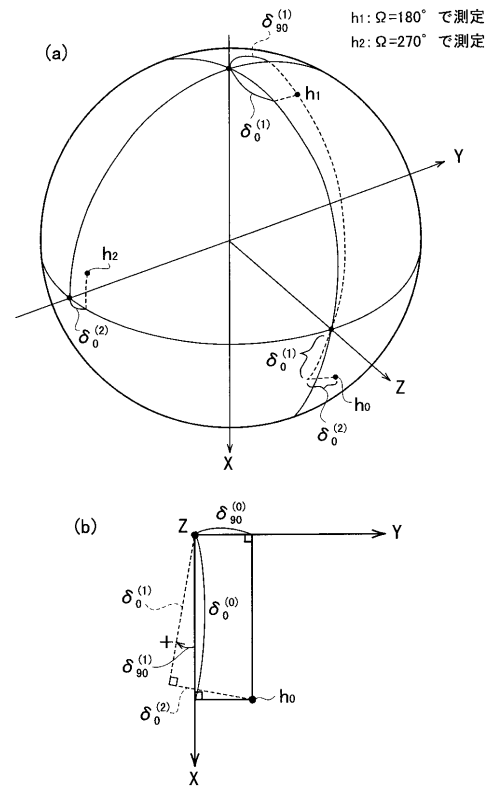
【図 2】



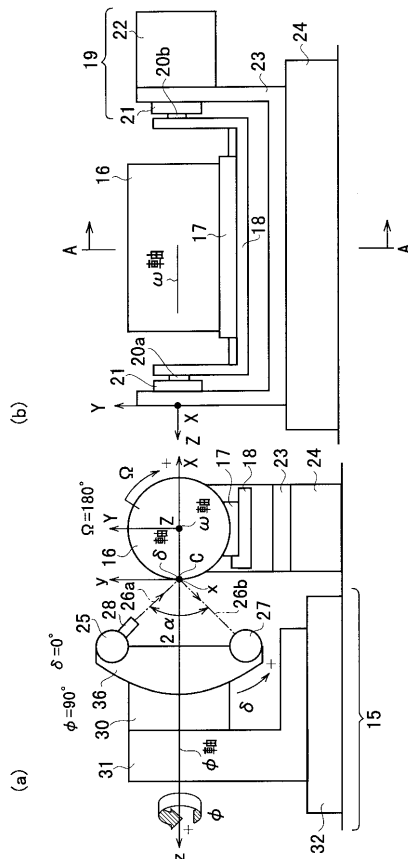
【図 3】



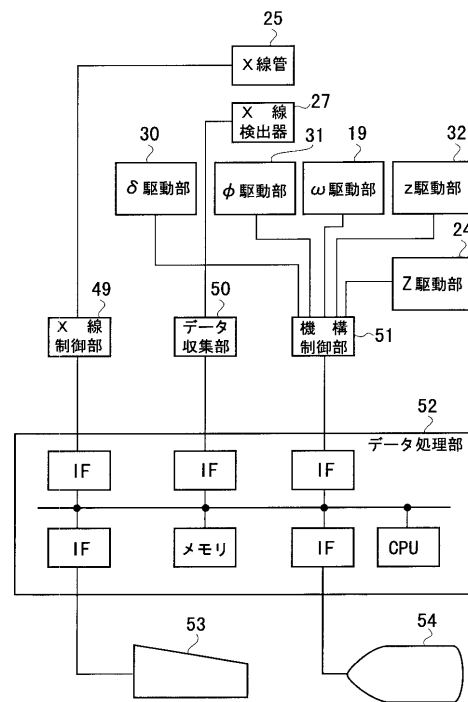
【図 4】



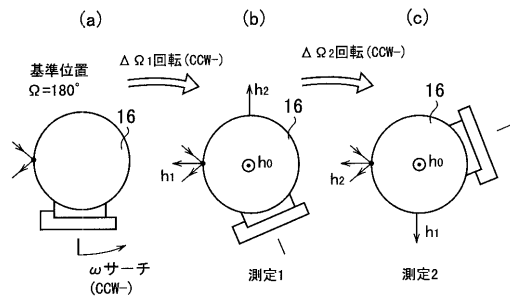
【図 5】



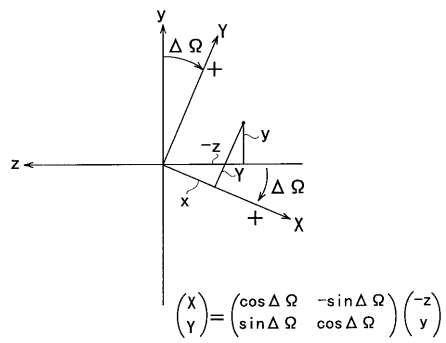
【図 6】



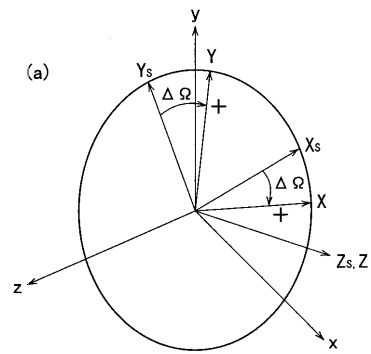
【図 7】



【図 8】



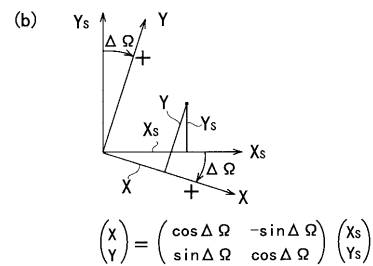
【図 9】



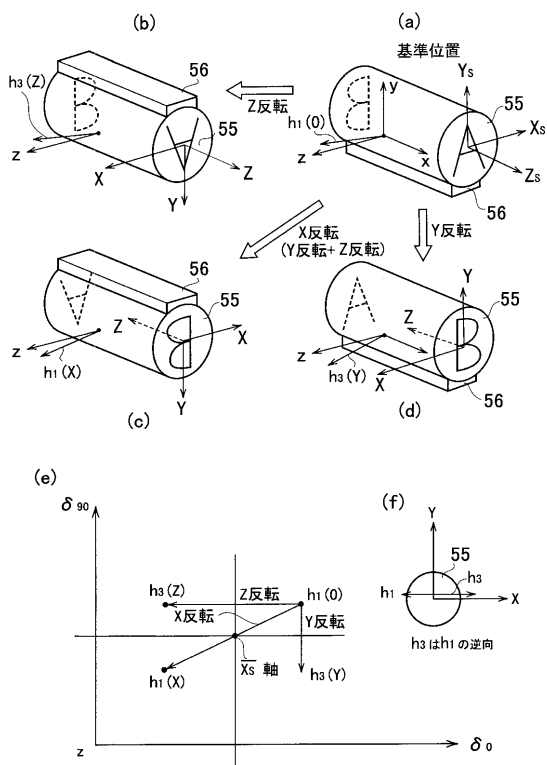
x, y, z: 測定座標

Xs, Ys, Zs: 基準位置 (Ω=180°) におけるワーク座標

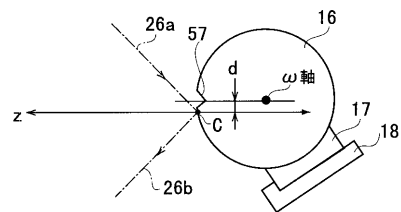
X, Y, Z: 測定時のワーク座標



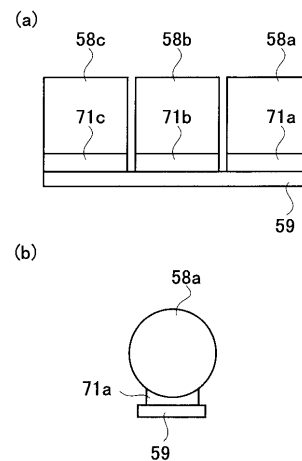
【図 10】



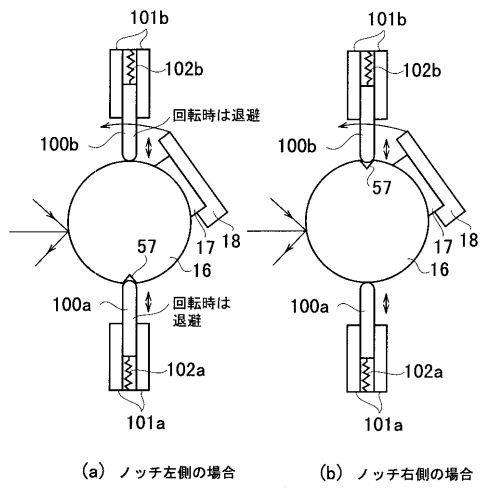
【図 11】



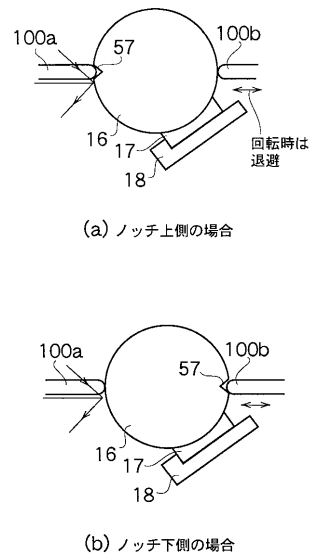
【図 12】



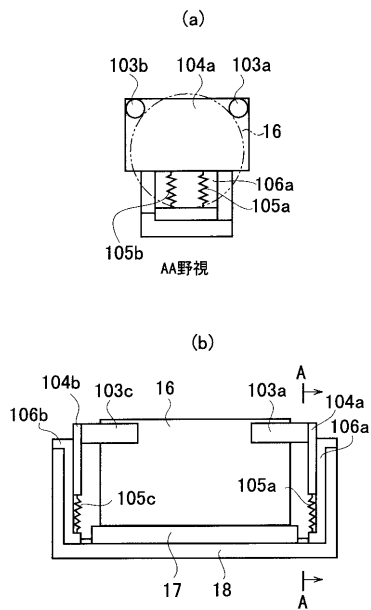
【図 13】



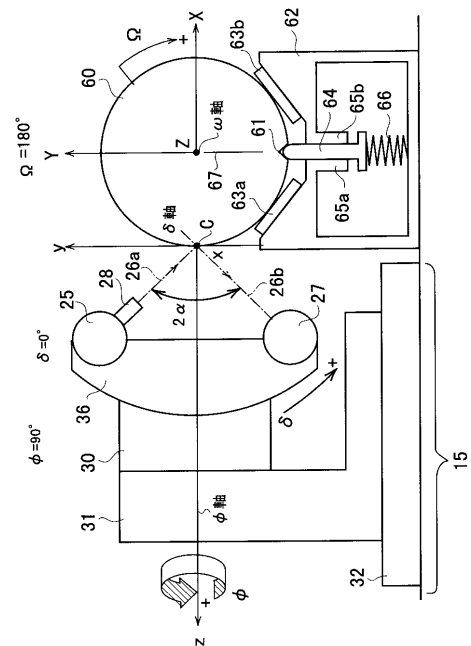
【図 14】



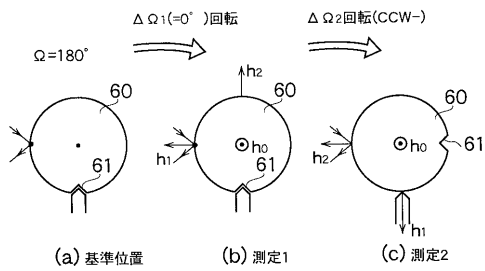
【図 15】



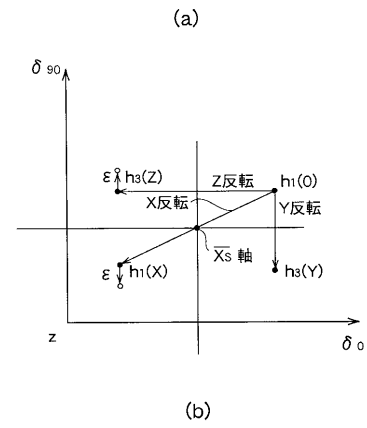
【図 16】



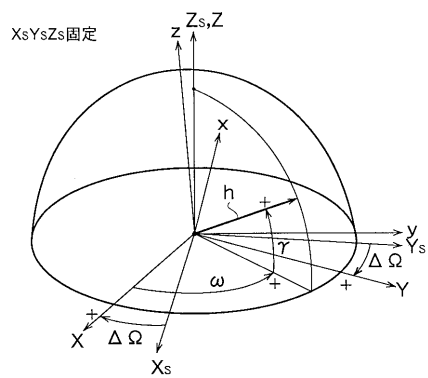
【図 17】



【図 18】

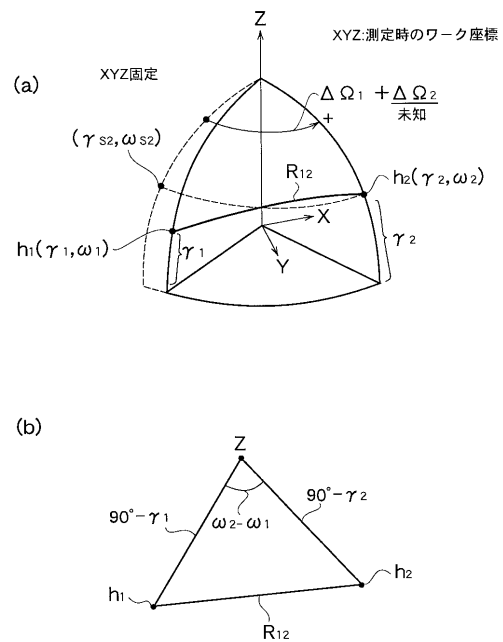


【図 19】

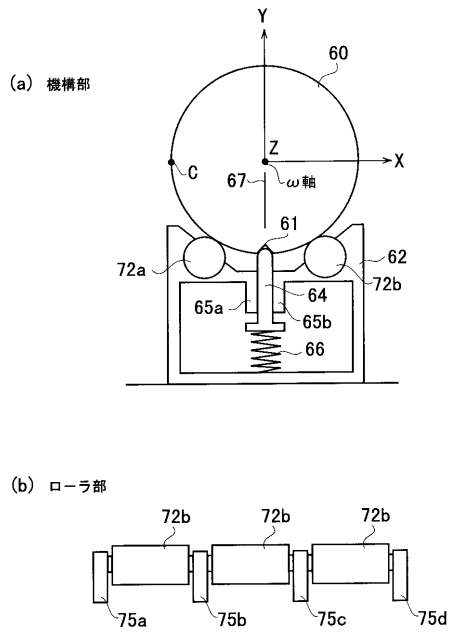


x, y, z : 測定座標
 x_s, y_s, z_s : 基準位置 $\Omega = 180^\circ$ におけるワーク座標
 X, Y, Z : 測定時のワーク座標
 γ, ω : XYZ座標の極座標表現

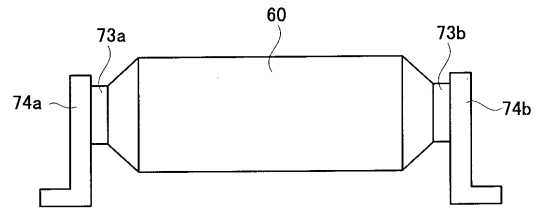
【図 20】



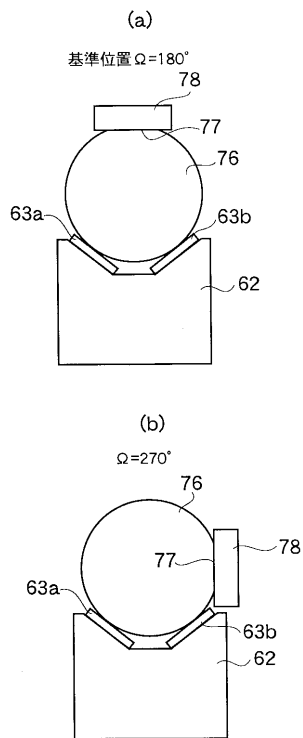
【図 2 1】



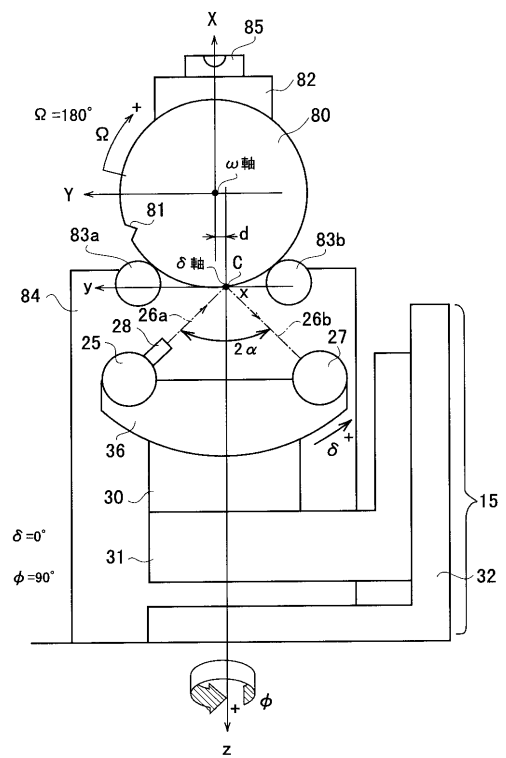
【図 2 2】



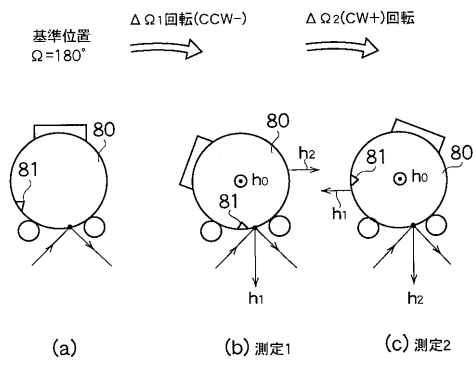
【図 2 3】



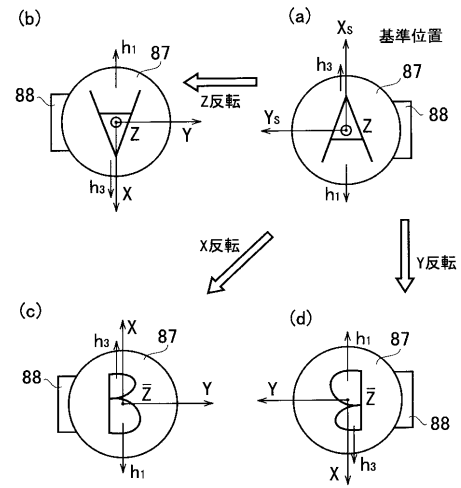
【図 2 4】



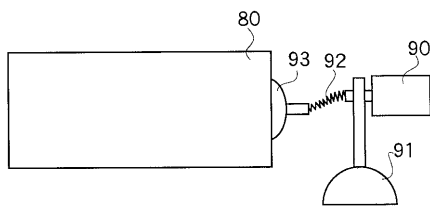
【図 25】



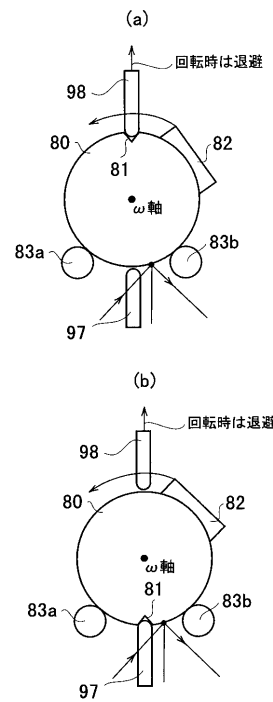
【図 26】



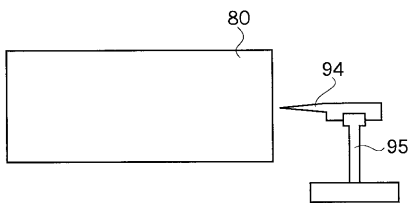
【図 27】



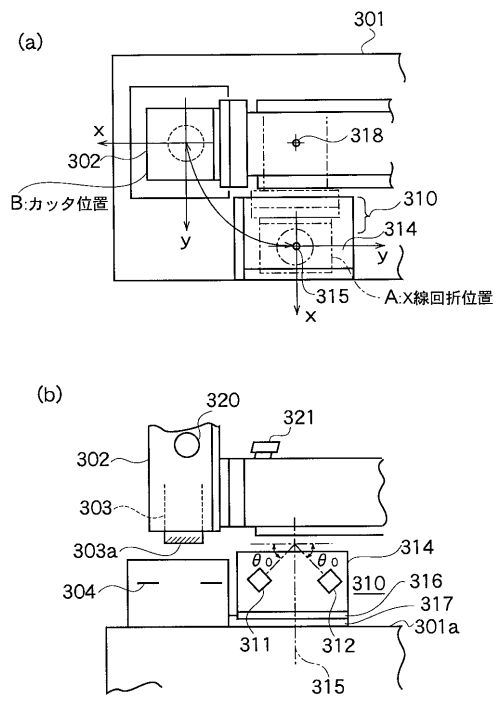
【図 29】



【図 28】



【図 3 4】



フロントページの続き

(72)発明者 松下 央

東京都府中市晴見町2丁目24番地の1 東芝エフエーシステムエンジニアリング株式会社内

審査官 遠藤 孝徳

- (56)参考文献 特開平6-109667 (JP, A)
特開平10-182299 (JP, A)
特開平6-229953 (JP, A)
特開平3-255948 (JP, A)
特開平9-33456 (JP, A)
特開平8-233755 (JP, A)
特開昭62-220848 (JP, A)
特公平8-20384 (JP, B2)
特公平7-43331 (JP, B2)
特許第3847913 (JP, B2)
特許第3805869 (JP, B2)
特許第2575829 (JP, B2)
特許第2567840 (JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/227
G01B 15/00 - 15/08
G21K 1/00 - 1/16
JST7580(JDream2)
JSTPlus(JDream2)