



(10) **DE 10 2017 201 964 A1** 2018.08.09

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 201 964.6**
(22) Anmeldetag: **08.02.2017**
(43) Offenlegungstag: **09.08.2018**

(51) Int Cl.: **B81B 7/02 (2006.01)**
B81B 5/00 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)

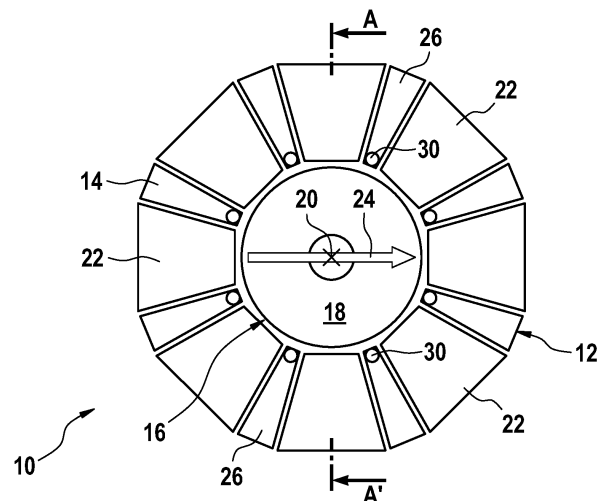
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Muchow, Joerg, 72764 Reutlingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Mikromechanisches Bauteil für einen lagerlosen Elektromotor, lagerloser Elektromotor und Verfahren zum Herstellen des mikromechanischen Bauteils und des lagerlosen Elektromotors**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches Bauteil (12) für einen lagerlosen Elektromotor (10) mit einer Halbleiter-Trägerstruktur (14) aus zumindest einem Halbleitermaterial, in welche mindestens eine Aufnahmeöffnung (16) derart hinein strukturiert ist, dass ein einen Permanentmagneten (18) umfassender Rotor (18) zentriert und um eine Rotationsachse (20) rotierbar in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) anordbar ist und Flussleiterstücke (22) radial um den Rotor (18) herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) anordbar sind, und mindestens einer Sensoreinrichtung (30), welche an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur (14) ausgebildet ist. Ebenso betrifft die Erfindung einen lagerlosen Elektromotor (10). Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils (12) für einen lagerlosen Elektromotor (10) und ein Herstellungsverfahren für einen lagerlosen Elektromotor (10).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches Bauteil für einen lagerlosen Elektromotor und einen lagerlosen Elektromotor. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils für einen lagerlosen Elektromotor und ein Herstellungsverfahren für einen lagerlosen Elektromotor.

Stand der Technik

[0002] In der EP 0 860 046 B1 ist ein lagerloser (bürstenloser) Elektromotor beschrieben, welcher als Teil seines Rotors eine magnetisierte Scheibe umfasst, die in einem radialen magnetischen Drehfeld um eine Rotationsachse rotiert. Der lagerlose (bürstenlose) Elektromotor ist unter Verwendung von feinmechanischen Techniken hergestellt.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Die Erfindung schafft ein mikromechanisches Bauteil für einen lagerlosen Elektromotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1, einen lagerlosen Elektromotor mit den Merkmalen des Anspruchs 3, ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils für einen lagerlosen Elektromotor mit den Merkmalen des Anspruchs 7 und ein Herstellungsverfahren für einen lagerlosen Elektromotor mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

Vorteile der Erfindung

[0004] Die vorliegende Erfindung ermöglicht eine mikromechanische Fertigung von lagerlosen Elektromotoren. Gegenüber herkömmlichen lagerlosen Elektromotoren, welche mittels feinmechanischer Techniken hergestellt sind, was eine Miniaturisierung von deren Bauvolumen signifikant erschwert (bzw. nahezu unmöglich macht), erleichtert eine mikromechanische Fertigung von lagerlosen Elektromotoren mittels der vorliegenden Erfindung deren Miniaturisierung. Die mittels der vorliegenden Erfindung gegenüber dem Stand der Technik kleiner und/oder leichter ausgebildeten lagerlosen Elektromotoren lassen sich einfacher und vielseitiger einsetzen, selbst in einem menschlichen Körper für medizintechnische Zwecke. Zusätzlich trägt die vorliegende Erfindung zur Reduktion von Fertigungskosten für lagerlose Elektromotoren, z.B. aufgrund von Materialeinsparungen und Verwendung kostengünstig ausführbarer Prozesse der Halbleitertechnologie, bei. Mittels der erfindungsgemäßen mikromechanischen Fertigung von lagerlosen Elektromotoren lassen sich auch deren Fertigungstoleranzen verringern. Dies erlaubt einen Verzicht auf aufwändige Maßnahmen zum Kompensieren einer Unsymmetrie einer Konstruktion und/oder zum Garantieren einer Regelbarkeit. Es wird auch darauf hingewiesen, dass die mittels der vor-

liegenden Erfindung gewonnenen lagerlosen Elektromotoren in der Regel eine vergleichsweise große Robustheit aufweisen, was deren Einsetzbarkeit in einer Vielzahl verschiedener Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise selbst bei hohen Temperaturen und/oder in einer chemisch reaktiven Atmosphäre, steigert.

[0005] Ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung ist die kostengünstige Ausbildbarkeit der mindestens einen Sensoreinrichtung an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur. Zusätzlich erleichtert die vorliegende Erfindung auch eine Miniaturisierung der mindestens einen Sensoreinrichtung. Eine Vielzahl von aus dem Stand der Technik bekannten Prozessen können zum Ausstatten eines erfindungsgemäßen lagerlosen Elektromotors mit der mindestens einen kostengünstig realisierten und vergleichsweise kleinen und leichten Sensoreinrichtung genutzt werden. Zusätzlich ermöglicht die Ausbildung der mindestens einen Sensoreinrichtung an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur eine vergleichsweise gute Genauigkeit bei deren Positionierung. In der Regel ist die mindestens eine Sensoreinrichtung mit einer Genauigkeit im μm -Bereich an und/oder in der zugeordneten Halbleiter-Trägerstruktur positionierbar. Dies verbessert auch eine Genauigkeit beim Verwenden der mindestens einen Sensoreinrichtung und ermöglicht damit eine gegenüber dem Stand der Technik verbesserte Regelung des jeweils damit ausgestatteten lagerlosen Elektromotors.

[0006] In einer vorteilhaften Ausführungsform des mikromechanischen Bauteils sind mindestens ein Hall-Sensor und/oder mindestens ein kapazitiver Sensor als die mindestens eine Sensoreinrichtung an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur ausgebildet. Derartige Sensortypen sind nicht nur vielseitig und vorteilhaft in einem lagerlosen Elektromotor einsetzbar, sondern auch mittels Halbleitertechnologien vergleichsweise klein, leicht und kostengünstig an und/oder in der zugeordneten Halbleiter-Trägerstruktur ausbildbar.

[0007] In einer vorteilhaften Ausführungsform des lagerlosen Elektromotors ist die mindestens eine Aufnahmeöffnung von einer ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur aus in die Halbleiter-Trägerstruktur hinein strukturiert, wobei auf einer von der ersten Seite weg gerichteten zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur für jedes der in der Halbleiter-Trägerstruktur angeordneten Flussleiterstücke je ein Flussleiterpfosten benachbart zu dem zugeordneten Flussleiterstück angeordnet ist, und wobei die Flussleiterpfosten von Spulen umwickelt sind. Trotz der kleinen Ausbildbarkeit dieser Ausführungsform des lagerlosen Elektromotors kann somit leicht und verlässlich ein radiales magnetisches Drehfeld an einer Anbringposition des Rotors bewirkt werden, mittels welchem der den Permanentmagneten umfassende Ro-

tor um seine Rotationsachse rotiert wird. Ein weiterer Vorteil der Halbleitertechnologie kann für diese Ausführungsform des lagerlosen Elektromotors genutzt werden, indem sehr dünne Schichten reproduzierbar hergestellt werden. Flussleiter auf beiden Seiten derartiger Schichten ermöglichen eine Übertragung eines magnetischen Flusses beinahe ohne Streufeldverlust. Gleichzeitig sind die Flussleiterstücke hermetisch voneinander getrennt.

[0008] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform, in welcher die mindestens eine Aufnahmeöffnung von der ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur aus in die Halbleiter-Trägerstruktur hinein strukturiert ist, ist auf der von der ersten Seite weg gerichteten zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur eine Rückführscheibe angeordnet. Die Rückführscheibe kann beispielsweise auf der zweiten Seite direkt an der Halbleiter-Trägerstruktur befestigt sein. Ebenso kann die Rückführscheibe an von der Halbleiter-Trägerstruktur weg gerichteten Enden der Flussleiterpfosten befestigt sein. In allen hier beschriebenen Fällen bildet die Rückführscheibe zusammen mit den Flussleiterstücken (und eventuell den Flussleiterpfosten) einen permanentmagnetischen Flusskreis, mittels welchem ein Ausbrechen des Rotors aus seiner planparallelen Lage bezüglich einer Substratoberfläche gehindert ist.

[0009] Beispielsweise kann der Rotor als Pumpenrotor, als Propellerrotor oder mit mindestens einer lichtreflektierenden Oberfläche ausgebildet sein. Der lagerlose Elektromotor kann somit als Teil einer Pumpe (wie beispielsweise in der Medizintechnik als Herzpumpe), als Teil einer propellerbestückten oder propellerangetriebenen Vorrichtung oder als Teil einer optisch aktiven Vorrichtung (wie beispielsweise einer Mikrospiegelvorrichtung) eingesetzt werden.

[0010] Die vorausgehend beschriebenen Vorteile sind auch bei einem Ausführen eines korrespondierenden Verfahrens zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils für einen lagerlosen Elektromotor bewirkt. Es wird darauf hingewiesen, dass das Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils für einen lagerlosen Elektromotor gemäß den zuvor beschriebenen Ausführungsformen des mikromechanischen Bauteils weiterbildbar ist.

[0011] Des Weiteren schafft auch ein Ausführen eines korrespondierenden Herstellungsverfahrens für einen lagerlosen Elektromotor die oben schon beschriebenen Vorteile. Auch das Herstellungsverfahren für einen lagerlosen Elektromotor ist gemäß den oben beschriebenen Ausführungsformen des mikromechanischen Bauteils und des lagerlosen Elektromotors weiterbildbar.

Figurenliste

[0012] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a und **Fig. 1b** schematische Darstellungen einer Ausführungsform des mikromechanischen Bauteils, bzw. des damit ausgestatteten lagerlosen Elektromotors, wobei **Fig. 1a** eine Draufsicht auf den lagerlosen Elektromotor und **Fig. 1b** einen Querschnitt durch den lagerlosen Elektromotor entlang einer Linie A-A' der **Fig. 1a** zeigen;

Fig. 2 einen schematischen Querschnitt durch ein Halbleitersubstrat zum Erläutern einer Ausführungsform des Verfahrens zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils für einen lagerlosen Elektromotor;

Fig. 3a und **Fig. 3b** schematische Querschnitte durch Halbleitersubstrate zum Erläutern einer ersten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens für einen lagerlosen Elektromotor; und

Fig. 4a bis **Fig. 4e** schematische Darstellungen zum Erläutern einer zweiten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens für einen lagerlosen Elektromotor.

Ausführungsformen der Erfindung

[0013] **Fig. 1a** und **Fig. 1b** zeigen schematische Darstellungen einer Ausführungsform des mikromechanischen Bauteils, bzw. des damit ausgestatteten lagerlosen Elektromotors, wobei **Fig. 1a** eine Draufsicht auf den lagerlosen Elektromotor und **Fig. 1b** einen Querschnitt durch den lagerlosen Elektromotor entlang einer Linie A-A' der **Fig. 1a** zeigen.

[0014] Der in **Fig. 1a** und **Fig. 1b** schematisch dargestellte lagerlose Elektromotor **10** umfasst ein mikromechanisches Bauteil **12** mit einer Halbleiter-Trägerstruktur **14** aus zumindest einem Halbleitermaterial. Beispielsweise kann die Halbleiter-Trägerstruktur **14** zumindest teilweise aus Silizium (als dem Halbleitermaterial) gebildet sein. Die Halbleiter-Trägerstruktur **14** kann insbesondere aus einem (reinen) Siliziumsubstrat oder einem (reinen) Siliziumwafer herausstrukturiert sein. Als Alternative oder als Ergänzung zu Silizium kann die Halbleiter-Trägerstruktur **14** jedoch auch noch aus mindestens einem anderen Material, wie beispielsweise mindestens einem anderen Halbleitermaterial, mindestens einem elektrisch isolierenden Material und/oder mindestens einem Metall, gebildet sein. Die Halbleiter-Trägerstruktur **14**, bzw. das mikromechanische Bauteil **12**, können somit mittels MEMS-Technologie (d.h. mittels Mikrosystem-Technik, Mikrosystem-Technologie oder Mikro-Elektro-Mechanischer-System-Technologie) gefertigt sein/werden.

[0015] Mindestens eine Aufnahmeöffnung **16** ist (mittels MEMS-Technologie) derart in die Halbleiter-Trägerstruktur **14** hineinstrukturiert, dass ein Rotor **18** zentriert und um eine Rotationsachse **20** rotierbar in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** anordbar ist und (zusätzlich) Flussleiterstücke **22** radial um den Rotor **18** herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** anordbar sind. Unter dem Rotor **18**, welcher in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** anordbar/angeordnet ist, ist eine Komponente zu verstehen, welche zumindest einen Permanentmagneten **18** (mit einer Magnetisierungsrichtung **24**) umfasst. Mittels einer Erzeugung eines um die Rotationsachse **20** rotierenden magnetischen Wechselfeldes kann der in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** angeordnete Rotor **18** deshalb in eine Drehbewegung um die Rotationsachse **20** versetzt werden. Der Rotor **18** ist vorzugsweise rotationssymmetrisch ausgebildet. Insbesondere kann der Rotor **18** kugelförmig, ellipsoidförmig, zylinderförmig, ringförmig oder scheibenförmig ausgebildet sein.

[0016] Die Flussleiterstücke **22** sind vorzugsweise aus mindestens einem magnetischen Flussleitermaterial/mindestens einem weichmagnetischen Material, wie beispielsweise Eisen und/oder Nickel, insbesondere Legierungen aus Eisen und Nickel (Permalloy), geformt. Als Alternative oder als Ergänzung zu Eisen und/oder Nickel können die Flussleiterstücke **22** jedoch auch aus mindestens einem anderen magnetischen Flussleitermaterial/weichmagnetischen Material geformt sein. Zum Bewirken des um die Rotationsachse **20** rotierenden magnetischen Wechselfeldes an einer Anbringposition des Rotors **18** können die Flussleiterstücke **22** deshalb vorteilhaft eingesetzt werden. Außerdem sind die Flussleiterstücke **22** vorzugsweise so unverstellbar in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** anordbar/angeordnet oder befestigbar/befestigt, dass eine Position und Stellung der Flussleiterstücke **22** in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** durch das rotierende magnetische Wechselfeld und die Drehbewegung des Rotors **18** um die Rotationsachse **20** nicht beeinträchtigt werden. Die Flussleiterstücke **22** können somit auch als „Statorzähne“ bezeichnet werden. Jedes der Flussleiterstücke **22** kann in Form eines geraden Prismas mit einem gleichschenkeligen Trapez als Grundfläche (bzw. „tortenstückförmig“) geformt sein. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass eine Ausbildbarkeit des mikromechanischen Bauteils **12**, bzw. des damit ausgestatteten lagerlosen Elektromotors **10**, nicht auf eine bestimmte Form der Flussleiterstücke **22** limitiert ist.

[0017] Die Halbleiter-Trägerstruktur **14**, bzw. das mikromechanische Bauteil **12**, können somit als eine (mittels MEMS-Technologie gefertigte) „Schablone“ umschrieben werden. Die Verwendung der „Schablone“ erleichtert und verbessert eine Anordnung und Ausrichtung des Rotors **18** und der Flussleiterstücke

22 zueinander, welche mittels der Form der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** leicht und mit einer vergleichsweise großen Genauigkeit festlegbar ist. Auf diese Weise ist sicher gewährleistet, dass der um die Rotationsachse **20** rotierbar in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** angeordnete Rotor **18** und die radial um den Rotor **18** herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** angeordneten Flussleiterstücke **22** vorteilhaft zueinander angeordnet und ausgerichtet sind. Insbesondere können mittels der Ausbildung der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** Halbleiterstege **26** zwischen jeweils zwei benachbarten Flussleiterstücken **22** und/oder ein Zentrierstift **28** zur Montage des den Permanentmagneten **18** umfassenden Rotors **18** ausgebildet sein. Die Verwendung der Halbleiter-Trägerstruktur **14** als „Schablone“ erleichtert somit eine exakte Positionierung der Komponenten **18** und **22**.

[0018] Die Verwendung der (mittels der MEMS-Technologie hergestellten) Halbleiter-Trägerstruktur **14**, bzw. des (mittels der MEMS-Technologie hergestellten) mikromechanischen Bauteils **12**, ermöglicht auch eine Minimierung des lagerlosen Elektromotors **10**. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der lagerlose Elektromotor **10** so klein ausbildbar ist, dass er selbst in einem menschlichen Körper (relativ) problemlos, z.B. für einen medizintechnischen Einsatz (wie beispielsweise als Herzpumpe), einsetzbar ist.

[0019] Das mikromechanische Bauteil **12** weist auch mindestens eine Sensoreinrichtung **30** auf, welche an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ausgebildet ist. Die Integration der mindestens einen Sensoreinrichtung **30** in die Halbleiter-Trägerstruktur **14** erzielt eine deutliche Erhöhung von Fertigungstoleranzen. Zusätzlich kann die MEMS-Technologie auch zur Herstellung der mindestens einen Sensoreinrichtung **30**, und damit zur vorteilhaften Positionierung der mindestens einen Sensoreinrichtung **30**, genutzt werden. Eine auf diese Weise realisierbare exakte Lage der mindestens einen Sensoreinrichtung **30** trägt wesentlich zur Verbesserung einer Regelbarkeit des lagerlosen Elektromotors **10** bei.

[0020] Beispielsweise können mindestens ein Hall-Sensor **30** und/oder mindestens ein kapazitiver Sensor als die mindestens eine Sensoreinrichtung **30** an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ausgebildet sein. Insbesondere zur Ausbildung derartiger Sensortypen können kostengünstige und einfach ausführbare lithographische Prozesse mit einer hohen Genauigkeit (im Nanometer-Bereich) bei der Positionierung der mindestens einen Sensoreinrichtung **30** ausgeführt werden. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass eine Ausbildbarkeit der mindestens einen Sensoreinrichtung **30** nicht auf die hier genannten Sensortypen limitiert ist.

[0021] In der Ausführungsform der **Fig. 1a** und **Fig. 1b** ist die mindestens eine Aufnahmeöffnung **16** von einer ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14** aus in die Halbleiter-Trägerstruktur **14** hinein strukturiert. Auf einer von der ersten Seite weg gerichteten zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ist für jedes der in der Halbleiter-Trägerstruktur **14** angeordneten Flussleiterstücke **22** je ein Flussleiterpfosten **32** benachbart zu den zugeordneten Flussleiterstücken **22** angeordnet. Die Flussleiterpfosten **32** können z.B. jeweils in (auf der zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ausgebildeten) Vertiefungen (teilweise) eingesetzt sein. Die Flussleiterpfosten **32** sind von Spulen **34** umwickelt. Mittels einer Bestromung der Spulen **34** (mit mindestens zwei unterschiedlichen Wechselstromsignalen) sind die Flussleiterstücke **22** und die Flussleiterpfosten **32** magnetisierbar, wodurch das um die Rotationsachse **20** rotierende magnetische Wechselfeld an der Anbringposition des Rotors **18** bewirkbar ist. Durch die Anordnung der Flussleiterpfosten **32** und Spulen **34** auf der zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14** können die Flussleiterstücke **22** unabhängig von den Flussleiterpfosten **32** und Spulen **34** positioniert werden. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass eine Anzahl der Flussleiterstücke **22**, der Flussleiterpfosten **32** und der Spulen **34** entsprechend der gewünschten Polzahl des lagerlosen Elektromotors **10** frei wählbar ist.

[0022] Zur Bestromung der Spulen **34** des lagerlosen Elektromotors **10** (mit mindestens zwei unterschiedlichen Wechselstromsignalen) wird nur vergleichsweise wenig Energie benötigt. Für eine Energieversorgung des lagerlosen Elektromotors **10** können deshalb auch (auswechselbare) Batterien oder Akkus verwendet werden. Dies erleichtert einen Einsatz des lagerlosen Elektromotors **10** in einer Vielzahl von Einsatzorten, wie beispielsweise in einem menschlichen Körper.

[0023] Die Magnetisierungsrichtung **24** des Permanentmagneten **18** ist geneigt, vorzugsweise senkrecht, zu der Rotationsachse **20** ausgerichtet ist. Eine Magnetisierungsrichtung **24** des Permanentmagneten **18** in einer von den Flussleiterstücken **22** aufgespannten/umgebenden Lage ist deshalb bevorzugt. Man kann dies auch als eine „in-plane-Magnetisierung“ des Permanentmagneten **18** umschreiben.

[0024] Der lagerlose Elektromotor **10** der **Fig. 1a** und **Fig. 1b** weist außerdem eine auf der zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14** angeordnete Rückführscheibe **36** auf. Die Rückführscheibe **36** ist vorzugsweise rotationssymmetrisch bezüglich der Rotationsachse **20** angeordnet. Beispielsweise kann die Rückführscheibe **36** an von der Halbleiter-Trägerstruktur **14** weg gerichteten Enden der Flussleiterpfosten **32** befestigt sein. Die Rückführscheibe **36** dient als magnetischer Schluss zur Stabilisierung des

Rotors **18**. Mittels der Rückführscheibe **36** kann ein „Ausbrechen“ oder „Wegdriften“ des Rotors **18** in eine Richtung entlang der Rotationsachse **20** gehindert werden. Man spricht dabei auch von einer „In-plane-Stabilität“ des Permanentmagneten/Rotors **18** „parallel“ zu der Rückführscheibe **36**. Die Rückführscheibe **36** ist deshalb auch als ein „Back-Iron“ umschreibbar.

[0025] In der Ausführungsform der **Fig. 1a** und **Fig. 1b** besteht der Rotor **18** beispielhaft lediglich aus dem Permanentmagneten **18**. In einer Weiterbildung des lagerlosen Elektromotors **10** der **Fig. 1a** und **Fig. 1b** kann der Rotor **18** auch als Pumpenrotor, als Propellerrotor oder mit mindestens einer lichtreflektierenden Oberfläche ausgebildet sein. Dies ist realisierbar, indem zusätzliche Elemente an dem Rotor **18** befestigt und/oder ausgebildet werden. Beispielsweise können in einem Winkel ungleich 0° und ungleich 180° zu der Rotationsachse **20** ausgerichtete Flächen für eine Pumpen-Funktion oder für eine Propeller-Funktion (zum Bewirken einer Strömung eines Gases und/oder einer Flüssigkeit und/oder zum Bewirken einer Fortbewegung einer Vorrichtung) genutzt werden. Mindestens eine in einem Winkel ungleich Null und ungleich 90° zu der Rotationsachse **20** ausgerichtete lichtreflektierende Oberfläche des Rotors **18** kann außerdem für eine optisch aktive Vorrichtung, wie beispielsweise eine Mikrospiegelvorrichtung, genutzt werden.

[0026] **Fig. 2** zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein Halbleitersubstrat zum Erläutern einer Ausführungsform des Verfahrens zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils für einen lagerlosen Elektromotor.

[0027] Bei einem Ausführen des im Weiteren beschriebenen Verfahrens wird eine Halbleiter-Trägerstruktur **14** aus zumindestens einem Halbleitermaterial gebildet, wobei mindestens eine Aufnahmeöffnung **16** derart in die Halbleiter-Trägerstruktur **14** hinein strukturiert wird, dass ein Permanentmagneten **18** umfassender Rotor **18** (des späteren Elektromotors **10**) zentriert und um eine Rotationsachse **20** rotierbar in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** anordbar ist und Flussleiterstücke **22** (des späteren Elektromotors **10**) radial um den Rotor **18** herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** anordbar sind. Insbesondere kann die Halbleiter-Trägerstruktur **14** mittels des Bildens der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** aus einem Halbleitersubstrat heraus strukturiert werden. Das jeweilige Halbleitersubstrat kann beispielsweise Silizium (als dem Halbleitermaterial) umfassen. Insbesondere kann die Halbleiter-Trägerstruktur **14** mit der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** aus einem (reinen) Siliziumsubstrat oder einem (reinen) Siliziumwafer (als dem Halbleitermaterial) herausstrukturiert werden. Als Alternative oder als Ergänzung zu Silizium kann die Halbleiter-Trägerstruktur **14** jedoch

auch aus mindestens einem anderen Halbleitermaterial, mindestens einem elektrisch isolierenden Material und/oder mindestens einem Metall gebildet werden.

[0028] Zum Strukturieren der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** kann mindestens ein Ätzprozess ausgeführt werden. Somit kann eine gewünschte Form der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** leicht mittels eines kostengünstig und einfach ausführbaren Prozesses genau eingehalten werden.

[0029] Beim Ausbilden der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** können Halbleiterstege **26** derart an der Halbleiter-Trägerstruktur **14** geformt werden, dass jeweils einer der Halbleiterstege **26** ein Anstoßen von zwei in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** benachbart angeordneten Flussleiterstücken **22** verhindert. Außerdem können die Halbleiterstege **26** so geformt werden, dass die an die Halbleiterstege **26** anstoßenden Flussleiterstücke **22** nur durch einen vergleichsweise geringen Spalt von dem in seiner Anbringposition vorliegenden Rotor **18** beabstandet, jedoch ohne Berührungskontakt mit dem Rotor **18**, in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** angeordnet sind. Alternativ oder ergänzend zu den Halbleiterstegen **26** kann auch ein Zentrierstift **28** zur Montage des den Permanentmagneten **18** umfassenden Rotors **18** mittels der Ausbildung der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** gebildet werden. Vorzugsweise wird der Zentrierstift **28** radial-zentrisch in die Halbleiter-Trägerstruktur **14** hinein strukturiert.

[0030] Optionaler Weise kann auch, vor oder nachdem die mindestens eine Aufnahmeöffnung **16** von einer ersten Seite der (späteren) Halbleiter-Trägerstruktur **14** aus in die Halbleiter-Trägerstruktur **14** hinein strukturiert wird, mindestens eine weitere Vertiefung **40** in eine von der ersten Seite weg gerichtete zweite Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14** strukturiert werden. Auch zum Strukturieren der mindestens einen weiteren Vertiefung **40** kann mindestens ein Ätzprozess ausgeführt werden. Eine Ausführbarkeit des hier beschriebenen Verfahrens ist (nahezu) unabhängig von einer Form der mindestens einen weiteren Vertiefung **40**. (Die mindestens eine weitere Vertiefung kann beispielsweise zum späteren Befestigen der Flussleiterpfosten **32** und/oder der Rückführscheibe **36** genutzt werden.)

[0031] Vor und/oder nach dem Strukturieren der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** wird mindestens eine Sensoreinrichtung **30** an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ausgebildet. Das Ausbilden der mindestens einen Sensoreinrichtung **30** kann mittels MEMS-Technologie erfolgen. Auf diese Weise in die mindestens eine Sensoreinrichtung **30** kostengünstig, mittels eines vergleichsweise geringen Arbeitsaufwands und unter guter Einhaltung einer ge-

wünschten Position der mindestens einen Sensoreinrichtung **30** an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ausbildbar. Beispielsweise können mindestens ein Hall-Sensor **30** und/oder mindestens ein kapazitiver Sensor als die mindestens eine Sensoreinrichtung **30** an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ausgebildet werden. Es ist oben schon erwähnt, dass mindestens ein lithographischer Prozess zum genauen Positionieren eines derartigen Sensortyps gut geeignet ist.

[0032] Das fertige mikromechanische Bauteil **12** ist in **Fig. 2** schematisch dargestellt.

[0033] **Fig. 3a** und **Fig. 3b** zeigen schematische Querschnitte durch Halbleitersubstrate zum Erläutern einer ersten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens für einen lagerlosen Elektromotor.

[0034] Bei einem Ausführen des mittels der **Fig. 3a** und **Fig. 3b** schematisch wiedergegebenen Herstellungsverfahrens wird zuerst das (später als „Schablone“ verwendete) mikromechanische Bauteil **12** gemäß dem anhand der **Fig. 2** erläuterten Verfahren hergestellt. Anschließend werden der den Permanentmagneten **18** umfassende und um die Rotationsachse **20** rotierbar angeordnete Rotor **18** und die Flussleiterstücke **22** radial um eine Anbringposition des Rotors **18** herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** der Halbleiter-Trägerstruktur **14** des mikromechanischen Bauteils **12** eingesetzt oder gebildet.

[0035] Bei der hier beschriebenen Ausführungsform des Verfahrens werden (vor einem Einsetzen oder Bilden des Rotors **18** in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16**) die Flussleiterstücke **22** mittels eines Lithographie-Galvanik-Abformung-Verfahrens radial um die spätere Anbringposition des Rotors **18** herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** gebildet. Das dazu ausgeführte Lithographie-Galvanik-Abformung-Verfahren kann auch als ein LIGA-Verfahren oder LiGA-Verfahren bezeichnet werden.

[0036] Anschließend wird der Rotor **18** an seiner Anbringposition in die mindestens eine Aufnahmeöffnung **16** eingesetzt. Für eine Montage des Rotors **18** kann ein an der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ausgebildeter Zentrierstift **28** genutzt werden. Außerdem kann an dem Rotor **18** ein Sackloch **42** ausgebildet sein, in welches der Zentrierstift **28** bei der Montage des Rotors **18** zumindest teilweise eingefügt wird. Auf diese Weise ist eine gute Zentrierung des Rotors **18** zwischen den Flussleiterstücken **22** erreichbar. Auch eine Optimierung einer Höhe des Rotors **18** auf der Rotationsachse **20** ist auf diese Weise bewirkbar. Eine Magnetisierung des Permanentmagneten **18** des Rotors **18** (entsprechend einer gewünschten Magnetisierungsrichtung **24**) erfolgt vorzugsweise erst am Ende des Herstellungsprozesses.

[0037] **Fig. 3a** zeigt die als „Schablone“ verwendete Halbleiter-Trägerstruktur **14** mit den darin eingesetzten Flussleiterstücken **22** und dem zwischen den Flussleiterstücken **22** zentrierten Rotor **18**. Während eines späteren Betriebs des lagerlosen Elektromotors **10** wird der Rotor **18** lagerlos betrieben. Vorteilhaft ist deshalb, dass nur jeweils ein vergleichsweise kleiner Spalt zwischen jedem Flussleiterstücken **22** und dem Rotor **18** vorliegt, ohne dass die Flussleiterstücke **22** den Rotor **18** berühren. Diese vorteilhafte Positionierung der Flussleiterstücke **22** zu dem Rotor **18** ist mittels der Verwendung der Halbleiter-Trägerstruktur **14** als „Schablone“ leicht und verlässlich realisierbar.

[0038] Wie in **Fig. 3b** erkennbar ist, wird anschließend auf einer zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14**, welche von einer ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14**, von welcher aus die mindestens eine Aufnahmeöffnung **16** in die Halbleiter-Trägerstruktur **14** hinein strukturiert ist, weg gerichtet ist, für jedes der in der Halbleiter-Trägerstruktur **14** angeordneten Flussleiterstücke **22** je ein Flussleiterpfosten **32** benachbart zu dem zugeordneten Flussleiterstück **22** angeordnet. Anschließend werden die Flussleiterpfosten **32** mit Spulen **34** umwickelt. Ebenfalls auf der zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14** wird eine Rückführscheibe **36** angeordnet.

[0039] Vorteilhaft ist die Verwendung von Spulen **34** mit Kern, die als SMD-Bauteil (Surface-Mount-Device) erhältlich sind. Diese weisen eine gute Genauigkeit auf und sind relativ kostengünstig. Da sich extrem dünne Halbleiterschichten für die Halbleiter-Trägerstruktur **14** herstellen lassen, kann das Magnetfeld „überspringen“. Die vorteilhafte Verwendung des Halbleitersubstrats erlaubt damit gleichzeitig die Verwendung von vorteilhaften SMD-Bauteilen. Dünne Halbleiterschichten, bzw. in der Halbleiter-Trägerstruktur **14** verwendete Isolationsschichten mit einer Dicke im μm -Bereich ermöglichen trotzdem eine im Weiteren erläuterte hermetische Verkappung.

[0040] Optionalerweise kann die Halbleiter-Trägerstruktur **14** auf der ersten Seite hermetisch verkappert werden. Beispielsweise wird dazu eine lichtdurchlässige Scheibe **44** auf der ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur **14** befestigt. Eine derartige hermetische Verkappung ist besonders für eine optische Verwendung des lagerlosen Elektromotors **10** häufig vorteilhaft.

[0041] **Fig. 4a** bis **Fig. 4e** zeigen schematische Darstellungen zum Erläutern einer zweiten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens für einen lagerlosen Elektromotor.

[0042] In einem mittels der **Fig. 4a** schematisch wiedergegebenen Verfahrensschritt wird ein länglicher Block/Strang **46** aus mindestens einem magne-

tischen Flussleitermaterial/ mindestens einem weichmagnetischen Material, wie beispielsweise Eisen, gewalzt/kaltgewalzt. In einem mittels der **Fig. 4b** schematisch dargestellten Verfahrensschritt wird der Block **46** so geschliffen und/oder poliert, dass seine (senkrecht zu einer Längsrichtung des Blocks **46** ausgerichtete) erste Stirnfläche **48a** und seine von der ersten Stirnfläche **48a** weg gerichtete (und senkrecht zu der Längsrichtung des Blocks **46** ausgerichtete) zweite Stirnfläche **48b** jeweils in Form eines gleichschenkeligen Trapez vorliegen. Vorzugsweise haben die je zwei gleichschenkeligen Kanten **50a** und **50b** der ersten Stirnfläche **48a** und der zweiten Stirnfläche **48b** eine gleiche Länge. Auch für eine senkrecht zu einer Symmetrieachse der ersten Stirnfläche **48a** ausgerichtete Grundkante **50c** der ersten Stirnfläche **48a** und eine ebenfalls senkrecht zu der Symmetrieachse der ersten Stirnfläche **48a** ausgerichtete weitere Kante **50d** der ersten Stirnfläche **48a** wird bevorzugt, wenn die Grundkante **50c** der ersten Stirnfläche **48a** gleich lang wie eine senkrecht zu einer Symmetrieachse der zweiten Stirnfläche **48b** ausgerichtete Grundkante der zweiten Stirnfläche **48b** und die weitere Kante **50d** der ersten Stirnfläche **48a** gleich lang wie eine ebenfalls senkrecht zu der Symmetrieachse der zweiten Stirnfläche **48b** ausgerichtete weitere Kante der zweiten Stirnfläche **48b** geschliffen und/oder poliert werden. Die entlang der Längsrichtung des Blocks **46** ausgerichteten Seitenflächen **52a** bis **52d** des Blocks **46** werden vorzugsweise jeweils in eine Rechteckform geschliffen und/oder poliert.

[0043] Die Stirnflächen **48a** und **48b** und Seitenflächen **52a** bis **52d** des Blocks **46** können leicht und verlässlich glatt geschliffen und/oder poliert werden. Auch die gewünschten Maße für die Kanten **50a** bis **50d** der Stirnflächen **48a** und **48b**, selbst ein gewünschtes Maß x für die kürzesten Kante **50d** der Stirnflächen **48a** und **48b**, können beim Schleifen und Polieren des Blocks **46** mittels eines vergleichsweise geringen Arbeitsaufwands exakt eingehalten werden.

[0044] **Fig. 4c** zeigt den Block **46** nach dem Schleifen/Polieren. In einem mittels der **Fig. 4d** wiedergegebenen Verfahrensschritt wird der Block **46** in Scheiben **22** unterteilt, wobei die Scheiben **22** jeweils in Form eines geraden Prismas mit einem gleichschenkeligen Trapez als Grundfläche (entsprechend den Stirnflächen **48a** und **48b** des Blocks **46**) vorliegen. Bei dem Unterteilen des Blocks **46** in die Scheiben **22** liegen die Trennflächen/Schnittflächen **54** vorzugsweise immer senkrecht zur Längsrichtung des Blocks **46**.

[0045] **Fig. 4e** zeigt, wie zumindest einige der Scheiben **22** als Flussleiterstücke **22** radial um die Anbringposition des Rotors **18** herum in die mindestens eine Aufnahmeöffnung **16** der (als „Schablone“ verwendeten) Halbleiter-Trägerstruktur **14** eingesetzt werden.

(Die Halbleiter-Trägerstruktur **14** ist in **Fig. 4e** nur teilweise dargestellt.)

[0046] Das Einsetzen der Flussleiterstücke **22** radial um die Anbringposition des Rotors **18** herum in die mindestens eine Aufnahmeöffnung **16** kann beispielsweise mittels eines „Pick and Place-Verfahrens“ ausgeführt werden, was in **Fig. 4e** mittels der Pfeile **56** schematisch dargestellt ist. Dabei können die Flussleiterstücke **22** zwischen den an der Halbleiter-Trägerstruktur **14** ausgebildeten Halbleiterstegen **26** auf Anschlag geschoben werden. Auf diese Weise ist eine exakte radial-symmetrische Positionierung der Flussleiterstücke **22** erzielbar. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass auch die hier beschriebene Weise des Bestückens des lagerlosen Elektromotors **10** mit den Flussleiterstücken **22** jeweils einen relativ kleinen Spalt zwischen dem Rotor **18** und den um den Rotor **18** herum angeordneten Flussleiterstücken **22** ermöglicht. Die Verwendung der Halbleiter-Trägerstruktur **14** (als „Schablone“) erleichtert somit eine Positionierung der Komponenten **18** und **22**.

[0047] In einer Weiterbildung der hier beschriebenen Herstellungsverfahren kann auch ein Pumpenrotor, ein Propellerrotor oder ein mit mindestens einer lichtreflektierenden Oberfläche ausgebildeter Rotor **18** (als der Rotor **18**) in der mindestens einen Aufnahmeöffnung **16** eingesetzt oder gebildet werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 0860046 B1 [0002]

Patentansprüche

1. Mikromechanisches Bauteil (12) für einen lagerlosen Elektromotor (10) mit:

einer Halbleiter-Trägerstruktur (14) aus zumindest einem Halbleitermaterial, in welche mindestens eine Aufnahmeöffnung (16) derart hinein strukturiert ist, dass ein einen Permanentmagneten (18) umfassender Rotor (18) zentriert und um eine Rotationsachse (20) rotierbar in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) anordbar ist und Flussleiterstücke (22) radial um den Rotor (18) herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) anordbar sind; und mindestens einer Sensoreinrichtung (30), welche an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur (14) ausgebildet ist.

2. Mikromechanisches Bauteil (12) nach Anspruch 1, wobei mindestens ein Hall-Sensor (30) und/oder mindestens ein kapazitiver Sensor als die mindestens eine Sensoreinrichtung (30) an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur (14) ausgebildet sind.

3. Lagerloser Elektromotor (10) mit: einem mikromechanischen Bauteil (12) nach Anspruch 1 oder 2;

dem Rotor (18), welcher den Permanentmagneten (18) umfasst und um die Rotationsachse (20) rotierbar in der mindestens einen in die Halbleiter-Trägerstruktur (14) hinein strukturierten Aufnahmeöffnung (16) angeordnet ist; und den Flussleiterstücken (22), welche radial um den Rotor (18) herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) angeordnet sind.

4. Lagerloser Elektromotor (10) nach Anspruch 3, wobei die mindestens eine Aufnahmeöffnung (16) von einer ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur (14) aus in die Halbleiter-Trägerstruktur (14) hinein strukturiert ist, wobei auf einer von der ersten Seite weg gerichteten zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur (14) für jedes der in der Halbleiter-Trägerstruktur (14) angeordneten Flussleiterstücke (22) je ein Flussleiterpfosten (32) benachbart zu dem zugeordneten Flussleiterstück (22) angeordnet ist, und wobei die Flussleiterpfosten (32) von Spulen (34) umwickelt sind.

5. Lagerloser Elektromotor (10) nach Anspruch 3 oder 4, wobei die mindestens eine Aufnahmeöffnung (16) von der ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur (14) aus in die Halbleiter-Trägerstruktur (14) hinein strukturiert ist, wobei auf der von der ersten Seite weg gerichteten zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur (14) eine Rückführscheibe (36) angeordnet ist.

6. Lagerloser Elektromotor (10) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, wobei der Rotor (18) als Pum-

penrotor, als Propellerrotor oder mit mindestens einer lichtreflektierenden Oberfläche ausgebildet ist.

7. Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils (12) für einen lagerlosen Elektromotor (10) mit den Schritten:

Bilden einer Halbleiter-Trägerstruktur (14) aus zumindest einem Halbleitermaterial, in welche mindestens eine Aufnahmeöffnung (16) derart hinein strukturiert wird, dass ein einen Permanentmagneten (18) umfassender Rotor (18) des späteren Elektromotors (10) zentriert und um eine Rotationsachse (20) rotierbar in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) anordbar ist und Flussleiterstücke (22) des späteren Elektromotors (10) radial um den Rotor (18) herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) anordbar sind; und

Ausbilden mindestens einer Sensoreinrichtung (30) an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur (14).

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei mindestens ein Hall-Sensor (30) und/oder mindestens ein kapazitiver Sensor als die mindestens eine Sensoreinrichtung (30) an und/oder in der Halbleiter-Trägerstruktur (14) ausgebildet werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Halbleiter-Trägerstruktur (14) mit der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) aus einem Siliziumsubstrat oder einem Siliziumwafer als dem zumindest einen Halbleitermaterial heraus strukturiert wird.

10. Herstellungsverfahren für einen lagerlosen Elektromotor (10) mit den Schritten:

Herstellen eines mikromechanischen Bauteils (12) gemäß dem Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9;

Einsetzen oder Bilden des den Permanentmagneten (18) umfassenden und um die Rotationsachse (20) rotierbar angeordneten Rotors (18) in der mindestens einen in die Halbleiter-Trägerstruktur (14) hinein strukturierten Aufnahmeöffnung (16); und

Einsetzen oder Bilden der Flussleiterstücke (22) radial um eine Anbringposition des Rotors (18) herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16).

11. Herstellungsverfahren nach Anspruch 10, wobei die Flussleiterstücke (22) mittels eines Lithographie-Galvanik-Abformung-Verfahrens radial um die spätere Anbringposition des Rotors (18) herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) gebildet werden.

12. Herstellungsverfahren nach Anspruch 10, wobei mindestens ein Block (46) aus mindestens einem magnetischen Flussleitermaterial gebildet wird, dessen erste Stirnfläche (48a) und von der ersten Stirnfläche (48a) weg gerichtete zweite Stirnfläche (48b) jeweils in Form eines gleichschenkligen Trapez geschliffen und/oder poliert werden, wobei der mindes-

tens eine Block (46) in Scheiben (22) jeweils in Form eines geraden Prismas mit einem gleichschenkligen Trapez als Grundfläche unterteilt wird, und wobei zumindest einige der Scheiben (22) als Flussleiterstücke (22) radial um die Anbringposition des Rotors (18) herum in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) eingesetzt werden.

13. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei auf einer zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur (14), welche von einer ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur (14), von welcher aus die mindestens eine Aufnahmeöffnung (16) in die Halbleiter-Trägerstruktur (14) hinein strukturiert ist, weg gerichtet ist, für jedes der in der Halbleiter-Trägerstruktur (14) angeordneten Flussleiterstücke (22) je ein Flussleiterpfosten (32) benachbart zu dem zugeordneten Flussleiterstück (22) angeordnet wird, und wobei die Flussleiterpfosten (32) mit Spulen (34) umwickelt werden.

14. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei auf der zweiten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur (14), welche von der ersten Seite der Halbleiter-Trägerstruktur (14), von welcher aus die mindestens eine Aufnahmeöffnung (16) in die Halbleiter-Trägerstruktur (14) hinein strukturiert ist, weg gerichtet ist, eine Rückführscheibe (36) angeordnet wird.

15. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, wobei ein Pumpenrotor, ein Propellerrotor oder ein mit mindestens einer lichtreflektierenden Oberfläche ausgebildeter Rotor als der Rotor (18) in der mindestens einen Aufnahmeöffnung (16) eingesetzt oder gebildet wird.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

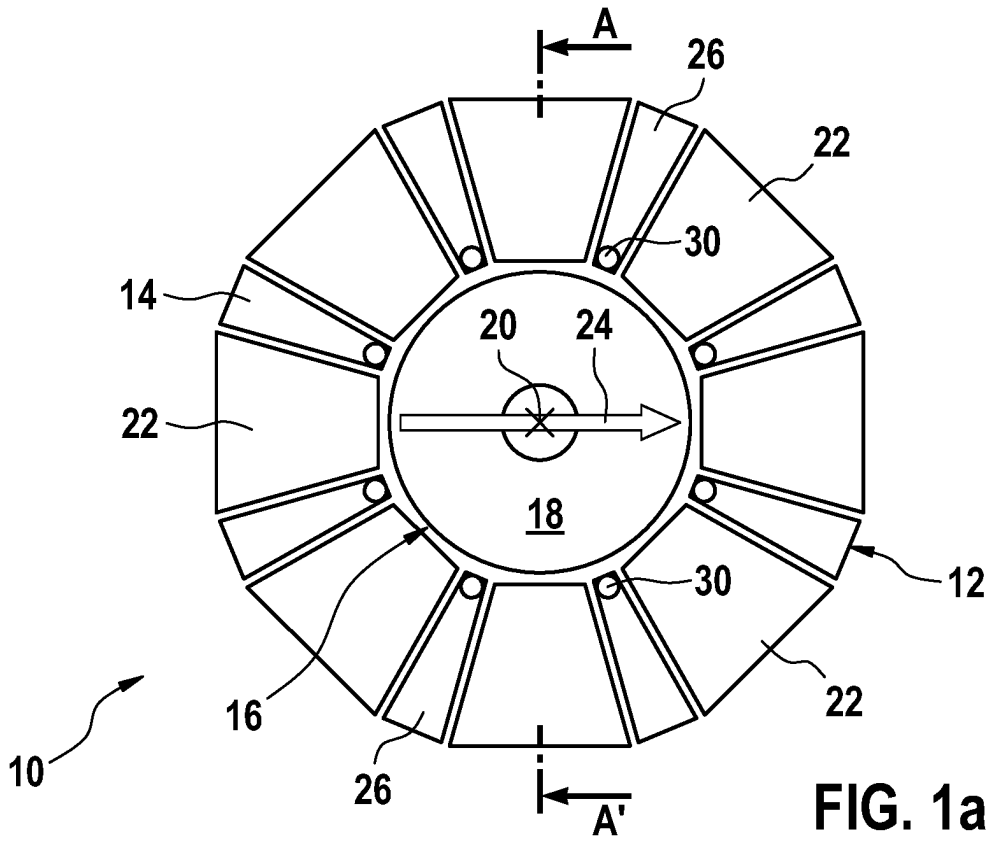


FIG. 1a

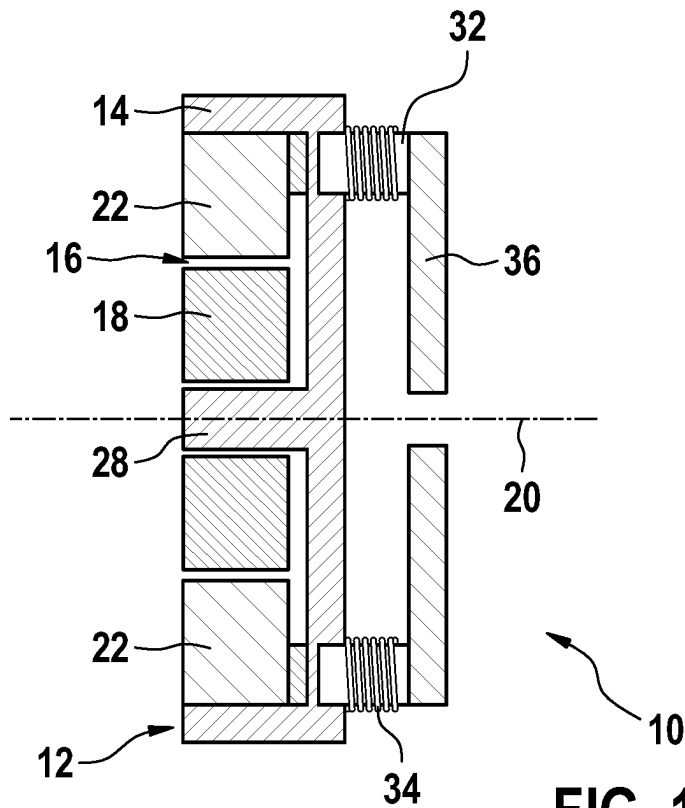


FIG. 1b

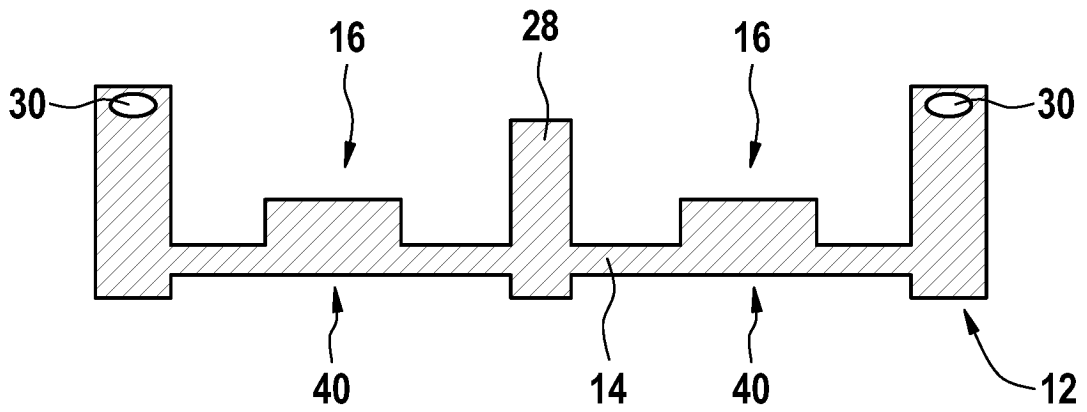


FIG. 2

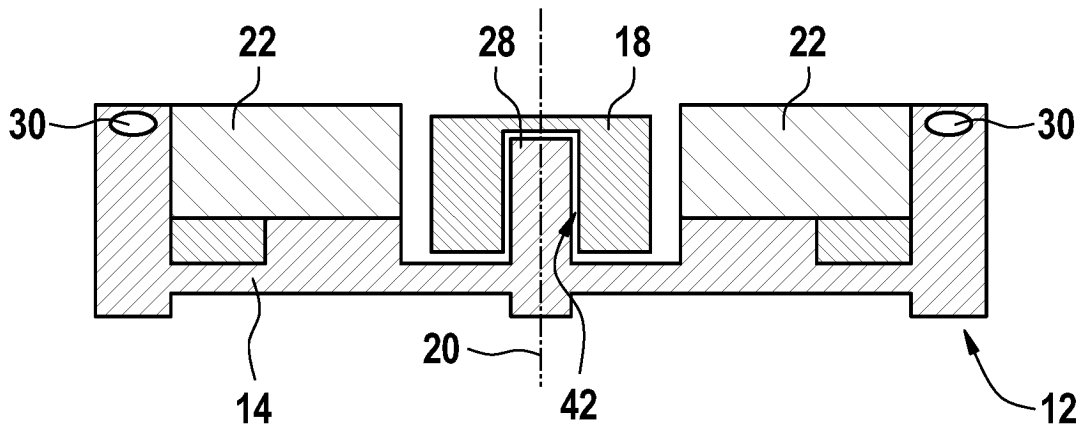


FIG. 3a

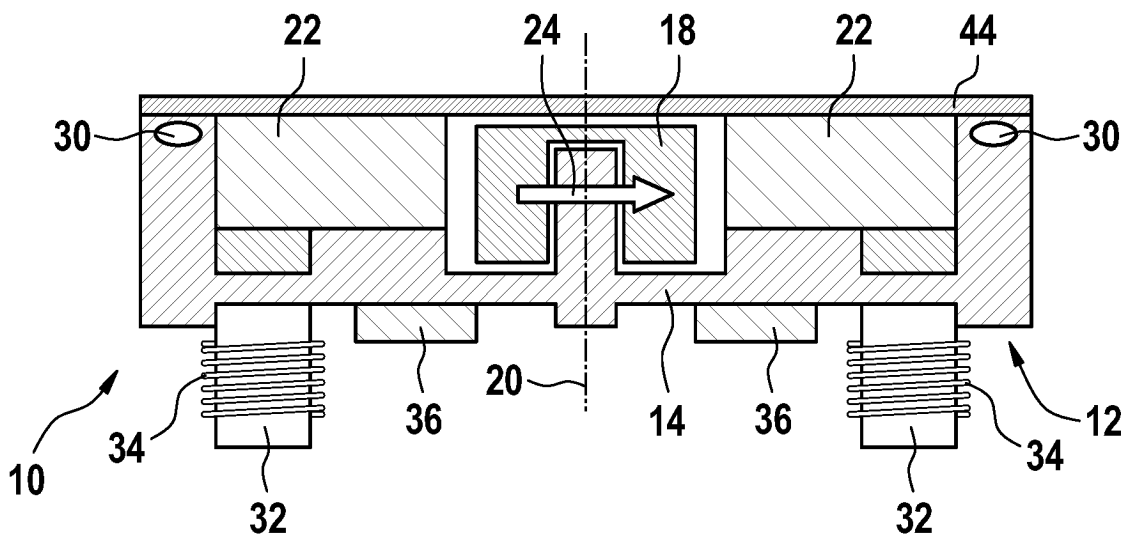


FIG. 3b

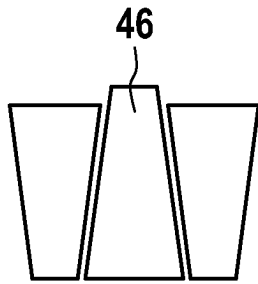


FIG. 4a

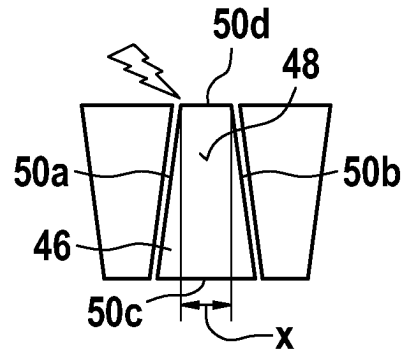


FIG. 4b

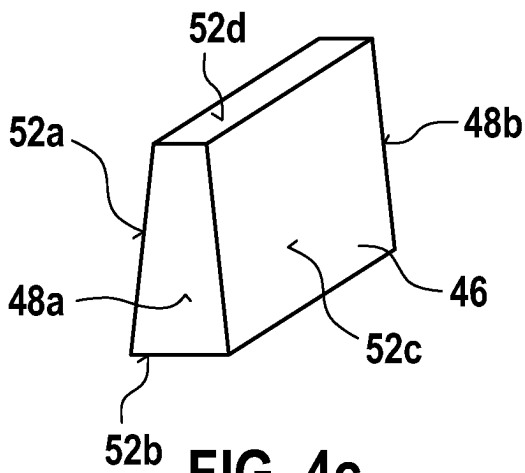


FIG. 4c

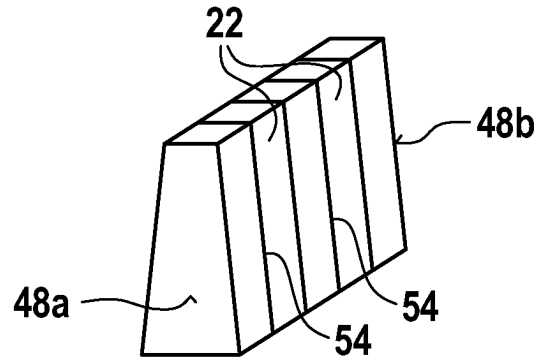


FIG. 4d

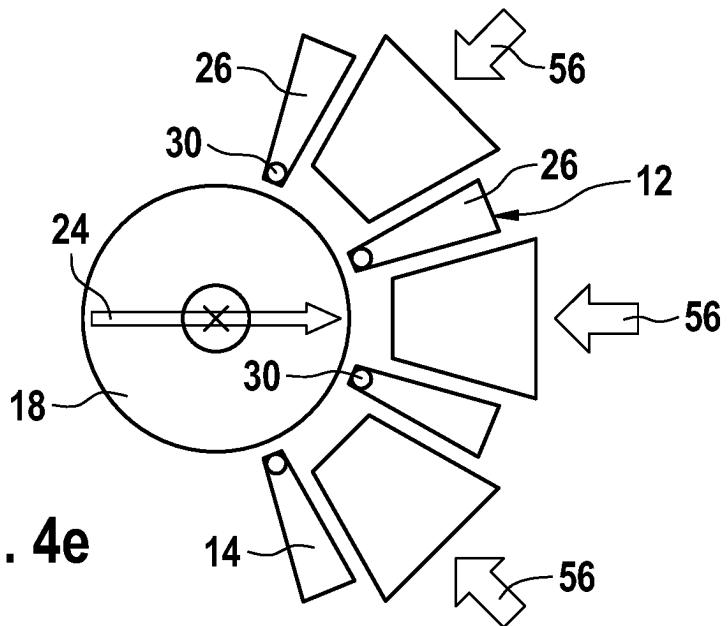


FIG. 4e