



①9



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

①1 **CH 694 540 A5**

⑤1 Int. Cl.⁷: H 02 N 002/12
H 01 L 041/09

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

①2 **PATENTSCHRIFT A5**

②1 Gesuchsnummer: 02178/99

⑦3 Inhaber:
miniswys SA, Zentralstrasse 115
2503 Biel (CH)

②2 Anmeldungsdatum: 29.11.1999

⑦2 Erfinder:
Elmar Mock, le Bioley
1922 Salvan (CH)
Bontko Witteveen, Arienswei 54
5912 JB Venlo (NL)

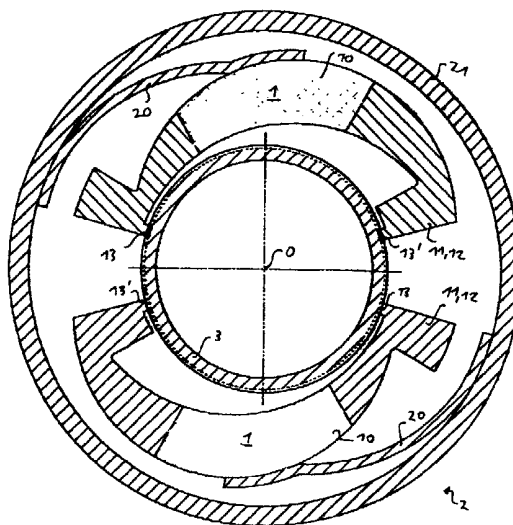
②4 Patent erteilt: 15.03.2005

④5 Patentschrift
veröffentlicht: 15.03.2005

⑦4 Vertreter:
Frei Patentanwaltsbüro, Postfach 768
8029 Zürich (CH)

⑤4 **Piezoelektrische Antriebe.**

⑤7 Die Erfindung betrifft Resonatoren (1) mit piezoelektrischen Materialien und Antriebe (2) mit piezoelektrischen Resonatoren (1) sowie die Verwendung von piezoelektrischen Resonatoren (1) und Antrieben (2), welche Resonatoren (1) Körper (3) antreiben, wobei die Resonatoren (1) sowohl im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingen und die Körper (3) in Rotations- und/oder Linearbewegung versetzen.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft piezoelektrische Antriebe, piezoelektrische Resonatoren für Antriebe und die Verwendung von piezoelektrischen Antrieben sowie piezoelektrischen Resonatoren gemäss den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche.

Bestimmte, sogenannte piezoelektrische Materialien lassen sich durch Anlegen einer elektrischen Wechselspannung zum mechanischen Schwingen anregen. Dieser physikalische Effekt wird auch umgekehrter piezoelektrischer Effekt genannt. Eine bekannte Anwendung dieses Effektes ist die Verwendung piezoelektrischer Materialien als Schwingungserreger in Resonatoren. Solche piezoelektrischen Resonatoren lassen sich als Statoren in Antriebe einbauen, um drehbar gelagerte Rotoren anzutreiben.

Derartige piezoelektrische Antriebe sind bspw. in den Schriften EP-0 505 848 und EP-0 723 212 offenbart. Diese Schriften zeigen mehrteilige, zentral angeordnete piezoelektrische Resonatoren mit zwei bzw. drei Resonatorflügeln. Die Enden der Resonatorflügel weisen Stossflächen zum Anstossen von ringförmig aussenseitig um die Resonatoren angeordneten Rotoren auf. Nachteilig an diesen piezoelektrischen Antrieben ist der Abrieb an den Stossflächen der Resonatorflügel und den Auffangflächen der Rotoren sowie durch Lagerspiel der Rotoren. Der Abrieb hat einen hohen Verschleiss zur Folge, was die Lebensdauer der piezoelektrischen Antriebe verkürzt und ihr potentiell Einsatzgebiet einschränkt.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, piezoelektrische Resonatoren und Antriebe aufzeigen, welche gering im Verschleiss, klein und flach in der Konstruktion, kostengünstig in der Herstellung, einfach in der Ansteuerung, robust im Betrieb, kräftig in der Leistung und somit vielfältig einsetzbar sind. Auch soll eine einfache Positionsbestimmung eines anzutreibenden Körpers möglich sein. Diese piezoelektrischen Resonatoren und Antriebe sollen mit erprobten Materialien und bekannten Methoden herstellbar und mit gängigen Standards kompatibel sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die kennzeichnenden Merkmale der Patentansprüche gelöst.

Die Erfindung basiert auf der Erkenntnis, dass ein piezoelektrischer Resonator bei geeigneter asymmetrischer Formgebung sowohl im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingt. Ein in einem solchen Mixmodus betriebener piezoelektrischer Resonator erlaubt es, einen Körper in Rotations- und/oder Linearbewegung anzutreiben. Je nach Formgebung des Resonators und Anordnung eines oder mehrerer Resonators/en zu einem piezoelektrischen Antrieb sind vielfältige Ausführungsformen sowie Verwendungen des piezoelektrischen Resonators und Antriebes möglich.

Der piezoelektrische Antrieb lässt sich zum unidirektionalen oder bidirektionalen Antreiben von Körpern wie Wellen und Scheiben verwenden. In vorteilhaften Lösungen treibt er die Körper von seiner Aussenseite an. Dies unterscheidet ihn insbesondere vom nächsten Stand der Technik gemäss der EP-0 723 212, wo ein Rotor von seiner Innenseite angetrieben wird. Drei Resonatorflügel führen auf der Innenseite des Rotors

eine elliptische Bewegung aus. Dies verunmöglicht eine Adaptation zu einem aussenseitigen Antrieb des Rotors bzw. würde einen solchen sehr ineffizient machen.

In einer vorteilhaften Lösung sorgt eine longitudinale Schwingungskomponente des piezoelektrischen Resonators für ein Antreiben eines Körpers, während eine transversale Schwingungskomponente des Resonators einen Druck auf diesen Körper ausübt. Durch den somit erzeugten Druckwinkel können grosse Kräfte auf den anzutreibenden Körper übertragen werden. Auch wird der Körper gehalten.

In einer anderen vorteilhaften Lösung weist der Antrieb einen einzigen piezoelektrischen Resonator auf, was eine einfache Ansteuerung des Resonators und piezoelektrischen Antriebes über eine einzige Schwingung mit gleicher Frequenz und Phase erlaubt. Dies unterscheidet ihn vom Stand der Technik gemäss den Schriften EP-0 505 848 und EP-0 723 212, wo mindestens zwei unabhängig voneinander angesteuerte piezoelektrische Resonatoren benötigt werden.

Vorteilhafterweise ist ein Verhältnis von Länge zu Breite des Erregers im piezoelektrischen Resonator gleich zwei oder einem Vielfachen davon, wodurch der anzutreibende Körper mit maximalen Amplituden angetrieben wird, was einen optimalen Wirkungsgrad des Antriebes zur Folge hat.

In weiteren vorteilhaften Lösungen ist der piezoelektrische Antrieb mit Positionierungsmitteln versehen. Die Positionierungsmittel verursachen wechselnde Anpresskräfte des piezoelektrischen Antriebes auf den Körper. Diese wechselnden Anpresskräfte lassen sich als Impedanzänderungen messen und zählen. Somit ist eine Positionsbestimmung des Körpers möglich, was eine Verwendung des Antriebes als Schrittmotor erlaubt.

In einer weiteren vorteilhaften Lösung ist der mindestens eine piezoelektrische Resonator über elastische Mittel im Antrieb montiert, wodurch beim Antreiben des Körpers auftretende Störungen kompensiert werden, was zu einer hohen Laufruhe des Antriebes führt. Auch wird Verschleiss durch Abrieb an den Antriebsflächen und Auffangflächen kompensiert.

Der piezoelektrische Antrieb lässt sich sehr flach konstruieren und als Rotationsmotor bzw. Linearmotor verwenden. Die unterschiedlichsten Verwendungen sind möglich. Beispielhafte Verwendungsgebiete sind Uhren, Kameras, Datenspeicher, Mikroskopie-Tische, Tachometer usw.

Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren im Detail beschrieben.

Fig. 1 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil der Bestandteile einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines piezoelektrischen Resonators mit einem Erreger und zwei Resonatorelementen.

Fig. 2 zeigt eine schematische Draufsicht und Seitenansicht eines Teiles der ersten beispielhaften Ausführungsform eines piezoelektrischen Resonators gemäss Fig. 1.

Fig. 3 zeigt eine schematische Ansicht eines Teiles einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit einem piezoelektrischen Resonator gemäss Fig. 2, der einen Körper antreibt.

Fig. 4 zeigt einen schematischen Schnitt durch ei-

nen Teil einer zweiten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit zwei piezoelektrischen Resonatoren, die einen Körper antreiben.

Fig. 5 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer dritten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit drei piezoelektrischen Resonatoren, die einen Körper antreiben.

Fig. 6 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer vierten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit einem piezoelektrischen Resonator, der einen Körper antreibt.

Fig. 7 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer fünften beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit einem piezoelektrischen Resonator, der einen Körper antreibt.

Fig. 8 zeigt einen schematischen Schnitt sowie eine Seitenansicht durch einen Teil einer weiteren beispielhaften Ausführungsform eines piezoelektrischen Resonators mit einem Erreger und einem Resonatorelement.

Fig. 9 zeigt einen schematischen Schnitt sowie eine Seitenansicht durch einen Teil einer weiteren beispielhaften Ausführungsform eines piezoelektrischen Resonators mit zwei Erregern und einem Resonatorelement.

Fig. 10 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer sechsten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit zwei piezoelektrischen Resonatoren, die einen Körper im Uhrzeigersinn antreiben.

Fig. 11 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil der sechsten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes gemäss Fig. 10, wobei zwei piezoelektrischen Resonatoren, die einen Körper entgegen dem Uhrzeigersinn antreiben.

Fig. 12 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer siebten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit einem piezoelektrischen Resonator, der einen Körper antreibt.

Fig. 13 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer achten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit einem piezoelektrischen Resonator, der einen Körper antreibt.

Fig. 14 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer neunten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit einem piezoelektrischen Resonator, der einen Körper antreibt.

Fig. 15 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Teil einer zehnten beispielhaften Ausführungsform eines Antriebes mit zwei piezoelektrischen Resonatoren, die einen Körper antreiben.

Die Fig. 1 und 2 zeigen schematisch den Aufbau einer ersten beispielhaften Ausführungsform eines piezoelektrischen Resonators 1. Dieser Resonator weist mindestens einen Erreger 10 aus piezoelektrischem Material zwischen mindestens zwei Resonatorelementen 11, 12 auf. Dieser Aufbau ist nicht zwingend. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung kann der Fachmann auch einen Resonator mit einem einzigen Erreger 10 in einem einzigen Resonatorelement 11 wie in der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 8 gezeigt, bauen. Oder er kann einen Resonator mit zwei Erregern 10, 10' bauen, die in um ein einziges Resonatorelement 11 wie in der

beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 9 gezeigt, bauen. Auch kann er Resonatoren mit mehr als einem Erreger und mit mehr als zwei Resonatorelementen bauen. Bspw. besteht der Resonator aus einer Vielzahl von Erregern bzw. Resonatorelementen, die in einem Multilayeraufbau vorliegen.

Der Erreger kann aus beliebigen, bekannten piezoelektrischen Materialien wie piezoelektrische Kristalle, Keramiken, Kunststoffe usw. bestehen. Die Resonatorelemente können aus beliebigem Werkstoff wie Metall, Kunststoff usw. bestehen. Die Verbindung des/der Erreger mit den Resonatorelementen erfolgt über bekannte kraft-, stoff- bzw. formschlüssige Mittel. Dem Fachmann stehen bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung vielfältige Möglichkeiten der Verbindung vom Erreger mit den Resonatorelementen frei. Bspw. sind Erreger aus Keramik mit Resonatorelementen aus Metall mittels Komponentenkleber verklebt.

Gemäss der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 1 und 2 ist ein flacher Erreger mittig und in Sandwichbauweise zwischen zwei flachen Resonatorelementen angeordnet. Gemäss der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 8 ist ein flacher Erreger in einem flachen Resonatorelement angeordnet. Gemäss der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 9 ist ein flaches Resonatorelement mittig und in Sandwichbauweise zwischen zwei flachen Erregern angeordnet. Erreger und Resonatorelemente sind bspw. 0,5 mm dicke, 3 mm breite und 6 resp. 10 mm lange Streifen. Auch diese Aufbauten und Abmessungen sind nicht zwingend. Bei Kenntnis der Erfindung kann der Fachmann auch flachere bzw. dickere, schmalere bzw. breitere sowie kürzere bzw. längere Resonatoren bauen.

Vorteilhaft ist ein Verhältnis von Länge zu Breite des Erregers gleich zwei oder einem Vielfachen davon. Ein solches festes Verhältnis von Länge zu Breite gleich $2n$ ($n=1,2,3,\dots$) führt zu maximalen Amplituden im Erreger. Der anzutreibende Körper wird somit mit maximalen Amplituden angetrieben, was einen optimalen Wirkungsgrad des Antriebes zur Folge hat.

Die Resonatorelemente sind in geeigneter Weise asymmetrisch geformt. Die beispielhafte Ausführungsform eines Resonators gemäss Fig. 2 zeigt Resonatorelemente, die bei Spiegelung an ihrer Längsachse asymmetrisch geformt sind. Die untere und obere Längsfläche der Resonatorelemente sind unterschiedlich lang. Diese asymmetrische Formgebung der Resonatorelemente und somit des Resonators ist entscheidend für das Schwingungsverhalten des Resonators. Diese Formgebung der Resonatorelemente ist nicht zwingend. Bei Kenntnis der Erfindung kann der Fachmann anders asymmetrisch geformte Resonatoren bauen.

Elektrische Anschlüsse für die Speisespannung sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet. Bei Verwendung von elektrisch leitenden Resonatorelementen wie bspw. Metall bilden die Resonatorelemente selbst die elektrischen Anschlüsse. Durch Anlegen einer elektrischen Wechselspannung wird der Resonator zu mechanischen Schwingungen angeregt. Bspw. wird ein Resonator mit einer sinusförmigen Wechselspannung von 0,1 V und bei einer

Frequenz 200 kHz angeregt. Dies ermöglicht die Verwendung vom Resonator und von bspw. im Multilayeraufbau angeordneten Erregern in batteriebetriebenen Geräten wie bspw. in Uhren. Aufgrund der asymmetrischen Form des Resonators breiten sich die mechanischen Schwingungen in den Resonatorelementen unterschiedlich aus. Dies führt zum Auftreten von sowohl longitudinalen als auch transversalen Schwingungskomponenten in den Resonatorelementen. Diese mechanischen Schwingungen in longitudinalen als auch transversalen Schwingungskomponenten werden durch gekrümmte Schwingungspfeile angedeutet. Natürlich kann der Fachmann Resonatoren bauen, welche mit anderen elektrischen Wechselspannungen und bei anderen Frequenzen angeregt werden.

Fig. 3 zeigt schematisch eine erste beispielhafte Ausführungsform eines Antriebes 2 mit piezoelektrischem Resonator 1 in der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 2. Der asymmetrisch schwingende Resonator treibt einen Körper 3 an. Ein einziger, sowohl im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingender Resonator treibt den Körper in einer Rotations- und/oder Linearbewegung an. Er treibt mit einer Antriebsfläche 13 eine Auffangfläche des Körpers an. Bspw. dient ein Teil der unteren Längsfläche des Resonators als Antriebsfläche. Die Antriebsfläche ist in den Resonatorelementen 11, 12 angebracht. Vorteilhafterweise sind die Resonatorelemente aus abriebfestem Material wie bspw. Metall wie Kupfer, Stahl usw., so dass eine abriebfeste Antriebsfläche aus speziellen, teuren Materialien nicht notwendig ist. Auch leiten Resonatorelemente aus Metall die beim Antreiben des Körpers generierte Wärme gut ab. Der Körper ist schematisiert als Rolle, an der ein Gewicht hängt, dargestellt. Die Aussenfläche der Rolle dient als Auffangfläche. Die longitudinale Schwingungskomponente des Resonators treibt den Körper tangential an, während die transversale Schwingungskomponente des Resonators einen Druck auf den Körper ausübt. Durch dieses tangential, quasi gleitende Antreiben bleiben Resonator und Körper im Kontakt miteinander und werden Schläge sowie Lagerspiele vom Körper auf den Resonator minimiert. Der resultierende Druckwinkel ist über die asymmetrische Form des Resonators frei einstellbar. Je nach Druckwinkel treibt der Resonator den Körper in einer Vorwärts- und/oder Rückwärtsbewegung an. Die Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit des Körpers ist über die asymmetrische Form des Resonators frei einstellbar. Bspw. ist der Druckwinkel in Vorwärtsrichtung bedeutend stärker/schwächer als in Rückwärtsrichtung. Auch kann der Druckwinkel bei der Vorwärts- und Rückwärtsbewegung ansteigend bzw. abnehmend sein. Es ist auch möglich, Resonatoren mit periodisch bzw. aperiodisch ansteigenden bzw. abnehmenden Druckwinkeln zu bauen. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung hat der Fachmann vielfältige Möglichkeiten, piezoelektrische Antriebe mit anders geformten Resonatoren und mit anders gestalteten Körpern zu bauen. Auch die Fig. 4 bis 7 sowie 10 bis 15 zeigen weitere beispielhafte Ausführungsformen von Antrieben.

Der Resonator ist über bspw. elastische Mittel 20

auf eine Basis 21 des Antriebes montiert. Diese Befestigung des Resonators mittels elastischer Mittel ist optional. Die elastischen Mittel sind aus beliebigen bekannten federnden bzw. dämpfenden Materialien. Sie geben dem piezoelektrischen Antrieb eine hohe Laufruhe. Insbesondere werden störende, beim Antreiben des Körpers auftretende und nachteilig auf den Resonator wirkende Einflüsse kompensiert. Solch störende Einflüsse sind bspw. eventuell auftretende ruckweise Bewegungen des Resonators und/oder Schläge, die vom Körper auf den Resonator übermittelt werden, Lagerspiele des sich bewegenden Körpers usw. Auch wird Verschleiss an den Antriebsflächen des Resonators sowie an Auffangflächen des angetriebenen Körpers kompensiert. Bspw. ist der Resonator über die elastischen Mittel gegen den Körper gespannt bzw. vorgespannt. Bei Abrieb an den Antriebsflächen und Auffangflächen spannen die elastischen Mittel den Resonator automatisch gegen den Körper nach. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung hat der Fachmann vielfältige Möglichkeiten der Realisierung solcher elastischen Mittel zur Verfügung. Die Fig. 4 bis 7 zeigen diesbezüglich weitere beispielhafte Ausführungsformen von elastischen Mitteln.

Fig. 4 zeigt schematisch eine zweite beispielhafte Ausführungsform eines Antriebes 2 mit zwei piezoelektrischen Resonatoren 1. Die beiden Resonatoren sind von asymmetrischer Form. Bspw. bestehen sie aus einem oder mehreren Erreger/n 10, der/die in ähnlicher Sandwichbauweise wie in der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 2 zwischen Resonatorelementen 11, 12 angebracht ist/sind. Die Resonatoren sind sichelförmig gestaltet und weisen an den Enden jeweils zwei Antriebsflächen 13, 13' auf. Die Resonatoren sind um den anzutreibenden Körper 3 angeordnet. Der Körper ist bspw. ein Hohläufer, bei dem die Lagerung von aussen, d.h. durch die Resonatoren, erfolgt. Dieser Hohläufer ist frei drehbar um eine zentrale Achse 0 gelagert und wird auf äusseren Auffangflächen von den Resonatoren angetrieben und gehalten. Die Resonatoren sind über elastische Mittel 20 auf eine geschlossen ringförmig um die Resonatoren angebrachte Basis 21 montiert. Die elastischen Mittel spannen die Resonatoren gegen den Hohläufer.

Sobald die Resonatoren im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingen, treiben sie über die Antriebsflächen den Hohläufer an. Die longitudinale Schwingungskomponente der Resonatoren treibt den Hohläufer tangential an, die transversale Schwingungskomponente der Resonatoren übt einen haltenden und zentrierenden Druck auf den Hohläufer aus. Bspw. wird der Hohläufer in den Resonatoren gelagert. Er wird durch die elastischen Mittel in die Resonatoren gespannt und durch die transversale Schwingungskomponente der Resonatoren gehalten. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung hat der Fachmann vielfältige Möglichkeiten der Realisierung piezoelektrischer Antriebe mit von aussen einen Hohläufer antreibenden Resonatoren.

Fig. 5 zeigt schematisch eine dritte beispielhafte Ausführungsform eines Antriebes 2 mit drei piezoelektrischen Resonatoren 1. Die drei asymmetrischen Resonatoren weisen einen oder mehrere Erreger 10 auf, der/die in ähnlicher Sandwichbauweise

wie in der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 2 zwischen Resonatorelementen 11, 12 angebracht ist/sind. Die Resonatoren sind im Winkel von 120° voneinander beabstandet um den anzutreibenden Körper 3 angeordnet. Jeder Resonator weist eine Antriebsfläche 13 auf. Der Körper ist in dieser dritten beispielhaften Ausführungsform eines piezoelektrischen Antriebes ein Rotorkörper 30 mit Welle 31. Dieser Rotorkörper ist frei drehbar um eine zentrale Achse 0 gelagert, er wird auf äusseren Auffangflächen des Rotorkörpers angetrieben. Der Rotorkörper ist starr mit der Welle verbunden. Die Resonatoren sind über elastische Mittel 20 auf eine geschlossen ringförmig um die Resonatoren angebrachte Basis 21 montiert. Die elastischen Mittel und die Basis sind einstückig mit den Resonatoren und spannen diese gegen den Rotorkörper. Sobald die Resonatoren im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingen, treiben sie über die Antriebsflächen den Rotorkörper an. Die longitudinale Schwingungskomponente der Resonatoren treibt den Rotorkörper tangential an, die transversale Schwingungskomponente der Resonatoren übt einen haltenden und zentrierenden Druck auf den Rotorkörper aus. Bspw. ist der Rotorkörper in den Resonatoren gelagert. Er wird durch die elastischen Mittel in die Resonatoren gespannt und er wird durch die transversale Schwingungskomponente der Resonatoren gehalten. Grosse Haltekräfte sind möglich, so dass keine weiteren bspw. externen Lager zum Lagern der Welle notwendig sind. Das übermittelte Drehmoment ist sehr gross, da der Schrittwinkel des Rotorkörpers pro Resonatorschwingung sehr klein ist. Bspw. beträgt der Schrittwinkel $0,01^\circ$. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung hat der Fachmann vielfältige Möglichkeiten der Realisierung piezoelektrischer Antriebe mit von aussen einen Rotorkörper antreibenden Resonatoren.

Die Fig. 6 und 7 zeigen schematisch eine vierte und fünfte beispielhafte Ausführungsform eines Antriebes 2 mit einem piezoelektrischen Resonator 1. Der asymmetrische Resonator weist einen oder mehrere Erreger 10 auf, der/die in ähnlicher Sandwichbauweise wie in der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 2 zwischen Resonatorelementen 11, 12 angebracht ist/sind. Der Resonator ist über elastische Mittel 20 mit einer zentral in einer Achse 0 gelagerten Basis 21 montiert. Der Resonator ist seitlich an einem anzutreibenden Körper 3 angeordnet. Der Resonator in der Ausführungsform gemäss Fig. 6 weist zwei Antriebsflächen 13, 13' auf. Der Resonator in der Ausführungsform gemäss Fig. 7 weist eine Antriebsfläche 13 auf. Der Körper ist in diesen vierten und fünften beispielhaften Ausführungsformen eines piezoelektrischen Antriebes eine Scheibe. Diese Scheibe ist frei drehbar um eine zentrale Achse 0 gelagert, sie wird auf äusseren, seitlichen Auffangflächen angetrieben und gehalten. Die elastischen Mittel spannen den Resonator seitlich gegen die Scheibe. Sobald der Resonator im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingt, treibt er über Antriebsflächen die Scheibe an. Da der Antrieb nur einen einzigen piezoelektrischen Resonator aufweist, ist eine einfache Ansteuerung des Resonators und piezoelektrischen Antriebes über eine

einzig Schwingung mit gleicher Frequenz und Phase möglich. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung hat der Fachmann vielfältige Möglichkeiten der Realisierung piezoelektrischer Antriebe mit einem von aussen eine Scheibe antreibenden Resonator.

Die Fig. 10 und 11 zeigen schematisch eine sechste beispielhafte Ausführungsform eines Antriebes 2 mit zwei piezoelektrischen Resonatoren 1. Die beiden asymmetrischen Resonatoren weisen je mindestens einen Erreger 10 auf, der/die in ähnlicher Sandwichbauweise wie in der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 2 zwischen Resonatorelementen 11, 12 angebracht ist/sind. Die Resonatoren sind seitlich an einem anzutreibenden Körper 3 angeordnet. Die Resonatoren sind über elastische Mittel 20 auf einer zwischen den Resonatoren angebrachten Basis 21 montiert. Die elastischen Mittel und die Basis sind einstückig mit den Resonatoren und spannen diese gegen den Rotorkörper. Die Resonatoren weisen je eine Antriebsfläche 13 auf. Der Körper ist in diesen sechsten beispielhaften Ausführungsformen eines piezoelektrischen Antriebes eine Welle. Diese Welle ist frei drehbar um eine zentrale Achse 0 gelagert und wird von der zentralen Basis gehalten. Verglichen mit den Ausführungsformen gemäss der Fig. 3 und 7 ist der Antrieb gemäss den Fig. 10 und 11 doppelt ausgeführt. Der Antrieb ist besonders kräftig ausgelegt. Sobald die Resonatoren im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingen, treiben sie über die Antriebsflächen die Welle an. Dies erfolgt bspw. bidirektional, d.h. je nach Ansteuerung der Resonatoren wird der Körper im Uhrzeigersinn (Fig. 10) bzw. entgegen dem Uhrzeigersinn (Fig. 11) angetrieben. Hierzu werden die Resonatoren über eine einzige Schwingung mit gleicher Frequenz und Phase, aber jedoch mit unterschiedlich hohen Amplituden der Speisespannung angesteuert. Bspw. wird der eine der Resonatoren mit einer hohen Amplitude angesteuert, so dass seine longitudinale Schwingungskomponente den Körper bei einer Vorwärtsbewegung kräftig nach rechts (Fig. 10) resp. links (Fig. 11) antreibt, während der andere der Resonatoren mit einer niedrigen Amplitude angesteuert wird, so dass seine longitudinale Schwingungskomponente den Körper bei derselben Vorwärtsbewegung weniger kräftig nach rechts (Fig. 10) resp. links (Fig. 11) antreibt. Der eine mit hoher Amplitude betriebene Resonator überwindet somit bei der Vorwärtsbewegung die Reibung des anderen mit geringer Amplitude betriebenen Resonators und dreht die Welle in eine Richtung vorwärts. Diese Reibung erhöht die Haltekräfte der transversalen Schwingungskomponenten des Antriebes. Damit die Welle bei der Rückwärtsbewegung der Resonatoren nicht zurückgedreht wird, erfolgt die Vorwärtsbewegung unter einem hohen Druckwinkel und die Rückwärtsbewegung unter einem kleinen Druckwinkel. Die Druckwinkel lassen sich durch die asymmetrische Form der Resonatoren einstellen. Je nach gewählter Amplitudendifferenz und Verhältnis der Druckwinkel bei Vorwärts- resp. Rückwärtsbewegung lässt sich die Höhe der Reibung sowie der Wirkungsgrad des Antriebes einstellen. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung hat der Fachmann vielfältige Möglichkeiten der Realisierung piezoelektrischer An-

triebe mit zwei oder mehr von aussen eine Welle gemäss einer Schwingung mit gleicher Frequenz aber unterschiedlichen Amplituden antreibenden Resonatoren.

Die Fig. 12 bis 14 zeigen schematisch eine siebte, achte und neunte beispielhafte Ausführungsform eines Antriebes 2 mit einem piezoelektrischen Resonator 1. Der asymmetrische Resonator weist einen oder mehrere Erreger 10 auf, der/die in ähnlicher Sandwichbauweise wie in der beispielhaften Ausführungsform gemäss Fig. 2 zwischen Resonatorelementen 11, 12 angebracht ist/sind. Der Resonator ist über elastische Mittel 20 mit einer zentral in einer Achse 0 gelagerten Basis 21 montiert. Der Resonator ist seitlich an einem anzutreibenden Körper 3 angeordnet. Der Resonator weist eine Antriebsfläche 13 auf. Der Körper ist eine frei drehbar um eine Achse 0 gelagerte Welle, die auf äusseren, seitlichen Auffangflächen angetrieben und gehalten wird. Die elastischen Mittel spannen den Resonator seitlich gegen die Welle. Sobald der Resonator im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingt, treibt er über die Antriebsfläche die Welle bspw. in einer Links- bzw. Rechtsdrehung an.

Der Antrieb ist mit Positionierungsmitteln zum Bestimmen der Position des Körpers vorgesehen. In der Ausführungsform gemäss Fig. 12 ist der Körper leicht exzentrisch in der Achse gelagert. Als Positionierungsmittel dient diese exzentrische Lagerung des Körpers. Infolge der exzentrischen Lagerung des Körpers schwankt die Anpresskraft, die von der Antriebsfläche des Resonators auf die Auffangflächen des Körpers wirkt. Dieses Schwanken der Anpresskraft wiederum verursacht eine messbare Impedanzänderung. In der Ausführungsform gemäss Fig. 13 ist der Körper mit einem Schlitz bzw. einer Unebenheit versehen. Als Positionierungsmittel dient dieser Schlitz bzw. diese Unebenheit. Beim Drehen des Körpers und Durchgang des Schlitzes bzw. der Unebenheit an der Antriebsfläche des Resonators schwankt die Anpresskraft vom Resonator auf den Körper, was wiederum eine messbare Impedanzänderung verursacht. In der Ausführungsform gemäss Fig. 14 ist der Körper mit einer Vielzahl von Schlitzsen bzw. Unebenheiten versehen. Als Positionierungsmittel dienen diese Vielzahl von Schlitzsen bzw. Unebenheiten. Diese Vielzahl von Schlitzsen bzw. Unebenheiten ermöglicht eine feinere Auflösung der Positionsbestimmung. Bspw. sind 12 Schlitzse bzw. Unebenheiten im Abstand von 30° auf dem Umfang der Welle angebracht.

Diese durch verschiedene Positionierungsmittel hervorgerufenen Impedanzänderungen können auf bekannte Art und Weise gemessen werden. Eine bevorzugte Position des Körpers kann somit als Referenz festgelegt werden. Bspw. wird die Position des Körpers eines Antriebs in der Ausführungsform gemäss Fig. 12, die einer maximalen Impedanzänderung entspricht, als Referenz festgelegt werden, oder es wird die Position des Körpers eines Antriebs in der Ausführungsform gemäss Fig. 13, die der Impedanzänderung entspricht, als Referenz festgelegt. Auch kann die Anzahl der gemessenen Impedanzänderungen ermittelt werden. Bspw. kann die Anzahl der Links- bzw. Rechtsdrehungen des Körpers ermittelt

werden. In der Ausführungsform eines Antriebes gemäss Fig. 14 lässt sich die Drehung des Körpers auf einen Positionswinkel von $\pm 30^\circ$ genau bestimmen. Natürlich lassen sich diese Ausführungen von Positionierungsmitteln miteinander kombinieren. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung hat der Fachmann vielfältige Möglichkeiten der Realisierung piezoelektrischer Antriebe mit einem von aussen eine Welle antreibenden Resonator und Positionierungsmitteln zur Positionsbestimmung des Körpers.

Fig. 15 zeigt schematisch eine zehnte beispielhafte Ausführungsform eines Antriebes 2 mit zwei piezoelektrischen Resonatoren 1. Diese zehnte Ausführungsform gemäss Fig. 15 ähnelt weitgehend der zweiten Ausführungsform gemäss Fig. 4, so dass auf deren Beschreibung verwiesen und im Folgenden die Unterschiede zwischen diesen beiden Ausführungsformen erläutert werden. In Analogie zur neunten Ausführungsform eines Antriebes gemäss Fig. 14 ist der Körper 3 auf seinen Auffangflächen mit einer Vielzahl von Schlitzsen bzw. Unebenheiten versehen. Die Schlitzsen bzw. Unebenheiten dienen als Positionierungsmittel. Die beiden Resonatoren sind bspw. im Winkel von 120° zueinander um den Körper angeordnet. Sie sind von gleicher Bauart und besitzen somit im Winkel von 120° zueinander angeordnete Antriebsflächen 13, 13', um den Körper anzutreiben. Die Antriebsflächen sind derart geformt, dass sie auch mit den Schlitzsen bzw. Unebenheiten in Formschluss treten. Bspw. sind die Antriebsflächen als Keile geformt, die in entsprechende Schlitzse bzw. Unebenheiten der Auffangflächen greifen. Die Vielzahl von Schlitzsen bzw. Unebenheiten ermöglicht eine feine Auflösung der Positionsbestimmung des Körpers. Bspw. sind Standardschlitzse bzw. Unebenheiten im Abstand von 72° auf dem Umfang vom Körper angebracht. Zusätzlich ist ein Extraschlitz im Abstand von 120° zu einem dieser Standardschlitzse auf dem Umfang vom Körper angebracht. Beim Drehen des Körpers und beim Formschluss der Antriebsflächen mit Schlitzsen bzw. Unebenheiten schwankt die Anpresskraft vom Resonator auf den Körper, was eine messbare Impedanzänderung verursacht. Bei jeder 360° -Drehung vom Körper gibt es eine einzige Körperposition, wo die beiden Antriebsflächen in einen Standardschlitz und in den Extraschlitz greifen. Die Schlitzse sind beliebig tief, bspw. sind sie lediglich 1/100 mm bzw. 2 mm tief. Durch dieses Eingreifen erfolgt eine besonders prägnant messbare Positionsbestimmung (Fig. 15). Die Impedanzänderungen können auf bekannte Art und Weise gemessen werden. Eine bestimmte Position des Körpers kann als Referenz festgelegt werden. Bspw. entspricht die Position des Körpers gemäss Fig. 15 einer eindeutigen Nullposition. Erst nach einer Drehung des Körpers um weitere 360° greifen sie wieder in dieses um 120° voneinander beabstandete Paar aus Standardschlitz und Extraschlitz. Die Anzahl der gemessenen Impedanzänderungen kann somit ermittelt werden. Bspw. wird durch Zählen der Nullpositionen die Anzahl der Links- bzw. Rechtsdrehungen des Körpers ermittelt. Ferner lässt sich durch Zählen der Standardschlitzse der Positionswinkel des Körpers auf $\pm 72^\circ$ genau bestimmen. Natürlich sind andere, feinere bzw. gröbere Auflösungen einer Null-

position bzw. von Positionswinkeln möglich. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung hat der Fachmann vielfältige Möglichkeiten der Realisierung piezoelektrischer Antriebe mit von aussen einen Körper antreibenden Resonatoren und speziell geformten Positioniermitteln zur eindeutigen Positionsbestimmung des Körpers.

Die in mehreren beispielhaften Ausführungsformen gezeigten piezoelektrischen Antriebe lassen sich insbesondere in der Mechanik und Feinmechanik verwenden. Sie können sehr flach sein mit weniger als 1 mm Dicke. Insbesondere kann der Körper sehr klein sein und bspw. weniger als 1 mm Durchmesser besitzen. Die Antriebe lassen sich uni- bzw. bidirektional betreiben. Die Rotationsgeschwindigkeit ist frei einstellbar. Sehr hohe Drehzahlen von mehr als 6000 Umdrehungen pro Minute sind möglich. Als Parameter gelten dabei die Grösse des Körpers (je kleiner der Durchmesser des Körpers, desto höher die Drehzahl vom Antrieb) bzw. Variationen der Ansteuerspannung. So sind bspw. bei entsprechend klein dimensionierten Körpern von 0,4 mm oder 0,2 mm Durchmesser bzw. bei entsprechender Variation der Ansteuerspannung Drehzahlen von 10 000 oder 20 000 Umdrehungen pro Minute möglich. Die Antriebe eignen sich sowohl als Schrittmotoren als auch als kontinuierliche Rotationsmotoren. Insbesondere vermögen sie Körper in sehr kleinen, bspw. in 0,1 bis 0,4 μm kleinen Schritten anzutreiben.

In den gezeigten Ausführungsformen treiben die piezoelektrischen Antriebe Körper auf aussenseitigen Auffangflächen an. Natürlich ist es dem Fachmann freigestellt, bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung auch Antriebe zu konstruieren, bei denen Körper über innenseitige Auffangflächen angetrieben werden. Selbstverständlich lässt sich der Antrieb nicht nur als Rotationsmotor, sondern auch als Linearmotor verwenden.

Der piezoelektrische Antrieb lässt sich sehr flach konstruieren. Die unterschiedlichsten Verwendungen sind möglich. Beispielhafte Verwendungsgebiete sind Uhren, Kameras, Datenspeicher, Mikroskopie-Tische, Tachometer usw. In Uhren kann er die Uhrzeiger direkt bzw. indirekt antreiben. In Kameras kann er um die Linsen angeordnet sein und so in Zoom-Kameras bzw. Normal-Kameras die Linsenverstellung bspw. bei der Tiefenschärfeneinstellung durchführen. In Datenspeichern wie Harddisk-Laufwerken bzw. CD-Laufwerken kann er den Lesekopf antreiben. In Mikroskopie-Tischen kann er den Tisch bzw. Arbeitsplattformen antreiben. In Tachometern kann er den Geschwindigkeitszeiger direkt antreiben. All diese Verwendungen sind beispielhaft. Diese Aufzählung ist nicht ausschliesslich. Der Fachmann kann bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung vielfältige andere Verwendungen eines flachen piezoelektrischen Antriebes realisieren.

Der piezoelektrische Antrieb ist kostengünstig herstellbar, da er wenige Teile umfasst, da bei der Herstellung dieser Teile keine strengen Toleranzen erfüllt werden müssen und da die verwendeten Materialien kostengünstig sind.

Patentansprüche

1. Resonator (1) mit piezoelektrischen Materialien, zum Antreiben eines Körpers (3), dadurch gekennzeichnet, dass der Resonator eine asymmetrische Form aufweist und sowohl im longitudinalen als auch im transversalen Modus schwingt.
2. Resonator (1) gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Erreger (10, 10') aus piezoelektrischem Material an mindestens einem Resonatorelement (11, 12) angeordnet ist.
3. Resonator (1) gemäss Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von Länge zu Breite des mindestens einen Erregers (10, 10') gleich zwei oder einem Vielfachen davon ist.
4. Resonator (1) gemäss Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein flacher Erreger (10) in einem flachen Resonatorelement (11) angeordnet ist.
5. Resonator (1) gemäss Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein flacher Erreger (10) in Sandwichbauweise zwischen zwei flachen Resonatorelementen (11, 12) angeordnet ist.
6. Resonator (1) gemäss Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein flaches Resonatorelement (11, 12) in Sandwichbauweise zwischen zwei flachen Erregern (10, 10') angeordnet ist.
7. Resonator (1) gemäss Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Erregern (10, 10') mit einer Vielzahl von Resonatorelementen (11, 12) zu einem Multilayeraufbau angeordnet sind.
8. Resonator (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass Resonatorelemente (11, 12) aus elektrisch leitendem und/oder abriebfestem und/oder thermisch leitendem Material sind.
9. Antrieb (2) mit mindestens einem Resonator (1) mit piezoelektrischen Materialien, welcher Resonator (1) einen Körper (3) antreibt, welcher mindestens einen Resonator (1) mit asymmetrischer Form sowohl mit einer longitudinalen als auch mit einer transversalen Schwingungskomponente schwingt und den Körper (3) in Rotations- und/oder Linearbewegung versetzt.
10. Antrieb (2) gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass er den Körper (3) auf einer aussenseitigen Auffangfläche antreibt.
11. Antrieb (2) gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die longitudinale Schwingungskomponente des mindestens einen Resonators (1) den Körper (3) tangential antreibt während die transversale Schwingungskomponente des mindestens einen Resonators (1) einen Druck auf den Körper (3) ausübt.
12. Antrieb (2) gemäss Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass ein Druckwinkel sowie die Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit des Körpers (3) über die asymmetrische Form des mindestens einen Resonators (1) frei einstellbar sind.
13. Antrieb (2) gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein einziger Resonator (1) vorgesehen ist, der den Körper (3) über mindestens eine Antriebsfläche (13, 13') tangential antreibt.
14. Antrieb (2) gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Resonatoren

(1) vorgesehen sind, die den Körper (3) über mindestens zwei Antriebsflächen (13, 13') antreiben.

15. Antrieb gemäss Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Resonatoren (1) über eine einzige Schwingung mit gleicher Frequenz aber unterschiedlichen Amplituden ansteuerbar sind und den Körper (3) in entsprechend den Amplituden unterschiedlich kräftigen Vorwärtsbewegungen antreiben.

16. Antrieb (2) gemäss Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Resonatoren (1) sichelförmig gestaltet sind, dass sie an ihren Enden jeweils zwei Antriebsflächen (13, 13') aufweisen und dass sie um den Körper (3) angeordnet sind.

17. Antrieb (2) gemäss Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass drei Resonatoren (1) im Winkel von 120° voneinander beabstandet um den Körper (3) angeordnet sind, dass jeder Resonator (1) eine Antriebsfläche (13) aufweist und dass sie den Körper (3) halten und zentrieren.

18. Antrieb (2) gemäss einem der Ansprüche 9 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper (3) ein Hohlläufer bzw. eine Scheibe ist.

19. Antrieb (2) gemäss einem der Ansprüche 9 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Resonator (1) über elastische Mittel (20) im Antrieb (2) montiert ist.

20. Antrieb (2) gemäss Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die elastischen Mittel (20) Verschleiss an Antriebsflächen (13, 13') des mindestens einen Resonators (1) sowie an Auffangflächen des angetriebenen Körpers (3) kompensieren.

21. Antrieb (2) gemäss Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Resonator (1) über elastische Mittel (20) gegen den Körper (3) gespannt ist.

22. Antrieb (2) gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Positionierungsmittel vorgesehen ist, dass das mindestens eine Positionierungsmittel messbare Impedanzänderungen erzeugt und dass eine Position des Körpers, die einer messbaren Impedanzänderung entspricht, als Referenz zur Positionsbestimmung dient.

23. Antrieb (2) gemäss Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Positionierungsmittel Änderungen der Anpresskraft von Antriebsflächen (13, 13') des mindestens einen Resonators (1) auf Auffangflächen des angetriebenen Körpers (3) erzeugt und dass diese Änderungen der Anpresskraft als Impedanzänderungen messbar sind.

24. Antrieb (2) gemäss Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Positionierungsmittel eine exzentrische Lagerung des Körpers und/oder ein Schlitz bzw. eine Unebenheit ist.

25. Antrieb (2) gemäss Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass als Positionierungsmittel eine Vielzahl von Schlitzten und/oder Unebenheiten für eine Bestimmung vom Positionswinkel des Körpers vorgesehen sind.

26. Verfahren zum Betreiben eines Antriebes (2) gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass er uni- oder bidirektional betrieben wird.

27. Verfahren zum Betreiben eines Antriebes (2) gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Resonator (1) des Antriebes (2) über eine einzige Schwingung gesteuert wird.

28. Verwendung eines Antriebes (2) gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass er schrittweise und/oder kontinuierlich Körper in Uhren, Kameras, Datenspeichern, Mikroskopie-Tische oder Tachometern antreibt.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

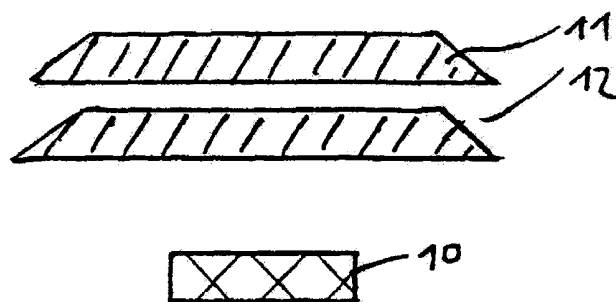


Fig. 1

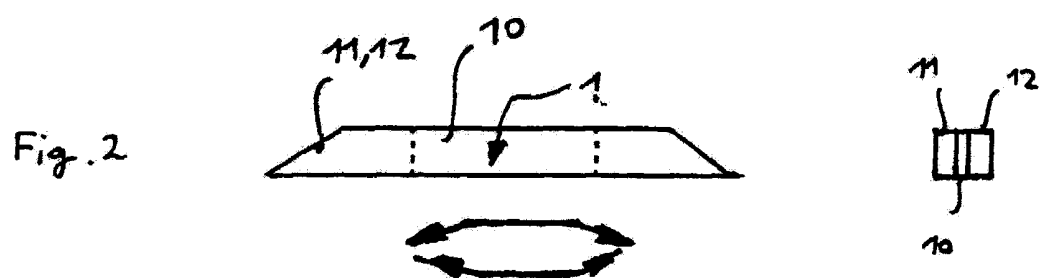


Fig. 2

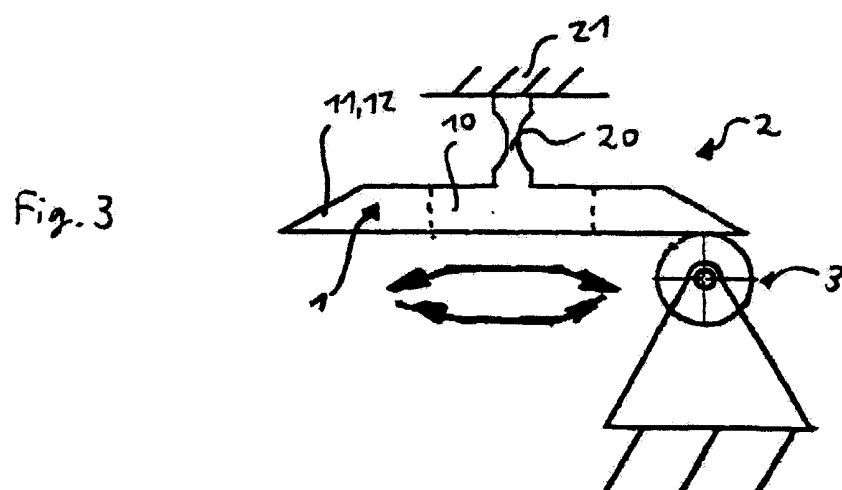


Fig. 3

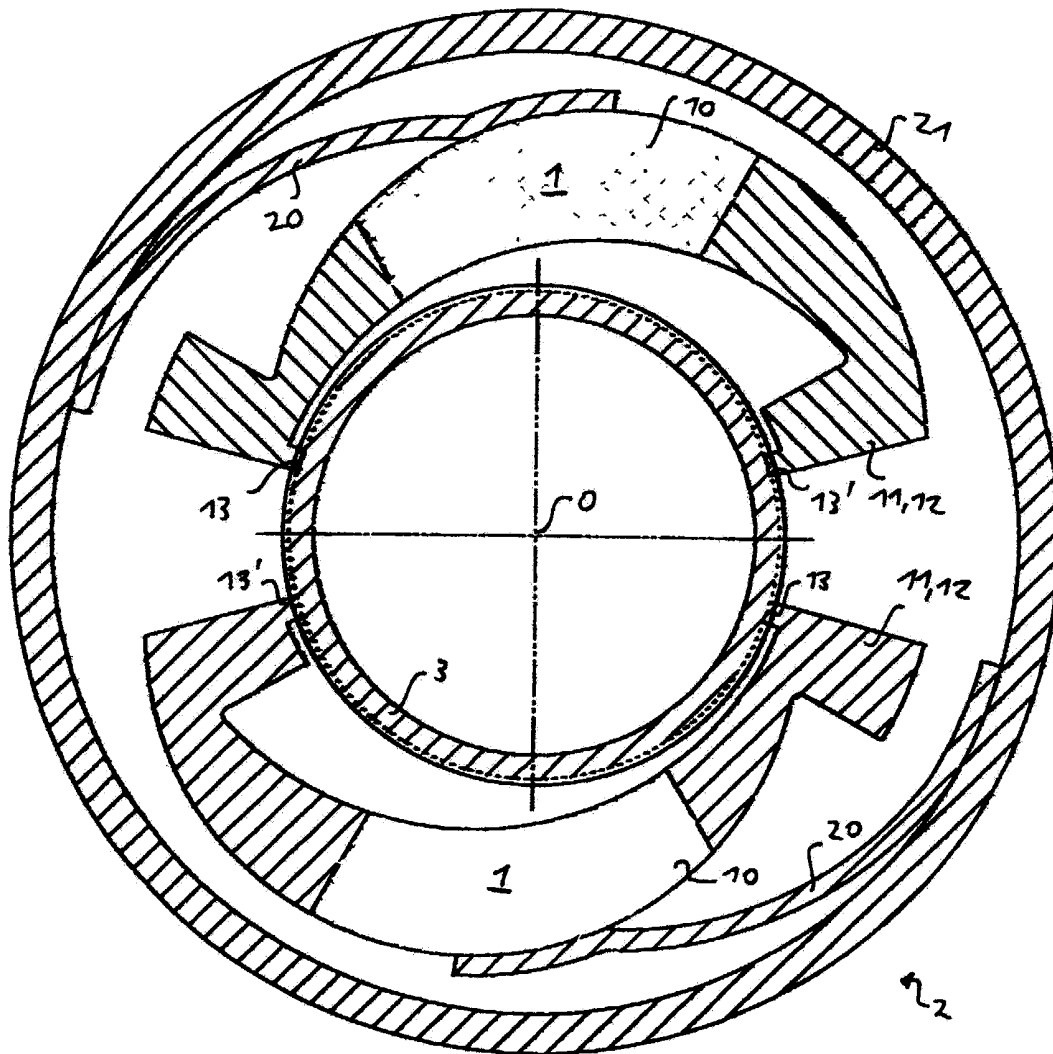


Fig. 4

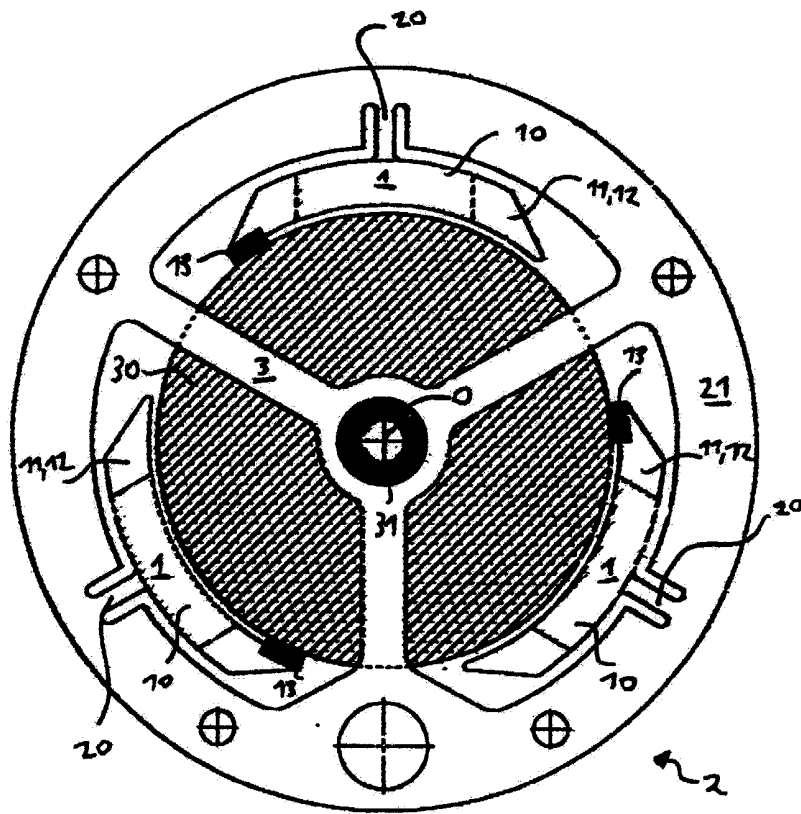
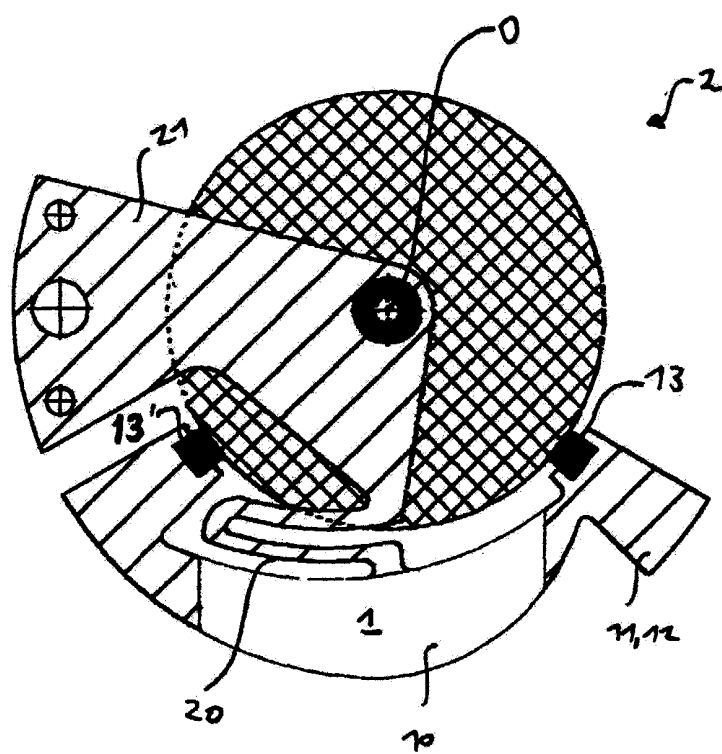


Fig. 5



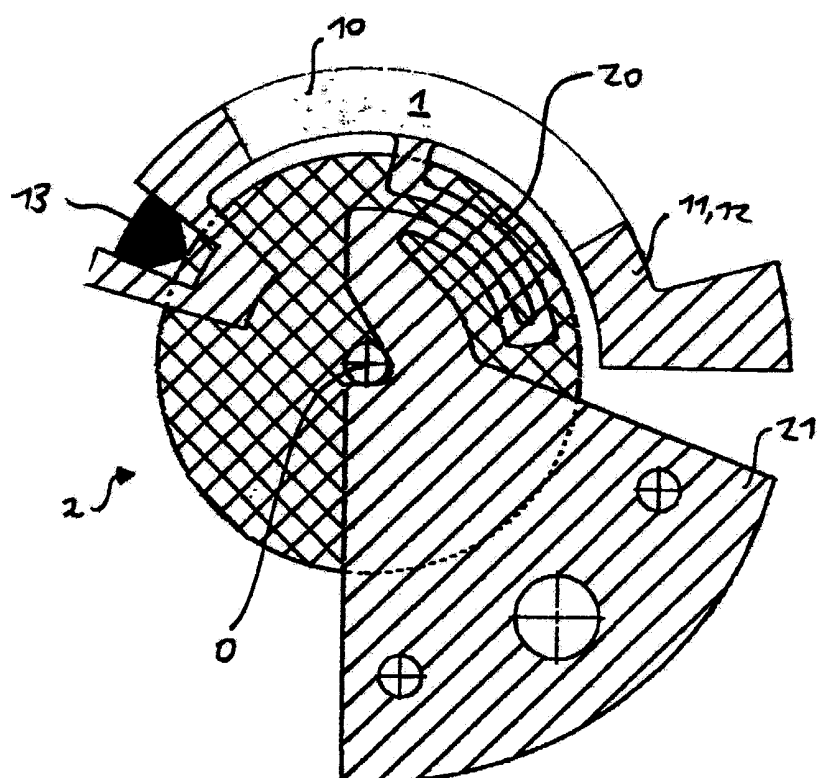


Fig. 7

