

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21)

Anmeldenummer:

A 50748/2017

(22)

Anmeldetag:

06.09.2017

(43)

Veröffentlicht am:

15.03.2019

(51)

Int. Cl.:

B23Q 1/48

G01Q 10/04

B23Q 5/36

G05D 3/10

F16H 25/14

(2006.01)

(2010.01)

(2006.01)

(2006.01)

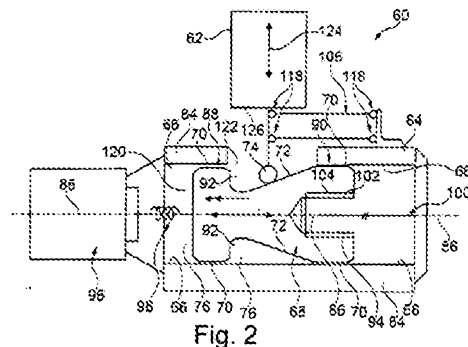
(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen: JP S59115137 A WO 2015152246 A1 JP H0463649 A DE 3938156 A1 TW I245681 B	(71) Patentanmelder: Anton Paar GmbH 8054 Graz (AT) (72) Erfinder: Pinno-Rath Norbert Dipl.Ing. 8010 Graz (AT) (74) Vertreter: Dilg Andreas Dr. 80636 München (DE)
---	--

(54) Positioniereinrichtung zum Positionieren eines Funktionskörpers

(57)

Positioniereinrichtung (60) zum Positionieren eines Funktionskörpers (62), insbesondere für ein Rastersondenmikroskop (1), wobei die Positioniereinrichtung (60) einen Grundkörper (64) mit einer Führungsfläche (66), einen Übertragungskörper (68), der mittels einer Antriebskraft relativ zu dem Grundkörper (64) in kombinierte Rotations- und Translationsbewegung bringbar ist und eine Lauffläche (70) und eine Übertragungsfläche (72) aufweist, und einen Koppelkörper (74) aufweist, der an der Übertragungsfläche (72) mit dem Übertragungskörper (68) wirkgekoppelt ist und der mit dem Funktionskörper (62) wirkkoppelbar ist, um die Translationsbewegung des Übertragungskörpers (68) auf den Funktionskörper (62) umzulenken und den Funktionskörper (62) dadurch zu positionieren, wobei die Führungsfläche (66) des Grundkörpers (64) und die Lauffläche (70) des Übertragungskörpers (68) in Wirkverbindung miteinander angeordnet sind, sodass der Übertragungskörper (68) während seiner kombinierten Rotations- und Translationsbewegung mittels des Grundkörpers (64) führbar ist.



Z u s a m m e n f a s s u n g

- Positioniereinrichtung (60) zum Positionieren eines Funktionskörpers (62), insbesondere für ein Rastersondenmikroskop (1), wobei die
- 5 Positioniereinrichtung (60) einen Grundkörper (64) mit einer Führungsfläche (66), einen Übertragungskörper (68), der mittels einer Antriebskraft relativ zu dem Grundkörper (64) in kombinierte Rotations- und Translationsbewegung bringbar ist und eine Lauffläche (70) und eine Übertragungsfläche (72) aufweist, und einen Koppelkörper (74) aufweist, der an der Übertragungsfläche (72) mit
- 10 dem Übertragungskörper (68) wirkgekoppelt ist und der mit dem Funktionskörper (62) wirkkoppelbar ist, um die Translationsbewegung des Übertragungskörpers (68) auf den Funktionskörper (62) umzulenken und den Funktionskörper (62) dadurch zu positionieren, wobei die Führungsfläche (66) des Grundkörpers (64) und die Lauffläche (70) des Übertragungskörpers (68) in
- 15 Wirkverbindung miteinander angeordnet sind, sodass der Übertragungskörper (68) während seiner kombinierten Rotations- und Translationsbewegung mittels des Grundkörpers (64) führbar ist.

(Figur 2)

Positioniereinrichtung zum Positionieren eines Funktionskörpers

Die Erfindung betrifft eine Positioniereinrichtung, eine Funktionsanordnung, ein Rastersondenmikroskop, ein Verfahren zum
5 Positionieren eines Funktionskörpers, sowie eine Verwendung.

Ein Rasterkraftmikroskop (Atomic Force Microscope, AFM) dient hauptsächlich der lateral bzw. vertikal hochauflösenden Untersuchung von Oberflächen (insbesondere topographische Untersuchungen von Oberflächen).
10 Dabei wird eine Messsonde (zum Beispiel ein Biegebalken, welcher auch als Cantilever bezeichnet wird) mit einer nanoskopisch kleinen Nadel (auch als Messspitze oder Messsondenspitze bezeichnet) über die Oberfläche geführt (d.h. gerastert bzw. gescannt) und die Auslenkung des Cantilevers, basierend auf der Wechselwirkung des Cantilevers mit der Oberfläche, detektiert. Je nach
15 Oberflächenbeschaffenheit der Probe wird die Auslenkung des Cantilevers positionsabhängig bzw. die Nachführung der Sonde aufgezeichnet. Die Auslenkung des Cantilevers bzw. der Spitze kann kapazitiv (insbesondere piezoelektrisch) oder mithilfe von optischen Sensoren gemessen werden. Diese Methode ermöglicht eine Strukturuntersuchung der Oberfläche der Probe bis hin
20 zur atomaren Auflösung. Der Abstand des Cantilevers zur Oberfläche der zu untersuchenden Probe kann sehr genau eingestellt werden. Damit können verschiedene Messmethoden, wie beispielsweise der Kontaktmode (contact mode), der Nicht-Kontaktmode (non contact mode), Tast-AFM Mode (Tapping Mode), etc. realisiert werden.
25 Für den präzisen Betrieb eines Messgeräts, insbesondere eines Rastersondenmikroskops, ist die genaue Positionierung von Bauteilen des Messgerätes erforderlich.

Bekannt sind Positioniersysteme mit Piezoaktuatoren, die sehr kleine lineare Verschiebungen bewirken können. Sind jedoch größere Verschiebungen
30 vonnöten, so muss eine Vielzahl von Aktuatoren miteinander kombiniert werden.

In einer weiteren herkömmlichen Ausführungsform wird ein Piezoaktuator mit einem mechanischen Antrieb kombiniert.

Ferner sind herkömmlich Antriebe bekannt, die über Getriebe oder dergleichen entsprechend untersetzt werden.

5 All diese Systeme sind mit hohem Aufwand verbunden bzw. sind komplex in der Ansteuerung. Sie benötigen außerdem viel Platz.

Herkömmlich ist das beschriebene Positionieren also nur mit mäßiger Genauigkeit und/oder großem Aufwand möglich.

10 Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Funktionskörper, insbesondere an einem Rastersondenmikroskop, einfach und präzise positionieren zu können.

Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst. Weitere Ausführungsbeispiele sind in
15 den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist eine Positioniereinrichtung zum Positionieren eines Funktionskörpers (insbesondere für ein Rastersondenmikroskop) geschaffen, wobei die Positioniereinrichtung einen Grundkörper (zum Beispiel ein Stator) mit einer Führungsfläche, einen
20 Übertragungskörper (insbesondere zum Übertragen einer Positionierkraft), der mittels einer Antriebskraft (die zum Beispiel händisch durch einen Benutzer bereitstellbar ist oder vorzugsweise durch eine automatische Antriebseinrichtung) relativ zu dem Grundkörper in kombinierte Rotations- und Translationsbewegung bringbar ist und eine Lauffläche und eine Übertragungsfläche aufweist, und einen
25 Koppelkörper (insbesondere ein Körper zum Koppeln des Übertragungskörpers mit dem Funktionskörper) aufweist, der an der Übertragungsfläche mit dem Übertragungskörper wirkgekoppelt ist und der mit dem Funktionskörper wirkkoppelbar ist, um die Translationsbewegung des Übertragungskörpers auf den Funktionskörper umzulenken (d.h. die Richtung einer Antriebskraft zum
30 Positionieren des Funktionskörpers zu verändern) und den Funktionskörper

dadurch zu positionieren, wobei die Führungsfläche des Grundkörpers und die Lauffläche des Übertragungskörpers in Wirkverbindung miteinander angeordnet sind, sodass der Übertragungskörper während seiner kombinierten Rotations- und Translationsbewegung mittels des Grundkörpers führbar ist (insbesondere

5 um die räumliche Orientierung und/oder die translatorische Bewegungsfreiheit des Übertragungskörpers gezielt einzuschränken).

Gemäß einem weiteren exemplarischen Ausführungsbeispiel ist eine Funktionsanordnung bereitgestellt, die eine Positioniereinrichtung mit den oben beschriebenen Merkmalen und den Funktionskörper aufweist, der mit dem

10 Koppelkörper wirkgekoppelt ist (insbesondere mittels eines Schlittens der Positioniereinrichtung, der die eigentliche mechanische Schnittstelle der Positioniereinrichtung zu dem Funktionskörper bilden kann).

Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist ein Rastersondenmikroskop zum Ermitteln von Oberflächeninformation

15 hinsichtlich eines Probenkörpers mittels rasternden Abtastens einer Oberfläche des Probenkörpers bereitgestellt, wobei das Rastersondenmikroskop einen bewegbaren Sondenkörper mit einer Messspitze zum rasternden Abtasten der Oberfläche des Probenkörpers und eine Positioniereinrichtung mit den oben beschriebenen Merkmalen oder eine Funktionsanordnung mit den oben

20 beschriebenen Merkmalen zum Positionieren eines Funktionskörpers des Rastersondenmikroskops aufweist.

Gemäß einem weiteren exemplarischen Ausführungsbeispiel ist ein Verfahren zum Positionieren eines Funktionskörpers (insbesondere eines Rastersondenmikroskops) bereitgestellt, wobei bei dem Verfahren ein eine

25 Lauffläche und eine Übertragungsfläche aufweisender Übertragungskörper mit einer Antriebskraft beaufschlagt wird, um den Übertragungskörper relativ zu einem eine Führungsfläche aufweisenden Grundkörper in kombinierte Rotations- und Translationsbewegung zu bringen, und die Translationsbewegung des Übertragungskörpers auf den Funktionskörper zum Positionieren des

30 Funktionskörpers mittels eines Koppelkörpers umgelenkt wird, der an der

Übertragungsfläche mit dem Übertragungskörper wirkgekoppelt ist und der mit dem Funktionskörper wirkgekoppelt ist, wobei die Führungsfläche des Grundkörpers und die Lauffläche des Übertragungskörpers derart miteinander in Wirkverbindung gebracht werden, dass der Übertragungskörper während seiner kombinierten Rotations- und Translationsbewegung mittels des Grundkörpers geführt wird.

Gemäß noch einem anderen exemplarischen Ausführungsbeispiel wird eine Positioniereinrichtung mit den oben beschriebenen Merkmalen zum Justieren oder Steuern eines elektromagnetischen Strahls in einem Rastersondenmikroskop verwendet.

Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter dem Begriff „Funktionskörper“ insbesondere ein Körper oder Bauteil verstanden, mit dessen Hilfe es möglich ist, in einem Messgerät oder dergleichen, insbesondere in einem Rastersondenmikroskop, eine gewünschte Funktion zu erfüllen. Diese Funktion kann mit einer präzisen Positionierung des Funktionskörpers in dem Messgerät, insbesondere dem Rastersondenmikroskop, in Zusammenhang stehen. Daher stellt ein Funktionskörper im Rahmen exemplarischer Ausführungsbeispiele eine Komponente eines Messgerätes, insbesondere eines Rastersondenmikroskops, dar, die mittels der Positioniereinrichtung in vorgebbarer und präziser Weise positioniert wird. Ein Beispiel für einen solchen Funktionskörper ist ein optischer Spiegel, mit dem im Rahmen einer Messung mit einem Rastersondenmikroskop ein elektromagnetischer Strahl (insbesondere ein Laserstrahl) in gezielter Weise umgelenkt wird. Ein solcher optischer Spiegel kann mit einer Positioniereinrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel präzise positioniert werden.

Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter dem Begriff „Rastersondenmikroskop“ insbesondere ein Mikroskop verstanden, bei dem ein Bild oder sonstige Oberflächeninformation eines Probenkörpers nicht mit einer optischen oder elektronenoptischen Abbildung erzeugt wird, sondern über die Wechselwirkung einer Messsonde mit dem Probenkörper. Die zu untersuchende

Probenoberfläche wird mittels dieser Messsonde in einem Rasterprozess Punkt für Punkt abgetastet. Die sich für jeden einzelnen Punkt ergebenden Messwerte können dann zu einem Bild zusammengesetzt werden oder in anderer Weise ausgewertet werden.

5 Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter dem Begriff „Sondenkörper“ insbesondere ein Körper verstanden, mit dessen Hilfe es möglich ist, Zugriff auf eine zu analysierende, miniaturisierte und/oder beschränkt bzw. schwer zugängliche Stelle zu erhalten. An dieser Stelle kann mit Instrumenten bzw. mit Messsystemen etwas untersucht werden. Insbesondere kann ein solcher
10 Sondenkörper bei einem mit einer Positioniereinrichtung wirkgekoppelten Messgerät (zum Beispiel, aber nicht beschränkt auf, ein Rastersondenmikroskop) als Sonde während eines Messvorgangs dienen. Im Beispiel eines Rastersondenmikroskops kann der Sondenkörper einem Abrastern einer Oberfläche eines Probekörpers dienen.

15 Im Rahmen der vorliegenden Anmeldung wird unter dem Begriff „Stick-Slip-Effekt“ insbesondere ein physikalischer Effekt verstanden, der auftreten kann, wenn ein elastisches System gegen eine vorhandene Festkörperreibung in kleinen Schritten bewegt werden soll. Die Kraft, die notwendig ist, um die Haftreibung zu überwinden, führt zu einer Vorspannung im elastischen System.
20 Wird die Haftreibung überwunden, geht der Reibkontakt in einen Zustand der Gleitreibung über, was zu einer plötzlichen Reduktion der Reibkraft führt. Durch die Reduktion dieser Gegenkraft wird auch die Vorspannung im System abgebaut, indem die Kontaktstelle einen plötzlichen unkontrollierbaren Sprung macht, der im ungünstigsten Fall größer sein kann als der beabsichtigte Schritt.

25 Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung ist eine Positioniereinrichtung zum Positionieren eines insbesondere sehr leichten Funktionskörpers mit sehr kleinen Weglängen (zum Beispiel im Mikrometerbereich) geschaffen, die im Rahmen der Positionierung von dem Funktionskörper zurückzulegen sind. Indem der Funktionskörper über den
30 Koppelkörper mit einer Positionierkraft beaufschlagt wird, welche der

Koppelkörper wiederum von einem eine kombinierte Rotations- und Translationsbewegung vollführenden Übertragungskörper erhält, kann der oben beschriebene Stick-Slip-Effekt reduziert werden. Die Translationsbewegung des Übertragungskörpers führt zur eigentlichen Umpositionierung des

- 5 Funktionskörpers. Wird dieser Translationsbewegung aber eine Rotationsbewegung überlagert, bewegt sich der Koppelkörper relativ zu dem Übertragungskörper nicht nur translatorisch, sondern gleichzeitig rotatorisch, und zwar entlang einer sehr langen Trajektorie. Dadurch bleibt das System stets in einem Betriebszustand mit wirkender Gleitreibungskraft, wohingegen
- 10 Haftreibungskraft weitgehend oder vollständig unterdrückt ist. Anschaulich kommt es daher nicht zu einem ruckartigen Springen und somit nicht zu dem oben beschriebenen Stick-Slip-Effekt, selbst wenn der Antrieb des Übertragungskörpers (zum Beispiel mit einem Schrittmotor) inkrementell erfolgt. Auf diese Weise ist eine sehr genaue und gleichzeitig konstruktiv sehr einfache
- 15 Positionierung eines Funktionskörpers ermöglicht. Durch das Umlenken der wirkenden Antriebskraft an der Übertragungsfläche des Übertragungskörpers ist zudem eine durch die Geometrie des Übertragungskörpers präzise vorgebbare Übersetzung definiert, welche die Genauigkeit der Positionierung des Funktionskörpers weiter erhöht.

- 20 Insbesondere ist gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel eine Positioniereinrichtung geschaffen, die zur präzisen linearen Verschiebung von kleinen Massen entlang kleiner Weglängen besonders vorteilhaft ist. In einem bevorzugten Anwendungsfall wird eine solche Positioniereinrichtung für ein Rastersondenmikroskop eingesetzt, zum Beispiel um die Verschiebung von
- 25 Spiegeln zur Steuerung und Umlenkung eines Laserstrahls zu bewerkstelligen, der Bewegungen eines Sondenkörpers detektiert. Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung ist eine wenig aufwändige und platzsparende Positioniereinrichtung bereitgestellt, mit der eine ausreichend große lineare Verschiebung eines Funktionskörpers in hinreichend fein unterteilten Schritten
- 30 ermöglicht wird. Simultan kann mit einer solchen Positioniereinrichtung der

Stick-Slip-Effekt weitgehend unterdrückt werden. Insbesondere stellen exemplarische Ausführungsbeispiele der Erfindung eine Positioniereinrichtung bereit, die eine exakte Justierung von optischen Elementen (insbesondere von Spiegeln im Strahlengang eines Lasers) in einem Rastersondenmikroskop erlaubt.

Gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel wird ein zum Beispiel auf einer Spindel sitzender und beispielsweise von einem Motor angetriebener Übertragungskörper, bevorzugt ein Kegelkolben, eingesetzt. Wird der Übertragungskörper vom Motor (oder einer Antriebseinrichtung oder händisch durch einen Benutzer) in eine Drehung versetzt, so bewirkt ein in der Positioniereinrichtung implementierter Mechanismus (insbesondere eine Spindel) eine Übersetzung dieser Rotation in eine Translationsbewegung. Ein auf der Oberfläche des Übertragungskörpers vorzugsweise quer zur Vorschubrichtung des Übertragungskörpers sitzender Koppelkörper (zum Beispiel eine Querachse) vollführt daraufhin eine vorgebbare Bewegung, bevorzugt eine lineare Bewegung nach oben oder nach unten. Alternativ oder ergänzend ist auch eine Kipp- bzw. Drehbewegung des Funktionskörpers generierbar. Ein wesentlicher Vorteil ist hierbei, dass durch die einstellbare Geometrie des Übertragungskörpers (zum Beispiel die Neigung des Konus) und der anderen Komponenten der Positioniereinrichtung (zum Beispiel einer Ganghöhe der Spindel) eine einstellbare Untersetzung definierbar ist. Dadurch kann insbesondere eine präzise Bewegung des Funktionskörpers über sehr kleine Distanzen ermöglicht werden. Exemplarische Ausführungsbeispiele der Erfindung sind insbesondere mit Vorteil überall dort anwendbar, wo kleine bzw. leichte Funktionskörper präzise zu verschieben oder zu verdrehen sind, also zum Beispiel bei der Feinjustierung von Proben, Sensoren, Messfühlern oder optischen Elementen sowie bei der Positionierung von Präzisionswerkzeugen im Maschinenbau.

Im Weiteren werden zusätzliche exemplarische Ausführungsbeispiele der Positioniereinrichtung, der Funktionsanordnung, des Rastersondenmikroskops, des Verfahrens und der Verwendung beschrieben.

5 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann der Grundkörper einen Hohlraum aufweisen, in dem der Übertragungskörper zumindest teilweise angeordnet ist. Zum Beispiel kann der Hohlraum als einfache zylindrische Bohrung in einem Rohling ausgebildet werden. Dies führt zu einer kompakten Konfiguration der Positioniereinrichtung und einer einfachen Herstellbarkeit.

10 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Führungsfläche als zumindest ein Teilbereich einer Innenwand, insbesondere als zumindest ein Teilbereich einer kreiszylindrischen Mantelfläche der Innenwand, des Hohlraums ausgebildet sein. Anschaulich umgibt der Grundkörper bei einer solchen Ausgestaltung den Übertragungskörper, der dadurch mechanisch geschützt und in kompakter Weise untergebracht werden kann. Außerdem bewirkt eine solche Geometrie eine
15 präzise Führung des Übertragungskörpers durch den Grundkörper.

20 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Lauffläche durch zumindest einen Teilbereich einer Außenwand und/oder durch zumindest einen Teilbereich einer Innenwand des Übertragungskörpers ausgebildet sein. Gemäß einer Ausgestaltung kann eine Außenwand des Übertragungskörpers die Lauffläche und somit die mechanische Schnittstelle des Übertragungskörpers zu dem
25 Grundkörper bilden. Dies fördert zusätzlich eine platzsparende Konfiguration der Positioniereinrichtung. Alternativ oder ergänzend kann aber auch eine Innenwand des Übertragungskörpers ganz oder teilweise die Lauffläche und daher die Kopplungsfläche zu dem Grundkörper bilden. In einem solchen Fall weist der
30 Grundkörper zum Beispiel eine zumindest teilweise innerhalb des Übertragungskörpers verlaufende Kopplungsfläche auf.

30 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Lauffläche mindestens zwei voneinander entlang einer Rotationsachse des Übertragungskörpers beabstandete, insbesondere durch die Übertragungsfläche beabstandete, Laufflächenabschnitte aufweisen. Wenn zwischen diesen beiden

Laufflächenabschnitten die Übertragungsfläche des Übertragungskörpers angeordnet ist, wird der Übertragungskörper anschaulich an zwei voneinander in axialer Richtung beabstandeten Bereichen durch die Führungsfläche des Grundkörpers geführt. Dies führt zu einer besonders stabilen und fehlerrobusten Führung und daher zu einer hohen Präzision der Positioniereinrichtung.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel können die beabstandeten Laufflächenabschnitte gleiche Außendurchmesser aufweisen. Insbesondere können die beabstandeten Laufflächenabschnitte kreiszylindrische Mantelflächen mit gleichem Kreisdurchmesser aufweisen. Dies führt einerseits dazu, dass die Führungsfläche des Grundkörpers durch einfaches Bilden einer zylindrischen Bohrung mit konstantem Durchmesser gebildet werden kann. Andererseits führt dies auch zu einer symmetrischen und daher wenig fehleranfälligen Führung des Übertragungskörpers in dem Grundkörper und zu gleichmäßigen Lagerkräften.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann zwischen den beabstandeten Laufflächenabschnitten im Bereich der Übertragungsfläche eine Einbuchtung gebildet sein. Diese Einbuchtung kann zum Aufnehmen des Koppelkörpers und somit zu einer besonders platzsparenden Positioniereinrichtung dienen. Auch erlaubt dies eine günstige Fertigung der Positioniereinrichtung mit zwei voneinander getrennten kreiszylindrischen Mantelflächen als Laufflächenabschnitten und einem dazwischen angeordneten insbesondere kegelförmigen Kraftübertragungsabschnitt.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Lauffläche zumindest teilweise durch mindestens eine kreiszylindrische Mantelfläche des Übertragungskörpers ausgebildet sein. Werden insbesondere zwei einander gegenüberliegende axiale Endstücke des Übertragungskörpers als Kreiszylinder und/oder Kreishohlzylinder ausgebildet, ist eine reibungsarme Kopplung mit der Führungsfläche des Grundkörpers mit einer einfachen Herstellbarkeit der Positioniereinrichtung kombiniert.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Übertragungsfläche zumindest abschnittsweise gegenüber einer Rotationsachse des Übertragungskörpers

geneigt sein, insbesondere zumindest teilweise durch mindestens eine kegelförmige Mantelfläche des Übertragungskörpers ausgebildet sein. Durch Einstellung der Neigung kann die Über- bzw. Untersetzung der auf den Übertragungskörper einwirkenden Antriebskraft in eine Positionsverschiebung und/oder Drehung des Funktionskörpers präzise eingestellt werden. Zum Beispiel kann die Neigung in einem Übertragungsabschnitt des Übertragungskörpers konstant eingestellt werden, was einer kegelförmigen oder kegelstumpfförmigen Geometrie des Übertragungsabschnitts des Übertragungskörpers entspricht. Dies erlaubt mit Vorteil eine linear übersetzte Bewegung des Funktionskörpers während des Positioniervorgangs. Wenn in anderen Applikationen hingegen eine nichtlinear übersetzte Bewegung des Funktionskörpers angestrebt wird, kann dies in konstruktiv einfacher Weise durch eine nichtkonstante Neigung des vorzugsweise rotationssymmetrischen Übertragungskörpers in seinem Kraftübertragungsabschnitt erreicht werden. Insbesondere kann die Übertragungsfläche dann auch eine Mehrzahl von gegenüber der Rotationsachse unterschiedlich geneigten Abschnitten aufweisen, anschaulich zum Beispiel aneinander angestückte und gestufte Kegelstumpfabschnitte unterschiedlicher Steigung. Es ist auch möglich, die Mantelfläche der Kraftübertragungsfläche des Übertragungskörpers konkav oder konvex auszugestalten, um der Positioniereinrichtung eine nichtlineare Positioniercharakteristik aufzuprägen.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann der Koppelkörper als Querachsenkörper ausgebildet sein, der sich orthogonal zu einer Rotationsachse des Übertragungskörpers erstreckt. Zum Beispiel kann der Koppelkörper dann als zylindrischer Schaft ausgebildet werden. In anderen Applikationen kann es hingegen vorteilhaft sein, den Koppelkörper geometrisch anders zu konfigurieren, zum Beispiel als Kugel.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Positioniereinrichtung eine automatische Antriebseinrichtung aufweisen, insbesondere ein Motor, weiter insbesondere ein Schrittmotor, eingerichtet zum Antreiben, insbesondere zum rotatorischen Antreiben, des Übertragungskörpers. Gemäß exemplarischen

Ausführungsbeispielen wird angestrebt, den Funktionskörper mit einer präzisen linearen Bewegung an eine gewünschte Position zu verfahren. Hierbei wird häufig eine Positionierung mit einer Genauigkeit im Mikrometerbereich angestrebt. Dies kann durch einen menschlichen Benutzer nicht in allen Anwendungsfällen mit

5 ausreichender Genauigkeit erreicht werden. Daher ist es bevorzugt, die Positioniereinrichtung mit einer automatischen Antriebseinrichtung auszustatten, die eine reproduzierbare Antriebscharakteristik aufweist. Hierbei ist es mit Vorteil möglich, selbst einfache automatische Antriebseinrichtungen, wie zum Beispiel Schrittmotoren, implementieren zu können. Solche Schrittmotoren, die mit

10 vertretbarem Platzbedarf und geringem Aufwand in die Positioniereinrichtung integriert werden können, führen aufgrund der beschriebenen wirksamen Unterdrückung des Stick-Slip-Effekts trotz ihrer schrittweisen bzw. inkrementellen Bewegungscharakteristik zu keinen ausgeprägten ruckartigen Verschiebungen des Funktionskörpers.

15 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Positioniereinrichtung eine Ausgleichkupplung zwischen der Antriebseinrichtung und dem Übertragungskörper aufweisen. Eine solche Ausgleichkupplung kann mit Vorteil einen möglichen parallelen Achsversatz zwischen der Antriebseinrichtung und dem Übertragungskörper zumindest teilweise ausgleichen. Dadurch ist es

20 entbehrlich, eine exakte Ausrichtung der Achse der Antriebseinrichtung und der Achse des zum Beispiel als Kegelkörper ausgebildeten Übertragungskörpers sicherstellen zu müssen. Stattdessen bewirkt die Ausgleichkupplung einen teilweisen oder sogar vollständigen Ausgleich eines möglichen parallelen Achsversatzes zwischen Antriebseinrichtung und Übertragungskörper.

25 Besonders vorteilhaft kann eine solche Ausgleichkupplung als Oldham-Kupplung ausgebildet werden, da eine solche Oldham-Kupplung mit geringem Platzbedarf und geringem Aufwand, simultan höchst wirksam, in der Positioniereinrichtung implementiert werden kann. Unter einer „Oldham-Kupplung“, die auch als Kreuzschlitzkupplung oder Kreuzschieberkupplung

30 bezeichnet werden kann, kann im Rahmen der vorliegenden Anmeldung eine

nicht schaltbare, drehstarre Kupplung verstanden werden, die einen Radialversatz zweier paralleler Wellen ausgleichen kann. Eine Oldham-Kupplung kann insbesondere drei Einzelteile aufweisen: Zwei Scheiben, die als Kupplungsnapen ausgebildet sein können, können an den jeweiligen Wellenenden befestigt werden, beispielsweise durch eine Verschraubung oder eine Passfederverbindung. Eine dritte Scheibe kann als Schubgelenk in Form einer Kreuzscheibe und durch zwei orthogonal zueinander stehende Nut-Feder-Verbindungen zwischen den Kupplungsnapen gelagert werden.

5 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Positioniereinrichtung eine Spindel aufweisen, die zumindest abschnittsweise in eine Aussparung in dem Übertragungskörper eingeführt ist. Eine solche Spindel kann als ortsfest gelagertes bzw. mit dem Grundkörper stark gekoppeltes Bauteil ausgebildet werden, das mit dem drehbar und translatorisch verschiebbar gelagerten Übertragungskörper wirkgekoppelt ist. Insbesondere kann die Spindel
10 ausgebildet sein, die von einer Antriebseinrichtung verursachte Rotationsbewegung des Übertragungskörpers mit einer zusätzlichen Translationsbewegung zu überlagern. Besonders vorteilhaft ist es, den Übertragungskörper mit einer Aussparung (zum Beispiel einer zentralen axialen Bohrung) zu versehen und zumindest einen Abschnitt der Spindel in diese
15 Aussparung einzuführen. Da die Wirkverbindung zwischen der Spindel und dem Übertragungskörper stark reibungsbehaftet ist, ist es besonders bevorzugt, die zusammenwirkenden Wechselwirkungsflächen von Spindel und Übertragungskörper sehr achsnah vorzusehen, mithin in einer die Rotationsachse des Übertragungskörpers enthaltenden Aussparung des
20 Übertragungskörpers. Der kleine effektive Radius der Wechselwirkungsflächen zwischen Spindel und Übertragungskörper führt dann zu einem kleinen Reibmoment und daher zu einem reibungsarmen Betrieb der Positioniereinrichtung. Gemäß einer alternativen, aber weniger bevorzugten Ausführungsform können die korrespondierenden Wechselwirkungsflächen von
25 Spindel und Übertragungskörper auch entlang eines Außendurchmessers des
30

Übertragungskörpers angeordnet sein. Dann treten allerdings höhere Reibmomente auf als bei dem vorangehend beschriebenen bevorzugten Ausführungsbeispiel.

- 5 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Positioniereinrichtung eine Spindel mit einem Spindelgewinde aufweisen, das zum Zusammenwirken mit einem Gegengewinde des Übertragungskörpers eingerichtet ist, um den Übertragungskörper in die kombinierte Rotations- und Translationsbewegung zu überführen. Die Wechselwirkungsflächen zwischen Spindel und Übertragungskörper können also durch zwei zusammenwirkende bzw.
- 10 ineinandergreifende Gewinde realisiert sein. Eine Rotationsbewegung des Übertragungskörpers, getriggert durch die Antriebseinrichtung, führt dann zwangsläufig zu einer von der Spindel erzwungenen zusätzlichen Translationsbewegung des Übertragungskörpers, und folglich zu einer entsprechenden Positionsveränderung des Funktionskörpers.
- 15 Bevorzugt kann das Spindelgewinde ein Außengewinde und das Gegengewinde ein Innengewinde sein. Eine solche Ausgestaltung ist insbesondere mit einer Anordnung der Spindel in einer zentralen und sich durch die Rotationsachse erstreckenden Aussparung des Übertragungskörpers kompatibel und erlaubt einen besonders reibungsarmen Betrieb.
- 20 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Positioniereinrichtung eingerichtet sein, einen mit dem Koppelkörper wirkgekoppelten Funktionskörper ausschließlich entlang genau einer vorgegebenen Bewegungsrichtung translatorisch zu bewegen. Ein solches Ausführungsbeispiel ist in Figur 2 dargestellt. Gemäß einer solchen Ausgestaltung kann aufgrund der
- 25 Kraftübertragungscharakteristik der Positioniereinrichtung eine Bewegung des Funktionskörpers (bzw. eines mit dem Koppelkörper starr verbundenen Schlittens der Positioniereinrichtung, an dem der Funktionskörper montiert werden kann) in allen Richtungen verunmöglicht sein, mit Ausnahme der vorgegebenen Bewegungsrichtung. Auch kann dann eine Rotation des

Funktionskörpers bzw. des Schlittens durch eine entsprechende Lagerung verunmöglicht werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann die Positioniereinrichtung zum translatorischen Bewegen des Schlittens oder des Funktionskörpers eine
5 Parallelführeinrichtung aufweisen. Eine solche Parallelführung, welche eine Parallelstellung einer starren Verbindung zwischen dem Koppelkörper einerseits und dem Funktionskörper bzw. dem Schlitten der Positioniereinrichtung
andererseits sicherstellt, kann eine einzige Vorzugsrichtung definieren, entlang welcher der Positionierkörper durch die Positioniereinrichtung verschoben werden
10 kann.

Gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel kann die Positioniereinrichtung eingerichtet sein, einen mit dem Koppelkörper wirkgekoppelten Funktionskörper um eine vorgegebene Kippachse zu kippen. Insbesondere kann die
Positioniereinrichtung zum Kippen einen um ein Drehgelenk drehbaren Hebel
15 aufweisen. Ein solches Ausführungsbeispiel ist in Figur 5 dargestellt.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel kann die Positioniereinrichtung mindestens ein Festkörpergelenk zum Einstellen einer Kopplung zwischen dem Koppelkörper und einem mit dem Koppelkörper
wirkgekoppelten Funktionskörper aufweisen. Insbesondere kann die oben
20 beschriebene Parallelführung oder das oben beschriebene Drehgelenk als Festkörpergelenk konfiguriert werden. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung kann unter einem „Festkörpergelenk“ insbesondere ein Bereich eines Bauteils
verstanden werden, der eine Relativbewegung (insbesondere translatorische Bewegung oder Drehung) zwischen zwei Starrkörperbereichen durch Biegung
25 erlaubt. Ein Festkörpergelenk ist somit kein Gelenk im Sinne eines kinematischen Paares, sondern beruht auf dem Prinzip der Elastizität. Die Gelenkfunktion wird bei einem Festkörpergelenk anschaulich durch einen Bereich verminderter
Biegesteifigkeit relativ zu zwei angrenzenden Bereichen höherer Biegesteifigkeit erreicht. Die verminderte Biegesteifigkeit kann zum Beispiel durch eine lokale
30 Querschnittsverringeringung oder eine lokale Konfiguration der Form eines

Abschnitts des Bauteils erzeugt werden. Ein den Koppelkörper führendes Festkörpergelenk hat den besonderen Vorteil, dass eine Bewegung des Funktionskörpers durch eine weichelastische Bewegung an einem gezielt mechanisch geschwächten Abschnitt der Positioniereinrichtung erfolgt. Dadurch
5 kann der unerwünschte Stick-Slip-Effekt besonders wirksam unterdrückt werden, da die Gelenkfunktion ohne Ruckeln und somit ohne abrupte Übergänge zwischen Haftreibung und Gleitreibung bewerkstelligt werden kann. Die Implementierung eines Festkörpergelenks in der Positioniereinrichtung erlaubt daher insbesondere die Implementierung eines wenig aufwändigen und kompakten Schrittmotors als
10 Antriebseinrichtung in der Positioniereinrichtung, ohne dass unerwünschte sprunghafte Positionsveränderungen des Funktionskörpers zu befürchten wären.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann das Festkörpergelenk mit dem Grundkörper und dem Koppelkörper gekoppelt sein bzw. dazwischen angeordnet sein.

15 Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann der Grundkörper starr mit der Antriebseinrichtung und/oder der Spindel gekoppelt sein. Durch eine solche starre Kopplung kann die Positioniereinrichtung besonders fehlerrobust und präzise betrieben werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann der Funktionskörper ein optisches
20 Bauelement (insbesondere ein Spiegel oder eine Linse), ein Probekörper, ein Sensor oder ein Messfühler sein. Allgemein ausgedrückt kann die Positioniereinrichtung mit Vorteil überall dort implementiert werden, wo relativ leichtgewichtige Bauelemente um relativ kleine Wegstrecken bewegt werden sollen. Bei solchen Anwendungen entfaltet die Positioniereinrichtung ihre Vorteile
25 in besonders ausgeprägter Weise.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann der Funktionskörper starr mit dem Koppelkörper verbunden sein. Diese starre Verbindung kann zum Beispiel durch einen Schlitten der Positioniereinrichtung implementiert werden, der wiederum starr mit dem Koppelkörper verbunden sein kann. An diesem Schlitten kann der
30 Funktionskörper montiert werden.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel kann als Funktionskörper an (zum Beispiel einem Schlitten) der Positioniereinrichtung ein Umlenkspiegel zum Umlenken eines auf den Sondenkörper einwirkenden elektromagnetischen Strahls angebracht sein. Mit Vorteil kann das Rastersondenmikroskop einen
5 weiteren Funktionskörper an einer weiteren Positioniereinrichtung mit den oben beschriebenen Merkmalen aufweisen, der ebenfalls als Umlenkspiegel ausgebildet und ebenfalls zum Umlenken des elektromagnetischen Strahls angebracht ist. Insbesondere können die Umlenkspiegel mittels der Positioniereinrichtungen derart verfahrbar sein, dass der elektromagnetische Strahl zu dem jeweiligen
10 Umlenkspiegel jeweils entlang der jeweiligen Verfahrrichtung propagiert. Ein solches Ausführungsbeispiel ist in Figur 11 und Figur 12 dargestellt. Bei einer solchen Implementierung kann ein Laserstrahl oder eine andere elektromagnetische Strahlung präzise (zum Beispiel in einer Ebene) bewegt werden. Dies ermöglicht insbesondere eine Justierung zur Ausrichtung eines
15 Laserstrahls zu Beginn einer Messung mit einem zugehörigen Rastersondenmikroskop.

Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann das Rastersondenmikroskop als Rasterkraftmikroskop ausgebildet sein. Das Rasterkraftmikroskop, auch atomares Kraftmikroskop oder Atomkraftmikroskop
20 (AFM) genannt, ist ein spezielles Rastersondenmikroskop. Es dient als Werkzeug in der Oberflächenchemie bzw. in der Oberflächencharakterisierung und fungiert zur mechanischen Abtastung von Oberflächen und der Messung atomarer Kräfte auf der Nanometerskala. Die Erfindung bezieht sich auf ein Rastersondenmikroskop (englisch Scanning Probe Microscope, kurz SPM),
25 insbesondere ein Atomkraftmikroskop (englisch Atomic Force Microscope, kurz AFM), ist aber grundsätzlich auch in anderen Geräten und Instrumenten einsetzbar.

Es ist gemäß anderen exemplarischen Ausführungsbeispielen alternativ oder ergänzend möglich, eine Positioniereinrichtung bzw. eine

Funktionsanordnung insbesondere für eine oder mehrere der folgenden Anwendungen vorzusehen:

- 5 - Justieren von Spiegeln, Linsen und/oder anderen optischen Elementen als Funktionskörper in einem Messinstrument zur Partikelgrößenbestimmung mittels Lichtstreuung
- Justieren von optischen Elementen als Funktionskörper in einem Messinstrument zur Röntgenstreuung, beispielsweise Kleinwinkelstreuung (SAXS) oder Röntgen-Diffraktion (XRD)
- 10 - Bewegen von Proben als Funktionskörper in einem Rheometer
- Bewegen von Proben oder Sonden als Funktionskörper in einem Rastermikroskop oder einem anderen Gerät zur Oberflächenuntersuchung (zum Beispiel einem Nanoindenter oder einem Scratch-Tester)

15 Im Folgenden werden exemplarische Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung mit Verweis auf die folgenden Figuren detailliert beschrieben.

 Figur 1 zeigt ein Rastersondenmikroskop mit einer Positioniereinrichtung aufweisenden Funktionsanordnung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

20 Figur 2 zeigt eine Querschnittsansicht einer Positioniereinrichtung zum Positionieren von einem einen Laserstrahl umlenkenden optischen Bauteil gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem das Bauteil mit einer Längsbewegung beaufschlagt wird.

25 Figur 2A zeigt ein Detail der Positioniereinrichtung gemäß Figur 2 im Bereich von dort implementierten Festkörpergelenken.

 Figur 3 zeigt einen Übertragungskörper einer Positioniereinrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

 Figur 4 zeigt einen Übertragungskörper einer Positioniereinrichtung gemäß einem anderen exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 5 zeigt eine Querschnittsansicht einer Positioniereinrichtung zum Positionieren von einem einen Laserstrahl umlenkenden optischen Bauteil gemäß einem anderen exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem das Bauteil mit einer Drehbewegung beaufschlagt wird.

5 Figur 6 zeigt eine räumliche Ansicht einer Positioniereinrichtung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 7 und Figur 8 zeigen Querschnittsansichten der Positioniereinrichtung gemäß Figur 6.

10 Figur 9 und Figur 10 zeigen Querschnittsansichten der Positioniereinrichtung gemäß Figur 6 im eingefahrenen Zustand eines Koppelkörpers (siehe Figur 9) und im ausgefahrenen Zustand des Koppelkörpers (siehe Figur 10).

15 Figur 11 zeigt einen Teil eines Rastersondenmikroskops mit einer Funktionsanordnung gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Figur 12 zeigt ein Detail von Figur 11.

Gleiche oder ähnliche Komponenten in unterschiedlichen Figuren sind mit gleichen Bezugsziffern versehen.

20 Bevor beziehungsweise auf die Figuren exemplarische Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben werden, sollen noch einige allgemeine Aspekte der Erfindung und der zugrundeliegenden Technologien erläutert werden:

25 Mit einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung ist eine Positioniereinrichtung zum Positionieren eines Funktionskörpers geschaffen, bei dem mittels eines rotierenden und gleichzeitig translatorisch verschobenen Übertragungskörpers in definiert geführter Weise eine Antriebskraft in eine die Position des Funktionskörpers verändernde Kraft umgerichtet und in vorgegebener Weise umgesetzt werden kann. Aufgrund dieser präzise definierten Kinematik (insbesondere langer Rotationsweg in Kombination mit kürzerem
30 Translationsweg) können unerwünschte ruckartige Schritte bzw. Sprünge des

Funktionskörpers, wie sie bei einem Übergang zwischen Haftreibung und Gleitreibung auftreten können, und somit parasitäre Stick-Slip-Phänomene, vermieden werden.

Dies kann insbesondere durch die Kombination einer speziellen

- 5 Lagerarchitektur und einer zugehörigen Ausgestaltung des Antriebsstrangs der Positioniereinrichtung erreicht werden:

- Hinsichtlich der Lagerung kann ein Festkörpergelenk (zum Beispiel in Form einer gezielten mechanischen Schwächung eines Bauteils der Positioniereinrichtung) anstelle eines rollenden oder gleitenden Gelenks
10 implementiert werden. Eine dadurch erreichte weichelastische Bewegung vermeidet Übergänge zwischen Haftreibung und Gleitreibung und somit den unerwünschten Stick-Slip-Effekt.

- Was den Antriebsstrang betrifft, können zum Beispiel Schrittmotoren mit definierten Schrittwinkeln implementiert werden, die in eine möglichst kleine
15 Linearbewegung übersetzt werden können. Die Übersetzung kann zum Beispiel durch eine Spindel bewerkstelligt werden, die eine Drehbewegung in eine Längsbewegung umsetzt.. Ein mit Vorteil mit einem kegeligen Kolben ausgebildeter Übertragungskörper wird dadurch gedreht und längsverschoben, wodurch ein Koppelkörper und in der Folge ein Schlitten mit daran montiertem
20 Funktionskörper gezielt umpositioniert werden können. Die Ganghöhe der Spindel und/oder die Steigung des kegeligen Kolbens definieren dabei die Übersetzung.

- Figur 1** zeigt ein Scanning Probe Microscope (SPM) oder Rastersondenmikroskop 1 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der
25 Erfindung, das als Rasterkraftmikroskop (Atomic Force Microscope, AFM) ausgebildet ist.

- Bei dem Rastersondenmikroskop 1 wird ein Cantileverausschlag, d.h. eine Positionsveränderung bzw. eine Formänderung einer Messsonde 11 (die auch als Cantilever bezeichnet wird), mithilfe einer optischen Sensorik detektiert. Die
30 Messsonde 11 ist aus einer Messspitze 5 und einem diese tragenden

Sondenkörper 7 gebildet. Der Sondenkörper 7 ist an einer Montageeinrichtung 4 montiert. Eine elektromagnetische Strahlungsquelle 2 (zum Beispiel eine Laserquelle) sendet einen elektromagnetischen Primärstrahl 13 (insbesondere einen Lichtstrahl, zum Beispiel ein Laserstrahl) über eine

5 Fokussierungseinrichtung 12 (die als Anordnung von einer oder mehreren optischen Linsen ausgebildet sein kann) auf die Messsonde 11. Der von der Messsonde 11 reflektierte elektromagnetische Sekundärstrahl 3 propagiert zu einem foto- und positionssensitiven Detektor 10 (insbesondere kann der elektromagnetische Sekundärstrahl 3 mittels eines oder mehrerer Umlenkspiegel

10 14 oder eines oder mehrerer anderer optischer Umlenkelemente auf den positionssensitiven Detektor 10 umgelenkt werden). Wird die Messsonde 11 über eine Verschiebeeinrichtung 80 (zum Beispiel einem Piezo-Aktuator, der eine Positionsveränderung in der gemäß Figur 1 vertikalen z-Richtung bewerkstelligen kann) in Bewegung gebracht und/oder verändert die Messsonde 11 ihre Form,

15 kann eine Veränderung des Laserlichts am positionssensitiven Detektor 10 detektiert werden. Je nach Wechselwirkung der Messspitze 5 (auch als Cantileverspitze bezeichnet) der Messsonde 11 mit einem zu untersuchenden bzw. zu charakterisierenden Probenkörper 6 auf einem Probenhalter 52 wird der Ausschlag der Messsonde 11 variieren und ein dazugehöriger Bereich am

20 Detektor 10 vom elektromagnetischen Sekundärstrahl 3 getroffen. Das Detektorsignal kann dann in einer Auswerteeinheit 8 verarbeitet werden. Das entstehende hochauflösende Bild der Oberfläche des Probenkörpers 6 kann dann mittels einer Anzeigevorrichtung 9 dargestellt werden. Eine Oberfläche des Probenkörpers 6 kann mit der Messspitze 5 (d.h. einer empfindlichen Spitze der

25 Messsonde 11) abgerastert werden. Ein Probentisch ist in der gemäß Figur 1 horizontalen Ebene (d.h. in einer zu der z-Achse orthogonalen x-Richtung und y-Richtung) mittels Aktoren bewegbar. Das Rastersondenmikroskop 1 dient somit zum Ermitteln von Oberflächeninformation hinsichtlich des Probenkörpers 6 mittels rasternden Abtastens einer Oberfläche des Probenkörpers 6 mittels der

Messsonde 11. Eine Wegmessvorrichtung 50 kann zum Messen einer Weginformation des Sondenkörpers 7 vorgesehen werden.

Wie im Weiteren näher beschrieben wird, weist das in Figur 1 dargestellte Rastersondenmikroskop 1 eine Funktionsanordnung 112 auf, die eine

5 Positioniereinrichtung 60 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung aufweist. Die Positioniereinrichtung 60 positioniert gemäß Figur 1 den Umlenkspiegel 14 (wobei letzterer auch als Funktionskörper 62 bezeichnet wird, der die Funktion des Umlenkens des elektromagnetischen Sekundärstrahls 3 erfüllt). Gemäß Figur 1 wird somit die dargestellte Positioniereinrichtung 60 zum
10 Steuern des elektromagnetischen Sekundärstrahls 3 in einem Rastersondenmikroskop 1 verwendet. In einem anderen Ausführungsbeispiel wird die Positioniereinrichtung 60 dafür vorgesehen, den elektromagnetischen Primärstrahl 13 umzulenken, bevor dieser auf den Sondenkörper 7 trifft. Alternativ zu Figur 1 ist es (vergleiche Figur 11 und Figur 12) auch möglich, zwei
15 (oder mehr) Positioniereinrichtungen 60 zum Positionieren von zwei (oder mehr) Umlenkspiegeln 14 und/oder anderen Funktionskörpern 62 des Rastersondenmikroskops 1 vorzusehen. Zum Beispiel ist auch ein Positionieren der Messsonde 11 und/oder des Probenkörpers 6 mittels einer solchen Positioniereinrichtung 60 möglich.

20 Exemplarische Beispiele für Positioniereinrichtungen 60, die gemäß Figur 1 eingesetzt werden können, werden im Weiteren näher beschrieben:

Figur 2 zeigt eine Querschnittsansicht einer Positioniereinrichtung 60 zum Positionieren von einem einen Laserstrahl (siehe elektromagnetischer Primärstrahl 13 oder elektromagnetischer Sekundärstrahl 3 in Figur 1) umlenkenden optischen Bauteil (wie dem in Figur 1 dargestellten Umlenkspiegel 14) gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem das Bauteil mit einer reinen Längsbewegung beaufschlagt wird.

Die Positioniereinrichtung 60 gemäß Figur 2 dient allgemeiner ausgedrückt zum Positionieren eines in Figur 2 schematisch dargestellten Funktionskörpers 62 eines Rastersondenmikroskops 1 und weist einen statischen Grundkörper 64 mit
30

einer Führungsfläche 66 auf. Der Grundkörper 64 kann aus einem zylindrischen Rohling hergestellt werden, der mit einem kreiszylindrischen axialen Durchgangsloch 120 versehen wird, zum Beispiel eine Bohrung. Außerdem kann in einer Mantelfläche des Grundkörpers 64 eine Ausnehmung 122 gebildet werden. Mittels der Ausnehmung 122 wird eine Verbindung zwischen einem
5 unten näher beschriebenen Koppelkörper 74 und dem Funktionskörper 62 geschaffen.

Ein als Kegelkolben mit zwei kreiszylindrischen Endabschnitten ausgebildeter Übertragungskörper 68 kann platzsparend vollständig in das
10 Durchgangsloch 120 eingeführt werden. Der Grundkörper 64 weist also einen Hohlraum 76 in Form des Durchgangslochs 120 auf, in dem der Übertragungskörper 68 angeordnet ist.

Eine vorzugsweise als Schrittmotor ausgebildete Antriebseinrichtung 96 ist mit dem Übertragungskörper 68 mittels einer hier als Oldham-Kupplung
15 ausgebildeten Ausgleichskupplung 98 gekoppelt. Die Ausgleichskupplung 98 gleicht einen möglichen parallelen Achsversatz zwischen der Achse der Antriebseinrichtung 96 und der Achse des im Wesentlichen rotationssymmetrischen Übertragungskörpers 68 aus. Der Grundkörper 64 ist starr mit der Antriebseinrichtung 96 gekoppelt. Die Antriebseinrichtung 96 kann
20 den Übertragungskörper 68 zum Vollführen einer Rotationsbewegung antreiben. Eine unten näher beschriebene Spindel 100, die mit dem Übertragungskörper 68 zusammenwirkt, erzwingt, dass bei Einwirken des von der Antriebseinrichtung 96 erzeugten Antriebsmoments der Übertragungskörper 68 relativ zu dem Grundkörper 64 eine kombinierte Rotations- und Translationsbewegung vollführt.

25 Eine Lauffläche 70 des Übertragungskörpers 68 ist in Wirkverbindung mit einer korrespondierenden Führungsfläche 66 des Grundkörpers 64 gebracht. Genauer gesagt stehen die Führungsfläche 66 des Grundkörpers 64 und die Lauffläche 70 des Übertragungskörpers 68 in Wirkverbindung miteinander, sodass der Übertragungskörper 68 während seiner kombinierten Rotations- und

Translationsbewegung mittels des Grundkörpers 64 geführt und in einer achsparallelen Position relativ zu dem Grundkörper 64 gehalten wird.

Eine Übertragungsfläche 72 des Übertragungskörpers 68 hingegen lenkt die Richtung der auf den Übertragungskörper 68 einwirkenden Antriebskraft (die von der Antriebseinrichtung 96 in Zusammenwirken mit der Spindel 100 generiert wird) um und überträgt diese auf einen Koppelkörper 74 der Positioniereinrichtung 60. Dadurch ist der Koppelkörper 74 an der Übertragungsfläche 72 mit dem Übertragungskörper 68 wirkgekoppelt. Gleichzeitig ist der Koppelkörper 74 mit dem Funktionskörper 62 wirkgekoppelt, um die Translationsbewegung des Übertragungskörpers 68 auf den Funktionskörper 62 umzulenken und den Funktionskörper 62 dadurch definiert umzupositionieren bzw. gezielt und weitestgehend entlang einer Längsrichtung (gemäß Figur 2 eine vertikale Richtung, vergleiche Bezugszeichen 124) zu verschieben. Gemäß Figur 2 ist der Koppelkörper 74 als Querachsenkörper bzw. Schaft oder Zylinderkörper ausgebildet, der sich orthogonal zu der Rotationsachse 86 des Übertragungskörpers 68 und senkrecht zu der Bildebene von Figur 2 erstreckt. Alternativ ist es auch möglich, den Koppelkörper 74 als Kugel auszubilden. Wenn der Übertragungskörper 68 eine kombinierte Rotations- und Translationsbewegung vollführt, gleitet der Koppelkörper 74 entlang der Übertragungsfläche 72 und wird in gemäß Figur 2 vertikaler Richtung 124 translatorisch verschoben.

Gemäß Figur 2 ist die Führungsfläche 66 des Grundkörpers 64 als Teilbereich einer kreiszylindrischen Mantelfläche der Innenwand des Hohlraums 76 ausgebildet. Korrespondierend ist die Lauffläche 70 durch zwei voneinander entlang der Rotationsachse 86 des Übertragungskörpers 68 durch die Übertragungsfläche 72 beabstandete Laufflächenabschnitte 88, 90 gebildet. Die beabstandeten Laufflächenabschnitte 88, 90 haben gleiche und identische Außendurchmesser, die im Wesentlichen dem Innendurchmesser des zylindrischen Durchgangslochs 120 entsprechen. Dies erlaubt eine Fertigung der Positioniereinrichtung 60 mit geringem Aufwand und stellt zudem eine

zuverlässige und reibungsarme Führung des Übertragungskörpers 68 im Inneren des Grundkörpers 64 sicher.

Während die Laufflächenabschnitte 88, 90 als Mantelflächen von (hohl)zylindrischen Abschnitten des Übertragungskörpers 68 ausgebildet sind, ist die dazwischen angeordnete Übertragungsfläche 72 als geneigte Mantelfläche eines Kegelabschnitts ausgebildet. Zwischen den beabstandeten Laufflächenabschnitten 88, 90 im Bereich der Übertragungsfläche 72 ist eine umlaufende Einbuchtung 92 gebildet. Die Lauffläche 70 ist also gemäß Figur 2 durch zwei axial voneinander beabstandete kreiszylindrische Mantelflächen des Übertragungskörpers 68 ausgebildet. Die Übertragungsfläche 72 hingegen ist gegenüber der Rotationsachse 86 des Übertragungskörpers 68 mit in einer Querschnittsansicht konstanter Steigung geneigt und ist durch die in Achsrichtung zentrale kegelförmige Mantelfläche des Übertragungskörpers 68 ausgebildet. Die kegelförmige Mantelfläche bewirkt eine konstante Übersetzung der Längsbewegung des Übertragungskörpers 68 in die vertikale Bewegung des Funktionskörpers 62 (siehe Bezugszeichen 124).

Wie in Figur 2 dargestellt, ist die Spindel 100 in eine zentrale Aussparung 94 in dem Übertragungskörper 68 eingeführt. Die Aussparung 94 kann zum Beispiel als Bohrung in dem Übertragungskörper 68 vorgesehen sein. Eine Symmetrieachse der Aussparung 94 kann mit der Rotationsachse 86 zusammenfallen. Die Spindel 100 ist mit einem Spindelgewinde 102 in Form eines Außengewindes versehen, das zum Zusammenwirken mit einem als Innengewinde ausgebildeten Gegengewinde 104 des Übertragungskörpers 68 eingerichtet ist, um den Übertragungskörper 68 in die kombinierte Rotations- und Translationsbewegung zu überführen. Diese Kopplung zwischen der Spindel 100 und dem Übertragungskörper 68 ist stark reibungsbehaftet. Durch das beschriebene achснаhe Vorsehen der korrespondierenden Wechselwirkungsflächen (Spindelgewinde 102, Gegengewinde 104) der Spindel 100 und des Übertragungskörpers 68 kann dieses resultierende Reibmoment

aber gering gehalten werden und können Reibungsverluste reduziert werden. Der Grundkörper 64 ist starr mit der Spindel 100 gekoppelt.

Die Positioniereinrichtung 60 ist ferner eingerichtet, einen mit dem Koppelkörper 74 wirkgeköpkelten Funktionskörper 62, der an einem Schlitten 126 der Positioniereinrichtung 60 montiert werden kann, ausschließlich entlang einer vorgegebenen Bewegungsrichtung (vergleiche Bezugszeichen 124) translatorisch zu bewegen. Zu diesem Zweck weist die Positioniereinrichtung 60 eine Parallelführeinrichtung 106 auf, die mit Vorteil mittels mehrerer Festkörpergelenke 118 ausgebildet ist. **Figur 2A** zeigt ein Detail der Positioniereinrichtung 60 gemäß Figur 2 im Bereich der dort implementierten Festkörpergelenke 118. Jedes Festkörpergelenk 118 ist ein biegbarer bzw. elastischer Bauteilabschnitt, der die Kopplung zwischen dem Koppelkörper 74 und dem mit dem Koppelkörper 74 wirkgeköpkelten Funktionskörper 62 an dem Schlitten 126 einstellt. Die Parallelführeinrichtung 106 ist somit ausgleichsfähig mit dem Grundkörper 64 und dem Koppelkörper 74 verbunden. Der Funktionskörper 62 und der Schlitten 126 hingegen sind starr mit dem Koppelkörper 74 verbunden.

Die in Figur 2 dargestellte Positioniereinrichtung 60 kann eine Stage bilden und aus einem Führungsabschnitt und einem Antriebsabschnitt gebildet sein. Die Positioniereinrichtung 60 eignet sich besonders gut für die präzise Positionierung von kleinen Massen (wie zum Beispiel ein Umlenkspiegel 14, Linsen 12 oder ein kleiner Probenkörper 6). Die Stage ermöglicht eine Translation in einer Raumrichtung mit einem Verfahrweg von wenigen Millimetern bei einer Auflösung im Sub-Mikrometer Bereich. Als Antriebseinrichtung 96 kann ein einfacher Schrittmotor verwendet werden. Die beschriebene Stage kann im Messkopf des Rastersondenmikroskops 1 gemäß Figur 1 zum Beispiel dazu eingesetzt werden, um die Lage eines Laserstrahls (siehe elektromagnetischer Primärstrahl 3 bzw. elektromagnetischer Sekundärstrahl 13) zu steuern. Hierzu können jeweils zwei dieser Positioniereinrichtungen 60 mit Umlenkspiegeln 14 versehen bzw. damit gekoppelt werden. Ein Verschieben dieser Umlenkspiegel 14 hat einen

Parallelversatz des Laserstrahls in zwei Raumrichtungen zur Folge (siehe Figur 11 und Figur 12).

Mit Vorteil kann bei der Positioniereinrichtung 60 ein gemäß Figur 2 als Kegelkolben ausgebildeter Übertragungskörper 68 implementiert werden, dessen
5 Außenkontur aus zwei zylindrischen Laufflächenabschnitten 88, 90 und einer in axialer Richtung dazwischen angeordneten konischen Kegelfläche als Übertragungsfläche 72 gebildet sein kann. Der Übertragungskörper 68 ist über die Ausgleichskupplung 98 mit der hier als Motor ausgebildeten
Antriebseinrichtung 96 verbunden. Des Weiteren sitzt der als Kegelkolben
10 ausgebildete Übertragungskörper 68 auf der Spindel 100, die - wie auch der Motor- mit dem Grundkörper 64 verbunden ist. Zwingt nun die Antriebseinrichtung 96 dem Übertragungskörper 68 eine Drehbewegung auf, sorgt die Spindel 100 dafür, dass dieser Drehbewegung eine Translation überlagert wird.

15 Der Schlitten 126 ist jenes Bauteil, das im Endeffekt definiert verschoben werden soll. Er ist über die Parallelführung 106 mit dem Grundkörper 64 verbunden, die dafür sorgt, dass der Schlitten 126 in allen Richtungen außer der Bewegungsrichtung entsprechend Bezugszeichen 124 möglichst steif mit dem Grundkörper 64 verbunden ist.

20 Die Kopplung in Bewegungsrichtung hingegen ist sehr weich. Der gemäß Figur 2 als Querachse ausgebildete Koppelkörper 74 ist fest und unbeweglich mit dem Schlitten 126 verbunden. Die Translation des als Kegelkolben ausgebildeten Übertragungskörpers 68 führt über die Kegelfläche zu einer Verschiebung des als Querachse ausgebildeten Koppelkörpers 74 und damit des Schlittens 126 in
25 Bewegungsrichtung (vergleiche Bezugszeichen 124). Eine Besonderheit dieser Bahnsteuerung liegt nun in der Verbindung von groben und feinen Gleitbewegungen zur Unterdrückung des Stick-Slip-Effekts. Sowohl die Relativbewegung zwischen dem Übertragungskörper 68 und dem Grundkörper 64, aber besonders das Gleiten des als Querachse ausgebildeten Koppelkörpers
30 74 auf der Kegelfläche des Übertragungskörpers 68, sind durch die Überlagerung

einer Translation und einer Rotation gekennzeichnet. Die Rotation führt im Kontaktpunkt zu Bahnlängen in der Größe von typischerweise mehreren hundert Mikrometern pro Schritt und somit zu einem sicheren Übergang von Haft- zu Gleitreibung. Der Einfluss des Stick-Slip-Effekts ist hier vernachlässigbar.

5 Sobald die Kontaktpunkte aber deutlich in einem Gleitreibungsregime liegen, sind auch die vergleichsweise kleinen, von der Translation verursachten Relativbewegungen (typischerweise einige Mikrometer pro Schritt) problemlos umsetzbar.

10 Die Auslegung der Stage bzw. der Positioniereinrichtung 60 ist sehr variabel. Wählt man beispielsweise die Kegelsteigung flacher, ist bei gleicher Baugröße und geringerem Hub eine noch feinere Auflösung möglich. Gestaltet man den Kolben länger und belässt man die Kegelsteigung, kann man den Hub bei gleicher Auflösung vergrößern. Ferner ist es bei der Ausgestaltung des zentralen Abschnitts bzw. der Übertragungsfläche 72 des Übertragungskörpers
15 68 möglich, von der Form eines idealen Kegels abzugehen, um in verschiedenen Bereichen des Verfahrenswegs eine unterschiedliche Auflösung bzw. Untersetzung zu realisieren.

20 Zum Beispiel kann die Positioniereinrichtung 60 bzw. die Stage einen Hub von 2 mm aufweisen. Allgemeiner kann der Hub zum Beispiel in einem Bereich zwischen 200 μm und 10 mm liegen, insbesondere in einem Bereich zwischen 1 mm und 5 mm. Angetrieben von einer Antriebseinrichtung 96, die als Kleinstschrittmotor mit 24 Vollschritten je Umdrehung ausgebildet sein kann, ergibt eine Ausgestaltung mit einem Hub von 2 mm eine Auflösung von 3.5 μm je Vollschrift bzw. ungefähr 880 nm je Viertelschritt.

25 Der Übertragungskörper 68 kann aus drei Abschnitten zusammengesetzt sein: Die in axialer Richtung zentrale Kegelfläche bildet die Übertragungsfläche 72 und steuert die Verschiebung des hier als Querachse ausgebildeten Koppelkörpers 74. Die Lauffläche 70 des Übertragungskörpers 68 dient während der kombinierten Translations-/Rotationsbewegung des Übertragungskörpers 68
30 als Führung. Die Gewindefläche des Gegengewindes 104 des

Übertragungskörpers 68 sorgt mit einem fixen Gegenstück (siehe Spindel 100 mit Spindelgewinde 102) zusammen für die überlagerte Längsverschiebung des rotierenden Übertragungskörpers 68. Gemäß Figur 2 liegen die Übertragungsfläche 72 und die Lauffläche 70 des Übertragungskörpers 68 außen, wobei die Lauffläche 70 in zwei Teilflächen unterteilt ist (siehe Laufflächenabschnitte 88, 90). Die Gewindefläche des Gegengewindes 104 ist gemäß Figur 2 als Innengewinde ausgeführt, kann aber auch als Außengewinde realisiert werden.

Figur 3 zeigt einen Übertragungskörper 68 einer Positioniereinrichtung 60 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. Gemäß Figur 3 ist die Lauffläche 70 durch zwei axial beabstandete Teilbereiche einer Außenwand des Übertragungskörpers 68 ausgebildet (siehe Laufflächenabschnitte 88, 90). Zwischen den Laufflächenabschnitten 88, 90 ist die Übertragungsfläche 72 als Kegelmantelfläche angeordnet. Die Gewindefläche des Gegengewindes 104 liegt gemäß Figur 3 an einer Innenfläche des Übertragungskörpers 68.

Figur 4 zeigt einen Übertragungskörper 68 einer Positioniereinrichtung 60 gemäß einem anderen exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. Im Unterschied zu Figur 3 ist gemäß Figur 4 die Lauffläche 70 durch einen Teilbereich einer Innenwand des Übertragungskörpers 68 ausgebildet. Die Konfiguration der Übertragungsfläche 72 sowie der Gewindefläche des Gegengewindes 104 ist gemäß Figur 4 wie gemäß Figur 3 ausgestaltet.

Figur 5 zeigt eine Querschnittsansicht einer Positioniereinrichtung 60 zum Positionieren von einem einen Laserstrahl (siehe elektromagnetischer Primärstrahl 13 oder elektromagnetischer Sekundärstrahl 3 in Figur 1) umlenkenden optischen Bauteil gemäß einem anderen exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem das Bauteil mit einer Drehbewegung beaufschlagt wird. Das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5 unterscheidet sich von jenem gemäß Figur 2 im Wesentlichen dadurch, dass die Positioniereinrichtung 60 gemäß Figur 5 als Kipp-Stage ausgebildet ist, wohingegen die Positioniereinrichtung 60 gemäß Figur 2 als lineare Stage ausgebildet ist.

Dementsprechend ist die Positioniereinrichtung 60 gemäß Figur 5 eingerichtet, einen mit dem Koppelkörper 74 mittels des Schlittens 126 wirkgekoppelten Funktionskörper 62 um eine vorgegebene Kippachse zu kippen (vergleiche Drehpfeil 128). Zum Zweck eines solchen Kippens weist die

- 5 Positioniereinrichtung 60 einen um ein Drehgelenk 108 drehbaren Hebel 110 auf. Mit Vorteil kann das Drehgelenk 108 als Festkörpergelenk 118 ausgebildet werden.

Alternativ zu Figur 2 kann gemäß Figur 5 also eine Präzisions-Kippstage bereitgestellt werden, indem die Parallelführung 106 durch den Hebel 110 mit
10 einem (vorzugsweise festkörperbasierten, siehe Festkörpergelenk 118) Drehgelenk 108 ersetzt wird. Auf diese Art kann durch die Verschiebung des wiederum als Querachse ausgebildeten Koppelkörpers 74 anstatt einer Translation eine Rotation um das Drehgelenk 108 ausgelöst werden.

Figur 6 zeigt eine räumliche Ansicht einer Positioniereinrichtung 60 gemäß
15 einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung, die wie gemäß Figur 2 als mikrolineare Stage ausgebildet ist. **Figur 7** und **Figur 8** zeigen Querschnittsansichten der Positioniereinrichtung 60 gemäß Figur 6. **Figur 9** und **Figur 10** zeigen zusätzliche Querschnittsansichten der Positioniereinrichtung 60 gemäß Figur 6 in einem eingefahrenen Zustand (siehe Figur 9) und in einem
20 ausgefahrenen Zustand (siehe Figur 10).

Insbesondere sind in Figur 6 bis Figur 10 zum Beispiel aus Blech ausgebildete und beispielsweise als Streben geformte Profile 130 vorgesehen, die an der Positioniereinrichtung 60 befestigt (insbesondere verschraubt) werden können. Die Profile 130 weisen an ihren Endabschnitten bzw. im Bereich ihrer
25 Befestigung an der Positioniereinrichtung 60 flache Abschnitte auf, die in Figur 6 in Form von Kreisen kenntlich gemacht sind. Zwischen den flachen Abschnitten weisen die Profile 130 abgewinkelte Bereiche (insbesondere C-förmige Bereiche) auf. Die abgewinkelten Bereiche haben eine höhere Steifigkeit als die flachen Abschnitte. Dadurch werden bei Einwirkung einer Kraft auf die Profile 130 die
30 flachen Abschnitte elastisch gebogen, wohingegen die abgewinkelten Bereiche

von einer Biegung im Wesentlichen frei bleiben oder deutlich weniger verbogen werden als die flachen Abschnitte. Folglich fungieren die flachen Abschnitte der Profile 130 als Festkörpergelenke 118 mit den oben beschriebenen vorteilhaften Wirkungen.

5 **Figur 11** zeigt einen Teil eines Rastersondenmikroskops 1 mit einer Funktionsanordnung 112 gemäß einem exemplarischen Ausführungsbeispiel der Erfindung. **Figur 12** zeigt ein Detail von Figur 11.

 Als ein erster Funktionskörper 62 kann an einer ersten Positioniereinrichtung 60 ein Umlenkspiegel 114 zum Umlenken eines
10 elektromagnetischen Strahls 13 auf einen in Figur 11 und Figur 12 nicht dargestellten Sondenkörper 7 angebracht sein. Darüber hinaus weist die dargestellte Funktionsanordnung 112 einen weiteren Funktionskörper 62 an einer weiteren Positioniereinrichtung 60 auf, wobei der weitere Funktionskörper 62 als
15 weiterer Umlenkspiegel 116 ausgebildet und ebenfalls zum Umlenken des elektromagnetischen Strahls 13 auf den Sondenkörper 7 an der weiteren Positioniereinrichtung 60 angebracht ist. Die beiden Umlenkspiegel 114, 116 sind mittels der Positioniereinrichtungen 60, 60 derart verfahrbar, dass der elektromagnetische Strahl 13 zu dem jeweiligen Umlenkspiegel 114, 116 jeweils entlang der jeweiligen Verfahrrichtung propagiert.

20 In dem Figur 11 und Figur 12 zugehörigen Rastersondenmikroskop 1 werden also zwei Stages bzw. Positioniereinrichtungen 60 zum Zwecke einer Ausrichtung eines Laserstrahls verwendet, genauer gesagt für die Positionierung des Schnittpunktes einer Messsondenebene 132 (bzw. Cantileverebene, d.h. einer Ebene, in welcher die Messsonde mit dem Sondenkörper 7 im Wesentlichen
25 angeordnet ist) mit dem elektromagnetischen Strahl 13 (im Folgenden Laserpunkt 134 genannt) an einer beliebigen Stelle auf der Messsonde. Zu diesem Zweck wird jeder der beweglichen Schlitten 126 der Positioniereinrichtungen 60 mit je einem Umlenkspiegel 114, 116 versehen, wobei die Umlenkspiegel 114, 116 so angeordnet sind, dass sie den
30 elektromagnetischen Strahl 13 um 90° umlenken. Wird nun der Schlitten 126

samt Umlenkspiegel 114, 116 um ein Maß Δu verschoben, führt das zu einer Parallelverschiebung des reflektierten Strahls. Diese Verschiebung manifestiert sich in einer Verschiebung des Laserpunkts 134 um ein Maß Δx .

In der exemplarischen Implementierung gemäß Figur 11 sind die
5 Umlenkspiegel 114, 116 bzw. die Positioniereinrichtungen 60, 60 so angeordnet, dass die Verschiebungen Δx zufolge Δu und Δy zufolge Δv orthogonal zueinander stehen. Dies bedeutet, dass der Laserpunkt 134 in der Messsondenebene 132 entlang einer rechteckigen Fläche verfahren werden kann. Außerdem wird der elektromagnetische Strahl 13 stets um 90° umgelenkt, und die
10 Verschieberichtung der Umlenkspiegel 114, 116 verläuft immer parallel zum eingehenden oder reflektierten elektromagnetischen Strahl 13. Dies hat zur Folge, dass $\Delta x = \Delta u$ und $\Delta y = \Delta v$ gilt. Mit dieser Anordnung kann der Laserpunkt 134, einen Stage-Verschiebeweg von 2 mm vorausgesetzt, innerhalb einer quadratischen Fläche mit 2 mm Seitenlänge positioniert werden.

15 Anschaulich kann gemäß Figur 11 und Figur 12 der Laser also in einer Ebene bewegt werden. Somit ist eine Justage des elektromagnetischen Strahls 13 zu Beginn einer Messung mit einem Rastersondenmikroskop 1 möglich.

Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass „aufweisend“ keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl
20 ausschließt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

25

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Positioniereinrichtung (60), insbesondere für ein Rastersondenmikroskop (1), zum Positionieren eines Funktionskörpers (62), wobei die
5 Positioniereinrichtung (60) aufweist:
einen Grundkörper (64) mit einer Führungsfläche (66);
einen Übertragungskörper (68), der mittels einer Antriebskraft relativ zu dem Grundkörper (64) in kombinierte Rotations- und Translationsbewegung bringbar ist und eine Lauffläche (70) und eine Übertragungsfläche (72) aufweist;
10 einen Koppelkörper (74), der an der Übertragungsfläche (72) mit dem Übertragungskörper (68) wirkgekoppelt ist und der mit dem Funktionskörper (62) wirkkoppelbar ist, um die Translationsbewegung des Übertragungskörpers (68) auf den Funktionskörper (62) umzulenken und den Funktionskörper (62) dadurch zu positionieren;
15 wobei die Führungsfläche (66) des Grundkörpers (64) und die Lauffläche (70) des Übertragungskörpers (68) in Wirkverbindung miteinander angeordnet sind, sodass der Übertragungskörper (68) während seiner kombinierten Rotations- und Translationsbewegung mittels des Grundkörpers (64) führbar ist.
- 20 2. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 1, wobei der Grundkörper (64) einen Hohlraum (76) aufweist, in dem der Übertragungskörper (68) zumindest teilweise angeordnet ist.
3. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 2, wobei die Führungsfläche
25 (66) als zumindest ein Teilbereich einer Innenwand, insbesondere als zumindest ein Teilbereich einer kreiszylindrischen Mantelfläche der Innenwand, des Hohlraums (76) ausgebildet ist.
4. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die
30 Lauffläche (70) durch zumindest einen Teilbereich einer Außenwand und/oder

durch zumindest einen Teilbereich einer Innenwand des Übertragungskörpers (68) ausgebildet ist.

5. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die
5 Lauffläche (70) mindestens zwei voneinander entlang einer Rotationsachse (86) des Übertragungskörpers (68) beabstandete, insbesondere durch die Übertragungsfläche (72) beabstandete, Laufflächenabschnitte (88, 90) aufweist.
6. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 5, wobei die beabstandeten
10 Laufflächenabschnitte (88, 90) gleiche Außendurchmesser aufweisen.
7. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 5 oder 6, wobei zwischen den beabstandeten Laufflächenabschnitten (88, 90) im Bereich der Übertragungsfläche (72) eine Einbuchtung (92) gebildet ist.
15
8. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Lauffläche (70) zumindest teilweise durch mindestens eine kreiszylindrische Mantelfläche des Übertragungskörpers (68) ausgebildet ist.
- 20 9. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Übertragungsfläche (72) zumindest abschnittsweise gegenüber einer Rotationsachse (86) des Übertragungskörpers (68) geneigt ist, insbesondere zumindest teilweise durch mindestens eine kegelförmige Mantelfläche des Übertragungskörpers (68) ausgebildet ist.
25
10. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 9, wobei die Übertragungsfläche (72) eine Mehrzahl von gegenüber der Rotationsachse (86) unterschiedlich geneigter Abschnitte aufweist.

11. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Koppelkörper (74) als Querachsenkörper ausgebildet ist, der sich orthogonal zu einer Rotationsachse (86) des Übertragungskörpers (68) erstreckt.
- 5 12. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, aufweisend eine Antriebseinrichtung (96), insbesondere ein Motor, weiter insbesondere ein Schrittmotor, eingerichtet zum Antreiben, insbesondere zum rotatorischen Antreiben, des Übertragungskörpers (68).
- 10 13. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 12, aufweisend eine Ausgleichkupplung (98), insbesondere eine Oldham-Kupplung, zwischen der Antriebseinrichtung (96) und dem Übertragungskörper (68).
14. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13,
15 aufweisend eine Spindel (100), die zumindest abschnittsweise in eine Aussparung (94) in dem Übertragungskörper (68) eingeführt ist.
15. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14,
aufweisend eine Spindel (100) mit einem Spindelgewinde (102), das zum
20 Zusammenwirken mit einem Gegengewinde (104) des Übertragungskörpers (68) eingerichtet ist, um den Übertragungskörper (68) in die kombinierte Rotations- und Translationsbewegung zu bringen.
16. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 15, wobei das Spindelgewinde
25 (102) ein Außengewinde und das Gegengewinde (104) ein Innengewinde ist.
17. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei die Positioniereinrichtung (60) eingerichtet ist, einen mit dem Koppelkörper (74) wirkgekoppelten Funktionskörper (62) ausschließlich entlang einer vorgegebenen
30 Bewegungsrichtung translatorisch zu bewegen.

18. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 17, wobei die Positioniereinrichtung (60) zum translatorischen Bewegen des Funktionskörpers (62) eine Parallelführeinrichtung (106), insbesondere aufweisend ein Festkörpergelenk, aufweist.
19. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18, wobei die Positioniereinrichtung (60) eingerichtet ist, einen mit dem Koppelkörper (74) wirkgekoppelten Funktionskörper (62) um eine vorgegebene Kippachse zu kippen.
20. Positioniereinrichtung (60) gemäß Anspruch 19, wobei die Positioniereinrichtung (60) zum Kippen des Funktionskörpers (62) einen um ein Drehgelenk (108), insbesondere ausgebildet als Festkörpergelenk, drehbaren Hebel (110) aufweist.
21. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 20, aufweisend mindestens ein Festkörpergelenk (118) zum Einstellen einer Kopplung zwischen dem Koppelkörper (74) und einem mit dem Koppelkörper (74) wirkgekoppelten Funktionskörper (62).
22. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 18 bis 21, wobei das Festkörpergelenk (118) mit dem Grundkörper (64) und dem Koppelkörper (74) gekoppelt ist.
23. Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 12 bis 22, wobei der Grundkörper (64) mit zumindest einem aus der Gruppe starr gekoppelt ist, die besteht aus der Antriebseinrichtung (96) und der Spindel (100).
24. Funktionsanordnung (112), aufweisend:

eine Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 23;
den Funktionskörper (62), der mit dem Koppelkörper (74) wirkgekoppelt
ist.

- 5 25. Funktionsanordnung (112) gemäß Anspruch 24, wobei der Funktionskörper (62) aus einer Gruppe ausgewählt ist, die besteht aus einem optischen Bauelement, insbesondere ein Spiegel (14, 114, 116) oder eine Linse (12), einem Probekörper (6), einem Sensor, und einem Messfühler, insbesondere einem Sondenkörper (7) oder einer Messsonde (11).
- 10 26. Funktionsanordnung gemäß Anspruch 24 oder 25, wobei der Funktionskörper (62) starr mit dem Koppelkörper (74) verbunden ist.
- 15 27. Rastersondenmikroskop (1) zum Ermitteln von Oberflächeninformation hinsichtlich eines Probenkörpers (6) mittels rasternden Abtastens einer Oberfläche des Probenkörpers (6), wobei das Rastersondenmikroskop (1) aufweist:
einen bewegbaren Sondenkörper (7) mit einer Messspitze (5) zum rasternden Abtasten der Oberfläche des Probenkörpers (6);
- 20 eine Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 23 oder eine Funktionsanordnung (112) gemäß einem der Ansprüche 24 bis 26 zum Positionieren eines Funktionskörpers (62) des Rastersondenmikroskops (1).
- 25 28. Rastersondenmikroskop (1) gemäß Anspruch 27, ausgebildet als Rasterkraftmikroskop.
- 30 29. Rastersondenmikroskop (1) gemäß Anspruch 27 oder 28, wobei als Funktionskörper (62) an der Positioniereinrichtung (60) ein Umlenkspiegel (14, 114, 116) zum Umlenken eines auf den Sondenkörper (7) einwirkenden elektromagnetischen Strahls (3, 13) angebracht ist.

30. Rastersondenmikroskop (1) gemäß Anspruch 29, aufweisend einen weiteren Funktionskörper (62) an einer weiteren Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 23, der als weiterer Umlenkspiegel (116) ausgebildet und zum Umlenken des elektromagnetischen Strahls (3, 13) angebracht ist.

31. Rastersondenmikroskop (1) gemäß Anspruch 30, wobei die Umlenkspiegel (14, 114, 116) mittels der Positioniereinrichtungen (60) derart verfahrbar sind, dass der elektromagnetische Strahl (3, 13) zu dem jeweiligen Umlenkspiegel (14, 114, 116) jeweils entlang einer jeweiligen Verfahrrichtung propagiert.

32. Verfahren zum Positionieren eines Funktionskörpers (62), insbesondere eines Rastersondenmikroskops (1), wobei das Verfahren aufweist:

Beaufschlagen eines eine Lauffläche (70) und eine Übertragungsfläche (72) aufweisenden Übertragungskörpers (68) mit einer Antriebskraft, um den Übertragungskörper (68) relativ zu einem eine Führungsfläche (66) aufweisenden Grundkörper (64) in kombinierte Rotations- und Translationsbewegung zu bringen;

Umlenken der Translationsbewegung des Übertragungskörpers (68) auf den Funktionskörper (62) zum Positionieren des Funktionskörpers (62) mittels eines Koppelkörpers (74), der an der Übertragungsfläche (72) mit dem Übertragungskörper (68) wirkgekoppelt ist und der mit dem Funktionskörper (62) wirkgekoppelt ist;

wobei die Führungsfläche (66) des Grundkörpers (64) und die Lauffläche (70) des Übertragungskörpers (68) derart miteinander in Wirkverbindung gebracht werden, dass der Übertragungskörper (68) während seiner kombinierten Rotations- und Translationsbewegung mittels des Grundkörpers (64) geführt wird.

33. Verwendung einer Positioniereinrichtung (60) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 23 zum Justieren eines elektromagnetischen Strahls (3, 13) in einem Rastersondenmikroskop (1).

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

B23Q 1/48 (2006.01); **G01Q 10/04** (2010.01); **B23Q 5/36** (2006.01); **G05D 3/10** (2006.01); **F16H 25/14** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

B23Q 1/4804 (2013.01); **G01Q 10/04** (2013.01); **B23Q 5/36** (2013.01); **G05D 3/10** (2013.01); **F16H 25/14** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

B23Q, G01Q, G05D, F16H, B65G, G03F, H01L

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **06.09.2017** eingereichten Ansprüchen **1-33** erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	JP S59115137 A (HITACHI LTD, HITACHI ELECTR ENG) 03. Juli 1984 (03.07.1984) Fig. 2, 3	1-33
A	WO 2015152246 A1 (NSK LTD [JP]) 08. Oktober 2015 (08.10.2015) Figur 2	1-33
A	JP H0463649 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES) 28. Februar 1992 (28.02.1992) Figur 2	1-33
A	DE 3938156 A1 (HITACHI LTD [JP]) 17. Mai 1990 (17.05.1990) Figur 6	1-33
A	TW I245681 B (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES [JP]) 21. Dezember 2005 (21.12.2005) Figur 2	1-33

Datum der Beendigung der Recherche:

27.07.2018

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

AUER Erwin

¹⁾ **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

A 4052 AT

005050

1/6

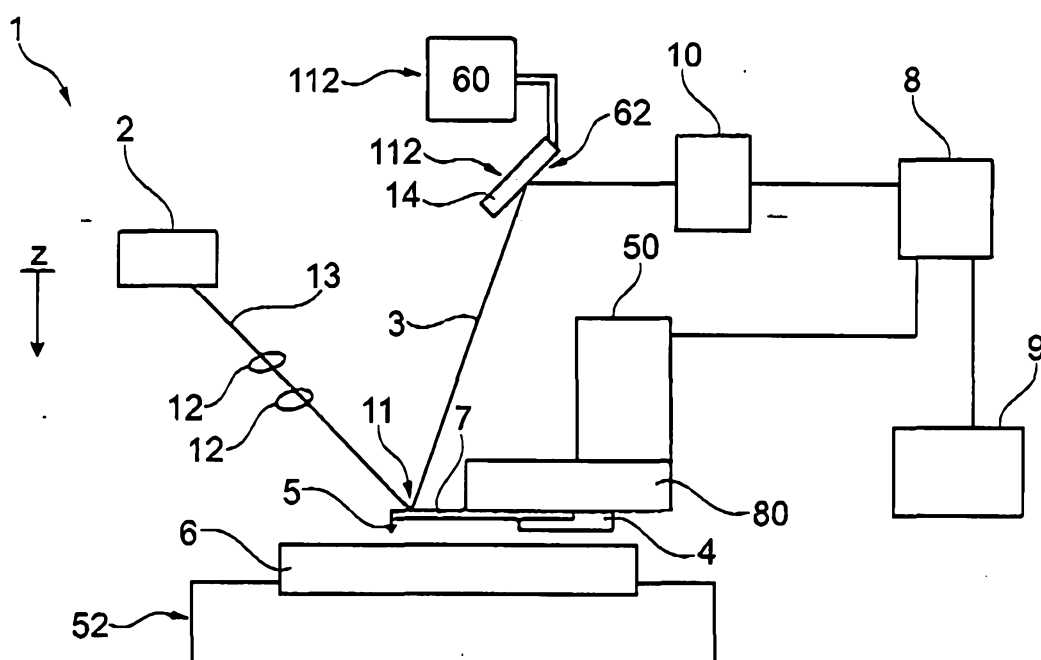


Fig. 1

ZULETZT VORGELEGTE ZEICHNUNGEN

A 4052 AT

2/6

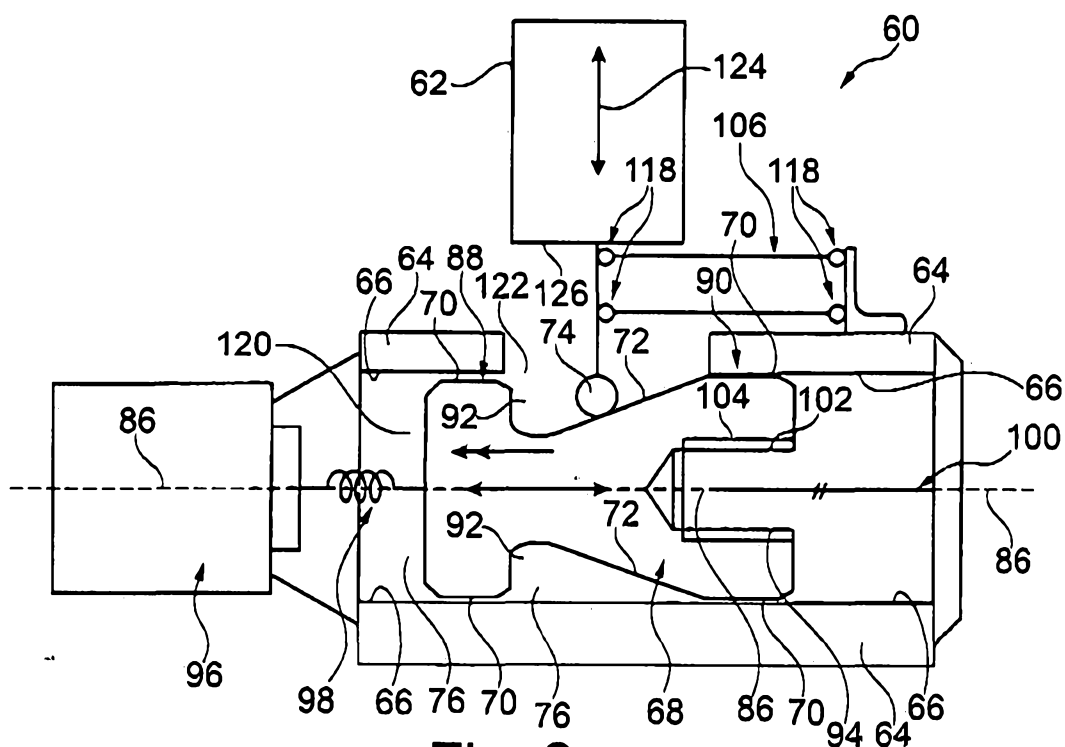


Fig. 2

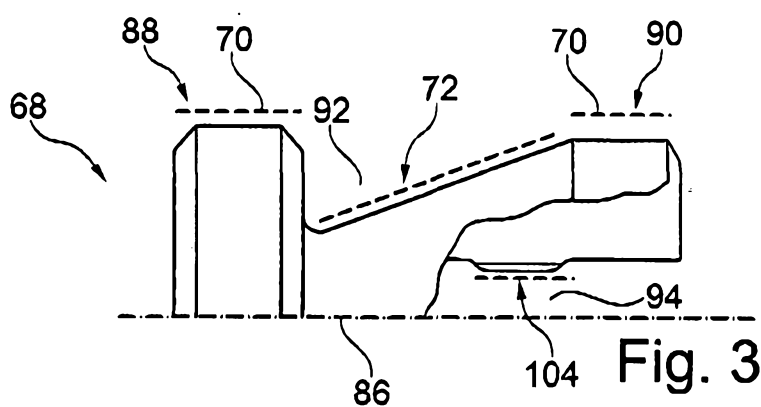


Fig. 3

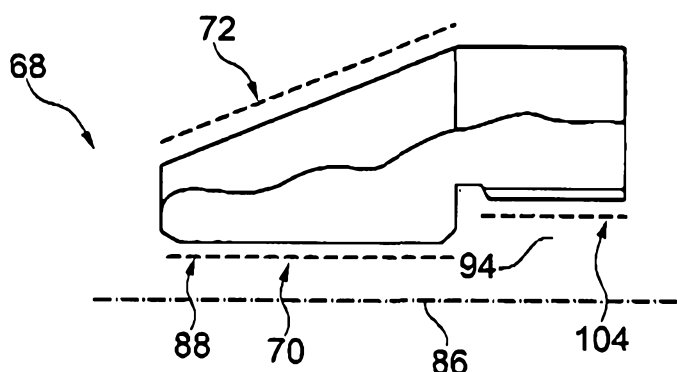


Fig. 4

ZULETZT VORGELEGTE ZEICHNUNGEN

A 4052 AT

005050

3/6

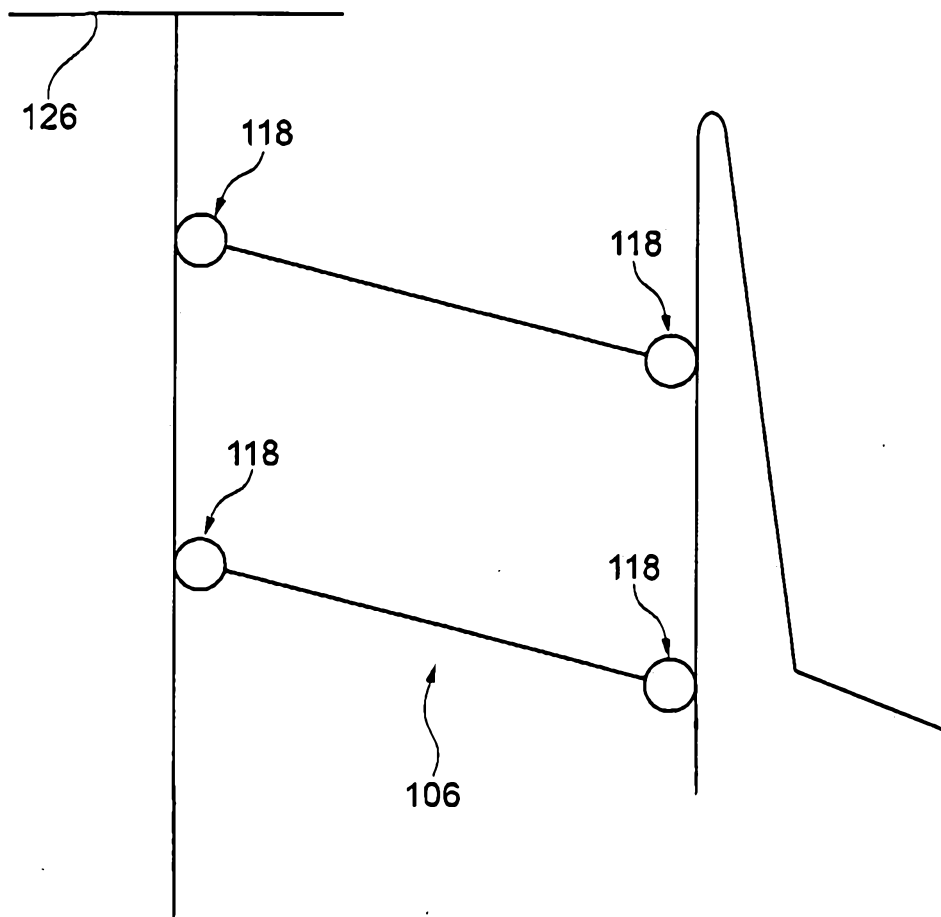


Fig. 2A

ZULETZT VORGELEGTE ZEICHNUNGEN

A 4052 AT

005050

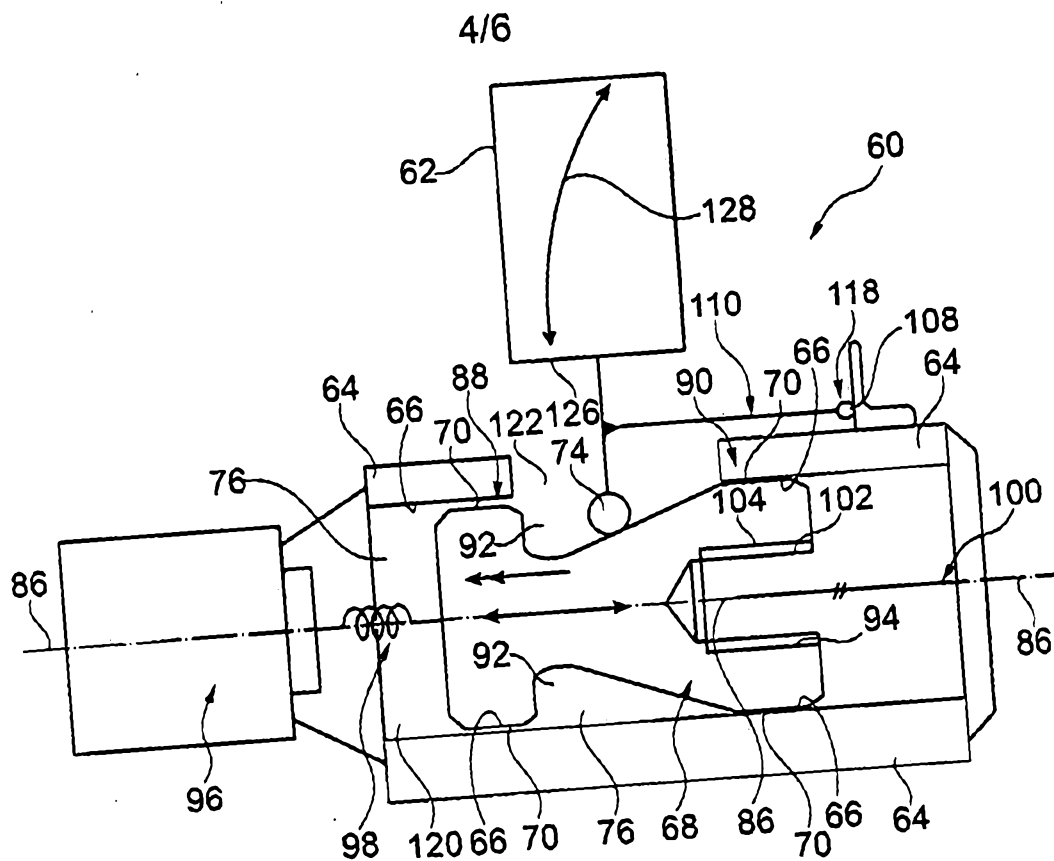


Fig. 5

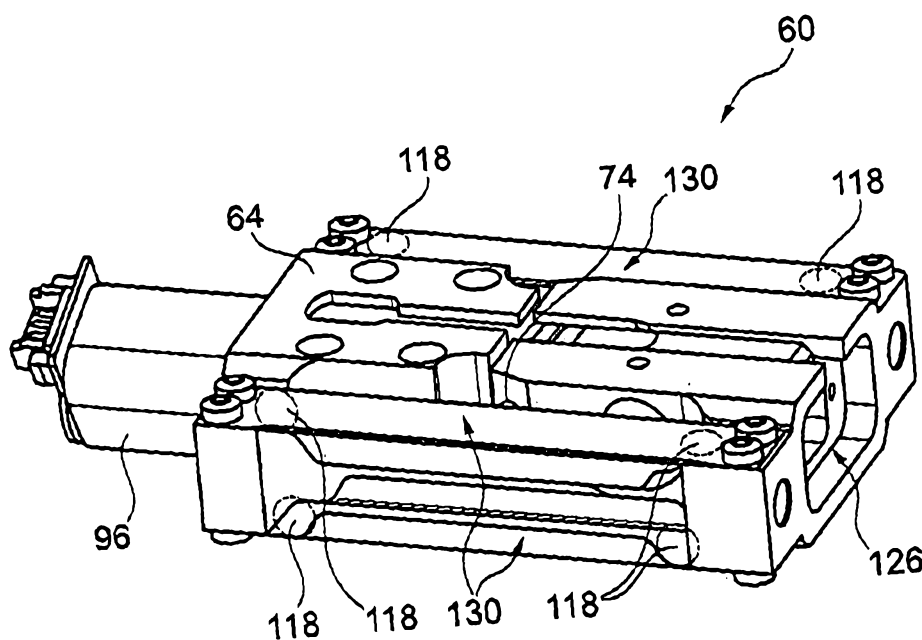


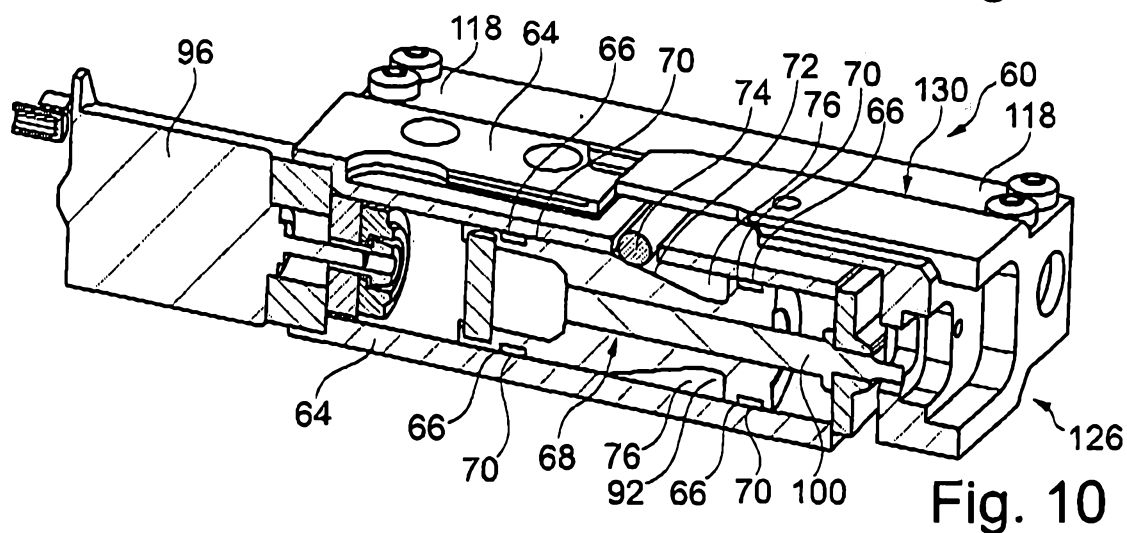
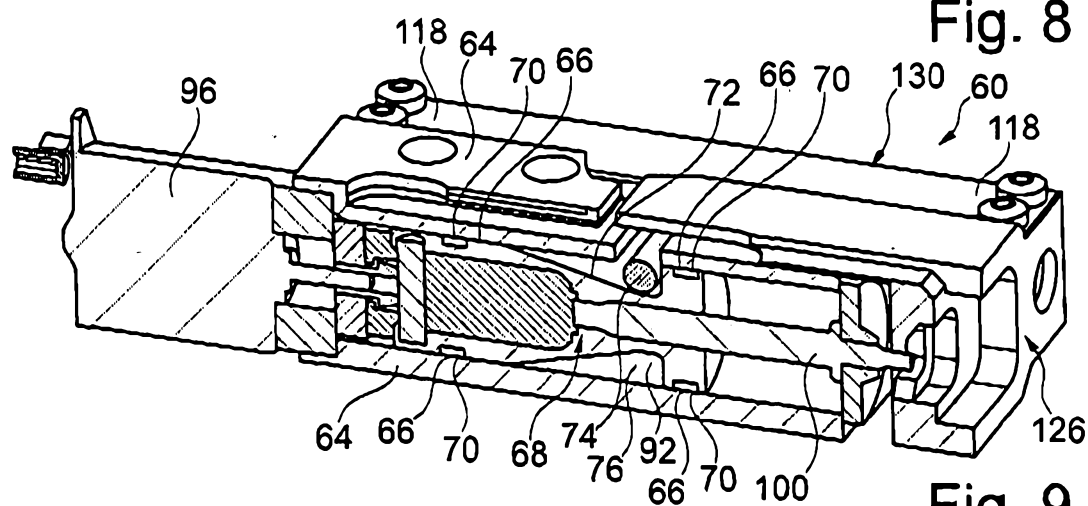
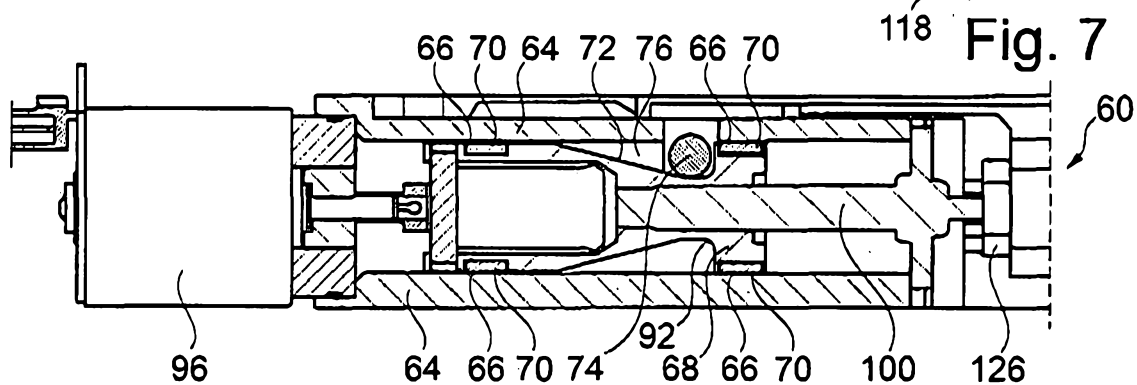
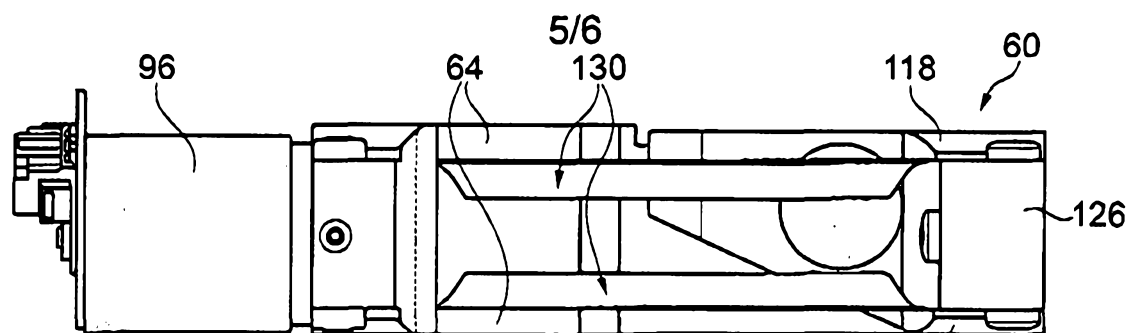
Fig. 6

ZULETZT VORGELEGTE ZEICHNUNGEN

P.009/011

005050

A 4052 AT



A 4052 AT

005050

6/6

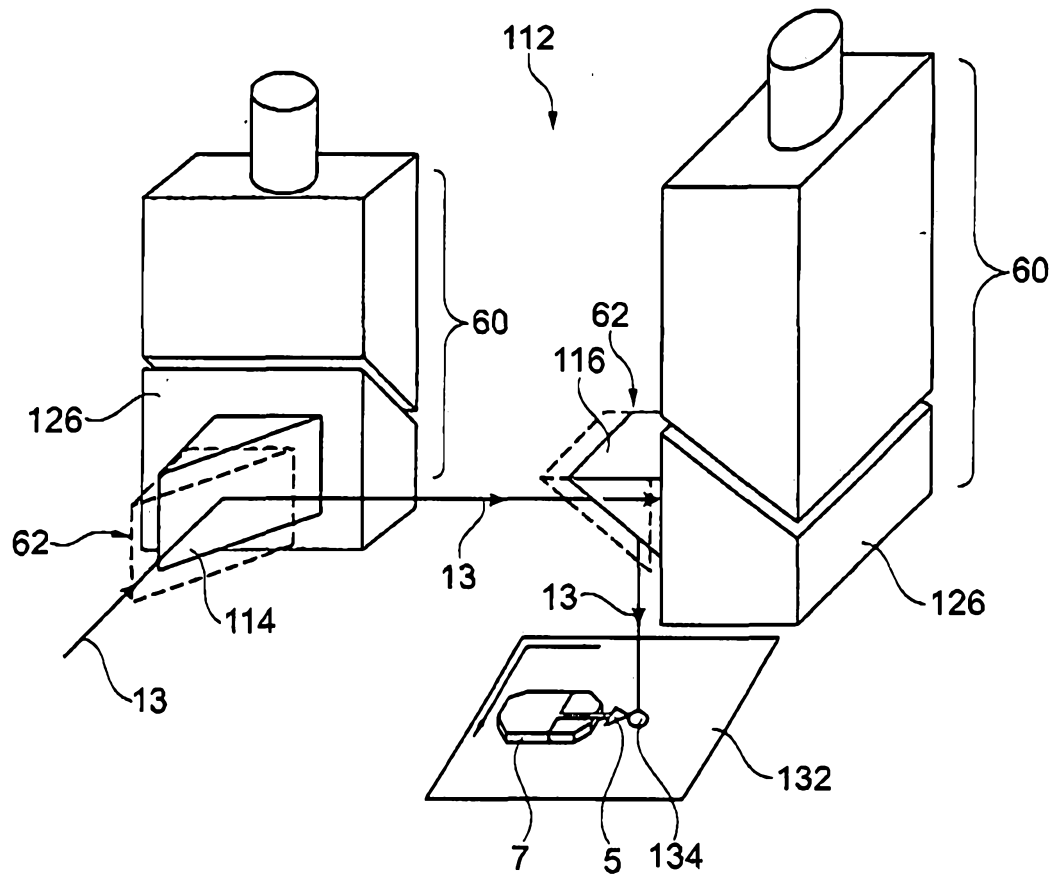


Fig. 11

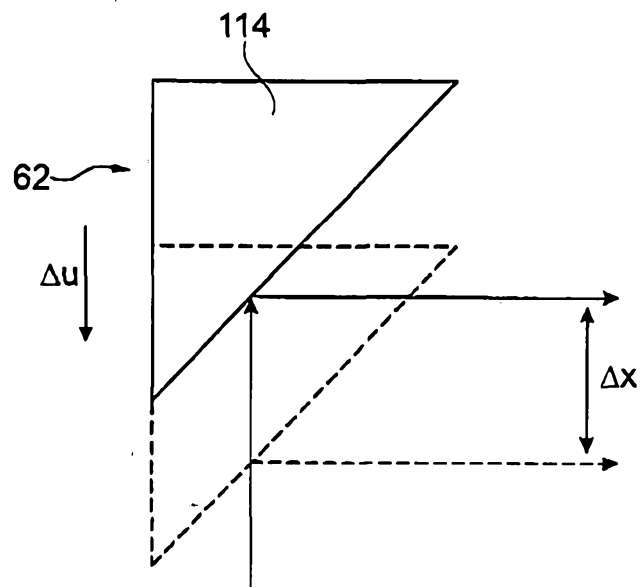


Fig. 12

ZULETZT VORGELEGTE ZEICHNUNGEN