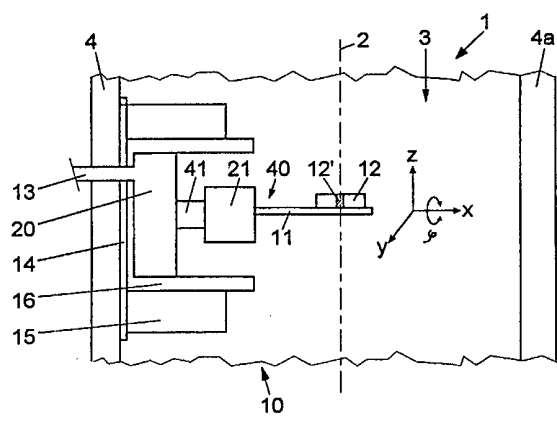


|   |           |   |
|---|-----------|---|
| <b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :</b><br><b>H01J 37/00</b> | <b>A2</b> | <b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/52731</b><br><br><b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 8. September 2000 (08.09.00) |
|---|-----------|---|

|  |  |
|--|--|
| <p><b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/CH00/00099</p> <p><b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 24. Februar 2000 (24.02.00)</p> <p><b>(30) Prioritätsdaten:</b><br/>         352/99                      27. Februar 1999 (27.02.99)                      CH</p> <p><b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> MEIER MARKUS INSTITUT FÜR MECHANISCHE SYSTEME [CH/CH]; Zentrum für Produkte-Entwicklung, Tannenstrasse 3 CLA, CH-8092 Zürich (CH).</p> <p><b>(72) Erfinder; und</b><br/> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> BAUMANN, Daniel [CH/CH]; Langmauerstrasse 74, CH-8006 Zürich (CH).</p> <p><b>(74) Anwalt:</b> STUMP, Beat; In der Fadmatt 60, CH-8902 Urdorf (CH).</p> | <p><b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p><b>Veröffentlicht</b><br/> <i>Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.</i></p> |
|--|--|

**(54) Title:** GONIOMETER

**(54) Bezeichnung:** GONIOMETER



**(57) Abstract**

The invention relates to a goniometer (10) comprising actuators for moving the sample (12) whose drive is effected by means of piezo elements. At least one such actuator is arranged in the vacuum region (3) of an electron microscope. The goniometer (10) can be entirely arranged in said vacuum region thus ensuring an eucentric rotation of the area (12') of a sample (12) to be examined.

**(57) Zusammenfassung**

Das erfindungsgemässe Goniometer (10) besitzt Aktoren zur Bewegung der Probe (12), deren Antrieb durch Piezoelemente bewirkt wird. Mindestens ein solcher Aktor ist im Vakuumbereich (3) eines Elektronenmikroskops angeordnet. Das Goniometer (10) kann vollständig im Vakuumbereich angeordnet werden und stellt dann eine eucentrische Rotation des zu untersuchenden Gebiets (12') einer Probe (12) sicher.

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

|    |                              |    |                                   |    |   |    |                                |
|----|------------------------------|----|-----------------------------------|----|---|----|--------------------------------|
| AL | Albanien                     | ES | Spanien                           | LS | Lesotho   | SI | Slowenien                      |
| AM | Armenien                     | FI | Finnland                          | LT | Litauen   | SK | Slowakei                       |
| AT | Österreich                   | FR | Frankreich                        | LU | Luxemburg                                       | SN | Senegal                        |
| AU | Australien                   | GA | Gabun                             | LV | Lettland  | SZ | Swasiland                      |
| AZ | Aserbaidschan                | GB | Vereinigtes Königreich            | MC | Monaco  | TD | Tschad                         |
| BA | Bosnien-Herzegowina          | GE | Georgien                          | MD | Republik Moldau                                 | TG | Togo                           |
| BB | Barbados                     | GH | Ghana                             | MG | Madagaskar                                      | TJ | Tadschikistan                  |
| BE | Belgien                      | GN | Guinea                            | MK | Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | TM | Turkmenistan                   |
| BF | Burkina Faso                 | GR | Griechenland                      | ML | Mali  | TR | Türkei                         |
| BG | Bulgarien                    | HU | Ungarn                            | MN | Mongolei  | TT | Trinidad und Tobago            |
| BJ | Benin                        | IE | Irland                            | MR | Mauretanien                                     | UA | Ukraine                        |
| BR | Brasilien                    | IL | Israel                            | MW | Malawi  | UG | Uganda                         |
| BY | Belarus                      | IS | Island                            | MX | Mexiko  | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| CA | Kanada                       | IT | Italien                           | NE | Niger   | UZ | Usbekistan                     |
| CF | Zentralafrikanische Republik | JP | Japan                             | NL | Niederlande                                     | VN | Vietnam                        |
| CG | Kongo                        | KE | Kenia                             | NO | Norwegen  | YU | Jugoslawien                    |
| CH | Schweiz                      | KG | Kirgisistan                       | NZ | Neuseeland                                      | ZW | Zimbabwe                       |
| CI | Côte d'Ivoire                | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | PL | Polen   |    |                                |
| CM | Kamerun                      | KR | Republik Korea                    | PT | Portugal  |    |                                |
| CN | China                        | KZ | Kasachstan                        | RO | Rumänien  |    |                                |
| CU | Kuba                         | LC | St. Lucia                         | RU | Russische Föderation                            |    |                                |
| CZ | Tschechische Republik        | LI | Liechtenstein                     | SD | Sudan   |    |                                |
| DE | Deutschland                  | LK | Sri Lanka                         | SE | Schweden  |    |                                |
| DK | Dänemark                     | LR | Liberia                           | SG | Singapur  |    |                                |
| EE | Estland                      |    |                                   |    |   |    |                                |

## Goniometer

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Goniometer insbesondere für ein Elektro-  
5 nenmikroskop, welches dazu dient, eine zu untersuchende Probe im Elektronen-  
strahl zur Justierung und nach der Justierung für die Untersuchung selbst zu la-  
gern. Für die Untersuchung sind hochpräzise Bewegungen im Mikro- und  
Nanometerbereich notwendig.

10 Zur Erzeugung von Rotation oder zur Erzeugung von Translation im Mikro- und  
Nanometerbereich sind in der Grundlagenforschung mit Piezoelementen ausge-  
stattete Vorrichtungen seit langem bekannt. (D. Baumann, „High resolution posi-  
tioning for a rotor, IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics,  
15 June 1997, Tokyo“). Diese Publikation zeigt eine schematisch dargestellte Vor-  
richtung zur Erzeugung von Rotation mit einem ringförmigen Rahmenteil und ei-  
ner darin koaxial angeordnete Achse, welche mit dem Rahmenteil über drei  
speichenförmig angeordnete Aktoren mit Piezoelementen verbunden ist. Durch  
geeignetes Anlegen von Spannung an den Piezoelementen kann eine Rotation  
erzeugt werden. Durch Anwendung des Trägheitsprinzips, dh langsame Verfor-  
20 mung und schneller Rücksprung der jeweiligen Piezoelemente kann nun die  
Rotation um einen grösseren Winkel stattfinden, da die Achse separat gelagert  
und mit den Aktoren nur kraftschlüssig verbunden ist. Eine weitere schematisch  
dargestellte Vorrichtung besitzt einen Rahmenteil mit von diesem parallel abste-  
henden Aktoren, welche an einem sie verbindenden Balken angreifen. Durch an  
25 ihnen angebrachte Piezoelemente verbiegen sich die Aktoren in der Art einer  
Bimetallfeder, was eine Translation des Balkens zur Folge hat.

Im Bereich der Goniometer für die Elektronenmikroskopie bestehen spezifische  
Anforderungen: Die Lagerung einer zu untersuchenden Probe durch ein Gonio-  
30 meter ist als solche anforderungsreich, da sie im Vakuum erfolgt, störungsfrei  
und stabil sein muss. Die Stabilität betrifft von aussen übertragene Schwingun-

gen und intern erzeugte, wie zB solche des eigenen Kühlkreislaufs des Elektronenmikroskops die geeignet sind, die notwendige ruhige Lage der Probe zu stören.

5 Weiter ist die Beweglichkeit der Lagerung, dh die Manoeverierung der Probe unter dem Elektronenstrahl der Natur der Sache nach unerlässlich. Die Probe muss über ihre Abmessungen unter dem Elektronenstrahl verschoben werden können, um deren interessierende Gebiete vorerst zu identifizieren. Für die Untersuchung des identifizierten Gebiets werden dann oft Ansichten unter mehr als  
10 einem Winkel zum Elektronenstrahl benötigt. Insbesondere bei der Elektronentomographie sind Aufnahmeserien bzw Projektionsserien für die dreidimensionale Rekonstruktion von fünfzig, hundert oder mehr Aufnahmen unter genau definierten Winkelstellungen zum Elektronenstrahl unerlässlich. Damit ist die Probe am Ort des zu untersuchenden Gebiets euzentrisch um vorbestimmte  
15 Winkel gegenüber dem Elektronenstrahl zu rotieren, dh zu kippen, was bedeutet, das die Drehachse, um welche die Probe für eine nächste Aufnahme rotiert bzw gekippt wird, in jeder Lage des untersuchten Gebiets und während der gesamten Aufnahmeserie durch das Gebiet selbst verläuft. Ist die Rotation nun nicht euzentrisch, erfolgt nicht nur eine Rotation, sondern zusätzlich noch eine Translati-  
20 on des zu untersuchenden Gebiets relativ zur Achse des Elektronenstrahls, was die dreidimensionale Rekonstruktion erschwert, zu Qualitätsverlusten führen und vermehrten Zeitaufwand zur Folge hat.

Schliesslich muss die Lagerung der Probe, dh das Goniometer, die Beobachtung  
25 nicht stören und darf insbesondere den Elektronenstrahl nicht beeinflussen.

Ein Goniometer gemäss letztem Stand der Technik ist unter der Bezeichnung „Philips CompuStage“ bekannt. Durch die oben geschilderten Einsatzbedingungen ergeben sich folgende Nachteile:

30

Bedingt durch die herkömmliche Konstruktionsweise der Goniometer ist es erstens schwierig ein beliebiges Gebiet einer Probe in die euzentrische Achse zu bringen und zweitens dieses Gebiet über einen grossen Kippbereich (zB +/- 85<sup>0</sup>) in dieser zu halten. Ist ein beliebiges Gebiet der Probe einmal positioniert, kann es, durch die herkömmliche Konstruktion der Goniometer bedingt, nicht in eine euzentrische Achse gebracht werden. Dies bedeutet, dass nach Rotation der Probe für eine neue Ansicht des zu untersuchenden Probengebiets dieses relativ zur Längsachse des Elektronenstrahls (und auch in Richtung der Längsachse, relativ zum Brennpunkt) auswandert und translatorisch zurückgebracht werden muss.

Die mechanischen Aktoren (Antriebsmittel) für Translation und Rotation befinden sich wegen der Platzverhältnisse nicht im Vakuumteil des Elektronenmikroskops. Dies führt zu einer aufwendigen Konstruktion, da die notwendige hochpräzise Bewegung in vier Freiheitsgraden (Translation in x,y und z Richtung, Rotation um die x Achse) in den Vakuumteil zu übertragen ist. Die Uebertragungsglieder der sich im Atmosphärenbereich befindenden Aktoren sind deshalb durch Dichtungen, idR O-Ringe, hindurchgeführt. Durch die Verwendung der unerlässlichen, reibschlüssig wirkenden Dichtungen ergibt sich ein Nachteil: die elastische Verformung der Dichtungen ist im Vergleich zu den Verschiebungen der Uebertragungsglieder gross genug, um nach der gewünschten Bewegung der Probe eine unerwünschte Rückbewegung zu erzeugen. Dazu kommt, dass bei im Atmosphärenteil liegenden Aktoren die Probe nicht auf einem genügend gerade verlaufenden Pfad verschoben werden kann. Die tatsächliche Bewegung der Probe erfolgt konstruktionsbedingt auf zu stark gekrümmter Bahn. Wird die Probenlage in einer Richtung korrigiert, entsteht so gleichzeitig ein zwar kleinerer, aber zu korrigierender Fehler in einer andern Richtung. Entsprechend wurde versucht, die genannten Dichtungen durch einen Balg zu ersetzen, was andere konstruktive Nachteile zur Folge hatte, so dass die gewünschte Stabilität und Euzentrizität der Bewegung bis heute nicht befriedigend erreicht werden konnte.

Mit anderen Worten: Die richtige Positionierung der Probe in Bezug auf das zu untersuchende Gebiet relativ zum Elektronenstrahl durch die bekannten Goniometer ist, obschon weltweit im Gebrauch und an sich zuverlässig möglich, mühsam und zeitaufwendig; für eine Tomografie sind allein für die Probenpositionierung zehn, zwanzig oder mehr Arbeitsstunden von qualifizierten, mit dem Elektronenmikroskop vertrauten Leuten einzusetzen.

Zum Zweck der Beschreibung der Erfindung wird der Begriff „Rotation“ verwendet, um das Kippen der Probe gegenüber der Längsachse des Elektronenstrahls zu bezeichnen, während „Translation“ auch nicht rein gerade verlaufende Verschiebungen, parallel oder senkrecht zur Achse des Elektronenstrahls mit einschliesst.

Entsprechend ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Goniometer für ein Elektronenmikroskop mit verbesserter Steuerbarkeit des Probehalters zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 und gemäss Anspruch 5 gelöst.

Die Verwendung mindestens eines sich betriebsfähig deformierenden Aktors erlaubt eine Miniaturisierung des Steuerteils des Goniometers und, auch dank der elektrischen Steuerung der solcher Aktoren, eine für die Geometrie der Bewegung des Probehalters verbesserte Anordnung der Komponenten im Steuerteil, so dass Nachteile der konventionellen Konstruktion von Goniometern entfallen.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel nach Anspruch 2 wird ein sich betriebsfähig deformierender Aktor im Vakuumbereich des Goniometers angeordnet, mit der Folge, dass das entsprechende, konventionelle Uebertragungsglied in den Vakuumbereich und die damit verknüpften Nachteile entfallen.

Werden bei einem weiteren Ausführungsbeispiel nach Anspruch 3 sind die Aktoren für translatorische Verschiebung im Vakuumbereich angeordnet, verbleibt im atmosphärischen Bereich der Aktor für Rotation, was ein entsprechend vereinfachtes Übertragungsglied erlaubt und die Steuerbarkeit des Probenhalters  
5 weiter verbessert.

Bei einem Goniometer nach Anspruch 5 entfallen alle der Aufgabe zu Grunde liegenden Nachteile, da die Grenze zwischen atmosphärischem- und Vakuumteil nicht mehr überwunden werden muss und so eine geeignete Bauweise für eu-  
10 zentrisches Kippen realisierbar ist.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Figuren näher erläutert:

Es zeigt:

15

Fig 1 schematisch ein Goniometer, welches im Vakuumbereich eines Elektronenmikroskops angeordnet werden kann,

20

Fig 2 schematisch einen Querschnitt durch einen Aktor für den Antrieb in zwei Freiheitsgraden, vorzugsweise Rotation ( $\varphi$ ) und Translation in x-Richtung,

Fig 3 schematisch den Aktor von Fig 2 im Längsschnitt,

25

Fig 4 schematisch einen Querschnitt durch den Aktor von Fig 2, aber ausgebildet für den Antrieb in zwei Translationsrichtungen, vorzugsweise in y- und z-Richtung,

30

In Fig 1 ist mit 1 ein Ausschnitt aus einem Vakuumbereich 3 eines Elektronenmikroskops mit Innenwänden 4 und 4a und mit 2 die Längsachse des im Bereich 3 verlaufenden Elektronenstrahls bezeichnet. 10 bezeichnet ein schematisch dargestelltes, im Vakuumbereich 3 angeordnetes Goniometer mit einem Probehalter

11 und einer Probe 12, ein zu untersuchendes Probengebiet ist mit 12' bezeichnet. Das Goniometer ist mit dem atmosphärischen Bereich über ein Verbindungselement 13 verbunden, welches nicht weiter dargestellte Signalleitungen für den Status der Elemente des Goniometers und Leitungen zur Stromzufuhr aufweist. Eine Basisplatte 14 ist an der Wand 4 festgelegt und trägt über eine Justiereinheit 15 ein Gehäuse 16 des Goniometers 10. Im Innern des Gehäuses 10 befinden sich ein Aktor 20 für Rotation ( $\varphi$ ) und ein Aktor 21 für Translation in zwei Freiheitsgraden (x und y) vorzugsweise drei Freiheitsgraden (x,y und z), welche hintereinander geschaltet sind und damit den Probehalter in vier Freiheitsgraden bewegen können.

Die Justiereinheit 15 dient grundsätzlich der Grobpositionierung der Probe, die Aktoren 20 und 21 der Feinpositionierung und der Auswahl des interessierenden Probereichs. Schliesslich dienen die Aktoren 20 und 21 dazu, ein euzentrisches Kippen der Probe 12, wie anschliessend beschrieben, sicherzustellen.

Die Justiereinheit 15 ist konventionell aufgebaut und dient der Verschiebung im Sub-Mikrometerbereich des Gehäuses 16; sie kann entweder über einen nicht dargestellten Elektrischen Antrieb über das Verbindungselement 13 oder durch eine ebenfalls nicht dargestellte mechanische Verbindung von aussen, dh vom atmosphärischen Bereich aus, betrieben werden, da in der Regel nur ein einmaliges justieren notwendig ist.

Wesentlich ist, dass der Aktor 20 für Rotation und der Probehalter 11 den Aktor 21 für Translation in y- und z-Richtung zwischen sich einschliessen: Für euzentrisches Kippen muss die Rotationsachse durch den Aktor 20 ( $\varphi$ ) und das zu untersuchende Probengebiet 12' verlaufen. Dies ist aber aufgrund von Fertigungsungenauigkeiten im Mikro- und Nanometerbereich nicht der Fall. Solche Abweichungen werden durch den Aktor 21 (y und z, vorzugsweise auch x) kompensiert. Befindet sich der Aktor 21 in Richtung der Probe 12' gesehen vor dem Aktor 20, kann diese Kompensation nicht stattfinden.

Die vorliegende Erfindung erlaubt somit im Rahmen der Elektronenmikroskopie ein echtes euzentrisches Kippen der Probe 12, im Gegensatz zu den konventionellen Goniometern, welche auch unter der Bezeichnung „euzentrisch“ nur Verfahren mit angenäherter Genauigkeit, bei welcher nach jedem Rotation eine Nachkorrektur durch den Operateur des Mikroskops vorzunehmen ist, realisieren.

Fig 2 zeigt schematisch einen Querschnitt durch einen Aktor 30 (entsprechend der Ansicht B von Fig 3) für den Antrieb in zwei Freiheitsgraden, vorzugsweise Rotation ( $\varphi$ ) und Translation in x-Richtung. Der Aktor 30 besitzt ein ringförmiges Basisteil 31 welches am Gehäuse 16 des Goniometers festlegbar ist. Scher-Piezoelemente 32 mit einer Verformungsrichtung entsprechend der eingezeichneten Doppelpfeile sind am Basisteil 31 betriebsfähig angebracht und mit Auflagern 33 versehen, auf welchen ein Aktionsteil 34 durch Reibschluss gelagert ist. Ein durch eine Schwächungstelle im Basisteil 31 erzeugtes elastisches Scharnier 35 bewirkt eine statisch bestimmte Lagerung des Aktionsteils 34. Werden nun die Piezoelemente 32 nach dem Trägheitsprinzip betrieben, ergibt sich eine beliebige Rotation des Aktionsteils 34.

Weitere Scher-Piezoelemente 36 sind zwischen den Elementen 32 und dem Basisteil 31 angeordnet; deren Wirkrichtung liegt senkrecht zur Ebene des gezeichneten Querschnitts von Fig 2. Durch Anregung der Elemente 36 ergibt sich ein Vorschub bzw eine Translation des Aktionsteils 34 in x-Richtung. Werden die Piezoelemente 32 weggelassen, liegt ein Aktor für Translation in einer, zB x-Richtung, vor.

Grundsätzlich ist denkbar, während der Untersuchung die Position der Probe 12 bzw des Gebiets 12' durch Variation der an den Piezoelementen angelegten Spannung anzupassen. Das Trägheitsprinzip wird jedoch vorgezogen, da eine Beeinflussung des Elektronenstrahls dann entfällt.

Fig 3 zeigt ein Längsschnitt durch den Aktor von Fig 2 entsprechend der Schnittlinie A in Fig 2. Insgesamt ergeben sich aufgrund der statisch bestimmten Lagerung zwei elastische Auflagepunkte.

5

Fig 4 zeigt den Aktor von Figur 2, welcher an einem Trägerteil 41 festlegbar ausgebildet ist und, am Aktionsteil 34 zwischen den Lagerstellen 39,39' (Fig 3), eine Anschlussglied 40 für zb einen Probenhalter 11 aufweist.

10 Durch Zusammenschaltung der Aktoren von Fig 2 und 4, zB in einem gemeinsamen Gehäuse, wie schematisch in Fig 1 dargestellt, ergibt sich ein Antrieb in vier Freiheitsgraden, welcher ein euzentrisches Kippen eines Probengebiets 12' erlaubt.

15 Generell vorteilhaft ist, wenn alle sich bewegenden Elemente des Goniometers statisch bestimmt gelagert sind, da dann Fertigungsungenauigkeiten nicht zu Fehlern im Bewegungsablauf führen.

Bei einem nicht näher dargestellten Ausführungsbeispiel liegen der Aktor für  
20 Rotation und/oder der Aktor für x-Translation im atmosphärischen Bereich, die andern Aktoren im Vakuumbereich des Elektronenmikroskops. Dadurch vereinfacht sich die Uebertragung der Bewegung in den Vakuumbereich, mit der Folge, dass sich die Fehler in der euzentrischen Rotation verkleinern und die Bedienung wesentlich erleichtern.

25

In den Figuren ist die Erfindung anhand von sich betriebsfähig deformierenden Piezoelementen dargestellt. An deren Stelle können auch ferroelektrische Keramiken oder weitere sich betriebsfähig verformende Materialien Verwendung finden. Auch sind Kombinationen von Materialien möglich, je nach dem ob diese  
30 ein Scher- oder ein Längen- oder Dickenänderungsverhalten etc. zeigen.

Wesentlich ist, dass schon ein sich betriebsfähig im Sinn der vorliegenden Erfindung deformierender Aktor eine raumsparende Konstruktion des Goniometers derart erlaubt, dass dieses im Vakuumteil angeordnet werden kann und euzentrisches Kippen bzw Rotation erlaubt.

5

10

15

20

25

30

35

## Patentansprüche

- 5 1. Goniometer für ein Elektronenmikroskop, gekennzeichnet durch mindestens einen sich betriebsfähig durch Spannung und/oder Stromfluss deformierenden, vorzugsweise piezoelektrische und/oder ferroelektrische Keramiken aufweisenden Aktor (20,21,55) für die Lageänderung des Probenträgers (11).
- 10 2. Goniometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein sich betriebsfähig deformierender Aktor (20,21,55) im Vakuumbereich des Goniometers (10) angeordnet ist.
- 15 3. Goniometer nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwei ein sich betriebsfähig deformierende Aktoren (20,21) für im wesentlichen translatorische Verschiebung des Probenträgers in zwei Freiheitsgraden im Vakuumbereich des Goniometers (10) angeordnet sind
- 20 4. Goniometer nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein ein sich betriebsfähig deformierender Aktor(20,55) für Rotation des Probenträgers (11) im Vakuumbereich des Goniometers(10) angeordnet ist.
- 25 5. Goniometer für ein Elektronenmikroskop, dadurch gekennzeichnet, dass es Im Vakuumbereich des Elektronenmikroskop anordbar ist.
- 30 6. Goniometer nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass es sich betriebsfähig deformierende vorzugsweise piezoelektrische und/oder ferroelektrische Keramiken aufweisenden Aktoren (20,21,55) für die Lageänderung des Probenträgers (11) aufweist.

7. Goniometer nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein sich betriebsfähig deformierender Aktor für Rotation (20,55) und mindestens ein sich betriebsfähig deformierender Aktor (20,21) für im wesentlichen translatorische Verschiebung des Probenträgers (11) vorgesehen sind und  
5 dass der mindestens eine Aktor (20,21) für translatorische Verschiebung zwischen dem Aktor für Rotation (20,55) und dem Probenträger (11) angeordnet ist.
8. Goniometer nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor für Rotation (20,55) einen ringförmigen Basisteil (50) mit einer koaxial zu diesem angeordneten Nabe (53) aufweist, welche über speichenförmig verlaufende, vorzugsweise mit Piezoelementen (52) versehene Trägerelemente mit dem Basisteil (50) verbunden ist, wobei  
10 in der Nabe (53) ein gegenüber dieser verdrehbares Aktionsteil (54) reibschlüssig gelagert ist.
9. Goniometer nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass ein Aktor (30) für translatorische Verschiebung in zwei Freiheitsgraden zwischen einem Basisteil (31) und einem Aktionsteil (34)  
20 angeordnete vorzugsweise aus Piezokristallen bestehende Elemente (32) aufweist, welche in mindestens drei miteinander zusammenwirkenden Paketen von je zwei aneinandergrenzenden, in verschiedenen, vorbestimmten Richtungen wirkenden Scher-Elementen (32,36) angeordnet sind und reibschlüssig mit einem zylindrisch ausgebildeten Aktionsteil (34) verbunden sind.
- 25
10. Goniometer nach den Ansprüchen 6, 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktionsteil (34,54) des Aktors für Rotation mit dem Basisteil (31,50) des Aktors für translatorische Verschiebung und der Aktionsteil des letztern mit dem Probenträger (11) verbunden ist.
- 30

11. Aktor für ein Goniometer (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 10.

5 12. Elektronenmikroskop mit einem Goniometer (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 11.

10

15

20

25

Fig. 1

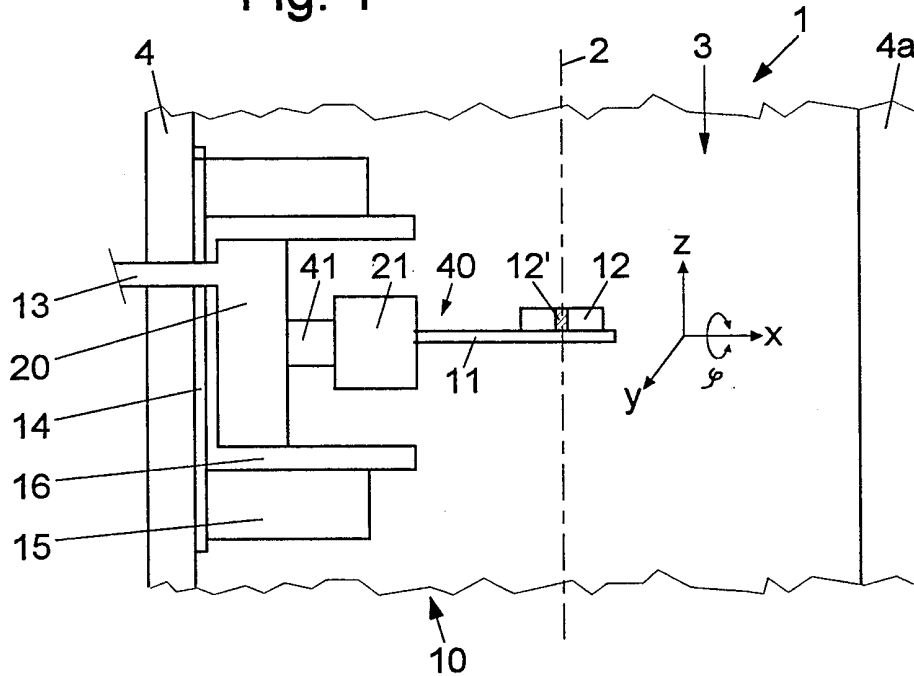


Fig. 2

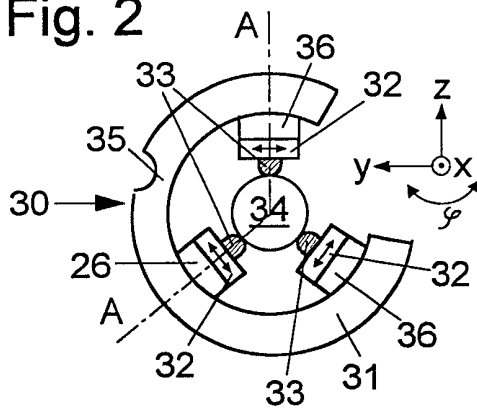


Fig. 4

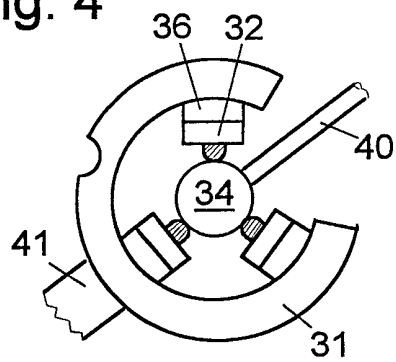
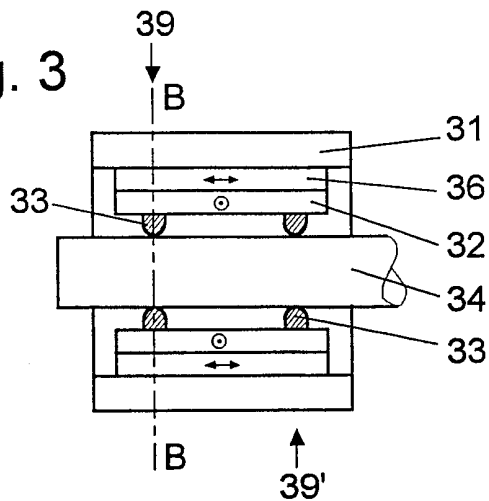


Fig. 3



ERSATZBLATT (REGEL 26)