

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6250310号  
(P6250310)

(45) 発行日 平成29年12月20日(2017.12.20)

(24) 登録日 平成29年12月1日(2017.12.1)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>GO 1 B</b>	<b>11/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 B	11/00	A
<b>GO 1 H</b>	<b>9/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 H	9/00	Z
<b>B 23 Q</b>	<b>17/24</b>	<b>(2006.01)</b>	B 23 Q	17/24	B
<b>B 23 Q</b>	<b>17/12</b>	<b>(2006.01)</b>	B 23 Q	17/12	

請求項の数 11 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-128269 (P2013-128269)
(22) 出願日	平成25年6月19日 (2013.6.19)
(65) 公開番号	特開2014-2152 (P2014-2152A)
(43) 公開日	平成26年1月9日 (2014.1.9)
審査請求日	平成28年6月2日 (2016.6.2)
(31) 優先権主張番号	10 2012 210 309.0
(32) 優先日	平成24年6月19日 (2012.6.19)
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)

(73) 特許権者	390014281 ドクトル・ヨハネス・ハイデンハイム・ゲゼルシヤフト・ミット・ベシユレンクテル・ハフツング D.R. JOHANNES HEIDEN H A I N G E S E L L S C H A F T M I T B E S C H R A N K T E R H A F T U N G ドイツ連邦共和国、83301 トラン ロイト、ドクトル・ヨハネス・ハイデン インストラーセ、5
(74) 代理人	100140109 弁理士 小野 新次郎
(74) 代理人	100075270 弁理士 小林 泰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】位置測定装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

スライド面で少なくとも第一主移動方向(Y)および第二主移動方向(X)に沿って、互いに可動で配設されている二つの機械構成要素の相対位置を検出するために使用される位置測定装置であって、

第一機械構成要素に配設された少なくとも一つの基準尺、および

第二機械構成要素に配設されていると共に、スライド面において少なくとも二つの測定方向(MR1, MR2)で基準尺を光学的に走査検知するために使用される少なくとも6つの走査検知ユニット(E11~E16; E21~E26; E31~E38)

を有している位置測定装置において、

各測定方向(MR1, MR2)に、少なくとも二つの走査検知ユニット(E11~E16; E21~E26; E31~E38)が割り当てられており、

スライド面において互いに直交していると共に第二機械構成要素の中心(S)で交差する二つの軸(A1, A2)により、4つの象限(Q1~Q4)を有する直交座標系が構成されており、

対角方向で対向する2つの象限(Q1, Q3; Q2, Q4)に、同じ測定方向(MR1, MR2)を有する走査検知ユニット(E11~E16, E21~E26; E31~E38)が配設されており、該走査検知ユニット(E11~E16; E21~E26; E31~E38)が、中心(S)に関して非点対称で配設されていることを特徴とする位置測定装置。

10

20

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の位置測定装置において、  
 少なくとも 3 つの別の走査検知ユニットを有しており、それらが別の方向 (Z) に沿つて二つの機械構成要素の相対位置を検出するように構成されており、別の方向 (Z)がスライド面に対して直角に向いている  
 ことを特徴とする位置測定装置。

**【請求項 3】**

請求項 1 に記載の位置測定装置において、  
 スライド面で共通した測定方向 (MR 1, MR 2) を有する走査検知ユニット (E 11 ~ E 16) が、共通した接続直線上に配設されていない  
 ことを特徴とする位置測定装置。 10

**【請求項 4】**

請求項 1 に記載の位置測定装置において、  
 少なくとも二つの象限 (Q 1, Q 2) に、それぞれ同じ測定方向 (MR 1, MR 2) を有する少なくとも二つの走査検知ユニット (E 11, E 12, E 13, E 14) が配設されている  
 ことを特徴とする位置測定装置。

**【請求項 5】**

請求項 1 に記載の位置測定装置において、  
 少なくとも 3 つの象限 (Q 1, Q 2, Q 3) に、それぞれ同じ測定方向 (MR 1, MR 2) を有する少なくとも二つの走査検知ユニット (E 21, E 22, E 23, E 24, E 25, E 26) が配設されている  
 ことを特徴とする位置測定装置。 20

**【請求項 6】**

請求項 1 に記載の位置測定装置において、  
 4 つの象限 (Q 1, Q 2, Q 3, Q 4) すべてに、それぞれ同じ測定方向 (MR 1, MR 2) を有する少なくとも二つの走査検知ユニット (E 21, E 22, E 23, E 24, E 25, E 26, E 31, E 32, E 33, E 34, E 35, E 36, E 37, E 38) が配設されている  
 ことを特徴とする位置測定装置。 30

**【請求項 7】**

請求項 4、5、または 6 のいずれかに記載の位置測定装置において、  
 対角方向で対向する象限 (Q 1 ~ Q 4) に配設されている走査検知ユニット (E 11 ~ E 16; E 21 ~ E 26; E 31 ~ E 38) が、それぞれ全て同じ測定方向 (MR 1, MR 2) を有している  
 ことを特徴とする位置測定装置。

**【請求項 8】**

請求項 4、5、または 6 のいずれかに記載の位置測定装置において、  
 少なくとも 3 つの象限に別の走査検知ユニットが配設されており、それが別の方向に沿つて二つの機械構成要素の相対位置を検出するように構成されており、その方向がスライド面に対して直角に向いている  
 ことを特徴とする位置測定装置。 40

**【請求項 9】**

請求項 1 から 8 のいずれか一つに記載の位置測定装置において、  
 スライド面における一つの測定方向用の少なくとも一つの走査検知ユニットが、スライド面に対して直角な測定方向用の走査検知ユニットと一緒に、組み合わせ走査検知ユニットに一体化されている  
 ことを特徴とする位置測定装置。

**【請求項 10】**

請求項 1 から 9 のいずれか一つに記載の位置測定装置を 使用する方法であって、 50

可動で配設された機械構成要素の複数自由度を検出し、機械構成要素の振動を検出するため、前記位置測定装置の少なくとも6つの走査検知ユニット（E 1 1 ~ E 1 6；E 2 1 ~ E 2 6；E 3 1 ~ E 3 8）を使用して、スライド面において少なくとも二つの測定方向（M R 1，M R 2）で基準尺を光学的に走査検知する工程を備える、方法。

**【請求項 1 1】**

請求項 1 0 に記載の方法において、  
二つの機械構成要素の検出された複数自由度および振動に基づいて、使用されている基準尺の誤差を検出する工程をさらに備える方法。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

10

**【0 0 0 1】**

本発明は、位置測定装置に関するものである。

**【背景技術】**

**【0 0 0 2】**

相対的に互いが可動である機械構成要素を高精密で位置検出するためには、主に光学式位置測定装置が使用される。これに含まれているのが、第一機械構成要素と接続している一つまたは複数の光学式走査検知ユニットおよび、第二機械構成要素と接続している一つまたは複数の基準尺であり、第二機械構成要素は、第一機械構成要素に対して可動である。走査検知ユニットを使って基準尺を光学的に走査検知することにより、スライド量に関係する位置信号、すなわち機械構成要素の相対位置を特定することができる。その場合に基準尺は一次元スケールとして構成されているが、二次元スケールプレートとして構成されていることもある。可能性のある用途では位置測定装置の走査検知ユニットが、加工工具の下側で位置決めねばならない可動の機械構成要素、例えばテーブルに取り付けられており、そのテーブルに加工すべき加工製品が配設されている。その加工製品はテーブルを介して、スライド面（X Y面）で二つの主移動軸X，Yに沿ってスライド自在であり、他方で別の自由度（X Y面に対して垂直に向いているZ軸に沿ったスライド移動；X，Y，Z軸を中心とする回転）は固定されている、ないしは僅かだけ変化するものとする。スライド面に対して平行な面に、位置測定装置の、一つまたは複数の二次元スケールプレートが機械に配設されており、それに対して走査検知ユニットが測定できる。そこではスケールプレートが、当該の加工工具に位置固定して配置されている。

20

**【0 0 0 3】**

以上のような位置測定装置の主な役割は、少なくとも主移動軸X，Yに沿ったスライド自由度x，yに関して、およびZ軸を中心とした回転自由度R<sub>Z</sub>に関して、機械構成要素の位置および状態を特定することにある。これに関連して以下では、3自由度測定（D O F = Degree Of Freedom 自由度）について述べることにする。高精密な用途では更に、当該機械構成要素の6自由度すべてを検出することが必要となる場合がある。これは追加として更に、Z軸に沿ったスライド自由度zおよび、Y軸ないしX軸を中心とした回転自由度R<sub>Y</sub>，R<sub>X</sub>となるであろう。この場合には所謂、6自由度測定について述べることになる。

30

**【0 0 0 4】**

半導体産業において露光または検査ユニット（加工工具）の下側でウエハ（加工製品）を位置決めするために使用されるようなシステムは、例えば特許文献1で公知である。そこでは当該機械のテーブルTに、特許文献2による4つの組み合わせ走査検知ユニットE 1 ~ E 4を有する位置測定装置が設けられており、それを本出願の図1で概略的に図示している。各走査検知ユニットE 1 ~ E 4を介して、走査検知信号ないし位置測定値が生成され、それに、走査検知されるスケールプレートに対する走査検知ユニット位置の二つの下記方向成分が含まれる。

40

- スケールプレート面で規定方向に沿った方向成分；この方向における位置測定値を、以下においてY<sup>(e n c)</sup>で表すこととする。

- スケールプレートに対して直角である間隔（直交方向）に沿った方向成分；この位置測

50

定値を、以下において $Z$ で表すことにし、 $Z$ 測定として該当する間隔測定である。

#### 【0005】

従って特許文献2による走査検知ユニットは、スライド面XYでの測定方向を有する走査検知ユニットと、スライド面XYに対して直角な測定方向Zを有する走査検知ユニットの組み合わせとして見なすことができる。

#### 【0006】

走査検知ユニットE1～E4は、テーブルTの4つのコーナーに装備されており、そして図1で分かるように、二つの主移動軸X, Yに対して斜めに向けられている。従って走査検知ユニットは、方向に応じて位置測定値 $Y_{(enc)} = (X + Y) / \sqrt{2}$ 、または位置測定値 $Y_{(enc)} = (X - Y) / \sqrt{2}$ を測定する。各走査検知ユニットE1～E4は更に、Z軸に沿ってスケールプレートに対する間隔に関して、情報ないし位置測定値を出力する。10

#### 【0007】

図2で示しているように、公知の配設で走査検知ユニットE1～E4は、互いに隣接し方形で配置された4つのスケールプレートM1～M4に対して測定を行う。更に言えば、図1と2における軸目盛の単位は任意に選択している。スケールプレートが配設された中心には、比較的大きな範囲B(3)が切り取られている。ここに加工工具、例えば露光ユニットまたは検査ユニットが位置する。機械の運転時には4つの走査検知ユニットE1～E4のうちの一つが時折、切り取られた範囲Bの下方に位置することがあり、その間は測定値が出力されない。それにも拘わらず機械の位置は、この場合にも正確に特定できる、というのは、スケールプレートM1～M4と係合している3つの走査検知ユニットが既に、テーブルTの6自由度を特定するために十分であるからである。20

#### 【0008】

当該機械の精度は、特に次の障害要因により大きく損なわれる。

- スケールプレートM1～M4の歪(静的または機械の運転で徐々に変化する所謂“ドリフト”、しばしば温度変動が原因となる)
- 加工製品が位置しているテーブルTないし機械構成要素の振動および固有振動

加工製品が大きければ大きい程、上記の障害要因が重要である、というのは、大きな機械構成要素およびスケールプレートには、それらの構成を強化して振動および変形を抑制することが比較的難しいからである。しかしながら、スケールの変形および機械構成要素の振動について、その時の励振状態の測定データを使用できる場合には、適切な方策を講じて補正または緩衝ことがある。30

#### 【0009】

このような機械構成要素の振動は、機械構成要素、例えばテーブルが振動して変形していることを示している。その振動により、剛体である(と仮定された)機械構成要素においてそれに配設された走査検知ユニットE1～E4が、その想定位置に対して向きが変わることになる。振動を考慮しないで直接、走査検知ユニットE1～E4の測定値から得られる機械構成要素の位置は、結果として機械構成要素の実際の位置と一致しない。更に加工工具、即ち例えば露光ユニットまたは検査ユニットの、機械構成要素の位置から計算された位置は、加工製品に対して、即ちウエハに対して相対的に正確に測定されていない、というのは、機械構成要素と接続している加工製品が振動し、対応して撓むからである。40

#### 【0010】

機械構成要素の振動を検出する公知の方法は、走査検知ユニット測定値の時間的推移の分析ないし、機械構成要素に作用した力および周波数空間における該当分析に基づいている。それに関しては、例えば特許文献3を参照されたい。振動モードが引き起こす機械構成要素の撓みに関して以上のようにして得られた情報は、アクチュエータの制御に供給されて、加工製品に対して相対的な加工工具の位置の、振動が引き起こす誤差を大きく減少する。

#### 【0011】

しかしながら、専ら走査検知ユニット測定値の時間的な分析に基づいて、以上のように50

振動検出して補正することには一連の欠点がある。

機械構成要素の振動を、機械の運転時に測定システムを介して検出するのではなく、機械構成要素に対する外力の作用を示す動的な物理モデルを介して算出する。その物理モデルは、理論的な計算または機械的な測定から求めることができる。従って、このモデルで実際の機械的な挙動からの僅かな違いおよび、機械構成要素に対する検出されない力の作用が直接、加工製品に対する相対的な加工工具の位置決め誤差に影響する。実際の挙動とモデルの予想との違いは、機械の運転時に検出することができない。

#### 【0012】

更に、言及した特許文献3で提案されているように、測定値（および力）を位置信号および振動信号に分解することは、これらの量の時間的な変化を処理するフィルタをベースにしている。そのフィルタは、例えば周波数空間でバンドパスフィルタ乃至ノッチフィルタとして設けられる。そのような周波数フィルタリングを実施するためには、時間的な信号変化が、振動周期のレベルの時間間隔に亘って公知でなければならない。結果として、そのような信号処理は必然的に、少なくとも振動に振り当たられる周波数帯域内で、制御システムにおける一定のイナーシャないしタイムラグとなる。従って、急速に加速する過程において、または短時間に振動を能動的に緩衝しようとする時には、鈍い制御システムは不備であることが想定される。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0013】

【特許文献1】U.S.2007/0195296 A1号公報

10

【特許文献2】U.S.7,573,581 B2号公報

【特許文献3】U.S.2011/0317142 A1号公報

20

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0014】

本発明の課題は位置測定装置を得ることであり、それは、機械構成要素の位置と姿勢の少なくとも可能な3自由度測定に加えて更に、振動により引き起こされる機械構成要素の撓みを出来るだけ瞬時に測定することを可能にするものである。

#### 【課題を解決するための手段】

30

#### 【0015】

この課題を、請求項1の特徴を有する位置測定装置により解決する。

本発明による位置測定装置の利点ある実施変形例は、従属する特許請求項の特徴から得られる。

#### 【0016】

本発明による位置測定装置は、二つの機械構成要素の相対位置を検出するために使用され、その機械構成要素は、スライド面で少なくとも第一主移動方向および第二主移動方向に沿って互いに可動で配設されているものである。それには、第一機械構成要素に配設された少なくとも一つの基準尺および、第二機械構成要素に配設されていると共に、スライド面において少なくとも二つの測定方向で基準尺を光学的に走査検知するために使用される少なくとも6つの走査検知ユニットが含まれている。そこで各測定方向に、少なくとも二つの走査検知ユニットが割り当てられている。更にスライド面における測定方向それぞれの走査検知ユニットが、第二機械構成要素の中心に関して非点対称で配設されている。

40

#### 【0017】

更に、少なくとも3つの別の走査検知ユニットが設けられていることがあり、それが別の方に向って二つの機械構成要素の相対位置を検出するように構成されており、その方向がスライド面に対して直角に向いている。

#### 【0018】

スライド面で共通した測定方向を有する走査検知ユニットが、共通した接続直線上に配設されていないと利点がある。

50

- スライド面において互いに直交していると共に第二機械構成要素の中心で交差する二つの軸により、4つの象限を有する直交座標系が構成されており、そして
- 少なくとも二つの象限に、それぞれ同じ測定方向を有する少なくとも二つの走査検知ユニットそれぞれが配設されている  
ようにしていることがある。

**【0019】**

代替として、

- スライド面において互いに直交していると共に第二機械構成要素の中心で交差する二つの軸により、4つの象限を有する直交座標系が構成されており、そして
- 少なくとも3つの象限に、それぞれ同じ測定方向を有する少なくとも二つの走査検知ユニットそれぞれが配設されている  
ようにしていることもある。

**【0020】**

最後に挙げることとして、

- スライド面において互いに直交していると共に第二機械構成要素の中心で交差する二つの軸により、4つの象限を有する直交座標系を構成しており、そして
- 4つの象限すべてに、それぞれ同じ測定方向を有する少なくとも二つの走査検知ユニットそれぞれが配設されている  
ようにしていることもある。

**【0021】**

20

ここで更に、対角方向で対向する象限に配設されている走査検知ユニットが、それぞれ全て同じ測定方向を有していることがある。

更に少なくとも3つの象限に、別の走査検知ユニットが配設されており、それが別の方に向って二つの機械構成要素の相対位置を検出するように構成されているようにしていることがあり、その方向がスライド面に対して直角に向いている。

**【0022】**

最後に挙げることとして、スライド面における一つの測定方向用の少なくとも一つの走査検知ユニットが、スライド面に対して直角な測定方向用の走査検知ユニットと一緒に、組み合わせ走査検知ユニットに一体化されていることがある。

**【0023】**

30

以上により、本発明による位置測定装置は、

- 可動で配設された機械構成要素の複数自由度を検出するために、そして
- 機械構成要素の振動を検出するために

使用することができる。

**【0024】**

本発明による位置測定装置は更に、使用されている基準尺の誤差を検出するために使用することができる。

以上により本発明による位置測定装置は、機械構成要素の振動を瞬時に一緒に検出することを可能にする。この場合に従来技術と違って、長期に亘る測定値の分析を特に必要としない。振動に起因する機械構成要素の向き変化についての情報が、遅滞なく得られるので、機械制御システムにおける不要なタイムラグないし鈍い反応を避けることができる。

40

**【0025】**

別の利点として挙げられることは、振動に起因する機械構成要素の撓みの測定を、本発明による位置測定装置の走査検知ユニットの測定点で直接行うことである。従って、その時の撓みを測定する時に、機械構成要素で手間がかかると共に場合により不十分な動的モデルから得る予想に頼る必要性がない。

**【0026】**

最後に挙げることとして更に本発明による方策を介して、使用する基準尺をわざわざ大きくすることなく、全体システムの最大移動範囲を拡張する可能性が得られる。以上により、機械構成要素を移動して位置決めできる範囲が拡大される。

50

**【0027】**

追加して得られる測定値は更に、システムの較正のために、即ち、場合によるスケールプレートの変形ないし誤差を検出するために使用することができる。

本発明の更なる利点および詳細は、図を使った実施例の説明から得られる。

**【図面の簡単な説明】****【0028】**

【図1】従来技術を示す第一概略図。

【図2】従来技術を示す第二概略図。

【図3】位置測定装置の測定値に対する振動の作用に関する概略図。

【図4】図4a～4eはそれぞれ方形テーブルの重要な振動モードに関する概略図。 10

【図5】位置測定装置における走査検知ユニットの可能性ある配設。

【図6】本発明による位置測定装置の第一実施形態における走査検知ユニットの配設。

【図7】本発明による位置測定装置の第二実施形態における走査検知ユニットの配設。

【図8】本発明による位置測定装置の第三実施形態における走査検知ユニットの配設。

**【発明を実施するための形態】****【0029】**

図6～8を使って本発明による3つの位置測定装置の3つの具体的な実施例を説明する前に、まず本発明と関連する種々の理論的な考察を検討することにする。

振動モードを引き起こすのは、そのモードに特徴的な形態にある該当機械構成要素の振動する変形である。図4a～4eでは、方形で構成され均質の機械構成要素における5つの最低周波数の振動モードを例示的に図示しており、そのとき機械構成要素として設けているのは、上に加工製品を配置する平坦なテーブルである。その図4a～4eは、それぞれ機械構成要素の高さ形状線、即ちZ方向の向き変化を示している。この図では等高線の他に、それぞれの傾斜の方向を示す矢印も記載している。位置測定装置で機械構成要素の異なった位置に取り付けられた個々の走査検知ユニットが、これらの振動する変形により向きを変えられる。機械構成要素のモードが既知である場合には、機械構成要素の撓みによる位置測定値を、既知であり走査検知ユニットの位置に關係する方法で補正する。 20

**【0030】**

図3において機械構成要素ないしテーブルの僅かな変形に対するメカニズムを、一次元で図示している。図においては基準尺を、参照符号Mを使って表している。C<sub>o</sub>は、静止状態にあるテーブル表面を表しており、それが基準尺Mからd<sub>M C</sub>の距離に位置することになる。この面において点P<sub>o</sub>に、破線で明示した走査検知ユニットAが位置している。そのとき走査検知ユニットAは、必ずしもテーブル表面C<sub>o</sub>の上側に配設されている必要はなく、これがむしろテーブル表面C<sub>o</sub>に対して下方に埋めて配設されていることもある。走査検知ユニットAは基準尺Mに向かって測定し、それを図では直角に延伸する点線により明示している。 30

**【0031】**

機械の運転時には振動が、テーブル面ないしテーブル表面が振動して湾曲することに作用する。図3において、例示的に湾曲したテーブルを図示しており、それをC<sub>VIB</sub>で表している。振動が発生することにより、走査検知ユニットAも位置がずれて傾く。位置がずれた走査検知ユニットAを、図では実線で図示している。平坦な機械構成要素にとって一次元の振動モードは、機械構成要素表面の等高線の振動する変化として解釈することができる。振動により走査検知ユニットAは、Z軸に沿ってZの量だけ上昇ないし下降する。更に図3においてR<sub>x</sub>で表している角度だけ、X軸を中心として走査検知ユニットAが傾くことになる。測定方向および走査検知ユニットAの構成に応じて、静止状態とは異なる偏差ZおよびR<sub>x</sub>が、走査検知ユニットAで生成される位置測定値に影響を及ぼす。傾きおよび位置のずれが生じる時の走査検知ユニットAの特性が既知であれば、位置測定値に対して振動モードが引き起こす影響を、機械構成要素の瞬時的な向きの変化から計算することができる。図3で図示している走査検知ユニットAで対象となるのが、例えばY軸に沿った測定方向を有する走査検知ユニットであり、そして走査検知ユニットAの中 40

立回転ポイントが基準尺M上にある場合には、測定方向Yに沿って検出される位置測定値が、機械構成要素の撓みにより  $Y - d_{MC} \cdot R_x$  の量だけ変化する。ここで中立回転ポイントとは、それを中心に走査検知ユニットAが場合により傾く時に、生成される位置測定値で変化を生じないポイントと解釈する。その場合には一次元の近似も廃止できる。そして機械構成要素の向き変化と位置測定値との関係は、厳密に言えば比較的複雑であるが、幾何形状的なモデルの範疇で計算することができる。

#### 【0032】

設けられているのが、スライド面における測定方向を有する走査検知ユニットのみである場合には、X軸ないしY軸を中心とした機械構成要素の傾きおよび機械構成要素のZ位置を測定できない、ないし直線的な次数でスライド面におけるスライド自由度x, yと区別することができない。即ち、機械構成要素の位置および向きを3自由度測定するためには、走査検知ユニットの少なくとも三つの適切な位置測定値がなければならず、それから機械構成要素の座標X, Yおよび回転角R<sub>z</sub>を特定することができる。別の得られる位置測定値すべてを、振動の検出のために利用することもできる。XY面での測定方向を有する3+N個の走査検知ユニットを含む配設全体を使うことにより、結果として最大3つの自由度x, y, R<sub>z</sub>およびN個の振動モードを検出することができる。

10

#### 【0033】

測定方向Zを有する走査検知ユニットが更に少なくとも3つある場合には、機械構成要素の6自由度測定を行うことができる。即ち、この場合には機械構成要素の座標X, Y, Zおよび回転R<sub>x</sub>, R<sub>y</sub>, R<sub>z</sub>を特定するために、少なくとも6つの適切な位置測定値が必要である。それから得られる位置測定値全ては、振動検出のために使用することができる。合計6+N個の走査検知ユニットを有する6自由度測定用の配設を使うことにより、(剛体である)機械構成要素の6自由度に加えて、結果として更に最大N個の振動モードを検出することができる。

20

#### 【0034】

生成された位置測定値を評価するためにはまず、例えばコンピュータシミュレーションまたは適切な測定を使ったモード分析により、機械構成要素で最も重要な振動モードが特定されていなければならない。評価のためには例えば、機械構成要素に走査検知ユニットを規定どおりに配設した時に予想される位置測定値を表す方程式を作成する。それぞれの方程式が、その時の振動の向き変化およびその時の機械構成要素位置に従って、位置測定値を規定する。

30

#### 【0035】

モード分析を使って求めた各振動モードは、追加の自由度を示すことになる。従って形式上は、複数の走査検知ユニットを有する本発明による位置測定装置を使うことにより、少なくとも一つの3+N自由度測定(XYスライド面でのみの測定方向を有する走査検知ユニットに限る時)ないし6+N自由度測定(剛体の6自由度に加えて、更にNの追加の振動自由度を測定)を実施する。よって機械構成要素で働いている撓みは、これが検出した振動モードから構成されていると共に別の-通常は比較的高次の-モードを無視することができる場合には、実用的に瞬時に検出することができる。

#### 【0036】

40

ここで述べている分析方法は、位置測定値および機械構成要素への力の時間的な変化の分析と、例えば先に挙げた特許文献3で公知であるような取り組みの時でも、選択的に組み合わせることができる。

#### 【0037】

従って本発明により、更に次の可能性が開くことになる:

- 必要な場合には、例えば種々の固有周波数に分割することにより、走査検知ユニットで提供される位置測定値より多くの自由度を区別することができる。
- 瞬時的な変動(例えばノイズ)を低減するために、先に行った測定からの情報を最終結果に盛り込むことができる。
- それぞれ検出したモードでその時の振幅および位相を特定することが可能である。その

50

ために、時間的に推論した向きの変化を使用することがある。その場合には、それに先行する測定時点の少なくとも一セットの位置測定値を算入する。

#### 【0038】

振幅および位相の情報を使うことにより、機械構成要素の加速度および／または適切なアクチュエータ制御を狙って調整することができ、それにより機械構成要素の振動を能動的に緩衝する。機械に応じては場合により、加工過程中に機械構成要素または工具の位置をトラッキングして補正することにより、加工製品に作用する振動を低減することも可能である。

#### 【0039】

機械構成要素で顕著な振動が発生しない場合には、6つの剛体自由度を特定するために必要なのは6つの位置測定値のみである。この場合に更に使用できる（“余剰の”）位置測定値は、例えば機械を較正するために使用することができる。特に例えば、スケールブレートとして構成された基準尺の歪を検出することができる。そのような較正は、既知の振動モードとは関係なく走査検知値を適切に選択することにより、例えば既知の振動周波数に対して位相固定した走査検知により、あるいは少なくとも一つの振動周期の平均化により行うことができる。

#### 【0040】

以上により纏めると、本発明による位置測定装置を使って出来るだけ瞬時に、振動が引き起こす機械構成要素の撓みを測定する、ないし補正するように対応する。

機械の設計段階には、例えば有限要素シミュレーションまたはNの最重要振動モードを求めるための適切な測定により、関連する機械構成要素のモード分析を行う。

#### 【0041】

機械の本来の運転時には、本発明による位置測定装置を使って $3 + N$ ないし $6 + N$ 自由度を検出する形式で、機械構成要素の位置および機械構成要素の振動の測定を行う。

以上により例えば、モータ制御に連結された機械構成要素の加速を使って、または別個のアクチュエータの制御を使って、振動を緩衝する力を機械構成要素に作用させることが可能である。

#### 【0042】

更に、機械構成要素または加工工具をトラッキングして、残留振動を補正することも可能である。

ここで、本発明による位置測定装置における走査検知ユニットの配設を、検出するモードに関して出来るだけ敏感となるように、そして大きな移動範囲を確保するように有利に選ぶ必要があろう。工数および費用を少なく維持するためには、本発明による位置測定装置に使用する走査検知ユニットは出来るだけ少数であることが必要であろう。しかしながら基本的に少なくとも3つの重要な振動モードを、本発明による位置測定装置で選択した構成を介して検出できることが必要であろう。

#### 【0043】

本発明による位置測定装置の3つの具体的な実施例を、以下において図6～8を使って説明することにする。本発明による考え方を良く理解するために、まず図5を使って位置測定装置における8つの走査検知ユニットE1～E8の配設を説明することにする。その配設は確かに従来技術と較べて改善されているが、得ようとする機械構成要素の振動の検出にとって最適なものではない。

#### 【0044】

最初に述べたように当該の位置測定装置は、半導体を製造する機械に使用されることがある。そこでは、それが二つの対象物ないし機械構成要素の相対位置を検出するために使用され、それらは第一および第二主移動軸Y, Xに沿って互いに可動で配設されている。当該機械構成要素で対象になることがあるのが、例えばまず位置固定された機械構成要素であり、およびそれに対して可動の機械構成要素、例えばテーブルTである。テーブルTは、互いが直角に向いた第一および第二主移動軸Y, Xに沿って位置決めすることができる。テーブルTの上には加工製品、例えばウエハを配設することができ、それを位置固定

10

20

30

40

50

された加工工具に対して相対的に位置決めする。

#### 【0045】

例において位置固定された機械構成要素には、一つまたは複数の二次元基準尺が例えば既に図2で図示しているように、上に十字格子が配設されたスケールプレートの形態で設けられている。可動の機械構成要素ないしテーブルTには、基準尺を光学的に走査検知する複数の走査検知ユニットE1～E8が設けられている。可能な光学式走査検知および走査検知原理の具体的な構成の詳細に関しては、例えば既に先で言及した本出願人の特許文献2を参照されたい。

#### 【0046】

テーブルTは、以下においてXY面とも呼ぶことのあるスライド面に配設されている。  
テーブルTは図5においてもそれに続く図においても、簡略化して方形で図示している。  
円形の加工製品は、その都度、テーブルTの中心Sに配設することができる。勿論、テーブルTが代替の形状を有していることもある。

#### 【0047】

図5の例では図示の位置測定装置に、テーブルTに配設された合計8個の走査検知ユニットE1～E8が含まれている。そこで4つの走査検知ユニットE1, E3, E5, E7が、方形のコーナーに配設されている。その4つの走査検知ユニットE1, E3, E5, E7の配設は、配設面においてテーブルTの中心Sに対して点対称で行われている；4つの走査検知ユニットE1, E3, E5, E7全てが、中心Sに対して同じ第一間隔d<sub>1</sub>を有している。

#### 【0048】

方形で図示しているテーブルTでそれぞれ対向するコーナーにある走査検知ユニットE1とE5ないしE3とE7は、平行に向いている。これが意味することは、光学的に走査検知するためにその中に設けられた格子が互いに平行に向いており、それにより夫々の測定方向が同一であるということである。従って、二つの対向するコーナーでは、位置測定値Y<sub>(e n c)</sub> = (X + Y) / 2を、そして別の二つの対向するコーナーでは、位置測定値Y<sub>(e n c)</sub> = (X - Y) / 2を測定する。

#### 【0049】

更に図5の例において4つの走査検知ユニットE1, E3, E5, E7のそれぞれに対して、平行に向いた測定方向を有する別の走査検知ユニットE2, E4, E6, E8が、テーブルTで先の4つの走査検知ユニットE1, E3, E5, E7の配設面に設けられている。図5で分かるように、これら4つの別の走査検知ユニットE2, E4, E6, E8のY座標が、コーナーにある走査検知ユニットE1, E3, E5, E7とは違って、それぞれテーブルTの中心Sに向かってオフセットしている。従って4つの別の走査検知ユニットE2, E4, E6, E8は、中心Sまで第二間隔d<sub>2</sub>を有しており、それは、コーナーに配設された走査検知ユニットE1, E3, E5, E7の第一間隔d<sub>1</sub>と較べて小さい。

#### 【0050】

機械構成要素ないしテーブルTの対称特性が、固有振動の形態に反映する。図4a～4eから分かるように、テーブル重心ないし中心Sに関する点対称が、特に重要な対称性を示している。テーブルの機械的な構造が（近似的に）点対称性を満たしていると、固有モードも点対称の下では（近似的に）、偶数（即ち変化なし）または奇数（即ち±符号を除いて同じ）である。

#### 【0051】

グループの走査検知ユニットが、扱っているテーブル対称の意味で互いに対称的に配設されている場合には、それを介して生成される位置測定値は、対称変換の下で偶数（ないし奇数）の振動モードに関して余剰である、というのは、これらの振動により引き起こされる信号が、互いに対称である走査検知ユニットグループでは同じ（ないし±符号を除いて同じ）だからである。この余剰性は意図するものではない、というのは、その時のテーブル励振状態についての、設けられた走査検知ユニットを使って求めることができる独立

10

20

30

40

50

した情報の数が減少するからである。

#### 【0052】

ここで特に注意するべきは、図4a～4cに図示している3つの振動モードである。これら3つの振動モードが点対称下で偶数であることが分かる。従って本発明による位置測定装置では、この初めの3つの振動モードのそれぞれに関して敏感にするために、必要な走査検知ユニットで点対称配設を避けるように、走査検知ユニットを配設することを適用している。

#### 【0053】

図5の例による走査検知ユニットの配設は、高度に対称的である。ここでは、隣接して並ぶ二つの走査検知ユニットE1～E8が、数多い基準尺の一つの下に位置しているのではなく、例えば加工工具を有するフリーの中央範囲にある典型的なケースを考えることにする。そこで対象になることがあるのは、例えば図5で示す走査検知ユニット配設における走査検知ユニットE7とE8である。残りのアクティブな走査検知ユニットE1～E6が、次の情報を出力する：

テーブルTの6剛体自由度を求めるためには、コーナーにある3つの走査検知ユニットE1, E3, E5を介して既に十分な情報が得られる。残りの3つの走査検知ユニットE2, E4, E6は、振動検出のための追加情報を出力する。しかしながら、走査検知ユニットのペアE1, E2およびE5, E6は、互いが点対称で配設されている、即ち、これらの走査検知ユニットE1, E2およびE5, E6により出力される情報は、少なくとも一部で余剰である。そのことから、図5で示す8つの走査検知ユニットE1～E8の配設は、場合により存在する振動についての最大可能な情報を得るために理想的ではない。

#### 【0054】

図5に較べて最適化した走査検知ユニットの配設、従って本発明による位置測定装置の第一実施例を、以下において図6を使って説明することにする。

#### 【実施例1】

#### 【0055】

図6において本発明による位置測定装置の第一実施例の一部、即ち、可動のテーブルTとして構成された機械構成要素を示しており、それに6つの走査検知ユニットE11～E16が、規定の形式と方法で配設されている。それとは違って静止している機械構成要素が、図6では示されていないが、それに少なくとも一つの基準尺が配設されている。テーブルTは、スライド面で二つの主移動方向(軸)X, Yに沿ってスライド自在で配設されている。ここでは基準尺として既に図2で示したように、複数のスケールプレートM1～M4が設けられており、それには、走査検知ユニットE11～E16を使って走査検知できる二次元の十字格子をそれぞれ含んでいる。ここで走査検知ユニットE11～E16を介して基準尺の光学的な走査検知を、規定された測定方向MR1, MR2に沿って夫々行う。従って各走査検知ユニットE11～E16に、特定の測定方向MR1, MR2を割り当てる。ここで三次元空間において規定された方向を、測定方向MR1, MR2として解釈することにする。走査検知ユニットE11～E16が、測定時点に数値的な値、所謂、位置値を出力する。その位置値は、空間において測定方向MR1, MR2が方向を規定している直交座標軸に関して、走査検知ユニットE11～E16の座標に相当している。ここで直交座標軸は、上記の主移動方向Y, Xと一致している必要はない。

#### 【0056】

本実施例では走査検知ユニットE11～E16の測定方向MR1, MR2が、それぞれ具体的にはその長手軸に沿って延伸している；しかしながら、このことは基本的に本発明の範疇において必然的なものではなく、当該の光学的な走査検知原理に関係するものである。走査検知ユニットの構成に関しては、例えば上記で言及した本出願人の特許文献2を参照されたい。

#### 【0057】

本発明による位置測定装置の第一実施例では、設けられている走査検知ユニットE11～E16を、二つの測定方向MR1, MR2で少なくとも一つの基準尺を光学的に測定す

10

20

30

40

50

るために使用する。図6で分かるように、そのために3つの走査検知ユニットE11,E12,E15に、第一測定方向MR1が割り当てられており、それが第一移動方向Yに対して+45°傾いている；3つの走査検知ユニットE13,E14,E16には、第二測定方向MR2が割り当てられており、それが第一移動方向Yに対して-45°傾いている。本実施例では各測定方向MR1,MR2に、それぞれ3つの走査検知ユニットE11,E12,E15ないしE13,E14,E16が割り当てられているが、基本的に少なくとも必要なことは、本発明による位置測定装置において各測定方向に少なくとも二つの走査検知ユニットが割り当てられていることである。

#### 【0058】

初めの3つの振動モードを検出する時に上記で論議した余剰性を回避するために本発明では、スライド面における測定方向MR1ないしMR2それぞれの走査検知ユニットE11,E12,E15ないしE13,E14,E16を、テーブルTないし該当機械構成要素の中心Sに対して非点対称で配設するようにしている。よって、例えば図示の第一実施例では、走査検知ユニットE11,E12,E15(第一測定方向MR1)の配設に関して、中心Sに対する点対称性が生じていない。走査検知ユニットE12およびE15は、中心Sまで異なる間隔を有している；走査検知ユニットE11とE15間の接続直線は、中心Sを通過しない。第二測定方向MR2のために、別の走査検知ユニットE13,E14,E16の配設を同様に行う。

#### 【0059】

本発明による位置測定装置が半導体製造用の機械に使用され、従って走査検知ユニットを有する機械構成要素が加工製品を伴うテーブルである時には、走査検知ユニットを配設できるのが通常、テーブル縁部の近くのみである。テーブルの中心には一般的に、加工製品が位置している。振動検出のために測定方向の共通した走査検知ユニットは、テーブルの一つの縁部にすべてが位置していない配設が好ましい。この関連で例えば、図4aで図示した振動モードを考えられたい。同じ測定方向を有する走査検知ユニットを、テーブルの一つの直線縁部に配設すると、走査検知ユニットの位置測定値すべてが、ほぼ同じ値だけ変化する。従ってこの変化を、テーブルの位置変化(またはスライド面における軸を中心とした傾き)とは区別できない。従って、一つの測定方向の走査検知ユニットが共通した一つの直線上に全て位置していないことが、本発明による位置測定装置において時により利点となる場合がある。

#### 【0060】

図示の第一実施例では、測定方向MR1,MR2それぞれに3つの走査検知ユニットE11,E12,E15ないしE13,E14,E16が設けられている。ここでは、測定方向MR1,MR2それぞれに設けられた走査検知ユニットE11,E12,E15ないしE13,E14,E16の配設が、スライド面で共通した測定方向MR1,MR2を有する走査検知ユニットE11～E16が、共通した接続直線上に配設されていないようになっている。

#### 【0061】

図6では更に、スライド面で互いに直交する二つの軸A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>が記載されており、それがテーブルTの中心Sで交差している。従って、中心Sにある原点および4つの象限Q1～Q4を有する直交座標系が、これらの軸A<sub>1</sub>,A<sub>2</sub>を介して構成される。本発明による位置測定装置の図示している第一実施例では二つの象限Q1,Q2に、それぞれ二つの走査検知ユニットE11,E12ないしE13,E14が配設されている。象限Q1ないしQ2に配設された走査検知ユニットE11,E12ないしE13,E14は夫々、同じ測定方向MR1,MR2を有している。対角方向で対向する象限Q1,Q3ないしQ2,Q4に、走査検知ユニットE11～E16が配設されている場合に、これらが同じ測定方向MR1,MR2を有すると更に利点のあることがある。これは、例えば走査検知ユニットE11,E12,E15が、対角方向で対向する象限Q1,Q3で同じ測定方向MR1を有していることを意味している。同様に走査検知ユニットE13,E14,E16が、該当する象限Q2,Q4で同じ測定方向MR2を有している。

10

20

30

40

50

**【0062】**

以上のような配設は、下記の考えにより利点のあることが分かっている。

テーブルTの回転を出来るだけ良好に検出できるようにするためには、走査検知ユニットE11～E16間で十分に大きな間隔がなければならない。従って、走査検知ユニットE11～E16はすべてが、軸A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>により定義された座標系の一つおよび同じ象限Q1～Q4に位置していないと好都合である。同時に、スケールプレートの大きさが制限されているけれども、可能な限り大きな移動範囲でテーブルTの位置測定を出来るようする必要がある。これら二つの必要事項は先に簡単に述べたように、それぞれ同じ測定方向M R 1, M R 2の少なくとも二つの走査検知ユニットE11～E16を、言及している座標系の異なる二つの象限Q1～Q4に設けることで対応することができる。同じ測定方向M R 1ないしM R 2の二つの走査検知ユニットE11, E12ないしE13, E14により、二つの走査検知ユニットの一つがスケールプレートの下に位置していない時にも、位置の測定が確保される。10

**【0063】**

本発明による位置測定装置では、テーブルTのスライド面で測定方向M R 1, M R 2を有する走査検知ユニットE11～E16を設けている他に、少なくとも3つの別の - 図示していない - 走査検知ユニットをテーブルTに配設するようにしていることがあり、それを介することにより、別の軸に沿ってテーブルTの相対位置を検出することが可能となる。そこで対象となるのは一般的に、スライド面に対して直角に向いているZ軸であり、それに沿って機械の運転時に同じくテーブルの移動を行うことができる。従って以上のような形式と方法により、テーブルで6つの移動と回転の自由度を検出することができる。この追加する走査検知ユニットの配設は、図6で示した象限Q1～Q4の少なくとも3つに、そのような走査検知ユニットを配置するように行うと好ましい。20

**【0064】**

ここで更にスライド面で測定方向M R 1, M R 2を有する走査検知ユニットE11～E16が、スライド面に対して直角な測定方向用の追加走査検知ユニットと一緒に、組み合わせ走査検知ユニットに一体化されると特に利点がある。

**【実施例2】****【0065】**

本発明による位置測定装置の第二実施例を、図6の図示に類似して図7で示している。30  
以下では基本的に、第一実施例に対して決定的に異なる点のみを説明することにする。

ここでも6つの走査検知ユニットE21～E26が設けられており、それらが規定の形式と方法でテーブルTないし該当する機械構成要素に配設されている。

**【0066】**

図から分かるように、同じ測定方向M R 1, M R 2のそれぞれ二つの走査検知ユニットE21/E22, E23/E24, E25/E26が、言及している座標系の少なくとも3つの象限に配設されている。この配設の利点は、走査検知ユニットE21～E26全てを、テーブルの中心Sから相対的に遠く離れて配置できることにある。それにより特に良好な振動検出が可能であり、同時にテーブルTの大きな移動経路が、継続して確保されている。40

**【0067】**

対角方向で対向する象限Q1, Q3ないしQ2, Q4において、同じ測定方向M R 1, M R 2を有する走査検知ユニットE21～E26が配設されていると好ましい。このことが、ここでは象限Q1, Q3および走査検知ユニットE21, E22, E25, E26で確保されている。この場合には、対向する象限Q1, Q3ないしQ2, Q4において、走査検知ユニットの配設時に中心Sに関して点対称が生じないことに特に注意する必要がある。この必要事項に対して、図示している実施例では走査検知ユニットE21を、走査検知ユニットE25と較べてテーブルTの中心S近くに配設することで対応している。

**【0068】**

この実施例も先に説明したように、Z軸に沿ったテーブル移動を検出するために使用す50

る追加の走査検知ユニットを補うことができる。

**【実施例 3】**

**【0069】**

最後に図8を使って、本発明による位置測定装置の第三実施例を説明するが、以下においても同じく、前記二つの例に対して決定的に異なる点のみを扱うことにする。

該当する機械で加工工具が大きくなると、スケールプレートの中心に大きな範囲を切り取ることが必要になる場合がある。従って加工工具の下に位置する走査検知ユニットは、位置値を出力しない。

**【0070】**

それにも拘わらず本発明による位置測定装置の第三実施例により、上記で導入して説明した座標系の4つの象限Q1～Q4全てに、それぞれ少なくとも二つの走査検知ユニットE31/E32, E33/E34, E35/E36, E37/E38を配設することにより、必要とする位置および振動の検出が同じく可能である。加工工具が例えば4つの象限Q1～Q4の一つの上方に位置している場合に、別の3つの象限Q1～Q4の走査検知ユニットからの位置測定値を使って、前記二つの実施例に従って測定することができる。

10

**【0071】**

この実施例に関しても、上記で言及した形状的な考えが当て嵌まる。ここでも同じく、論議した拡張が追加の走査検知ユニットを使って可能である。

説明した変形例の他に勿論、本発明の範疇で更に多くの別の実施可能性がある。

**【符号の説明】**

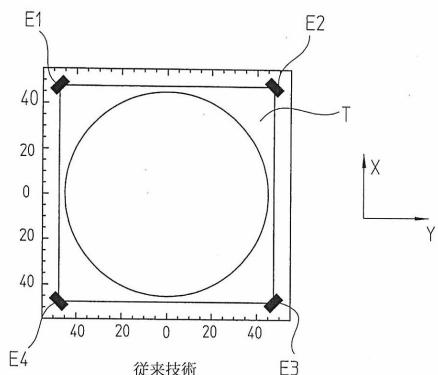
20

**【0072】**

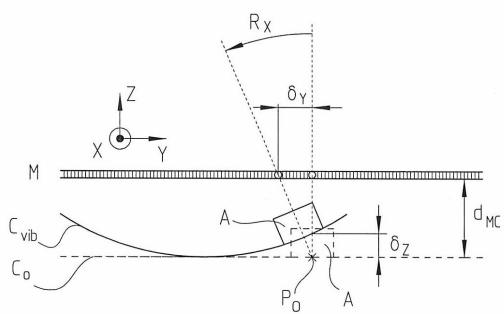
A	走査検知ユニット
E1～E8	走査検知ユニット
E11～E16	走査検知ユニット
E21～E26	走査検知ユニット
E31～E38	走査検知ユニット
M	基準尺
M1～M4	スケールプレート
M R 1, M R 2	測定方向
Q1～Q4	象限
S	中心
T	テーブル
X, Y, Z	測定方向、座標

30

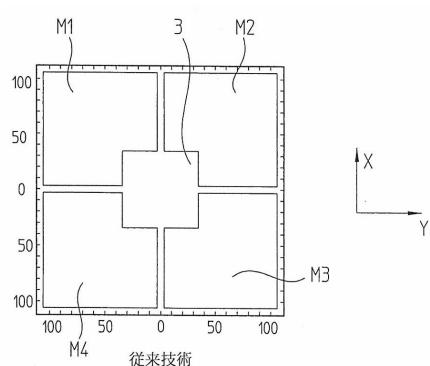
【図1】



【図3】



【図2】



【図4】

FIG.4a

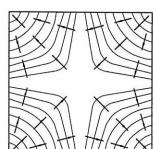


FIG.4b

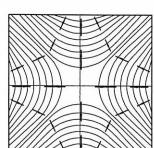


FIG.4c

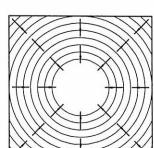


FIG.4d

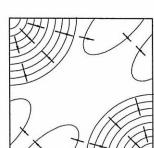
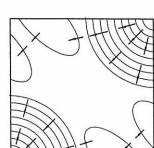
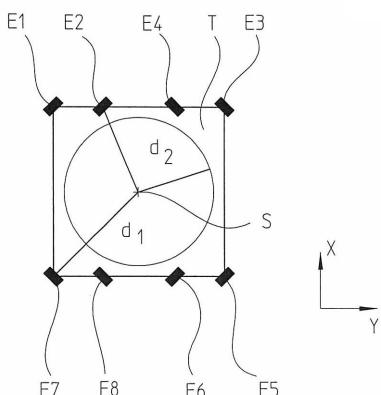


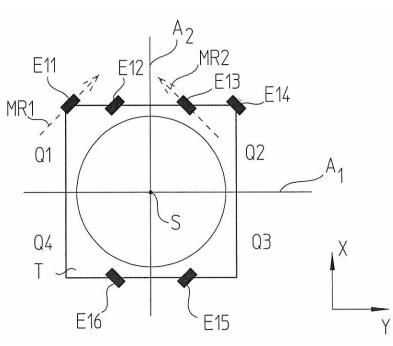
FIG.4e



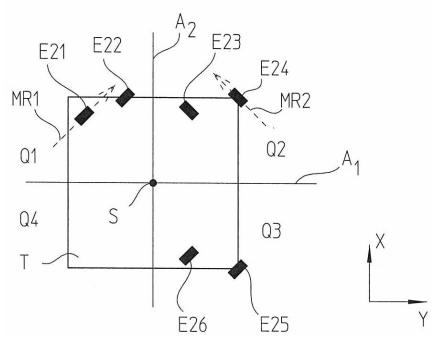
【図5】



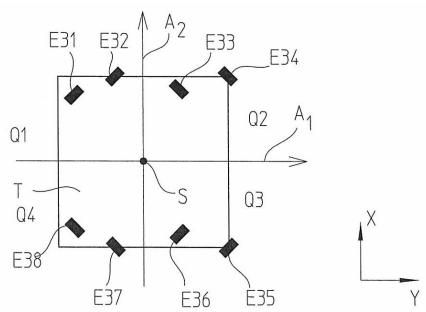
【図6】



【図7】



【図8】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100101373  
弁理士 竹内 茂雄

(74)代理人 100118902  
弁理士 山本 修

(74)代理人 100114487  
弁理士 山崎 幸作

(74)代理人 100153947  
弁理士 家成 隆彦

(72)発明者 ラルフ・ピール  
ドイツ国 83278 トランシュタイン, ヴァルベルクヘーエ 5

(72)発明者 イエルク・ドレシャー  
ドイツ国 83122 ザマーベルク, ホーホリースシュトラーセ 70

(72)発明者 ヴォルフガング・ホルツアップフェル  
ドイツ国 83119 オービング, グロッテンヴェーク 2

(72)発明者 マルクス・マイスナー  
ドイツ国 83236 ユーバーゼー, ライトシュトラーセ 22ペー

(72)発明者 ベルンハルト・ミュッシュ  
ドイツ国 83624 オッターフィング, スティフターヴェーク 4

(72)発明者 ベルンハルト・プレトシャヘル  
ドイツ国 83339 キーミング, クヴェレンヴェーク 11

審査官 小野寺 麻美子

(56)参考文献 特開2011-049557(JP,A)  
特開2009-278097(JP,A)  
特開2007-129194(JP,A)  
特開2013-164416(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 01 B	11 / 0 0	-	G 01 B	11 / 3 0
G 01 D	5 / 2 6	-	G 01 D	5 / 3 8
G 01 H	1 / 0 0	-	G 01 H	17 / 0 0
G 03 F	7 / 2 0	-	G 03 F	7 / 2 4
G 03 F	9 / 0 0	-	G 03 F	9 / 0 2
H 01 L	21 / 3 0			
H 01 L	21 / 4 6			
B 23 Q	17 / 0 0	-	B 23 Q	23 / 0 0