



(10) **DE 11 2011 106 139 B3** 2018.10.11

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **11 2011 106 139.0**

(22) Anmeldetag: **02.11.2011**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.10.2018**

(51) Int Cl.: **H01J 37/20 (2006.01)**

H01J 37/16 (2006.01)

H01J 37/30 (2006.01)

H01J 37/305 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:

2010-248022 05.11.2010 JP

(62) Teilung aus:

11 2011 103 677.9

(73) Patentinhaber:

Hitachi High-Technologies Corporation, Tokyo, JP

(74) Vertreter:

**Strehl Schübel-Hopf & Partner mbB
Patentanwälte European Patent Attorneys, 80538
München, DE**

(72) Erfinder:

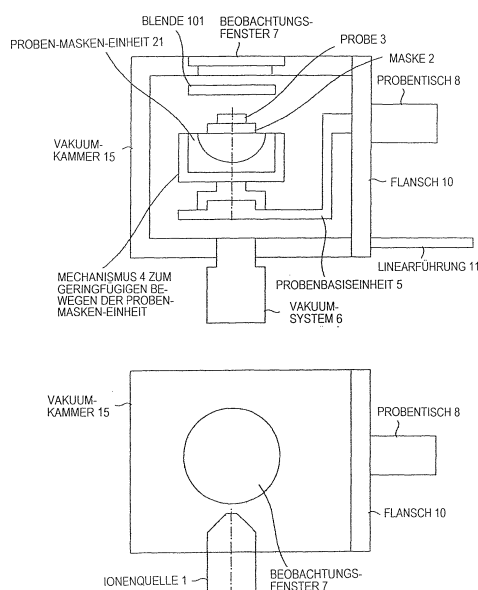
**Kamino, Atsushi, Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP;
Kaneko, Asako, Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP;
Iwaya, Toru, Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP; Muto,
Hirobumi, Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP; Takasu,
Hisayuki, Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	691 28 994	T2
US	2005 / 0 118 065	A1
US	2005 / 0 236 587	A1
US	2007 / 0 125 958	A1
US	2007 / 0 227 879	A1
US	2008 / 0 202 920	A1
JP	H10- 188 873	A

(54) Bezeichnung: **Ionenätzvorrichtung**

(57) Hauptanspruch: Ionenätzvorrichtung zur Querschnittsbearbeitung einer Probe (3) in einem Bearbeitungsmodus und zur Bearbeitung einer flachen Oberfläche der Probe in einem anderem Bearbeitungsmodus, umfassend: eine Ionenquelle (1) an einer Vakuumkammer (15) zum Bestrahlen der Probe (3) mit einem Ionenstrahl; einen Kipptisch (8) als Probentisch mit einer Kippachse in einer Richtung senkrecht zu der Einstrahlungsrichtung des Ionenstrahls, der von der Ionenquelle emittiert wird, einen Rotor (9) am Kipptisch mit einer Drehkip pachse, die senkrecht zur Kippachse verläuft; eine Beobachtungsöffnung (7) in einer Wandfläche der Vakuumkammer in einer Richtung, die senkrecht auf der Ebene steht, die von der Kippachse und dem Einstrahlungsweg des Ionenstrahls aufgespannt wird; und einen Mechanismus zum Bewegen der Ionenquelle oder des Kipptisches in der Einstrahlungsrichtung des Ionenstrahls; wobei der Bearbeitungsmodus der Vorrichtung in Abhängigkeit vom Abstand zwischen der Ionenstrahlquelle und der Probe auf dem Kipptisch umgeschaltet wird.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Ionenätzvorrichtung und ein Ionenätzverfahren zum Herstellen einer Probe, die mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) oder einem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) und dergleichen betrachtet werden soll.

Stand der Technik

[0002] Eine Ionenätzvorrichtung ist eine Vorrichtung zum Polieren der Oberfläche oder des Querschnitts einer Probe aus Metall, Glas oder Keramik und dergleichen durch Bestrahlen der Oberfläche oder des Querschnitts mit einem Argonionenstrahl und wird gern für die Vorbereitung zum Betrachten der Oberfläche oder des Querschnitts der Probe mit einem Elektronenmikroskop verwendet.

[0003] Bei der herkömmlichen Betrachtung des Querschnitts durch eine Probe mit einem Elektronenmikroskop wird zuerst die Umgebung des zu betrachtenden Abschnitts zum Beispiel mit einem Diamantschneider, einer Säge und dergleichen ausgeschnitten. Nach einem mechanischen Polieren der Schnittfläche wird die Probe dann auf dem Probentisch eines Elektronenmikroskops angeordnet und das Bild der Schnittfläche betrachtet.

[0004] Beim mechanischen Polieren tritt das Problem auf, daß, wenn eine weiche Probe aus etwa einem Polymermaterial oder Aluminium poliert wird, die zu betrachtende Oberfläche durch die Schleifmittelpartikel zerquetscht oder tief verkratzt wird. Beim mechanischen Polieren tritt außerdem das Problem auf, dass es schwierig ist, eine harte Probe aus zum Beispiel Glas oder Keramik zu polieren. Darüber hinaus ist es extrem schwierig, die Schnittfläche eines Verbundmaterials zu bearbeiten, bei dem ein weiches Material und ein hartes Material übereinanderliegen.

[0005] Demgegenüber hat das Ionenätzen den Vorteil, dass auch eine weiche Probe ohne Zerstörung des Oberflächenprofils bearbeitet werden kann, dass harte Proben und Verbundmaterial poliert werden können und dass leicht eine spiegelnde Schnittfläche erhalten werden kann.

[0006] Die Patent-Druckschrift 1 beschreibt eine Vorrichtung zum Herstellen einer Probe mit einer Einrichtung zum Bestrahlen mit einem Ionenstrahl, die in einer Vakuumkammer angeordnet ist und die eine Probe mit einem Ionenstrahl bestrahlen kann; mit einem Kipptisch in der Vakuumkammer mit einer Kippachse, die im Wesentlichen in einer Richtung senkrecht zum Ionenstrahl verläuft; mit einem Probenhalter auf dem Kipptisch zum Festhalten der Probe; und

mit einem Abschirmelement, das am Kipptisch angeordnet ist und das beim Bestrahlen der Probe einen Teil des Ionenstrahls abschirmt, wobei die Vorrichtung zum Herstellen einer Probe dafür vorgesehen ist, dass die Probe mit dem Ionenstrahl bearbeitet wird, während sich der Kippwinkel des Kipptisches ändert.

[0007] Die Patent-Druckschrift 2 beschreibt eine Ionenätzvorrichtung mit auf einem Kipptisch angeordneter Probenhalterung. Dreh- und kippbare Haltetische bei Ionenstrahlvorrichtungen werden zudem in der Patent-Druckschrift 3 beschrieben.

[0008] Weitere mit der vorliegenden Erfindung in Beziehung stehende Vorrichtungen und Verfahren zum Ionenätzen sind in den Druckschriften 4 bis 8 beschrieben.

Liste der zitierten Druckschriften

Patent-Druckschriften

Patent-Druckschrift 1: JP 2005 / 091 094 A

Patent-Druckschrift 2: US 2008/0202920 A1

Patent-Druckschrift 3: US 2007/0125958 A1

Patent-Druckschrift 4: US 2005/0118065 A1

Patent-Druckschrift 5: US 2005/0236587 A1

Patent-Druckschrift 6: DE 691 28 994 T2

Patent-Druckschrift 7: JP H10 - 188 873 A

Patent-Druckschrift 8: US 2007/0227879 A1

Zusammenfassende Darstellung der Erfindung

Technisches Problem

[0009] Die in der Patent-Druckschrift 1 beschriebene Vorrichtung zum Herstellen einer Probe ist eine Ionenätzvorrichtung für die Bearbeitung von Querschnitten (zum Ätzen von Querschnitten). Es gibt auch Ionenätzvorrichtungen zum Bearbeiten von flachen Oberflächen, bei denen die Oberfläche einer Probe bearbeitet wird, während sich die Probe dreht. Obwohl dabei immer die Proben durch Bestrahlen der Proben mit einem Ionenstrahl auf die obige Weise bearbeitet werden, müssen diese Vorrichtungen wegen der unterschiedlichen Bewegungen der Probe beim Einstrahlen des Ionenstrahls einzeln verwendet werden.

[0010] Im Folgenden wird eine Ionenätzvorrichtung beschrieben, bei der sowohl die Querschnittsbearbeitung als auch die Bearbeitung einer flachen Oberfläche in der gleichen Vakuumkammer ausgeführt werden, während zudem für eine geeignete Beobachtungsmöglichkeit ins Kammerinnere gesorgt ist.

Lösung des Problems

[0011] Unter einem Aspekt wird zum Lösen der obigen Aufgabe die in Patentanspruch 1 definierte Ionenätzvorrichtung vorgeschlagen. Weitere bevorzugte Merkmale finden sich in den abhängigen Patentansprüchen.

Vorteile der Erfindung

[0012] Mit dem obigen Aufbau können mit einer einzigen Vorrichtung sowohl Querschnitte als auch flache Oberflächen bearbeitet werden, während das Kammerinnere durch das Beobachtungsfenster beobachtet werden kann.

[0013] Andere Ziele, Eigenschaften und Vorteile der vorliegenden Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezug auf die beiliegenden Zeichnungen hervor.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht des Aufbaus einer Ionenätzvorrichtung.

Fig. 2 ist eine schematische Ansicht des Aufbaus einer Proben-Masken-Einheit.

Fig. 3 ist eine Ansicht eines anderen Beispiels für die Proben-Masken-Einheit.

Fig. 4 ist eine Ansicht zur Erläuterung eines Verfahrens zum Anordnen des Querschnitts einer Probe und einer Maske parallel zueinander.

Fig. 5 zeigt einen Zustand, bei dem eine Probenbasiseinheit herausgezogen ist und ein Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit, an dem die Proben-Masken-Einheit angeordnet ist, abgenommen ist.

Fig. 6 zeigt, wie der Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit daran an einem separat vorgesehen optischen Mikroskop angebracht wird.

Fig. 7 zeigt den Zustand, wenn der Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit daran an dem optischen Mikroskop angebracht ist.

Fig. 8 ist eine Ansicht zur Erläuterung eines Verfahrens zum Ausrichten des Mittelpunkts eines Argonionenstrahls auf den Abschnitt einer Probe, der einem Querschnittpolieren unterzogen werden soll.

Fig. 9 ist eine Ansicht zur Erläuterung eines Verfahrens zum Polieren des Querschnitts einer Probe durch Ionenätzen.

Fig. 10 ist eine schematische Ansicht des Aufbaus der Ionenätzvorrichtung.

Fig. 11 ist eine Ansicht des Aufbaus des Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit daran und der Probenbasiseinheit.

Fig. 12 ist eine Ansicht des Aufbaus des Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit daran und der Probenbasiseinheit mit einer Wellenkupplung.

Fig. 13 zeigt, wie der Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit daran an einem separat vorgesehen optischen Mikroskop angebracht wird.

Fig. 14 ist eine Ansicht des Aufbaus eines Dreh- und Kippmechanismus und eines Mittelpunktverschiebungsmechanismus.

Fig. 15 ist eine Ansicht des Aufbaus eines Dreh- und Kippmechanismus und eines Mittelpunktverschiebungsmechanismus mit einer Wellenkupplung.

Fig. 16 ist eine Ansicht des Aufbaus einer Probenoberflächeneinheit und der Probenbasiseinheit.

Fig. 17 ist eine schematische Ansicht des Aufbaus einer Ionenätzvorrichtung, an der ein optisches Mikroskop angebracht ist.

Fig. 18 ist eine schematische Ansicht des Aufbaus einer Ionenätzvorrichtung, an der ein Elektronenmikroskop angebracht ist.

Fig. 19 ist eine Ansicht zur Erläuterung der Beziehung zwischen der Linie des Ionenstrahls und der Drehkippachse des Drehkippmechanismus beim Bearbeiten eines Querschnitts.

Fig. 20 ist eine Ansicht zur Erläuterung der Beziehung zwischen der Linie des Ionenstrahls und der Drehkippachse des Drehkippmechanismus beim Bearbeiten einer flachen Oberfläche.

Fig. 21 zeigt einen Überblick über ein Bedienfeld der Ionenätzvorrichtung.

Fig. 22 ist eine Ansicht zur Erläuterung eines Überblicks über eine Steuervorrichtung der Ionenätzvorrichtung.

Fig. 23 ist ein Flußdiagramm für den Prozeß zum Festlegen des Bearbeitungsmodus und der Bearbeitungsbedingungen.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0014] Bei einer Querschnittätzvorrichtung (einer Vorrichtung zum Ausbilden einer glatten Oberfläche an einer Probe durch Bearbeiten der Probe über ei-

ne Maske) sind ein Probenstisch und eine Einheit zum Festhalten der Probe auf der gleichen Drehkippachse angeordnet (was heißt, daß sie die gleichen Bewegungen ausführen). Aus diesem Grund ist in der Axialrichtung des Probenstisches ein Beobachtungsfenster angeordnet. Wenn sich der Probenstisch an der Vorderseite der Vorrichtung befindet, befindet sich somit das Beobachtungsfenster an der Vorderseite oder der Rückseite der Vorrichtung, wodurch es schwierig wird, eine Beobachtungsanordnung (ein Mikroskop) anzuordnen und zu betreiben. Außerdem kann nicht einfach dadurch eine Bearbeitung einer flachen Oberfläche (zum Glätten einer Oberfläche, die senkrecht zur Achse des Ionenstrahls liegt (was heißt, daß der Kippwinkel des Probenstisches 90 Grad beträgt)) erfolgen, daß der Drehkippmechanismus der Querschnittsachse durch einen Drehmechanismus ersetzt wird; entsprechend sind Ätzvorrichtungen für sowohl die Querschnittsbearbeitung als auch die Bearbeitung einer flachen Oberfläche erforderlich.

[0015] Mit der vorliegenden Ausführungsform wird eine Ionenätzvorrichtung beschrieben, die dadurch charakterisiert ist, daß sie die Betrachtung der Fläche ermöglicht, die hauptsächlich durch Ätzen bearbeitet wurde, wobei sowohl ein Querschnitt als auch eine flache Oberfläche bearbeitet werden können.

[0016] Mit der vorliegenden Ausführungsform wird als Beispiel für die Ionenätzvorrichtung eine Ionenätzvorrichtung beschrieben, die umfaßt: eine Ionenstrahlquelle an einer Vakuumkammer zum Bestrahlen einer Probe mit einem Ionenstrahl; eine Proben-Masken-Einheit mit einem Probenhalter zum Befestigen der Probe, einer Maske (ein Abschirmelement) zum Abschirmen eines Teils der am Probenhalter befestigten Probe, einem Probenrotationsmechanismus zum Drehen des Probenhalters und mit einer Einstelleinheit für die Maskenposition zum Einstellen der Abschirmpositionsbeziehung zwischen der Maske und der Probe; einen Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit, mit der die Proben-Masken-Einheit senkrecht zum Ionenstrahl entlang der X-Achse und der Y-Achse bewegt werden kann; eine Probenbasiseinheit zum Anordnen des Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit in der Vakuumkammer; und ein optisches Mikroskop zum Beobachten der Abschirmpositionsbeziehung zwischen der Maske und der Probe, wobei die Ionenätzvorrichtung dadurch charakterisiert ist, daß der Befestigungsabschnitt der Proben-Masken-Einheit oder des Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit, der an der Probenbasiseinheit befestigt wird, sich an einem hinteren Abschnitt der Proben-Masken-Einheit oder des Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit befindet, daß an der Probenbasiseinheit ein sich drehender Abschnitt vorgesehen ist, daß der Proben-

tisch, die Ionenstrahlquelle und das Beobachtungsfenster jeweils an der Vorderseite, der rechten oder linken Seitenfläche bzw. der Oberseite der Vakuumkammer angeordnet sind, und daß zwischen der Probe und dem Beobachtungsfenster eine Blende vorgesehen ist.

[0017] Außerdem ist die Ionenätzvorrichtung dadurch charakterisiert, daß der Dreh- und Kippmechanismus für die Probe eine Drehfunktion umfaßt, daß die Ionenätzvorrichtung einen Kippmechanismus mit einer Kippachse in einer zur Drehachse der Probe senkrechten Richtung umfaßt, und daß ein Mittelpunktverschiebungsmechanismus für die Achse des Ionenstrahls und die Drehachse der Probe (für den Fall, daß der Kippwinkel des Tisches 90 Grad beträgt) vorgesehen ist.

[0018] Mit diesem Aufbau können die Flächen betrachtet werden, die durch Ätzen bearbeitet werden, wobei sowohl ein Querschnitt als auch eine flache Oberfläche bearbeitet werden können.

[0019] Im folgenden wird die Ausführungsform anhand der Zeichnungen erläutert.

[0020] Bei der vorliegenden Ausführungsform ist die Ionenätzvorrichtung beispielhaft mit einer Ionenquelle für die Einstrahlung eines Argonionenstrahls versehen. Der Ionenstrahl muß jedoch kein Argonionenstrahl sein, es sind verschiedene Arten von Ionenstrahlen möglich.

[0021] Die **Fig. 1** zeigt den Aufbau der Ionenätzvorrichtung. An der Oberseite bzw. der Vorderseite einer Vakuumkammer **15** sind eine Ionenquelle **1** und ein Probenstisch **8** angebracht.

[0022] An einer Probenbasiseinheit **5** ist ein Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen einer Proben-Masken-Einheit angebracht. Die Anbringung ist derart, daß die Unterseite (die Seite, die der mit dem Ionenstrahl bestrahlten Maskenseite gegenüberliegt) des Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit und die Oberseite der Probenbasiseinheit **5** miteinander in Kontakt stehen und zusammengeschraubt sind. Die Probenbasiseinheit **5** kann bezüglich der optischen Achse des Ionenstrahls drehbar und in jedem Winkel kippbar. Die Drehrichtung und der Kippwinkel und die Verkippung der Probenbasiseinheit **5** werden mit dem Probenstisch **8** gesteuert. Durch das Drehen und Kippen des Probenstisches **8** kann eine am Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit angebrachte Probe **3** in einem vorgegebenen Winkel zur optischen Achse des Ionenstrahls angeordnet werden. Dabei befinden sich die Drehkippachse des Probenstisches **8** und die Oberseite der Probe (die Unterseite der Maske) auf der gleichen Höhe, wodurch wirkungsvoll eine glatte Bearbeitungsebene

ausgebildet wird. Der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit kann senkrecht zur optischen Achse des Ionenstrahls nach vorne, hinten, links und rechts bewegt werden, das heißt er kann in der X-Richtung und der Y-Richtung bewegt werden.

[0023] Die Probenbasiseinheit **5** ist mittels des Probenbentisches **8** (des Drehmechanismus) an einem Flansch **10** angebracht, der Teil der Wand der Vakuumkammer **15** ist. Die Probenbasiseinheit **5** ist dafür vorgesehen, aus der Vakuumkammer herausgezogen zu werden, wenn die Vakuumkammer **15** geöffnet ist und unter Atmosphärendruck steht, wobei der Flansch **10** längs einer Linearführung **11** herausgezogen wird. Auf diese Weise wird ein Probenbentisch-Herausziehmechanismus ausgebildet.

[0024] Anhand der **Fig. 2** wird der Hauptkörper der Proben-Masken-Einheit **21** beschrieben. Teil (a) und Teil (b) der **Fig. 2** zeigen eine Aufsicht bzw. eine Seitenansicht. Der aus einem Stück bestehende Hauptkörper der Proben-Masken-Einheit **21** umfaßt zumindest einen Probenhalter **23**, den Drehmechanismus für den Probenhalter **23**, eine Maske **2** und einen Feineinstellmechanismus für die Maske **2**. In der **Fig. 2** umfaßt der Drehmechanismus für den Probenhalter **23** einen Drehring **22** und eine Drehschraube **28**, so daß der Probenhalter bezüglich der optischen Achse des Ionenstrahlvertikal drehbar ist. Der Drehring **22** wird durch Drehen der Drehschraube **28** gedreht und durch den Federdruck einer Feder **29** zurückgedreht.

[0025] Die Proben-Masken-Einheit **21** weist einen Mechanismus zum Feineinstellen der Position und des Drehwinkels der Maske auf und kann auf den Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit aufgesetzt und davon abgenommen werden. Bei der vorliegenden Ausführungsform bestehen die Proben-Masken-Einheit **21** und der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit aus zwei Komponenten, sie können jedoch auch als eine einzige Komponente ausgebildet werden (bei der vorliegenden Ausführungsform werden die Proben-Masken-Einheit und der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit zum leichteren Verständnis getrennt beschrieben).

[0026] Die Maske **2** ist mit einer Maskenbefestigungsschraube **27** am Maskenhalter **25** befestigt. Der Maskenhalter **25** wird durch Betätigen eines Masken-Feineinstellmechanismus **26** (das heißt einer Maskenpositionseinstelleinheit) derart eine Linearführung **24** entlang bewegt, daß die Positionen der Probe **3** und der Maske **2** genau eingestellt sind. Der Probenhalter **23** wird von unten in den Drehring **22** eingesetzt und daran befestigt. Die Probe **3** ist am Probenhalter **23** befestigt. Die Position des Proben-

halters **23** in der Höhenrichtung wird mit einem Steuermechanismus **30** für die Probenhalterposition eingestellt, wodurch der Probenhalter **23** in engen Kontakt mit der Maske **2** gebracht wird.

[0027] Die **Fig. 3** zeigt ein anderes Beispiel für die Proben-Masken-Einheit **21**. Bei diesem Beispiel wird ein metallenes Probenhalterbefestigungsteil **35** verwendet. Der übrige Aufbau ist im wesentlichen der gleiche wie bei dem in der **Fig. 2** gezeigten Beispiel. Teil (a) der **Fig. 3** zeigt den Zustand, wenn der Probenhalter **23**, an dem die Probe **3** befestigt ist, in der Proben-Masken-Einheit **21** angeordnet ist, während Teil (b) der **Fig. 3** den Zustand zeigt, wenn der Probenhalter **23**, an dem die Probe **3** befestigt ist, von der Proben-Masken-Einheit **21** entfernt wurde.

[0028] Die **Fig. 4** ist eine Darstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zum Anordnen des Querschnitts der Probe und der Maske parallel zueinander. Die Probenhalter-Drehschraube **28** wird gedreht, um eine Positionseinstellung in der Richtung X1 durchzuführen, woraufhin unter dem Mikroskop, das später noch beschrieben wird, eine Feineinstellung erfolgt, um den Querschnitt der Probe **3** und die Kante der Maske **2** parallel zueinander auszurichten. Dabei erfolgt die Einstellung durch Drehen des Masken-Feineinstellmechanismus **26** so, daß der Querschnitt der Probe **3** leicht vorsteht, zum Beispiel um etwa 50 µm über die Maske vorsteht.

[0029] Die **Fig. 5** zeigt den Aufbau eines Mechanismus **60** zum Herausziehen des Probenbentisches. Der Probenbentisch-Herausziehmechanismus **60** umfaßt die Linearführung **11** und den Flansch **10**, der fest an der Linearführung **11** angebracht ist. Die Probenbasiseinheit **5**, die fest am Probenbentisch am Flansch **10** angebracht ist, wird längs der Linearführung **11** aus der Vakuumkammer **15** gezogen. Bei diesem Vorgang befindet sich der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** daran auf der Probenbasiseinheit **5**, mit anderen Worten werden die Maske **2**, der Probenhalter **23** und die Probe **3** zusammen als eine Einheit aus der Vakuumkammer **15** herausgezogen.

[0030] Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** daran abnehmbar an der Probenbasiseinheit **5** angebracht. Entsprechend kann, wenn der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** daran aus der Vakuumkammer **15** herausgezogen wurde, der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** daran von der Probenbasiseinheit **5** abgenommen werden (Aufnahmebereitschaft der Proben-Masken-Einheit **21**).

[0031] Die **Fig. 5** zeigt den Zustand, wenn der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** daran abgenommen wurde. Das Abnehmen erfolgt manuell oder mit einem geeigneten Werkzeug.

[0032] Wie in der **Fig. 6** gezeigt, ist außerhalb der Vakuumkammer **15** und separat davon ein optisches Mikroskop **40** zum Betrachten der Abschirmpositionsbeziehung zwischen der Maske **2** und der Probe **3** vorgesehen, das in jede Position gebracht werden kann. Das optische Mikroskop **40** umfaßt wie bekannt eine Vergrößerungslinse **12** und einen Mechanismus **13** zum geringfügigen Bewegen der Vergrößerungslinse. Das optische Mikroskop **40** ist derart mit einem Befestigungstisch **42** auf einem Betrachtungstisch **41** versehen, daß der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** daran auf dem Befestigungstisch **42** angebracht werden kann. Der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** darauf wird in einer bestimmten Position auf dem Befestigungstisch **42** angebracht, die durch Positionsstifte und -löcher festgelegt wird.

[0033] Die **Fig. 7** zeigt den Zustand, wenn der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** darauf am Befestigungstisch **42** angebracht ist.

[0034] Die **Fig. 8** ist eine Darstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zum Ausrichten des Teils der Probe **3**, der einem Querschnittpolieren unterzogen werden soll, zum Mittelpunkt des Ionenstrahls. Eine am Probenhalter **23** angebrachte Markierung, die durch Einstrahlen des Ionenstrahls auf lichtempfindliches Papier und dergleichen erzeugt wurde, das heißt der Mittelpunkt des Strahls und der Mittelpunkt der Vergrößerungslinse werden dadurch zueinander ausgerichtet, daß die Vergrößerungslinse mit dem Mechanismus **13** zum geringfügigen Bewegen der Vergrößerungslinse in der X2-Richtung und der Y2-Richtung bewegt wird. Auf dem Befestigungstisch **42** befindet sich der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit dem Hauptkörper der Proben-Masken-Einheit **21** darauf, an dem die Probe **3** wie in der **Fig. 3** gezeigt angebracht ist. Die Position des Befestigungstisches **42** in der X3- und der Y3-Richtung wird so eingestellt, daß sie zum Mittelpunkt der Vergrößerungslinse ausgerichtet ist, wodurch der Mittelpunkt des Ionenstrahls mit dem Teil der Probe ausgerichtet wird, der der Querschnittpolitur unterworfen werden soll.

[0035] Wie beschrieben befindet sich bei der Einstellung der Abschirmpositionsbeziehung zwischen der Maske **2** und der Probe **3** der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** darauf nicht auf

der Probenbasiseinheit **5**, sondern auf dem Befestigungstisch **42** des optischen Mikroskops **40**, und die Abschirmpositionsbeziehung zwischen der Maske **2** und der Probe **3** wird mit der Maskenpositions-Einstelleinheit (dem Masken-Feineinstellmechanismus) eingestellt.

[0036] Die **Fig. 9** ist eine Darstellung zur Erläuterung eines Verfahrens zum Ausführen einer Spiegelglanzpolitur am Querschnitt der Probe **3** mit dem Ionenstrahl. Beim Bestrahlen der Probe **3** mit einem Argonionenstrahl wird der Teil der Probe **3** entfernt, der längs der Maske **2** in der Tiefenrichtung nicht von der Maske **2** abgedeckt wird, wobei die Oberfläche des Querschnitts an der Probe **3** spiegelnd poliert wird.

[0037] Der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** und der Maske **2** darauf, bei der die Abschirmpositionsbeziehung relativ zur Probe eingestellt wurde, wird dann zum Ionenätzen wieder an der Probenbasiseinheit **5** angebracht.

[0038] Bei dem beschriebenen Ionenätzverfahren wird somit zum Einstellen der Abschirmpositionsbeziehung zwischen der Maske **2** und der Probe **3** der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** darauf von der Probenbasiseinheit **5** abgenommen und auf dem Befestigungstisch **42** des optischen Mikroskops **40** angeordnet. Daraufhin wird die Abschirmpositionsbeziehung der Maske relativ zur Probe **3** eingestellt. Der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** und der Maske **2** darauf, bei der die Abschirmpositionsbeziehung relativ zur Probe eingestellt wurde, wird dann zum Ionenätzen wieder zur Vakuumkammer **15** zurückgebracht und an der Probenbasiseinheit **5** angeordnet.

[0039] Mit der Ionenätzvorrichtung der **Fig. 1** kann eine Querschnittbearbeitung erfolgen, aber keine Bearbeitung einer flachen Oberfläche. Aus diesem Grund wird mit der vorliegenden Ausführungsform eine Ionenätzvorrichtung beschrieben, die beide Bearbeitungen ausführen kann.

[0040] Die **Fig. 10** zeigt den Aufbau einer Ionenätzvorrichtung, mit der sowohl eine Querschnittbearbeitung als auch eine Bearbeitung einer flachen Oberfläche erfolgen können. An der Oberseite, der linken Seitenfläche (alternativ der rechten Seitenfläche) und der Vorderseite einer Vakuumkammer **15** sind jeweils ein Beobachtungsfenster **7**, eine Ionenquelle bzw. ein Probestisch angebracht. Zwischen der Probe und dem Beobachtungsfenster **7** ist eine Blende **101** angeordnet. Die Blende **101** verhindert, daß sich abgesputterte Teilchen auf dem Beobachtungsfenster **7** niederschlagen. Die Vakuumkammer **15** hat im wesentlichen die Form eines Kastens oder eine

ähnliche Form und umgibt einen Raum, in dem eine Vakuumatmosphäre ausgebildet wird. Das Beobachtungsfenster ist über dem Kasten angeordnet (in einer Umgebung mit Schwerkraft der dem Gravitationsfeld entgegengesetzten Richtung), während die Ionenquelle an einer Seitenwand angebracht ist (an einer Wandfläche, die an die Oberseite des Kastens angrenzt, und in einer zur Richtung der Schwerkraft senkrechten Richtung). Mit anderen Worten ist das Beobachtungsfenster an einer Wandfläche der Vakuumkammer senkrecht zu der Ebene angebracht, die die Kippachse des Probentisches und den Einstrahlweg des Ionenstrahls enthält. Statt einem vakuumdichten Fenster kann in der Öffnung für das Beobachtungsfenster auch ein optisches Mikroskop oder ein Elektronenmikroskop angebracht werden, wie es später noch beschrieben wird.

[0041] Die Probenbasiseinheit **5** ist mit einem Rotor **9** versehen, an dem ein Probenhalteelement (ein Element für die Aufnahme einer Probe einschließlich dem Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit) angebracht werden kann. Der Rotor **9** dient als Haltetisch für das Probenhalteelement. Wie in der **Fig. 11** gezeigt, umfaßt die Probenbasiseinheit **5** den Rotor **9**, Zahnräder **50** und Lager **51**. Wie in der **Fig. 11** gezeigt, enthält der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit an seiner Rückseite einen Maskeneinheit-Befestigungsabschnitt **52** (mit einer Schraube). Beim Anbringen des Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit an der Probenbasiseinheit **5** wird eine Befestigungsfläche (die Rückseite) des Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Oberseite des Rotors **9** der Probenbasiseinheit **5** in Kontakt gebracht und mittels des Maskeneinheit-Befestigungsabschnitts **52** zusammengeschraubt. Die Probenbasiseinheit **5** wird nicht gedreht oder gekippt, und erst der Rotor **9** an der Probenbasiseinheit **5** ermöglicht eine Drehung und eine Kippen unter jedem Winkel zur optischen Achse des Ionenstrahls, der von der Seite der Vakuumkammer **15** eingestrahlt wird. Die Richtung der Drehung und der Kippwinkel werden mit dem Probentisch **8** kontrolliert.

[0042] Das Verfahren zum Drehen und Kippen des Rotors **9** der Probenbasiseinheit **5** kann entweder das in der **Fig. 11** gezeigte Verfahren oder das in der **Fig. 12** gezeigte Verfahren mit der Verwendung einer Wellenkupplung sein. Durch das Drehen und Kippen des Rotors **9** der Probenbasiseinheit **5** wird die Probe **3** am Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit in einen vorgegebenen Winkel zur optischen Achse des Ionenstrahls gebracht. Dabei befinden sich die Drehachse des Rotors **9** der Probenbasiseinheit **5** und die Oberseite der Probe (die Unterseite der Maske) auf der gleichen Höhe, wodurch eine gute Bearbeitungsebene ausgebildet wird. Der Mechanismus **4** zum geringfügigen

Bewegen der Proben-Masken-Einheit kann außerdem in einer zur optischen Achse des Ionenstrahls senkrechten Richtung nach vorne, hinten, links und rechts bewegt werden, das heißt er kann in der X-Richtung und der Y-Richtung bewegt werden.

[0043] Die Anbringung am optischen Mikroskop **40**, das getrennt von der Vorrichtung vorgesehen ist, kann wie in der **Fig. 13** gezeigt mittels der Unterseite des Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit erfolgen, statt den Maskeneinheit-Befestigungsabschnitt **52** der Proben-Masken-Einheit **21** oder des Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit dazu zu verwenden, der für die Befestigung an der Probenbasiseinheit **5** vorgesehen ist.

[0044] Der sich von dem Beispiel der **Fig. 6** unterscheidende Punkt ist der, daß der Mechanismus **13** zum geringfügigen Bewegen der Vergrößerungslinse für das Einstellen des Mittelpunktes des Strahls und des Mittelpunktes der Vergrößerungslinse auf der Seite des Befestigungstisches **42** vorgesehen ist. Für den Mechanismus **13** zum geringfügigen Bewegen der Vergrößerungslinse kann entweder dieses Beispiel oder das Beispiel der **Fig. 6** verwendet werden. Die anderen Operationen werden auf die gleiche Weise wie bei dem Beispiel der **Fig. 6** ausgeführt.

[0045] Bei der Ionenätzvorrichtung der **Fig. 10** ist der Dreh- und Kippmechanismus für die Probe mit einer Drehfunktion versehen, während bei der Ionenätzvorrichtung der **Fig. 14** ein Kippmechanismus mit einer zur Achse des Ionenstrahls senkrechten Drehkippachse vorgesehen ist. Darüberhinaus ist ein Mittelpunktsverschiebungsmechanismus zum Verschieben der Achse des Ionenstrahls gegenüber der Drehachse des Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit bei einem Kippwinkel von 90 Grad vorgesehen, wie es in der **Fig. 14** gezeigt ist. Dabei kann wie in der **Fig. 15** gezeigt ein System mit einer Wellenkupplung verwendet werden. Falls vorhanden, muß die Wellenkupplung wie in der **Fig. 15** gezeigt in der Dreh- und Kippeinheit angeordnet werden, während der Mittelpunktsverschiebungsmechanismus im unteren Teil des Rotors der Probenbasiseinheit **5** angeordnet werden muß. Mit den Funktionen zum Drehen der Probe und des Bestimmens des Einfallswinkels und des Ausmaßes der Verschiebung des Mittelpunktes des Ionenstrahls wie in den **Fig. 14** und **Fig. 15** gezeigt kann mit der Ionenätzvorrichtung außer einer Querschnittsbearbeitung (das Ausbilden eines glatten Querschnitts an einer Probe mittels einer Maske) auch die Bearbeitung einer flachen Oberfläche erfolgen (eine Oberfläche bearbeitet werden, die senkrecht zur Achse des Ionenstrahls liegt (wenn der Kippwinkel des Probentisches 90 Grad beträgt)).

[0046] Da es in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit der Ionenquelle erforderlich sein kann, für die Querschnittbearbeitung und die Bearbeitung einer flachen Oberfläche den Abstand zwischen der Ionenquelle und der Probe zu verändern, ist ein Mechanismus zum Bewegen der Ionenquelle oder des Probenstisches in der Richtung der Achse des Ionenstrahls vorgesehen. Damit wird beim Ausführen der Querschnittbearbeitung und der Bearbeitung einer flachen Oberfläche der Abstand zwischen der Ionenquelle und der Probe in Abhängigkeit von der Ionenquelle eingestellt. Die Vorrichtung umfaßt damit eine Funktion zum Umschalten des Modus zwischen einem Querschnittbearbeitungsmodus und einem Bearbeitungsmodus für eine flache Oberfläche (zum Beispiel Drehen und Kippen oder nur Drehen), wobei aus der Position des Probenstisches mit der Probe oder der Position der Ionenquelle darauf geschlossen wird, ob eine Querschnittbearbeitung oder die Bearbeitung einer flachen Oberfläche erfolgt.

[0047] Es werden nun die Gründe dafür genauer beschrieben, wie zwei unterschiedliche Bearbeitungsarten möglich sind. Es wird somit im folgenden das Prinzip beschrieben, das es der Vorrichtung bei der Ausführungsform ermöglicht, sowohl die Querschnittbearbeitung als auch die Bearbeitung einer flachen Oberfläche auszuführen. Die **Fig. 19** zeigt die Beziehungen zwischen der Einstrahlungsrichtung des Ionenstrahls und der Drehachse oder Kippachse (im folgenden einfach als die Drehachse bezeichnet) des Drehmechanismus und des Kippmechanismus (im folgenden einfach als Drehmechanismus bezeichnet) bei der Querschnittbearbeitung. Die **Fig. 20** zeigt die Beziehungen zwischen der Einstrahlungsrichtung des Ionenstrahls und den einzelnen Drehachsen bei der Bearbeitung einer flachen Oberfläche.

[0048] In der **Fig. 19** ist die gestrichelt dargestellte Achse 1901 parallel zur strichpunktierten Achse im oberen Teil der **Fig. 10** und auch zum Beispiel parallel zur Drehachse des Rotors **9** in der **Fig. 11**. Die durch jeweils einen langen und zwei kurze Striche dargestellte Achse 1902 ist parallel zur Drehachse des Probenstisches **8**. Die strichpunktierte Achse 1903 bezeichnet die Einstrahlungsrichtung des Ionenstrahls, der von der Ionenquelle **1** abgegeben wird. Die Achse 1901 ist außerdem parallel zu der mit dem Ionenstrahl bestrahlten Oberfläche der Maske **2**.

[0049] Die Achsen 1901, 1902 und 1903 stehen senkrecht aufeinander. Im vorliegenden Fall ist die Achse 1901, die Achse 1902 und die Achse 1903 jeweils parallel zur z-Achse, zur y-Achse bzw. zur x-Achse.

[0050] Bei der Querschnittbearbeitung erfolgt ein Schwenken um die zur Achse 1901 parallele Drehachse als Drehzentrum, so daß längs des Wegs des Ionenstrahls am Querschnitt der Probe **3** keine Li-

nie ausgebildet wird. Dabei ist die Maskenoberfläche parallel zur Achse 1901. Beim Bearbeiten einer flachen Oberfläche wird die Probe 1904 dagegen wie in der **Fig. 20** gezeigt um einen vorgegebenen Winkel gekippt oder vom Probenstisch **8** in einem vorgegebenen Winkelbereich geschwenkt, und die Probe 1904 wird um eine zur Kippachse 1905 parallele Achse mit der Achse 1901 als Drehachse gedreht.

[0051] Wie beschrieben kann bei der Vorrichtung der vorliegenden Ausführungsform eine Drehung oder eine Drehung und Kippung sowie ein Schwenken um eine zweite Drehachse (die Achse 1901 oder die Achse 1905 (im Fall eines Schwenkvorgangs)) am Probenstisch mit einer ersten Drehachse (der zur Achse 1902 parallelen Achse) erfolgen. Insbesondere ist die in der **Fig. 10** dargestellte Vorrichtung dadurch charakterisiert, daß die Vorrichtung bei einem Querschnittätzen eine Schwenkung und beim Ätzen einer flachen Oberfläche eine Drehung oder Schwenkung mittels des Drehmechanismus am Probenstisch **8** ausführt und beim Ätzen einer flachen Oberfläche mittels des Drehmechanismus, der den Probenstisch **8** selbst kippt, eine Kippung ausführt. Die Achse 1905 bezeichnet den Drehmittelpunkt des Drehmechanismus der **Fig. 20**, bei der Bearbeitung einer flachen Oberfläche erfolgt jedoch eine Drehung, bei der der Mittelpunkt der Probe aus der Achse 1905 verschoben ist, um in einem weiten Bereich der Probe eine Bearbeitung der flachen Oberfläche auszuführen.

[0052] Die **Fig. 21** zeigt ein Beispiel für ein Bedienfeld zum Umschalten des Modus zwischen der Bearbeitung eines Querschnitts und der Bearbeitung einer flachen Oberfläche und zum Festlegen der Betriebsbedingungen für den Probenstisch und dergleichen. In einem Bearbeitungsmodus-Einstellabschnitt 2101 befinden sich Knöpfe zur Auswahl der Bearbeitung einer flachen Oberfläche (Flach) oder der Bearbeitung eines Querschnitts (Querschnitt), die die alternative Auswahl einer der beiden Möglichkeiten erlauben. Außerdem befinden sich in einem Einstellabschnitt 2102 für die Betriebsbedingungen des Probenstisches Knöpfe zur Auswahl des Kippbetriebs (Kippen) oder des Schwenkbetriebs (Schwenken), die die alternative Auswahl einer der beiden Möglichkeiten erlauben. Der Einstellabschnitt 2102 für die Betriebsbedingungen des Probenstisches ist darüberhinaus mit Einstellabschnitten zum Festlegen des Kippwinkels oder des Winkelbereichs für den Schwenkbetrieb (Winkel) und die periodische Geschwindigkeit (Geschwindigkeit) im Fall des Schwenkbetriebs versehen. Ein Einstellabschnitt 2103 für die Betriebsbedingungen des Drehtisches ist mit Einstellabschnitten zum Festlegen des Schwenkwinkels (Winkel) und der periodischen Geschwindigkeit (Geschwindigkeit) des Schwenkbetriebs des Drehtisches ausgerüstet.

[0053] Bei dem Bedienfeld der **Fig. 21** erfolgt die Auswahl eines Eingabefensters durch eine Auswahl-taste (Auswahl) und die Auswahl eines numerischen Wertes in den Einstellabschnitten, die die Eingabe eines numerischen Wertes erfordern, durch Tasten „Auf“ und „Ab“. Eine Eingabetaste (Eingabe) sorgt für die Registrierung eines derart ausgewählten numerischen Werts. Der Probestisch, auf den hier Bezug genommen wird, ist zum Beispiel der Probestisch **8** der **Fig. 10** und der Drehtisch zum Beispiel der Rotor **9** in der **Fig. 11**.

[0054] Die Querschnittbearbeitung erfordert ein Schwenken des Drehtisches, jedoch kein Schwenken des Probestisches. Aus diesem Grund ist eine Steuervorrichtung für die Ätzeinrichtung vorzugsweise so aufgebaut, daß die Auswahl der Querschnittbearbeitung (die Auswahl des Querschnittknopfes) eine Einstellung im Einstellabschnitt 2102 für die Betriebsbedingungen des Probestisches verhindert oder ungültig macht. Ein Kippen des Probestisches **8** bei der Querschnittbearbeitung kann zur Folge haben, daß ein für die Bearbeitung irrelevanter Abschnitt mit dem Ionenstrahl bestrahlt wird oder der Querschnitt der Probe schräg bearbeitet wird. Wenn die Querschnittbearbeitung ausgewählt wird und der Probestisch **8** gekippt ist, kann die Steuerung daher eine Bestrahlung mit dem Ionenstrahl verhindern oder eine Fehlermeldung ausgeben, die den Bediener auf diesen Zustand aufmerksam macht. Alternativ kann die Steuerung den Kippwinkel des Probestisches **8** in diesem Fall auch automatisch auf Null setzen.

[0055] Bei der Bearbeitung einer flachen Oberfläche wird dagegen der Probestisch **8** sowohl gekippt als auch gedreht oder geschwenkt, so daß Eingaben sowohl am Einstellabschnitt 2102 für die Betriebsbedingungen des Probestisches als auch am Einstellabschnitt 2103 für die Betriebsbedingungen des Drehtisches möglich sind.

[0056] Bei der Vorrichtung der vorliegenden Ausführungsform dient der Rotor **9** sowohl zum Schwenken bei der Querschnittbearbeitung als auch zum Drehen bei der Bearbeitung einer flachen Oberfläche, wodurch es möglich ist, die beiden unterschiedlichen Bearbeitungsarten mit einer einzigen Bearbeitungsvorrichtung auszuführen.

[0057] Bei der Vorrichtung der **Fig. 10** ist die Ionenquelle **1** auf der Seite der Vakuumkammer **15** angeordnet. Durch diesen Aufbau ist es möglich, den Probestisch zu stabilisieren, wenn die Kippstufe nicht gekippt ist (zum Beispiel bei der Querschnittbearbeitung). Das Ausführen der Querschnittbearbeitung bei nicht gekippter Kippstufe erfordert eine Einstrahlung des Ionenstrahls von der Seite, weshalb die Ionenquelle **1** auch an der Seite der Vakuumkammer **15** angeordnet ist. In Verbindung mit diesem Aufbau ist das Beobachtungsfenster zum Überprüfen des be-

arbeiteten Querschnitts an der Oberseite der Vakuumkammer **15** angeordnet. Mit diesem Aufbau ist es möglich, durch ein einziges Beobachtungsfenster bei der Querschnittbearbeitung den bearbeiteten Querschnitt zu prüfen und bei der Bearbeitung einer flachen Oberfläche die bearbeitete Oberfläche zu prüfen.

[0058] Die **Fig. 22** zeigt ein Beispiel für eine Steuervorrichtung für die Ionenätzvorrichtung der **Fig. 10**. Dem Bedienfeld der **Fig. 21** entspricht eine Umschalteinheit 2201, und die Informationen über die erfolgte Auswahl werden von der Umschalteinheit 2201 über ein Eingabeinterface 2205 in der Steuervorrichtung 2202 zu einer Berechnungseinheit 2207 übertragen. Auf der Basis des Eingangssignals liest in der Berechnungseinheit 2207 eine Steuersignal-Erzeugungseinheit 2209 aus einer Steuersignal-Speichereinheit 2208 ein Steuersignal aus und überträgt das Steuersignal zu einem Ausgabeinterface 2206. Auf der Basis des erhaltenen Steuersignals führen dann Antriebsmechanismen 2203 und 2204 die Ansteuerung unter den Bedingungen aus, die in der Umschalteinheit 2201 ausgewählt wurden.

[0059] Der Antriebsmechanismus 2203 ist ein Antriebsmechanismus zum Ansteuern der Kippstufe und der Antriebsmechanismus 2204 ein Antriebsmechanismus zum Ansteuern des Drehtisches, der an der Kippstufe angebracht ist. Auch wenn bei der vorliegenden Ausführungsform die Auswahl, ob eine Querschnittbearbeitung oder die Bearbeitung einer flachen Oberfläche erfolgen soll, durch die Auswahl des Bearbeitungsmodus in der Umschalteinheit 2201 erfolgt, ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt. Zum Beispiel kann auch ein Sensor zum Erkennen der Form des Probestisches vorgesehen sein, der automatisch den Bearbeitungsmodus auswählt. In diesem Fall entsprechen der Umschalteinheit der Sensor und eine Berechnungsvorrichtung zum Erkennen der Sensorinformationen.

[0060] Auch kann die Vorrichtung so aufgebaut sein, daß die Auswahl des Bearbeitungsmodus in der Umschalteinheit und der Zustand der Vorrichtung miteinander verglichen werden, und wenn die Auswahl oder der Zustand der Vorrichtung nicht geeignet erscheinen, eine Fehlermeldung erzeugt wird, die den Bediener davor warnt, auf der Basis der fehlerhaften Bedingungen eine Bearbeitung durchzuführen.

[0061] Die **Fig. 23** ist ein Flußdiagramm für den Prozeß beim Vergleichen des Bearbeitungsmodus mit dem Zustand der Vorrichtung und zum Erzeugen von Nachrichten, die den Bediener veranlassen, korrekte Einstellungen an der Vorrichtung vorzunehmen. Nach dem Einschalten der Vorrichtung wird zuerst der Bearbeitungsmodus am Bedienfeld der **Fig. 21** ausgewählt (Schritt 2301). Dann stellt die Steuersignal-Erzeugungseinheit 2209 in der Berechnungs-

einheit 2207 fest, welcher Bearbeitungsmodus ausgewählt wurde (Schritt 2302), und sie stellt fest, ob sich am Probentisch ein Probenhalter befindet, der für diesen Bearbeitungsmodus geeignet ist (die Feststellung erfolgt im Schritt 2303, wenn die Querschnittsbearbeitung ausgewählt wurde, oder im Schritt 2304, wenn die Bearbeitung einer flachen Oberfläche ausgewählt wurde).

[0062] Die Feststellung, ob ein vorgegebener Probenhalter vorhanden ist, erfolgt mittels eines in der Vakuumkammer angeordneten Sensors (Sensoreinheit 2210), der die Unterschiede zwischen den Probenhaltern feststellt und ob ein Probenhalter vorhanden ist oder nicht. Wenn der Sensor ein Signal erzeugt, das anzeigt, daß kein Probenhalter vorhanden ist oder daß ein für den ausgewählten Bearbeitungsmodus ungeeigneter Probenhalter vorhanden ist, überträgt eine in der Berechnungseinheit 2207 enthaltene Vorrichtungszustand-Überwachungseinheit 2211 ein vorgegebenes Signal an eine Anzeigeeinheit 2212, die daraufhin eine Fehlermeldung erzeugt (Schritt 2305). Die Fehlermeldung kann an der Anzeigeeinheit des Bedienfeldes der **Fig. 21** angezeigtes „Fehler“ sein oder kann mit einer anderen Anzeige oder mit einem Warngenerator angezeigt werden.

[0063] Wenn im Schritt 2302 die Querschnittsbearbeitung ausgewählt wurde, wird festgestellt, ob der Kippwinkel des Probentisches **8** Null ist oder nicht (Schritt 2306). Wenn der Kippwinkel nicht Null ist, wird eine Fehlermeldung erzeugt. Die Erzeugung dieser Meldung ermöglicht es zu erkennen, daß der Zustand des Tisches nicht für die Querschnittsbearbeitung geeignet ist, so daß die Möglichkeit einer falschen Bearbeitung verringert wird. Nachdem im Schritt 2307 bestätigt wurde, daß der Kippwinkel des Tisches geeignet ist, geht der Prozeß in einen Zustand über, in dem die Bedingungen für das Schwenken des Drehtisches eingegeben werden (Schritt 2307).

[0064] Wenn im Schritt 2302 die Bearbeitung einer flachen Oberfläche ausgewählt wurde, geht der Prozeß in einen Zustand über, in dem die Bedingungen für den Kipptisch und den Drehtisch eingegeben werden (Schritt 2308), da dabei beide Tische benötigt werden.

[0065] Danach wird festgestellt, ob die anderen Bedingungen festgelegt wurden (Strom des Ionenstrahls, Bearbeitungszeit und dergleichen) (Schritt 2309), und es wird mit der Bearbeitung begonnen (Schritt 2309).

[0066] Das Ausführen der Bearbeitung nach dem obigen Prozeß vermindert die Möglichkeiten für eine falsche Auswahl bei der Vorrichtung, die für zwei Bearbeitungsarten geeignet ist, und erleichtert das Einstellen der Bearbeitungsbedingungen. Wenn im

Schritt 2306 der Tisch gekippt ist (wenn der Kippwinkel nicht 0° ist), kann der Kipptisch so gesteuert werden, daß er automatisch in den ungekippten Zustand übergeht.

[0067] Wie beschrieben ermöglichen das Überwachen der Informationen über den Bearbeitungsmodus, der Art des verwendeten Halters und des Zustands der Vorrichtung und das Vergleichen dieser Informationen eine leichte Feststellung, ob der gegenwärtige Zustand geeignet ist, so daß eine Bearbeitung mit falschen Einstellungen vermieden werden kann.

[0068] Wie angegebenen muß der Abstand zwischen der Ionenquelle und der Probe in Abhängigkeit davon verändert werden, ob die Ionenquelle für eine Querschnittsbearbeitung oder die Bearbeitung einer flachen Oberfläche verwendet wird. Die Vorrichtung kann daher so aufgebaut sein, daß in Abhängigkeit von der Einstellung der Position des Probentisches automatisch zwischen den Bearbeitungsmoden umgeschaltet wird. Die Vorrichtung kann auch so aufgebaut sein, daß eine Fehlermeldung erzeugt wird, wenn die Einstellung der Position des Probentisches und die Auswahl des Bearbeitungsmodus nicht übereinstimmen. Auch in diesem Fall kann das Ausführen der Einstellungen nach dem Ausführen des Prozesses der **Fig. 23** fehlerhafte Einstellungen verhindern. Die Vorrichtung kann darüberhinaus mit einem Steuermechanismus versehen sein, der automatisch die Position des Probentisches in Abhängigkeit von der Auswahl des Bearbeitungsmodus steuert.

[0069] Da der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit mit der Proben-Masken-Einheit **21** daran von der Vorrichtung abgenommen werden kann, kann nach der Abnahme des Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit von der Vorrichtung eine Probenoberflächeneinheit an der Vorrichtung angebracht werden. Das Ausführen der Bearbeitung einer flachen Oberfläche mit der angebrachten Probenoberflächeneinheit minimiert die Gefahr, daß etwas anderes als die Probe bearbeitet wird und die Probeneinheit beschädigt wird.

[0070] Das Anordnen eines optischen Mikroskops **57** wie in der **Fig. 17** gezeigt an der Oberseite des Beobachtungsfensters der Ionenätzvorrichtung der **Fig. 10** und dergleichen ermöglicht es, den Bearbeitungsfortschritt zu überprüfen. Dadurch kann die Bearbeitung beendet und die Probe entnommen werden, wenn die Bearbeitung in einem gewünschten Bearbeitungsbereich durchgeführt wurde, wodurch sich der Durchsatz erhöht.

[0071] Anstelle des optischen Mikroskops **57** der **Fig. 17** kann wie in der **Fig. 18** gezeigt auch ein Elektronenmikroskop **58** angebracht werden. Das Elek-

tronenmikroskop **58** ermöglicht die Überprüfung des Bearbeitungsfortschritts bei der Bearbeitung der Probe mit dem Ionenstrahl. Bei der Verwendung des Elektronenmikroskops **58** wird die Bearbeitung kurz unterbrochen, die Blende zur Verhinderung einer Kontamination geöffnet und dann die Betrachtung mit dem Elektronenmikroskop **58** durchgeführt. Wenn die Bearbeitung noch nicht weit genug fortgeschritten ist, wird die Einstrahlung des Elektronenstrahls beendet, die Blende zur Verhinderung einer Kontamination wieder geschlossen und die Bearbeitung durch die Einstrahlung des Ionenstrahls weitergeführt. Wenn die Bearbeitung genügend weit fortgeschritten ist, wird die Vergrößerung erhöht und ein eventuell erforderliches Bild aufgenommen.

[0072] Die Vorrichtung ist so aufgebaut, daß der Mechanismus **4** zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit oder die Probenoberflächeneinheit von der Vorrichtung abgenommen werden kann, die Probe auf einer Probeneinheit für das Elektronenmikroskop angebracht werden kann und dann die Probeneinheit an der Vorrichtung angebracht wird. Auf diese Weise kann die Vorrichtung auch als normales Elektronenmikroskop verwendet werden.

[0073] Die Ionenätzvorrichtung der vorliegenden Ausführungsform ist eine Ionenätzvorrichtung, bei der sich das Beobachtungsfenster **7**, die Ionenquelle **1** und der Probentisch **8** jeweils an der Oberseite, der linken Seitenfläche (oder der rechten Seitenfläche) bzw. der Vorderseite der Vakuumkammer **15** befinden. Dies erleichtert sowohl das Anordnen als auch die Betrachtung mit der Beobachtungsvorrichtung für die bearbeitete Oberfläche. Außerdem ist es möglich, mit einer einzigen Vorrichtung sowohl eine Querschnittbearbeitung als auch die Bearbeitung einer flachen Oberfläche durchzuführen.

[0074] Es wird immer wichtiger, den Querschnitt an einem Verbundmaterial mit einem Elektronenmikroskop zu untersuchen, insbesondere auf dem Gebiet der Halbleiterelemente. In Verbindung damit ist es wichtig, den Querschnitt am Verbundmaterial spiegelnd zu polieren. Mit der vorliegenden Ausführungsform ist es möglich, mit einer einzigen Vorrichtung sowohl eine Querschnittbearbeitung als auch die Bearbeitung einer flachen Oberfläche durchzuführen. Die Betriebsmöglichkeiten werden durch die Möglichkeit verbessert, an der Oberseite der Vakuumkammer eine Beobachtungsvorrichtung anordnen zu können.

[0075] Die obige Beschreibung bezieht sich zwar auf Ausführungsformen, die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf diese Ausführungsformen beschränkt, sondern es können, wie der Fachmann weiß, innerhalb des Umfangs der Erfindung und der folgenden Patentansprüche verschiedene Abänderungen und Modifikationen erfolgen.

[0076] Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung auch eine Ionenätzvorrichtung mit einer Ionenquelle zum Bestrahlen einer Probe mit einem Ionenstrahl; und mit einem Kipptisch, der in einer Vakuumkammer angeordnet ist und der eine Kippachse aufweist, die parallel zu einer ersten Achse ist, die senkrecht zum Ionenstrahl verläuft, wobei die Ionenätzvorrichtung einen Haltetisch, der am Kipptisch angeordnet ist, um ein Probenhalteelement zum Festhalten der Probe zu halten; einen Antriebsmechanismus zum Drehen oder Kippen des Haltetisches, wobei der Antriebsmechanismus eine Drehachse und eine Kippachse aufweist, die parallel zu einer zweiten Achse sind, die senkrecht zur ersten Achse verläuft; und eine Umschalteinheit zum Umschalten des Zustands der Ionenätzvorrichtung zwischen einem Zustand, bei dem der Ionenstrahl eingestrahlt wird, während der Kipptisch gekippt ist und der Haltetisch gedreht oder geschwenkt wird, und einem Zustand, bei dem der Ionenstrahl eingestrahlt wird, während der Kipptisch nicht gekippt ist und der Haltetisch geschwenkt wird, umfasst.

[0077] Eine solche Ionenätzvorrichtung kann einen Mechanismus zum Verschieben der Achse des Ionenstrahl und der Drehachse des Haltetisches gegeneinander aufweisen, wobei darüber hinaus das Probenhalteelement einen Abschirmabschnitt zum Abschirmen eines Teils des Ionenstrahls mit einer Oberfläche aufweisen kann, die parallel zur zweiten Achse ist, und das Probenhalteelement so aufgebaut sein kann, dass es auf den Haltetisch aufgesetzt und davon abgenommen werden kann.

[0078] Die Ionenätzvorrichtung kann auch eine Steuervorrichtung zum Umschalten des Zustands der Ionenätzvorrichtung aufweisen, die entsprechend dem Schaltzustand der Umschalteinheit zwischen einem Zustand, bei dem der Ionenstrahl eingestrahlt wird, während der Kipptisch gekippt ist und der Haltetisch gedreht oder geschwenkt wird, und einem Zustand umschaltet, bei dem der Ionenstrahl eingestrahlt wird, während der Kipptisch nicht gekippt ist und der Haltetisch geschwenkt wird.

[0079] Die Vakuumkammer kann mit einem Beobachtungsfenster versehen ist, das beispielsweise in einer Deckenfläche der Vakuumkammer vorgesehen sein kann, wobei die Ionenquelle auch an einer anderen Fläche als der Deckenfläche der Vakuumkammer vorgesehen sein kann. Bei der Ionenätzvorrichtung mit Beobachtungsfenster kann eine Blende vorgesehen sein, die in den Raum zwischen der Einstrahlposition des Ionenstrahls auf der Probe und dem Beobachtungsfenster bewegbar ist.

[0080] Die Vakuumkammer kann mit einem optischen Mikroskop oder einem Elektronenmikroskop versehen sein. Das optische Mikroskop oder das Elektronenmikroskop kann an einer Deckenfläche

der Vakuumkammer vorgesehen sein, wobei zudem die Ionenquelle an einer anderen Fläche als der Deckenfläche der Vakuumkammer vorgesehen sein kann. Es kann auch eine Blende vorgesehen sein, die in den Raum zwischen der Einstrahlposition des Ionenstrahls auf der Probe und dem optischen Mikroskop oder dem Elektronenmikroskop bewegbar ist.

Bezugszeichenliste

1	Ionenquelle
2	Maske
3	Probe
4	Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Proben-Masken-Einheit
5	Probenbasiseinheit
6	Vakuumsystem
7	Beobachtungsfenster
8	Probentisch
9	Rotor
10	Flansch
11,	24 Linearführung
12	Vergrößerungslinse
13	Mechanismus zum geringfügigen Bewegen der Vergrößerungslinse
15	Vakuumkammer
21	Proben-Masken-Einheit
22	Probenhalter-Drehring
23	Probenhalter
25	Maskenhalter
26	Masken-Feineinstellmechanismus
27	Maskenbefestigungsschraube
28	Probenhalter-Drehschraube
30	Steuermechanismus für die Probenhalterposition
35	metallisches Probenhalterbefestigungsteil
40,	57 optisches Mikroskop
41	Beobachtungstisch
42	Befestigungstisch
50	Zahnrad
51	Lager
52	Maskeneinheit-Befestigungsabschnitt
53	Wellenkupplung
54	lineare Bewegungsvorrichtung

55	Motor
56	Probenoberflächeneinheit
58	Elektronenmikroskop
60	Probentisch-Herausziehmechanismus

Patentansprüche

1. Ionenätzvorrichtung zur Querschnittsbearbeitung einer Probe (3) in einem Bearbeitungsmodus und zur Bearbeitung einer flachen Oberfläche der Probe in einem anderem Bearbeitungsmodus, umfassend:

eine Ionenquelle (1) an einer Vakuumkammer (15) zum Bestrahlen der Probe (3) mit einem Ionenstrahl; einen Kipptisch (8) als Probentisch mit einer Kippachse in einer Richtung senkrecht zu der Einstrahlungsrichtung des Ionenstrahls, der von der Ionenquelle emittiert wird,

einen Rotor (9) am Kipptisch mit einer Drehkippachse, die senkrecht zur Kippachse verläuft;

eine Beobachtungsöffnung (7) in einer Wandfläche der Vakuumkammer in einer Richtung, die senkrecht auf der Ebene steht, die von der Kippachse und dem Einstrahlungsweg des Ionenstrahls aufgespannt wird; und

einen Mechanismus zum Bewegen der Ionenquelle oder des Kipptisches in der Einstrahlungsrichtung des Ionenstrahls;

wobei der Bearbeitungsmodus der Vorrichtung in Abhängigkeit vom Abstand zwischen der Ionenstrahlquelle und der Probe auf dem Kipptisch umgeschaltet wird.

2. Ionenätzvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Ionenätzvorrichtung einen Mittelpunktverschiebungsmechanismus zum Verschieben des Mittelpunkts einer Position auf der Probe am Kipptisch (8) aufweist.

3. Ionenätzvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Ionenätzvorrichtung am Rotor (9) eine Proben-Masken-Einheit aufweist (21), wobei die Proben-Masken-Einheit einen Abschirmabschnitt umfasst, dessen Ionenstrahl-Abschirmfläche parallel zur Drehkippachse liegt.

4. Ionenätzvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei am oberen Abschnitt der Beobachtungsöffnung (7) ein optisches Mikroskop angebracht ist.

5. Ionenätzvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei an einem Abschnitt der Beobachtungsöffnung (7) die Säule eines Elektronenmikroskops angebracht ist.

Es folgen 20 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

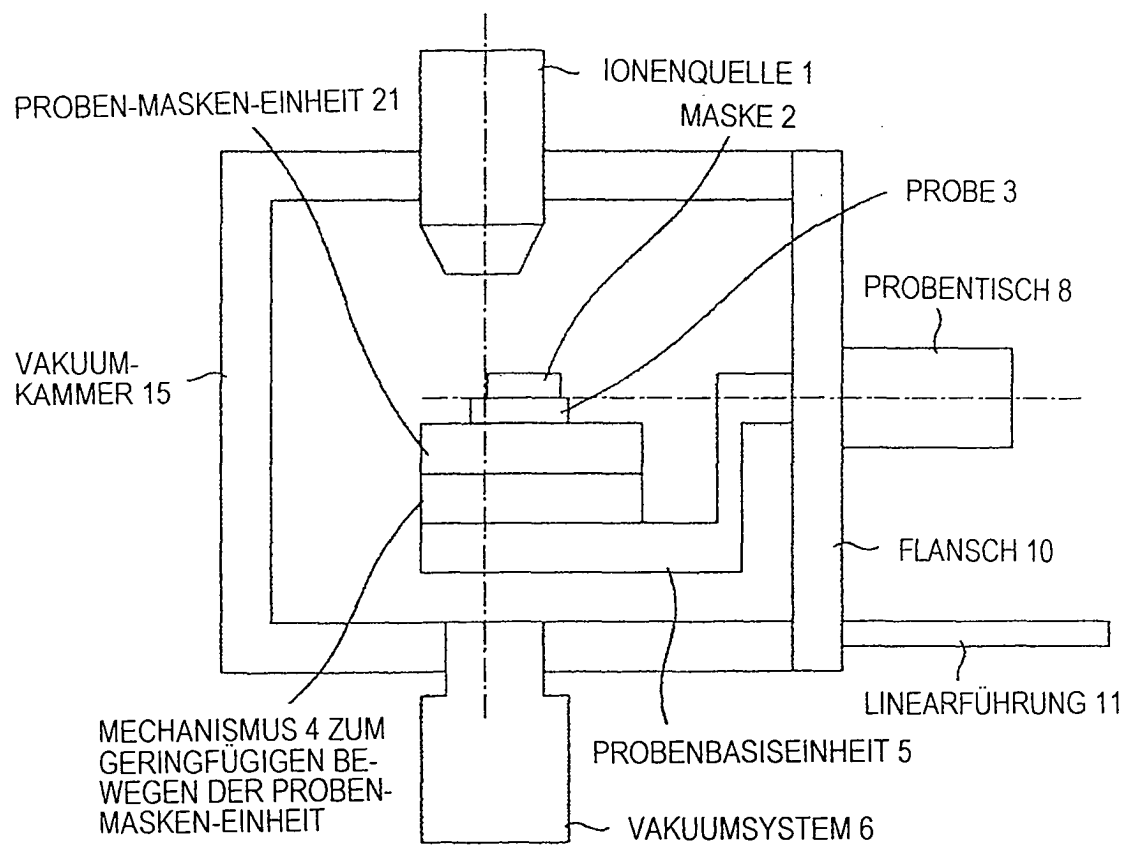


FIG.2

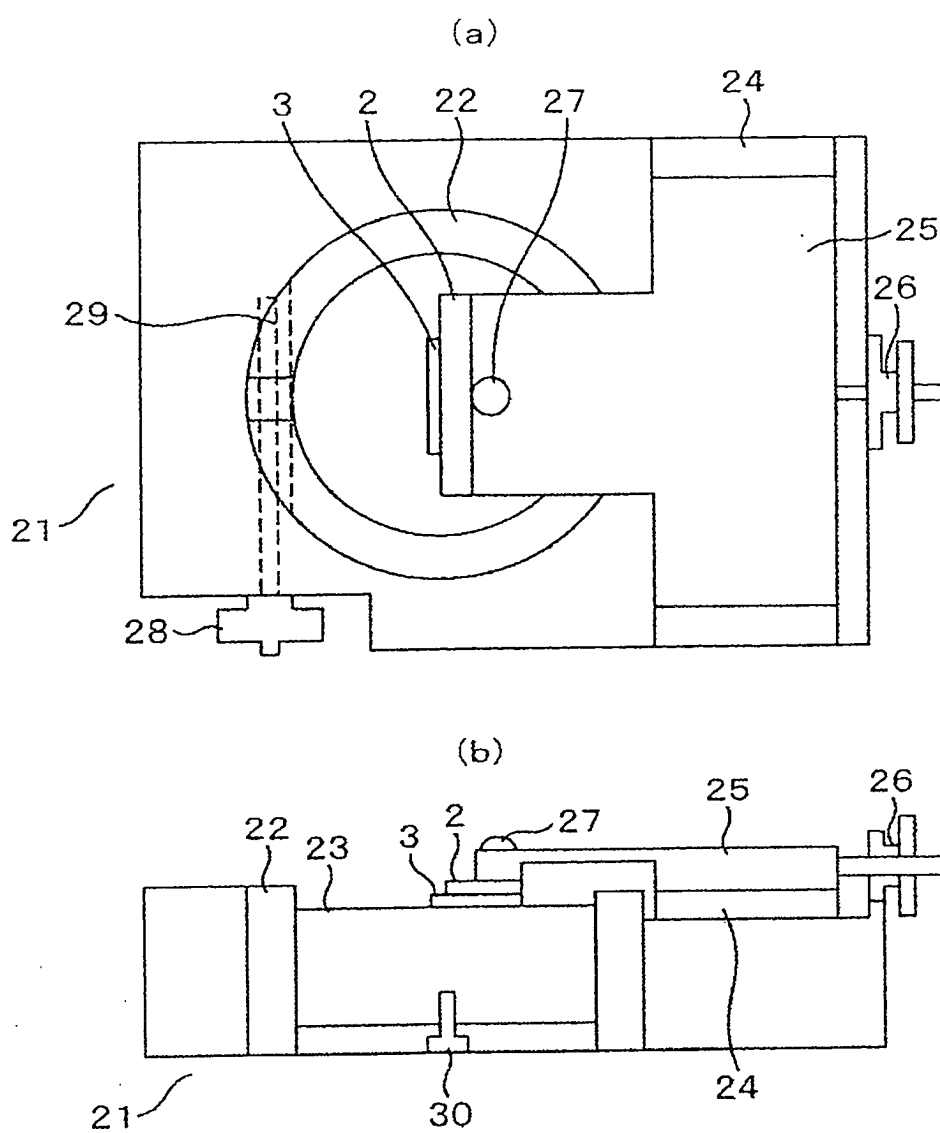


FIG.3

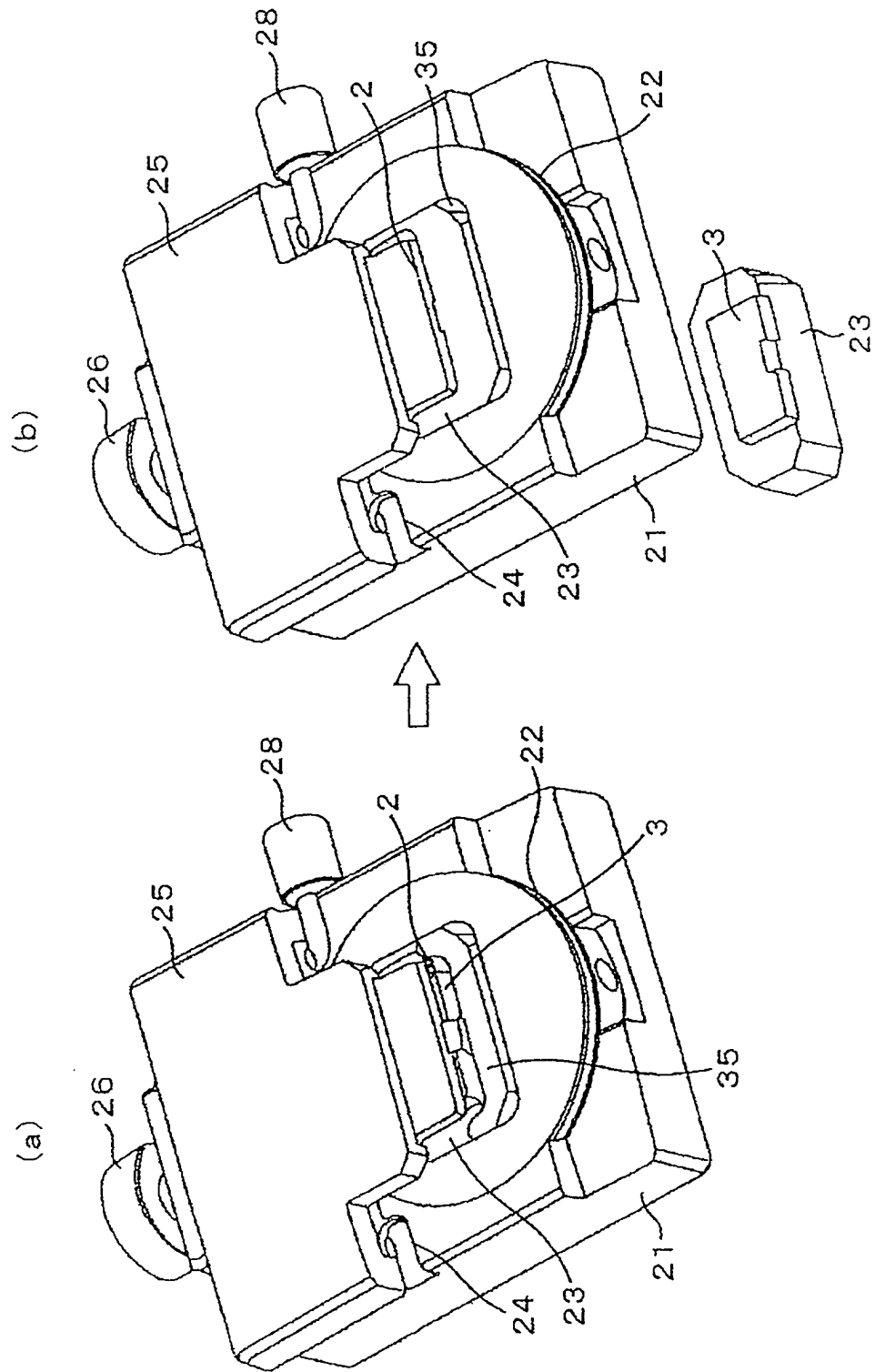


FIG.4

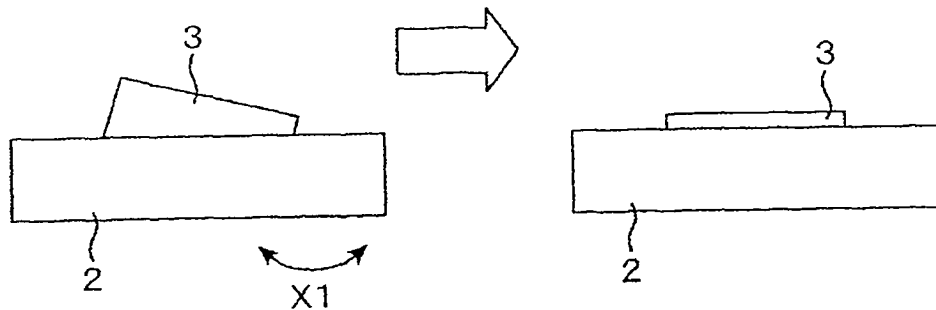


FIG.5

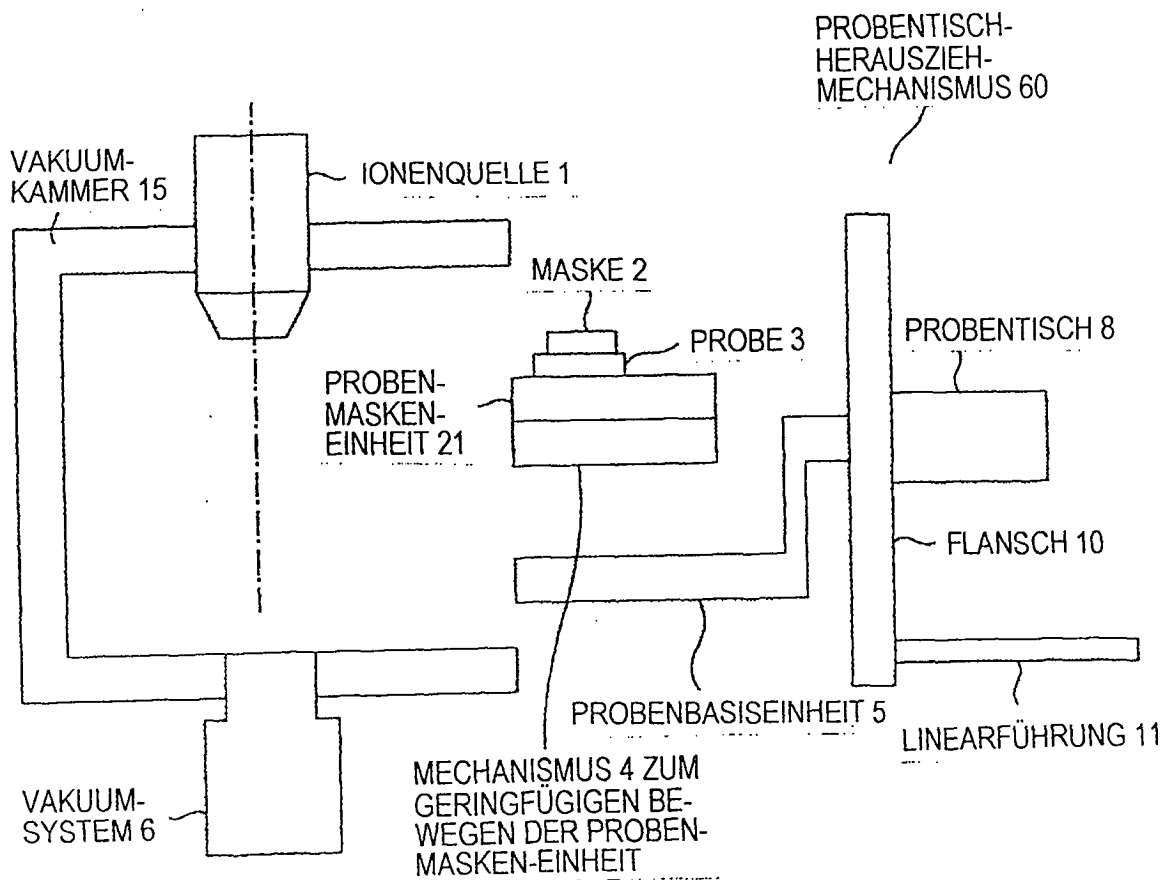


FIG.6

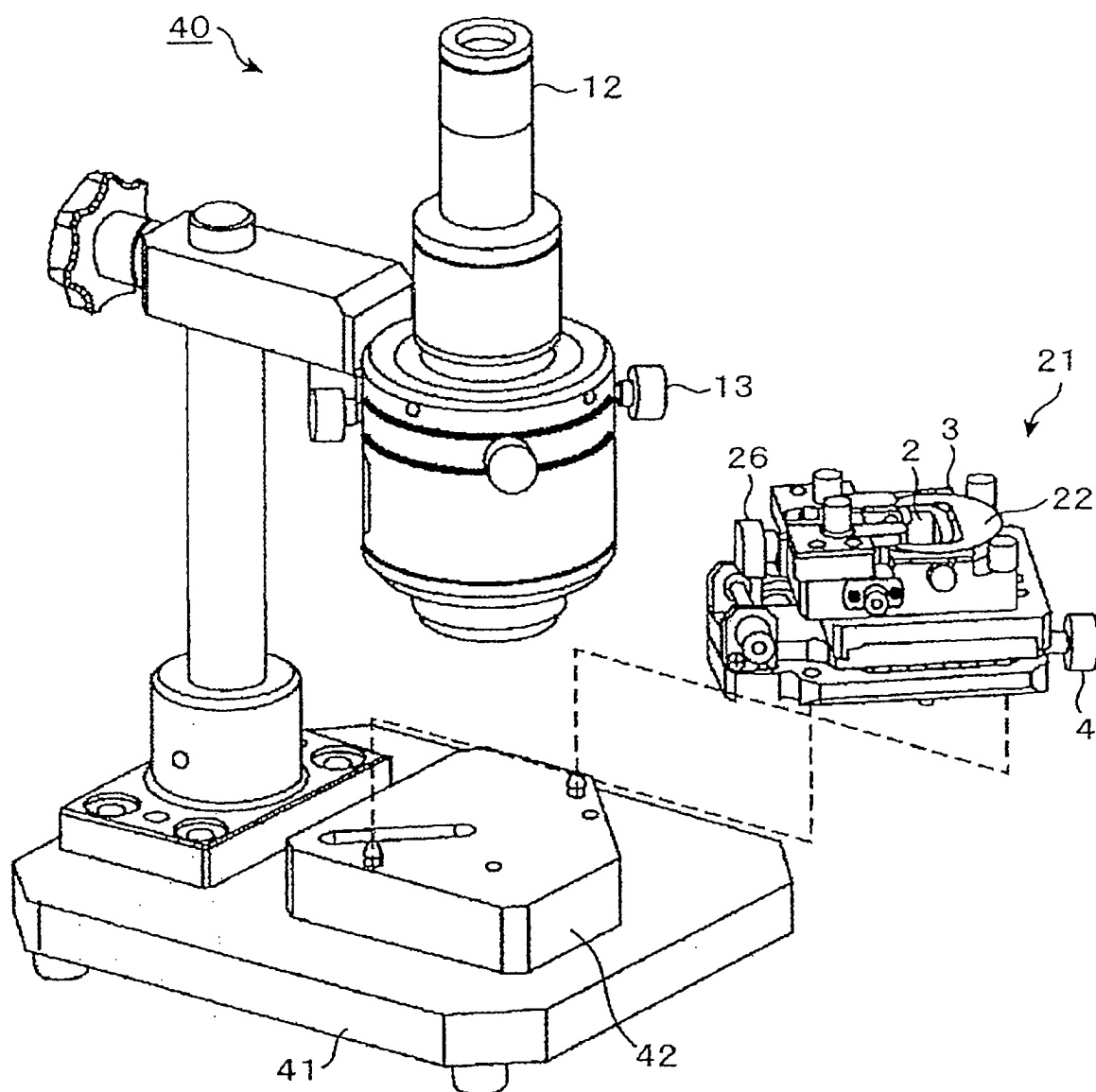


FIG.7

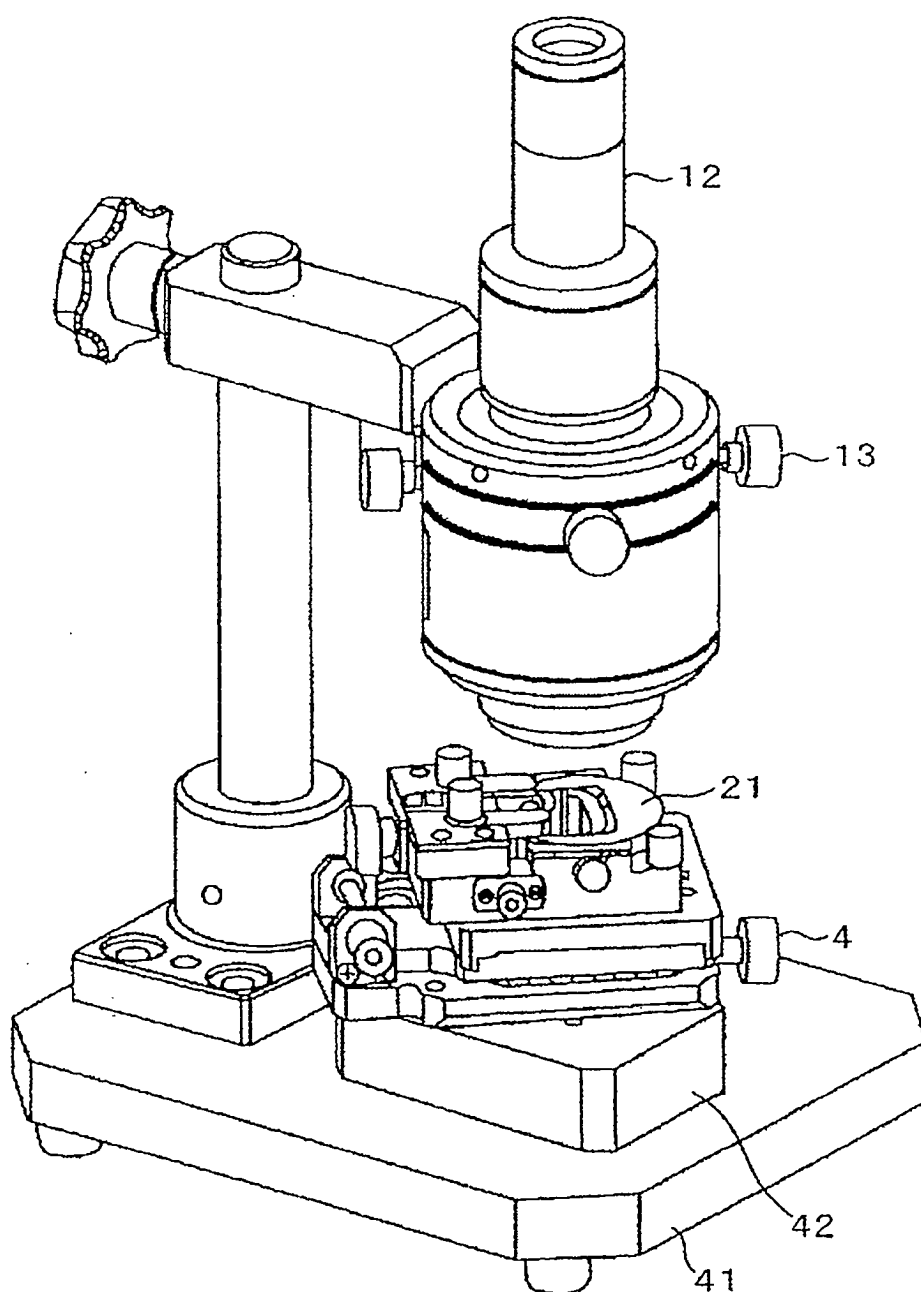


FIG.8

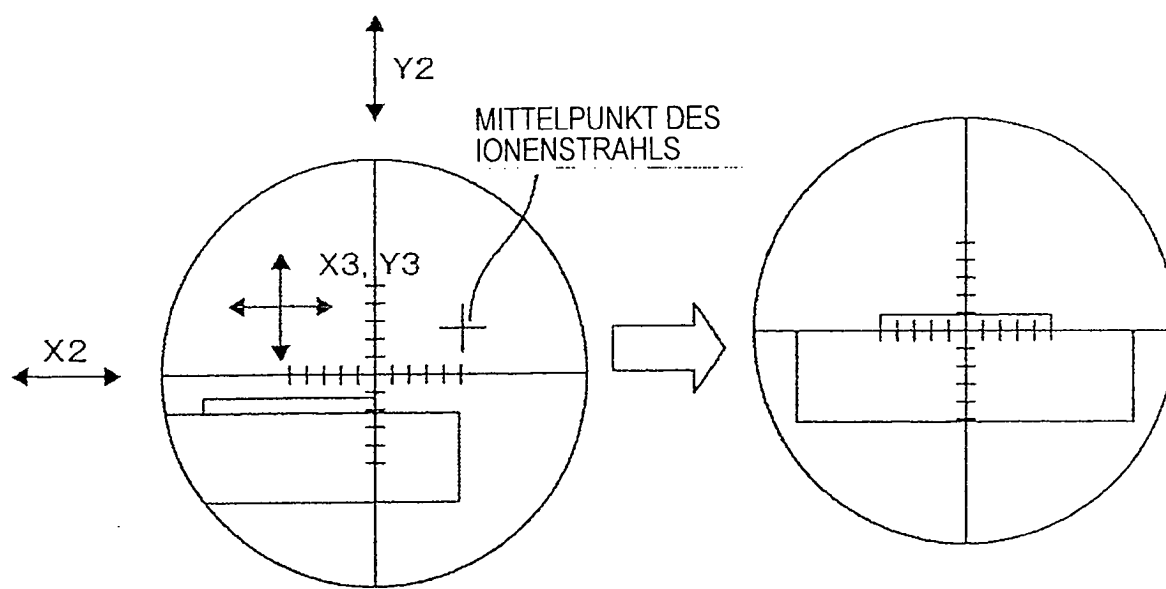


FIG.9

IONENSTRAHL

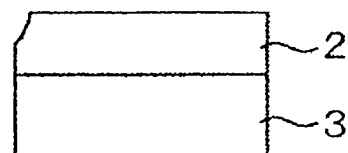
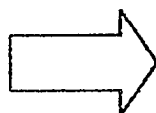
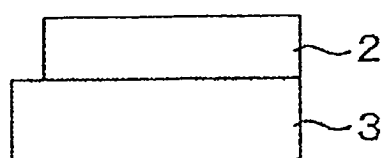
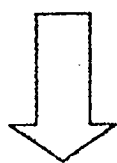


FIG.10

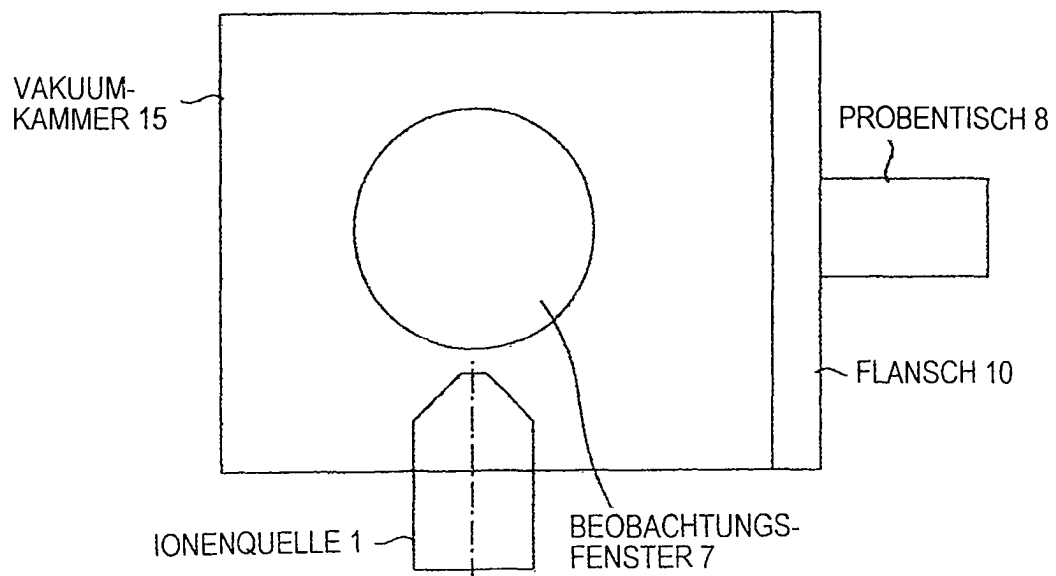
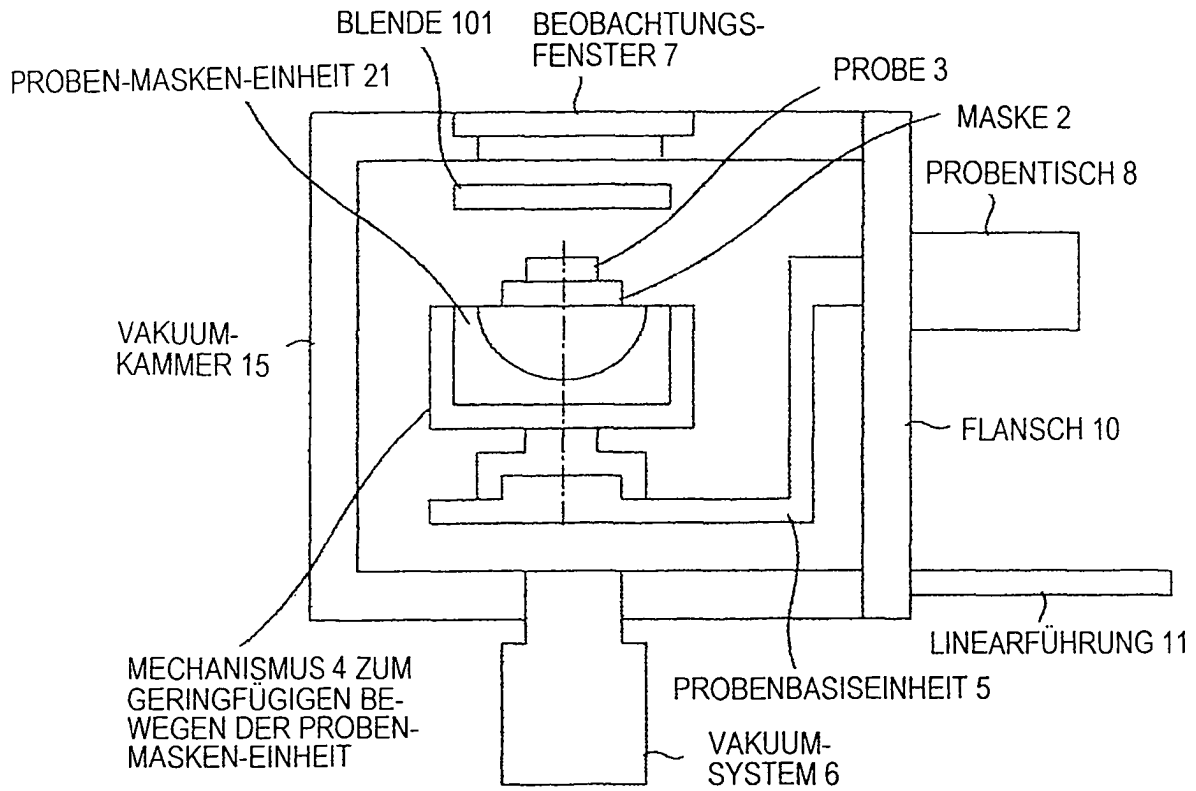


FIG.11

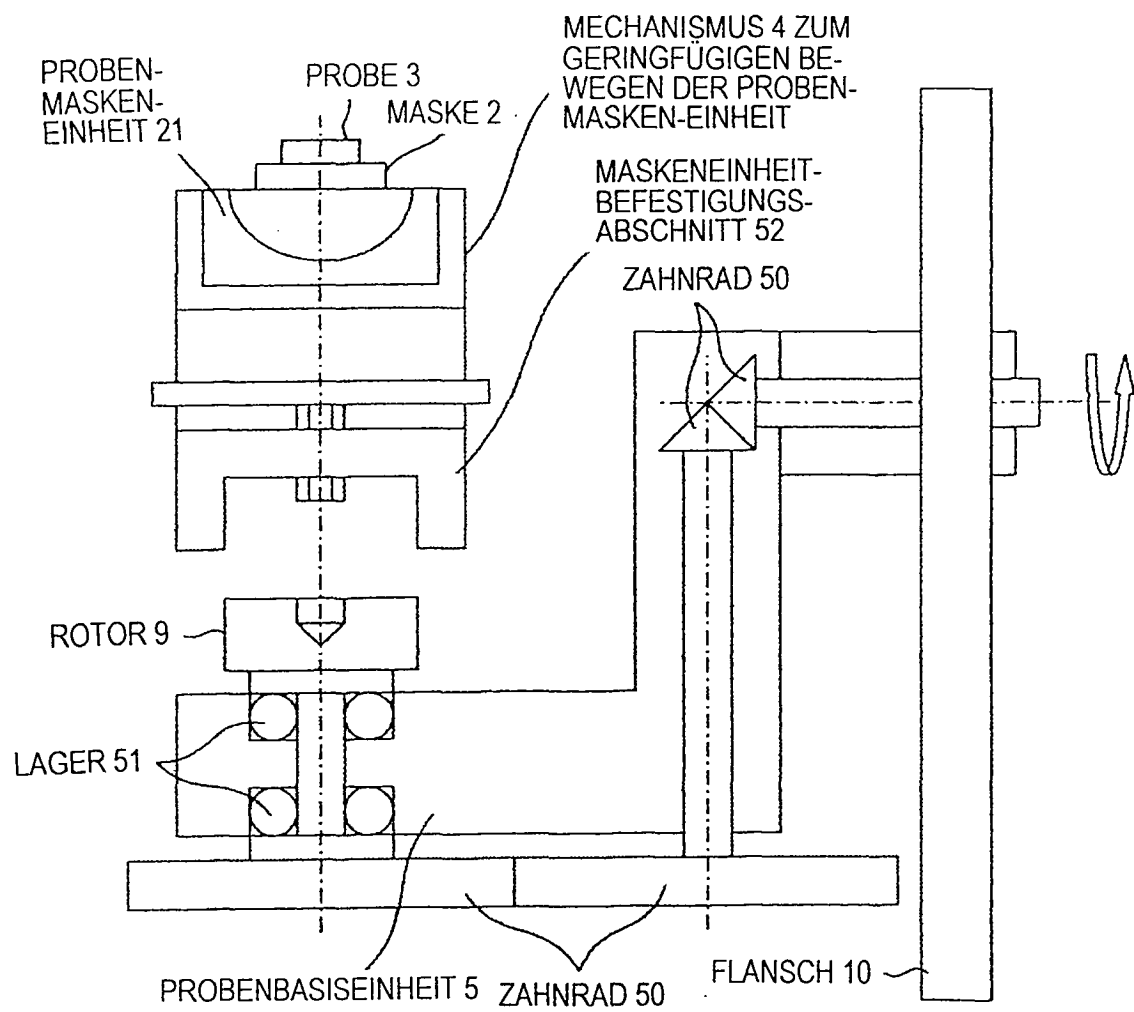


FIG.12

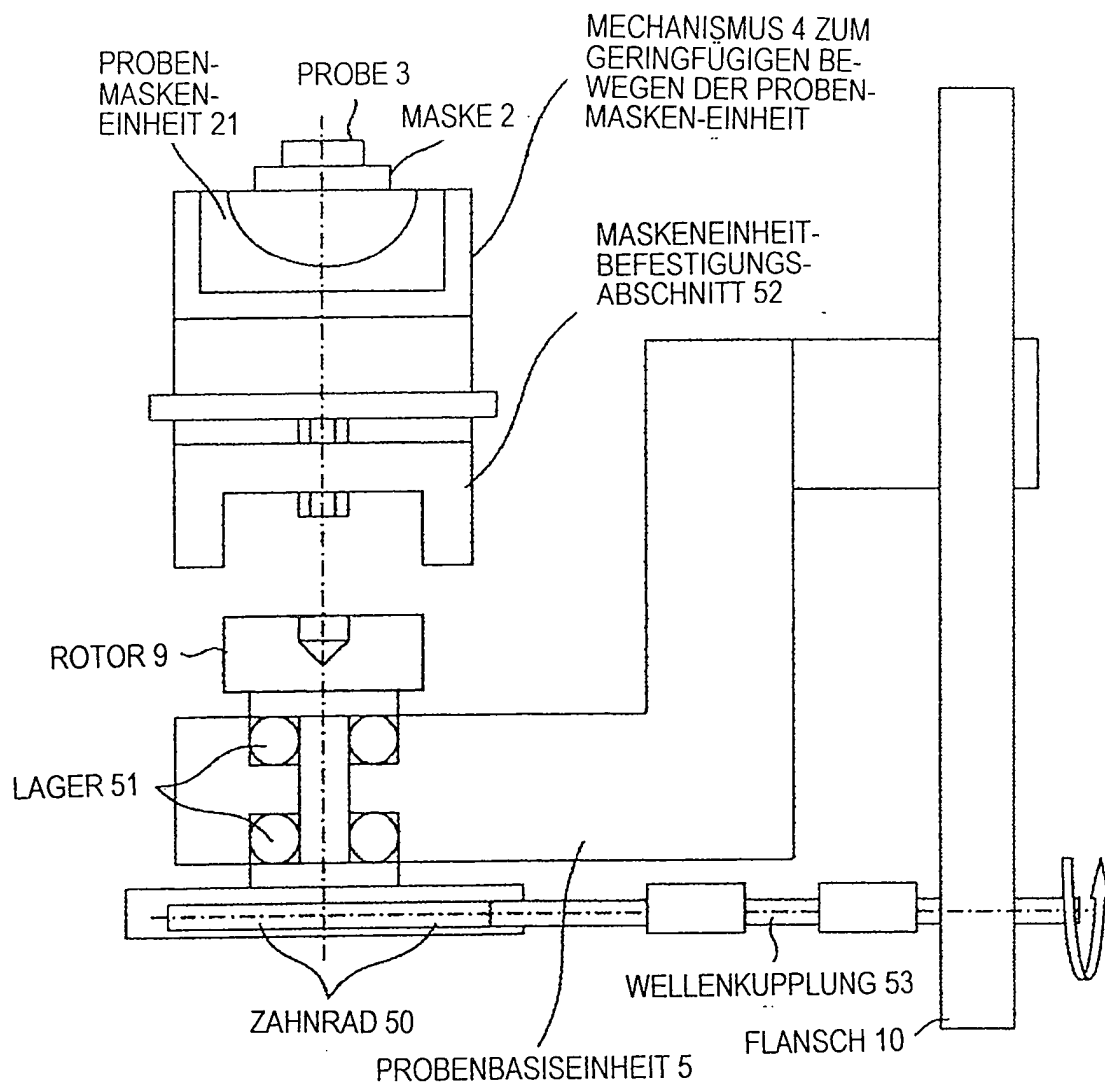


FIG.13

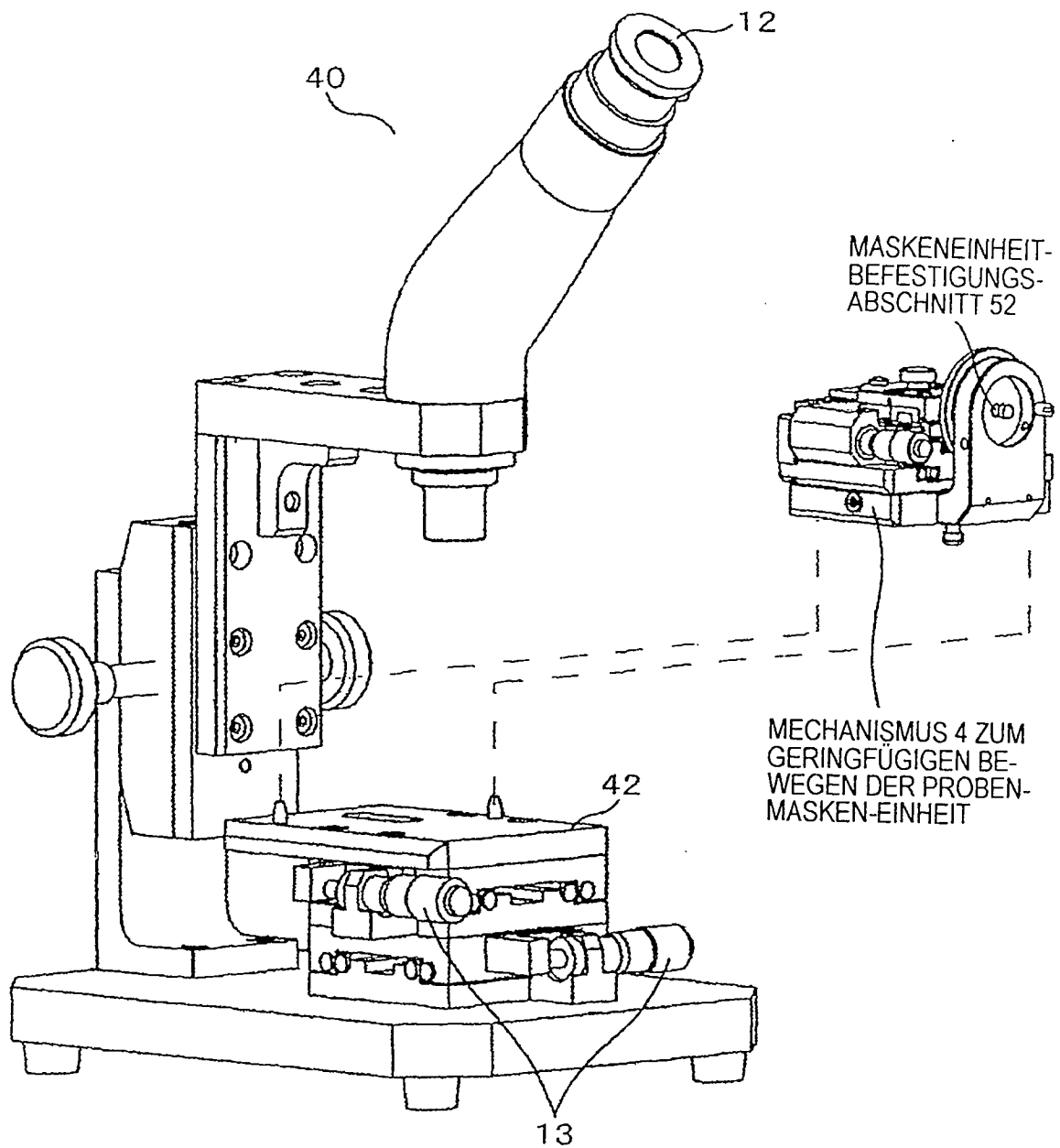


FIG.14

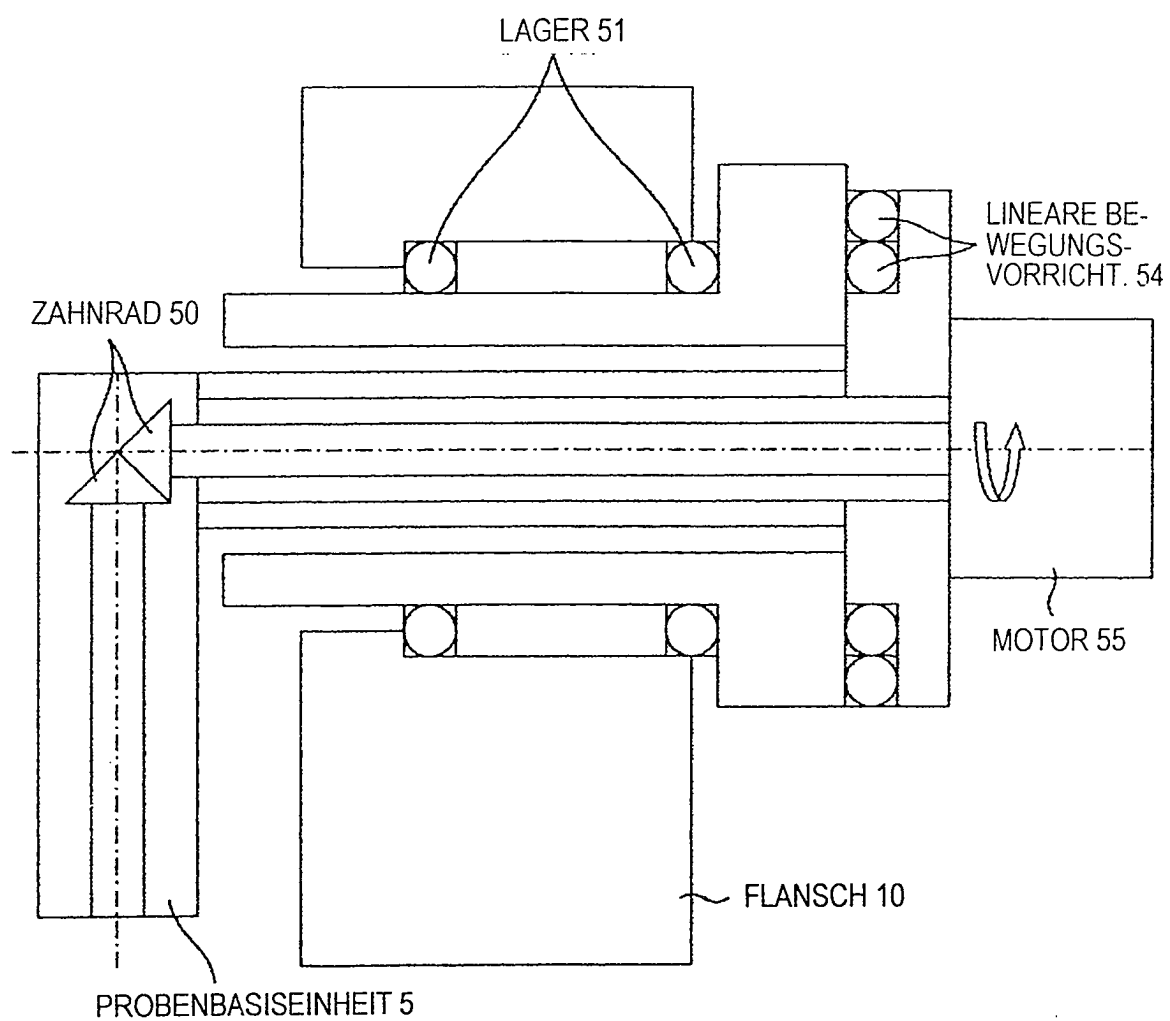


FIG.15

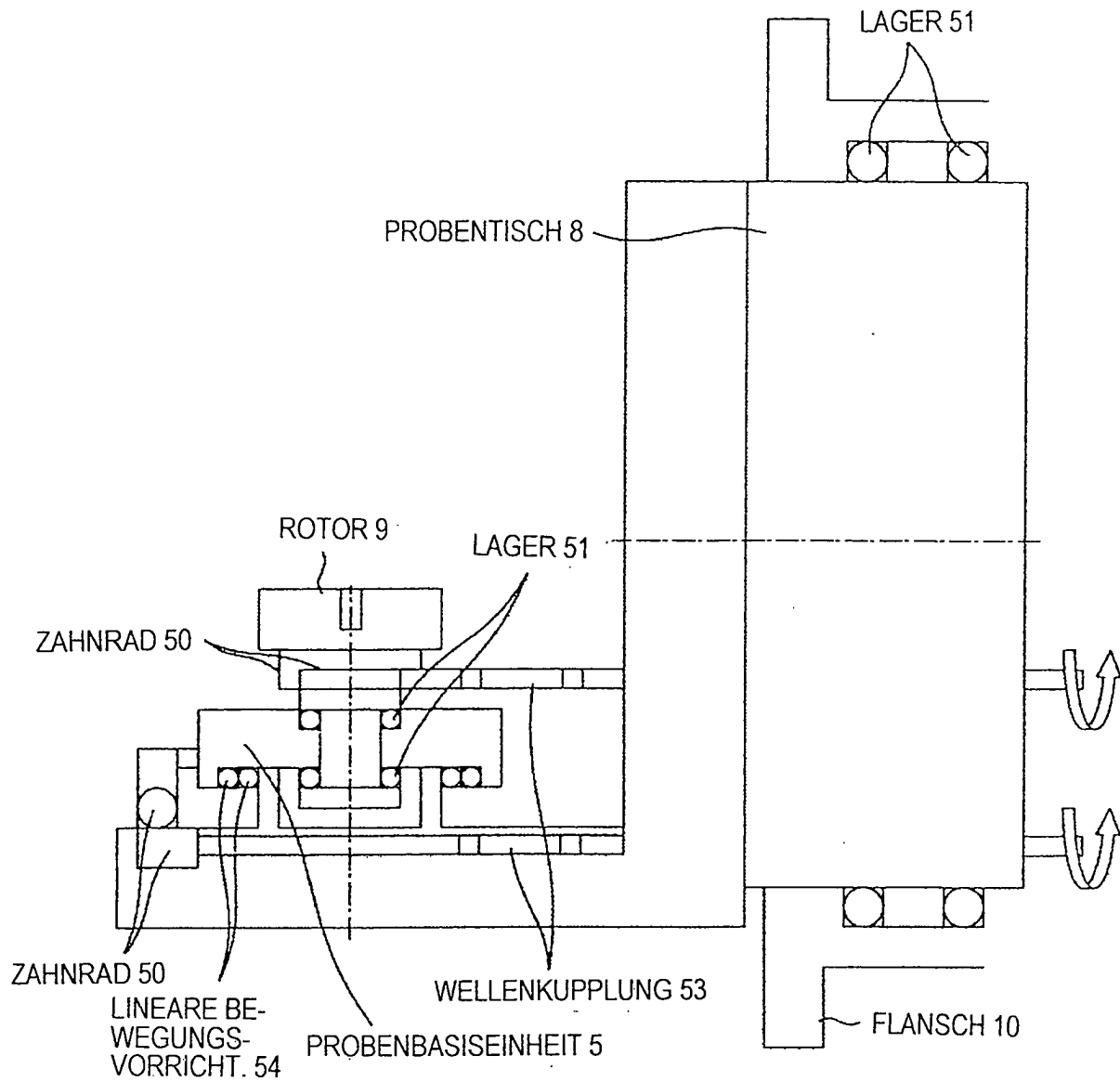


FIG.16

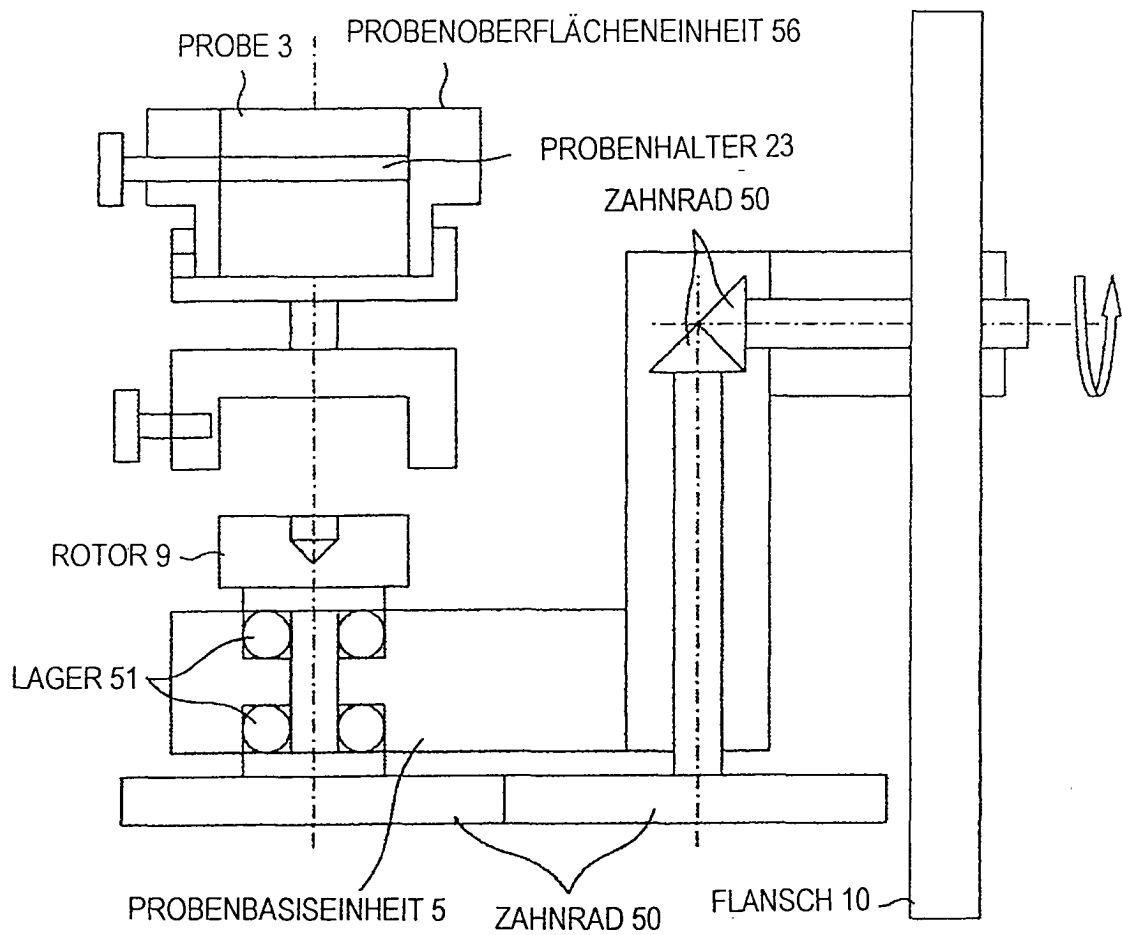


FIG.17

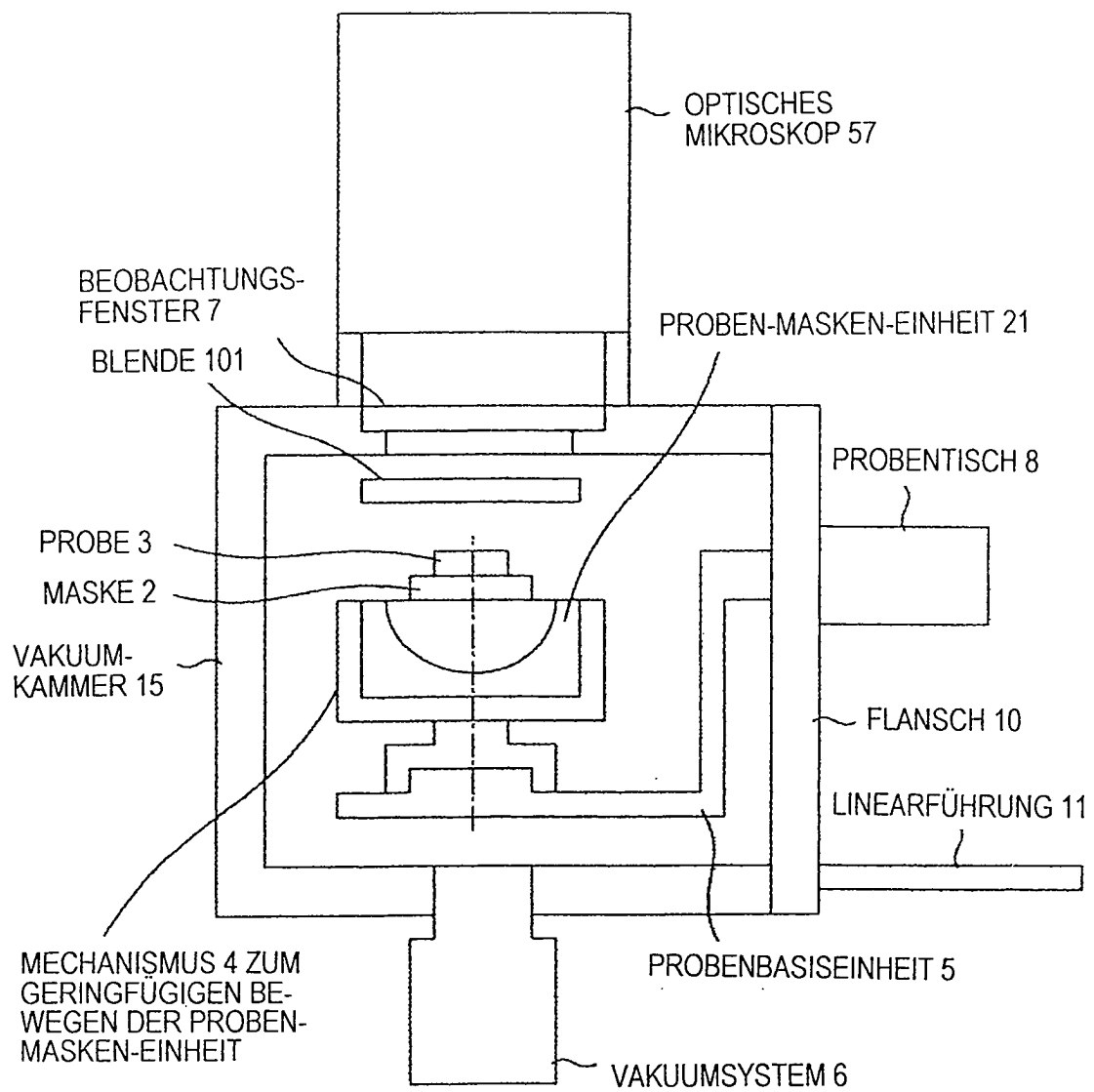


FIG.18

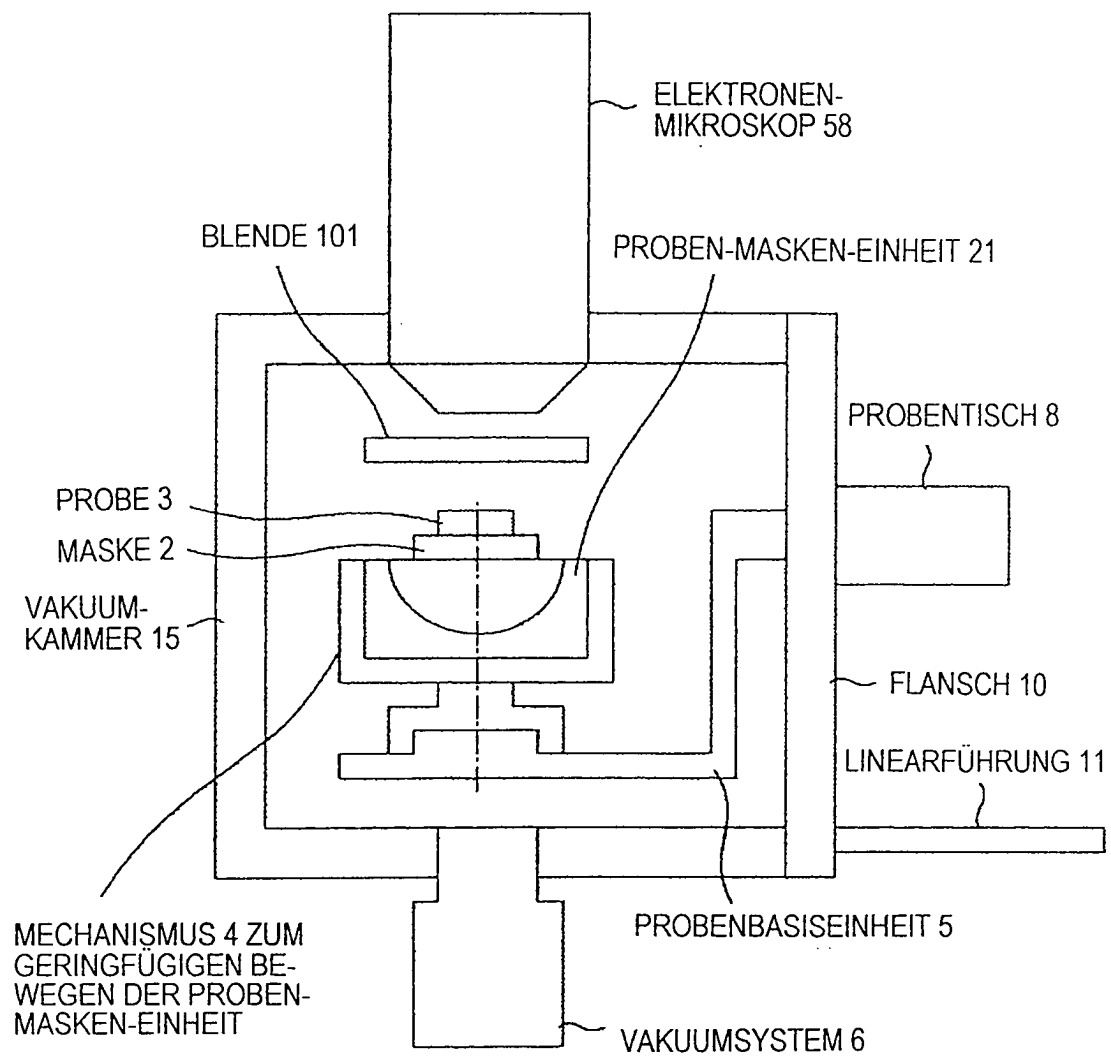


FIG.19

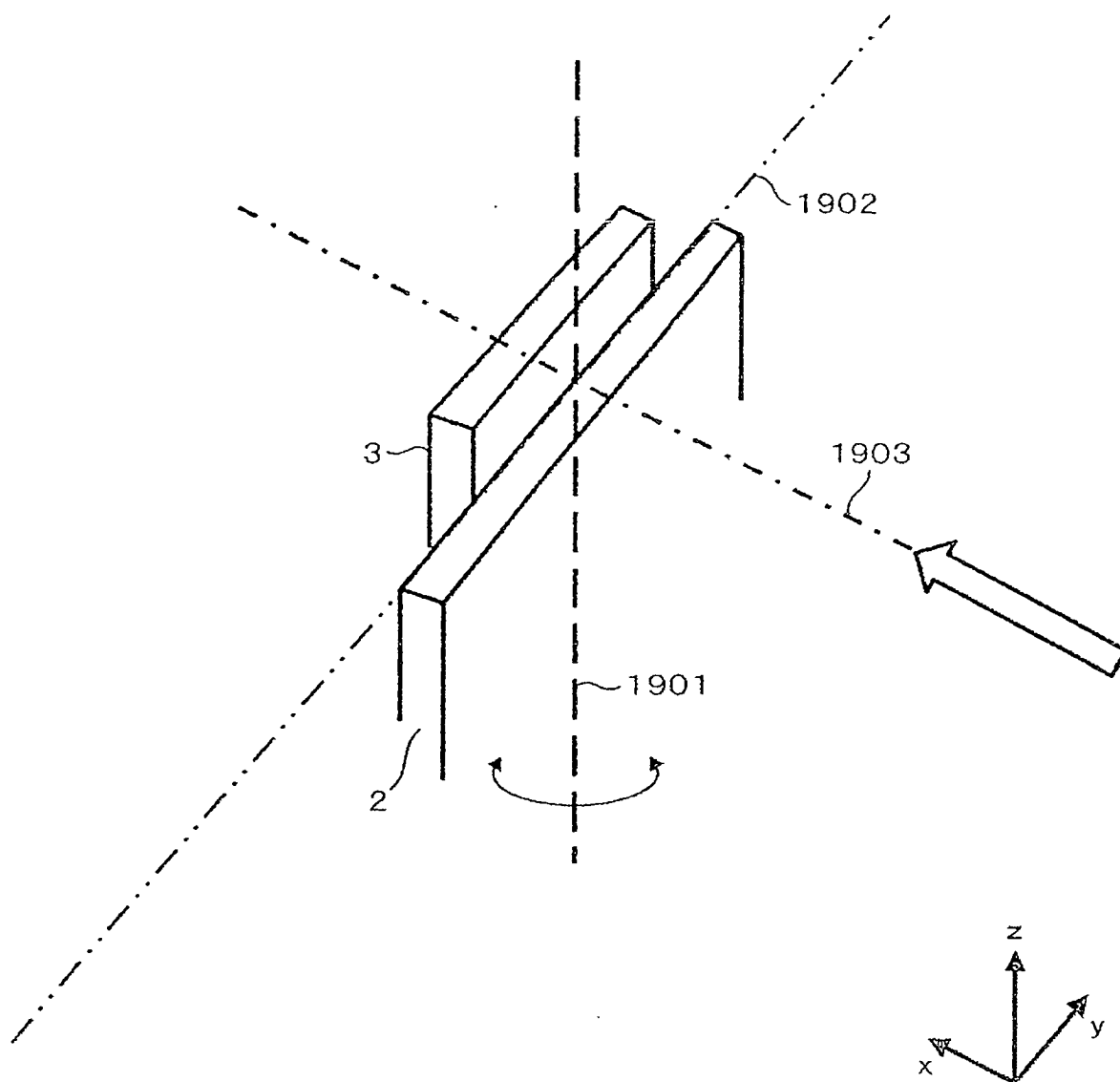


FIG.20

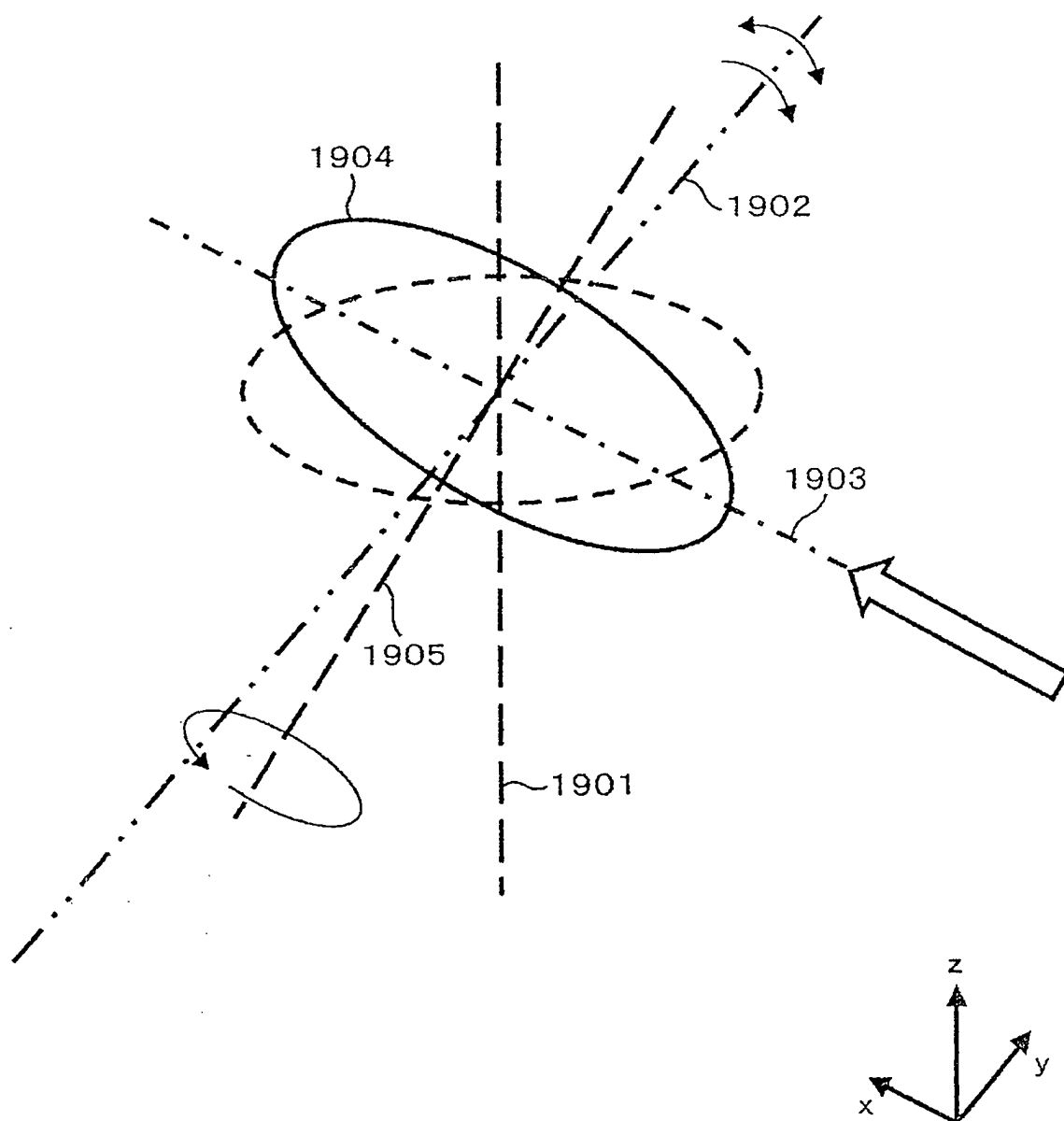


FIG.21

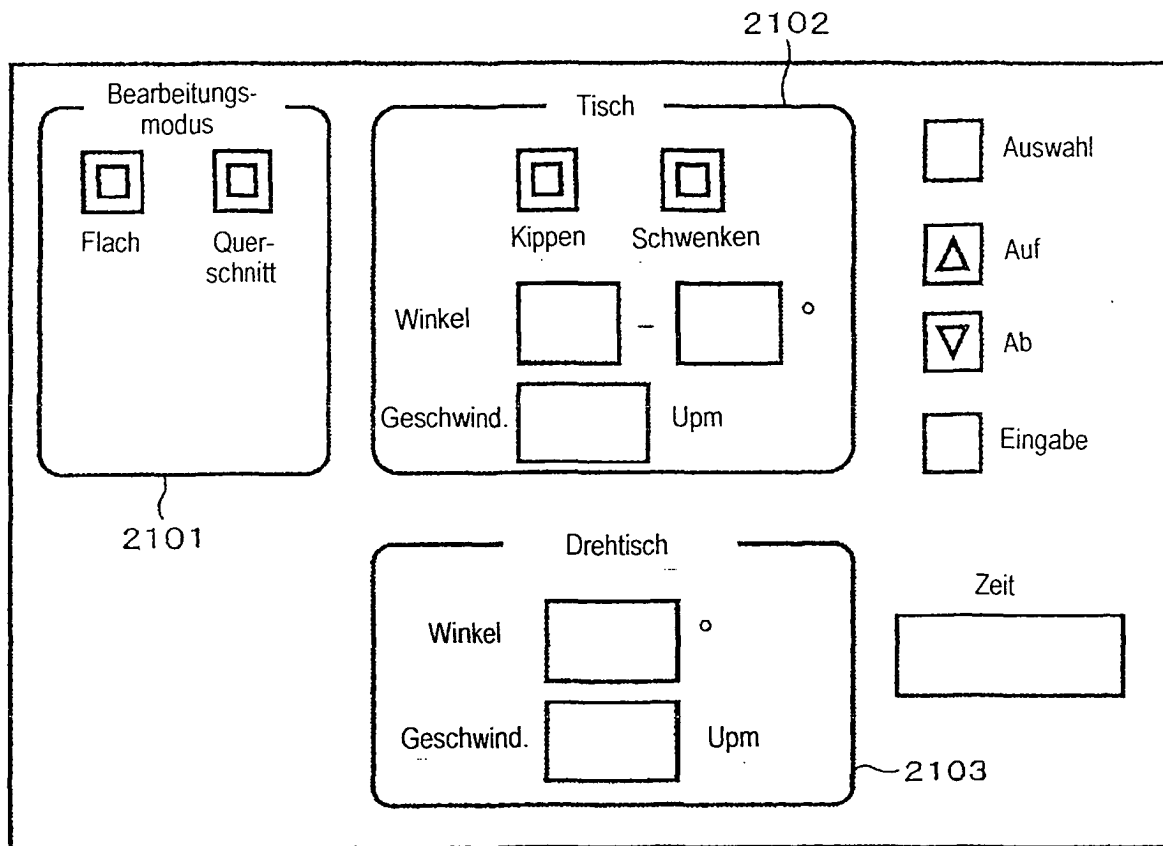


FIG.22

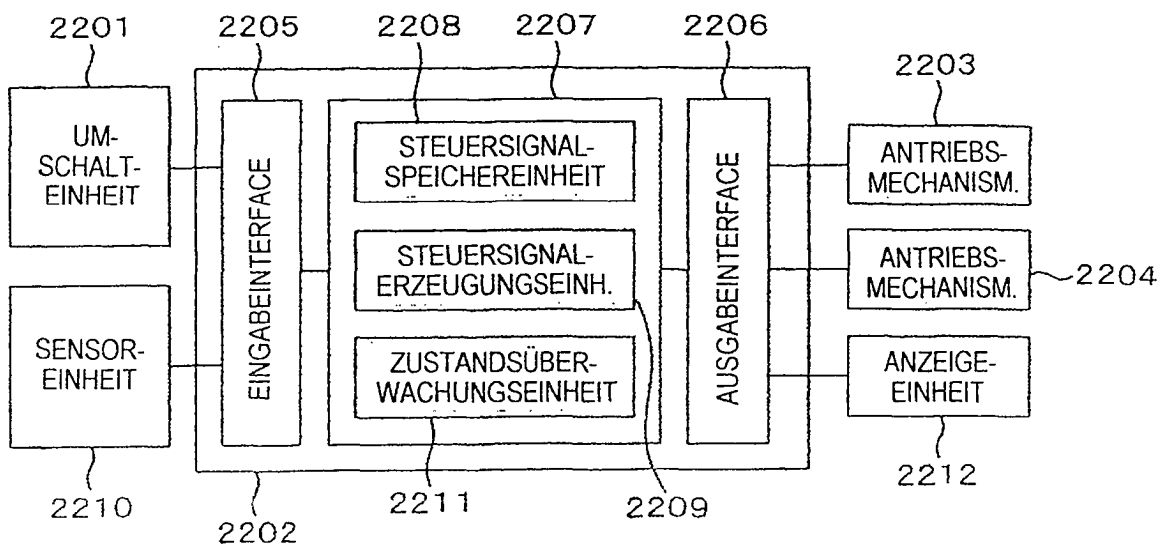


FIG.23

