(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
02. April 2020 (02.04.2020)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/064060 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 3/26 (2006.01) *F04B 43/04* (2006.01)
H02K 33/16 (2006.01) *H01F 27/28* (2006.01)
H05K 1/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2019/100854

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. September 2019 (26.09.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2018 123 801.0
26. September 2018 (26.09.2018) DE

(71) Anmelder: **TRAFAG AG** [DE/CH]; Industriestrasse 11, 8608 Bubikon (CH).

(72) Erfinder: **SCHWERSENZ, Anatol**; Wilhelmstrasse 30, 74172 Neckarsulm (DE).

(74) Anwalt: **KASTEL PATENTANWÄLTE PARTG MBB**; St.-Cajetan-Str. 41, 81669 München (DE).

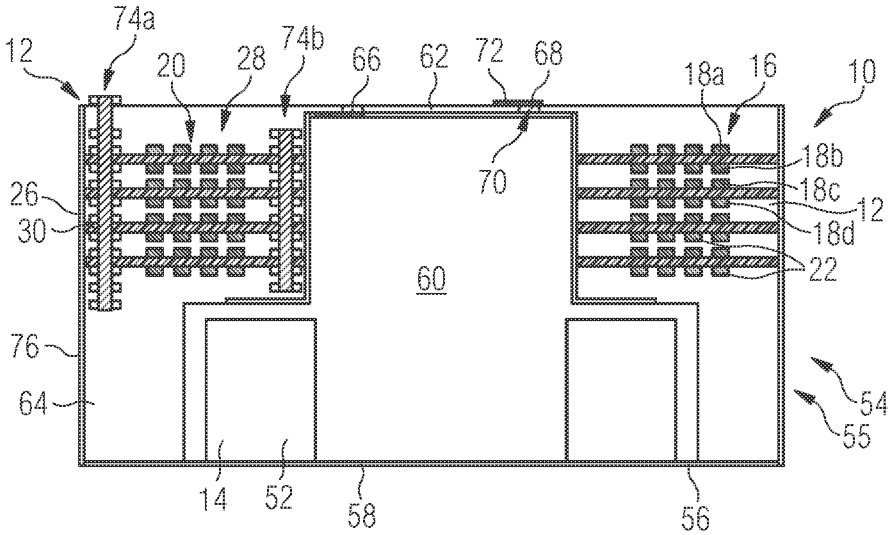
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

WO 2020/064060 A1

(54) Title: MICROACTUATOR AND PRODUCTION METHOD AND USES

(54) Bezeichnung: MIKROAKTUATOR SOWIE HERSTELLVERFAHREN UND VERWENDUNGEN

FIG 10



(57) Abstract: To provide a robust microactuator that can be mass produced economically, the invention creates a microactuator (10), comprising a first actuator element (12) having a magnetic field generating unit (16) and a second actuator element (14) which can be moved relative to the magnetic field generating unit (16) due to the action of a magnetic field generated by the magnetic field generating unit (16), wherein the magnetic field generating unit (16) has at least one planar coil (20) formed on a conductor layer (32) of a circuit board element (26, 28).

(57) Zusammenfassung: Um einen starken in Großserie wirtschaftlich herstellbaren Mikroaktuator vorzusehen, schafft die Erfindung einen Mikroaktuator (10), umfassend ein erstes Aktuatorelement (12) mit einer Magnetfelderzeugungseinheit (16) und ein relativ zu der Magnetfelderzeugungseinheit (16) durch Einwirkung eines durch die Magnetfelderzeugungseinheit (16) erzeugten Magnetfeldes bewegbares zweites Aktuatorelement (14), wobei die Magnetfelderzeugungseinheit (16) wenigstens eine an einer Leiterschicht (32)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

MIKROAKTUATOR SOWIE HERSTELLVERFAHREN UND VERWENDUNGEN

Die Erfindung betrifft einen Mikroaktuator. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Mikroaktuators. Weiter betrifft die Erfindung unterschiedliche Verwendungen eines solchen Mikroaktuators sowie Vorrichtungen, die einen solchen Mikroaktuator aufweisen.

Mikroaktuatoren werden zum Betätigen von kleinen oder kleinsten Schalt- und Bewegungsvorgängen benutzt. Zum Beispiel gibt es Mikropumpen und Mikroventile, die jeweils einen Mikroaktuator aufweisen. Auch in der Optik werden Mikroaktuatoren verwendet, zum Beispiel zum Ansteuern von Scannerspiegeln in Laserscannern. Hierzu sind mikromechanische Scannerspiegel vorgesehen.

Unter einem Mikroaktuator versteht man einen mikromechanischen Aktor, dessen kleinste Strukturen im Mikrometerbereich liegen und nicht mehr durch feinmechanische Fertigungsverfahren hergestellt werden können. Die Abmessungen mikromechanischer Bauteile, wie auch die Gesamtabmessung des Mikroaktuators selbst liegen jedoch häufig im Bereich von Millimetern. Statt feinmechanischer Verfahren werden Mikrostrukturierungsverfahren verwendet, die vorzugsweise aus der Mikroelektronik stammen oder von solchen abgeleitet sind.

Derzeit auf dem Markt erhältliche Mikroaktuatoren arbeiten mit dem Piezoeffekt oder als elektrostatische Aktoren. Eine Mikropumpe mit einem elektrostatischen Mikroaktuator ist zum Beispiel aus der

[1] EP 0 703 364 A1

bekannt.

Die Erfindung hat sich zur Aufgabe gestellt, einen kraftvollen, zuverlässigen Mikroaktuator zu schaffen, der wirtschaftlich in industrieller Großserie herstellbar ist.

Zum Lösen dieser Aufgabe schafft die Erfindung einen Mikroaktuator nach Anspruch 1. Ein Herstellverfahren für einen solchen Mikroaktuator sowie vorteilhafte Verwendungen desselben sind Gegenstand der Nebenansprüche.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Erfindung schafft gemäß einem ersten Aspekt davon einen Mikroaktuator, umfassend ein erstes Aktuatorelement mit einer Magnetfelderzeugungseinheit und ein relativ zu der Magnetfelderzeugungseinheit durch Einwirkung eines durch die Magnetfelderzeugungseinheit erzeugten Magnetfeldes bewegbares zweites Aktuatorelement, wobei die Magnetfelderzeugungseinheit wenigstens eine an einer Leiterschicht eines Leiterplattenelements ausgebildete Planarspule aufweist.

Es ist bevorzugt, dass das Leiterplattenelement ein Multilayer-Leiterplattenelement ist und dass die Planarspule eine an dem Multilayer-Leiterplattenelement ausgebildete mehrlagige Planarspule aufweist.

Es ist bevorzugt, dass zwischen benachbarten Lagen der Planarspule eine Substratschicht oder eine Zwischenlage des Multilayer-Leiterplattenelements zur elektrischen Isolierung vorgesehen ist.

Es ist bevorzugt, dass das zweite Aktuatorelement einen Permanentmagneten aufweist.

Es ist bevorzugt, dass das erste und das zweite Aktuatorelement konzentrisch zu einer Mittelachse durch die Planarspule angeordnet sind und relativ zu dieser Mittelachse axial zueinander beweglich sind.

Es ist bevorzugt, dass das Leiterplattenelement als Außengehäuse des Mikroaktuators ausgebildet ist.

Es ist bevorzugt, dass Leiterspulen der Planarspule eine Breite von weniger als 900 µm, insbesondere weniger als 500µm, mehr insbesondere weniger als 100 µm aufweisen.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Mikroaktuators, umfassend lithografisches Ausbilden wenigstens einer Ebene einer Planarspule an einer Leiterplattenschicht zum Bilden einer Magnetfelderzeugungseinheit an einem ersten Aktuatorelement, Zusammenfügen des ersten Aktuatorelements mit einem aufgrund eines durch die Magnetfelderzeugungseinheit antreibbar bewegbaren zweiten Aktuatorelement derart, dass die Aktuatorelemente relativ zueinander bewegbar sind.

Vorzugsweise umfasst das Verfahren:
Ausbilden mehrere Ebenen von Planarspulen an mehreren Leiterplattenschichten,
Zusammenfügen der Leiterplattenschichten unter Zwischenlage von Isoliermaterial, um eine Multilayer-Leiterplattenelement mit einer mehrlagigen Planarspule auszubilden, und
elektrisches Verbinden mehrere Lagen der Planarspule über Vias.

Es ist bevorzugt, dass der Schritt elektrisches Verbinden den Schritt:
Erzeugen von Durchgangsöffnungen mittels Laserstrahlen oder Elektronenstrahlen umfasst.

Vorzugsweise umfasst das Verfahren:
Schneiden des Leiterplattenelements mittels Laserstrahlen oder Elektronenstrahlen.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung Verwenden eines Mikroaktuators nach einer der voranstehend erläuterten Ausgestaltungen oder eines durch ein Verfahren nach einer der voranstehend erläuterten Ausgestaltungen erhältlichen Mikroaktuators in einer Mikropumpe, in einem Mikroventil, als Mikrolinearmotor, in einer optischen Schalteinheit oder zum Bewegen eines optischen Elements, eines Spiegels und/oder einer Linse.

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung eine Mikropumpe umfassend einen Mikroaktuator nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen und/oder einen durch ein Verfahren nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen erhältlichen Mikroaktuator.

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein Mikroventil umfassend einen Mikroaktuator nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen und/oder einen durch ein Verfahren nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen erhältlichen Mikroaktuator.

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung einen Mikrolinearmotor umfassend einen Mikroaktuator nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen und/oder einen durch ein Verfahren nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen erhältlichen Mikroaktuator.

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein optisches Schaltelement umfassend einen Mikroaktuator nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen und/oder einen durch ein Verfahren nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen erhältlichen Mikroaktuator. Zum Beispiel ist ein Mikroobjektiv mit einer Linse vorgesehen, welche durch den Mikroaktuator einstellbar ist.

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein elektrisches Schaltelement umfassend einen Mikroaktuator nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen und/oder einen durch ein Verfahren nach einer der voranstehenden Ausgestaltungen erhältlichen Mikroaktuator.

Die Erfindung betrifft die Verwendung einer Planarspulentechnologie als Aktor.

Insbesondere schafft die Erfindung elektrodynamische Mikroaktuatoren.

Mikroaktuatoren, deren Definition und bevorzugte Einsatzgebiete sind insbesondere in den folgenden Literaturstellen näher beschrieben und erläutert:

[2] Thomas Frank, „Untersuchungen zum Einsatz elektromagnetischer Mikroaktoren“, Dissertation an der Fakultät für Maschinenbauder Technischen Universität Illmenau, 2003

[3] Harald Schenk, „Ein neuartiger Mikroaktor zur ein- und zweidimensionalen Ablenkung von Licht“, Dissertation an der Gerhard-Mercator-Universität-Gesamthochschule-Duisburg, 2000

Elektrodynamische Mikroaktuatoren basieren demnach nach dem heutigen Stand der Technik auf den Prozessen der halbleiterherstellenden Fertigungstechnologie. Die benötigte „Kleinheit“ der potenziellen Produkte hat bisher immer zu den strukturgebenden Prozessen aus der Halbleiterfertigung geführt. Damit ist aber auch immer das Kostenregime an diese Technologie geknüpft. Im Umkehrschluss kam es daher noch zu keinem bekannten elektrodynamischen Mikroaktuator als Serienbauteil.

Die Erfindung setzt dagegen nicht Halbleiterfertigungstechnologien, sondern die Leiterplattentechnologie, wie sie insbesondere zur Herstellung von Multilayer-Leiterplattenelementen eingesetzt wird, ein.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass es die heute in der Leiterplattenfertigung vorhandenen Fertigungsprozesse ermöglichen, elektrodynamische Mikroaktuatoren auf Leiterplattenbasis herzustellen.

Bisher sind diese Technologien nur auf Aufbau und die Verbindungstechnik fokussiert. Bisher gibt es für die Serie keine Prozessintegration, um solche Bauteile zum Aufbau von Mikroaktuatoren herzustellen.

Während sich aus der Halbleiterherstellung die MEMS abgespalten haben, ist das bei der Herstellung mit den Leiterplattenprozessen noch nicht passiert. Die Erfindung sieht dagegen die Herstellung von elektrodynamischen Mikroaktuatoren, bei denen durch elektrische Ströme erzeugte Magnetfelder zum Antrieb benutzt werden, unter Nutzen von Leiterplattenprozessen vor.

Ein elektrodynamischer Aktuator ist ein Energiewandler, der elektrische Energie mittels elektromagnetischer Felder in Bewegungsenergie wandelt. Für die beschriebenen Wandler bezieht er im linearen Fall die Energie aus der Änderung der Induktivität aufgrund des Weges.

$$F = \frac{I^2 * dL(x)}{2dx}$$

Hiermit wird bewusst, dass die Antriebskraft zum einen quadratisch mit dem Strom anwächst, zum anderen aber auch mit dem „Verkleineren“ des Magnetkreises anwächst. Hier unterstützen zudem magnetisch leitende Materialien in den Rückflusskanal der Feldlinien, sogenannte Rückschlüsse.

Die Änderung der Induktivität ist da etwas komplexer. Die Induktivität steigt zum einen mit der überspannten Fläche der Spule und in erster Näherung quadratisch zu den darin enthaltenen Windungen. Mit mehr Induktivität wird auch eine größere Änderung der Induktivität möglich.

Ziel wird es somit immer sein, die Induktivität in Bezug auf große Fläche bei maximaler Windungszahl zu optimieren und dabei den magnetischen Weg auf ein Minimum zu reduzieren. Solche Systeme sind als Produkte im Serienumfeld („noch“) nicht bekannt.

Um in Serie und damit in Stückzahl auf den Markt zu bestehen, muss ein wirtschaftlich günstiger, massentauglicher Fertigungsprozess installiert werden.

Hier wurde bisher vorrangig auf Halbleiter-Fertigungsprozesse gesetzt. Mit diesen sind Leiterschleifen in einer Ebene herzustellen, der sequentielle Sprung auf eine weitere Ebene fällt bei dabei schon bedeutend schwerer. Damit sind Spulen mit günstigen Geometrien nur schwer umzusetzen.

Um Spulen auszuführen gibt es bisher zwei Methoden:

- Die planare Spule wickelt sich von außen nach innen auf einer Ebene. Im Spulenzentrum wechselt die Spule die Ebene und wickelt sich dann von innen nach außen (Ausbreitung in r, φ; Sprung in z).

- Demgegenüber werden meist drahtbasierende Spulen entlang des Zentrums gewickelt und springen nach erreichter Gesamtlänge im Radius eine Drahtbreite nach außen (Ausbreitung in Z; Sprung in r).

Erfindungsgemäß ist wenigstens eine Planarspule, vorzugsweise eine lithografisch hergestellte Planarspule, vorgesehen.

Mit planaren Spulen werden mit technisch vorhandenen Mitteln, wie zum Beispiel durch lithografische Abbildungsmethoden, viele Windungen erreicht.

Bei den bisherigen drahtbasierten Spulen fällt, wenn die Spulen in ihrer flächigen Ausbreitung sehr klein werden, die geometrische Zuordnung und Positionierung der drahtbasierenden Spulen mit dem Magnetkreis immer schwerer.

Ein weiteres Handikap für die drahtbasierende Spule stellt dann auch die geeignete Kontaktierung dar. Manuelle Prozesse sind in Serie zunehmend schwerer skalierbar und weisen in Bezug auf die Prozesssicherheit Defizite auf.

Demgegenüber ist bei lithografisch hergestellten planaren Spulen auch gleich die Kontaktierung zur Ansteuerungselektronik per se mit dabei.

Bei der mit der Spule versehenen Magnetfelderzeugungseinrichtung wird das Magnetfeld wird durch den in Leiterschleifen eingeprägten Strom ausgebildet.

Bei bisher aus [1] bekannten Konzepten können diese Leiterschleifen zum Beispiel durch gewickelten Draht gebildet werden.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist dagegen vorgesehen, dass die Leiterschleifen planar in Leiterplatten auf mehreren Lagen ausgebildet werden, welche im Spulenbereich elektrisch zueinander mit PrePreg (Dielektrische Isolationsschicht, Preimpregneted Glas Fiber) isoliert angeordnet werden.

Ein Vorteil des Aufbaus in Leiterplattentechnik liegt in der lithografischen Definition der Spulen und die damit verbundene Wiederholbarkeit in der

Gesamtperformance. Elektrodynamische Aktuatoren bestehen im Wesentlichen aus einem ersten Aktuatorelement mit einem antreibenden Magnetfeld und zweiten Aktuatorelement mit einem angetriebenen Magnetfeld, auf welches eine Kraft ausgeübt wird. In Folge dieser Kraftausübung können sich die beiden Teile – Aktuatorelemente relativ zueinander bewegen.

Durch den technologischen Fortschritt haben sich auch die Leiterplattenfertigungsprozesse weiterentwickelt. Der technologische „Process Freeze“ für die Leiterplattenherstellung war im Zeitraum von 1995 bis zum Jahre 2000. In diesem Zeitpunkt wurde für fast alle Leiterplattenhersteller die „Spielregeln“ in Form von Designrules festgelegt.

Ab diesen Zeitraum wurden die Einzelprozesse weiterentwickelt, es hat aber seitdem keine Zusammenführung der Einzelprozesse gegeben. Somit ist es auch nicht zu einer fortgeschrittenen Form von Leiterplattenherstellung gekommen. So werden die Fertigungstechnologien punktuell für Leiterplatten eingesetzt, eine wirkliche Umsetzung der zusammengeführten neuen Technologien findet derzeit nur der Anwendung in der Umverdrahtung von Chips als sog. Substraten oder Imposer statt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung schlagen nun eine Herstellung elektrodynamischer Aktuatoren mithilfe der zusammengeführten Technologien vor.

Damit sind jetzt Strukturgrößen und Auflösungen erreichbar, die mit frühen mikrolithografischen Verfahren für die Halbleiterherstellung vergleichbar sind.

Für elektrische Verbindungen liegt die serienfähige Auflösungsgrenze momentan technologisch begrenzt bei 10µm Line/Space für die Strukturierung und Gestaltung von Leiterzügen. Solche „Leiterplatten“ finden zum Beispiel derzeit als elektrische Anbindung von Displays in Serie ihre Anwendung. Diese Technologien werden nun bevorzugt zur Herstellung von Mikroaktuatoren genutzt.

Im Gegensatz zur Halbleiterherstellung sind in der Leiterplattentechnologie Standardmethoden bekannt, welche gestapelte Lagen miteinander elektrisch

verbinden: sogenannte Durchkontaktierungen und Durchkontaktierungsverfahren ermöglichen den sequentiellen Aufbau von planaren Induktivitäten. Hier haben sich die Stapelverfahren technologisch so weiterentwickelt, dass sie auf einer optischen Registrierung und Alignement basieren und somit Versatzgenauigkeiten unter 10µm erreicht werden.

Im Verlauf der letzten Jahre sind neue Laserbohr- und Laserschneidmethoden mit Kurzpulslasern und mit Ultrakurzpulslasern entwickelt worden, welche die Grenze der mechanischen Bearbeitung sehr weit zu sehr kleinen Strukturen verschiebt.

War eine Durchkontaktierung bisher meist auf einem mechanisch gebohrten Loch basierend, können lasergebohrte Löcher im Durchmesser deutlich reduziert werden und damit Nutzfläche für die Ausbreitung der Induktivität gewonnen werden.

Heutiger Stand der Technik für das Herstellen der Leiterplattenkontur ist Zerspanung, sprich Fräsen. Durch die gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vorgeschlagene Verwendung von Laserverfahren ist es jetzt jedoch möglich, Leiterplattenkonturen auch für Leiterplattendicken bis über 0,6 mm subtraktiv über Laser zu schneiden.

In Summe sind damit auch heute noch Toleranzen/Auflösungsgrenzen von 0,2 mm respektive 0,1 mm die Regel. Jedoch lassen die vorerwähnten Fertigungsprozesse mit Strahlschneid- und Bohrverfahren wie Laserschneiden und Laserbohren 1/10 davon zu. Die Erfindung nutzt nun diese Fertigungsprozesse, um auch in Leiterplattentechnik sehr kleine Dimensionen zu erreichen und damit einen auf Planarspulen basierenden Mikroaktuator zu schaffen, der mit hoher Kraft arbeitet und dennoch wirtschaftlich in Großserie herstellbar ist.

Die Verwendung von Leiterplattentechnik ist mit bedeutend geringerem Aufwand und somit bedeutend geringeren Kosten als auf Fertigungstechnologien der Halbleitertechnik beruhende Fertigungsverfahren zu

Durch die Verwendung der Leiterplattentechnik werden Produkte dann auch im hohen Stückzahlvolumen herzustellen sein, was den Zugang bis hin zum Consumermarkt offenhält. Auch sind in diesem Herstellungsumfeld bekannte Materialien sehr gut in ihren Eigenschaften bekannt und beherrschbar. Es sind auch Materialien möglich, die z.B. eine genügende Biokompatibilität für medizinische Einsätze aufweisen.

Durch die Herstellung der Spule in der Leiterplatte sind die Anordnungsgeometrien der Magnetfelder mit sehr geringen Toleranzen in Serie fertigbar. Dies ist sehr vorteilhaft, da in vielen Anwendungen als Antriebskraft nur auf die Lorentzkraft zurückgegriffen werden kann, die in Bezug auf das statische Magnetfeld sehr lageempfindlich ist.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Darin zeigt:

Fig. 1 eine schematische perspektivische Darstellung einer mehrlagigen Planarspule für ein erstes Aktuatorelement eines Mikroaktuators;

Fig. 2-7 Schnittdarstellungen durch ein Leiterplattenelement während unterschiedlicher Phasen zur Herstellung einer derartigen Planarspule bzw. eines derartigen Aktuatorelements;

Fig. 8 eine schematische perspektivische Darstellung einer Leiterplatte, auf der eine Vielzahl von Planarspulenlagen nebeneinander herstellbar sind;

Fig. 9 eine schematische Darstellung der Magnetfeldverteilung bei einem ersten Aktuatorelement und einem zweiten Aktuatorelement in einem Mikroaktuator;

Fig. 10 einen Schnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines Mikroaktuators in einer Mikropumpe;

Fig. 11 die Mikropumpe von Fig. 10 während eines Füllvorgangs;

Fig. 12 die Mikropumpe von Fig. 10 während eines Leervorgangs;

Fig. 13 eine teils fotografische Darstellung, die ein zum Aufbau der Mikropumpe der Figuren 11 bis 12 geeignetes erstes Aktuatorelement im Größenvergleich mit einem 1-Cent Stück zeigt;

Fig. 14a - 14c unterschiedliche vergrößerte Darstellungen einer Ausgestaltung des ersten Aktuatorelements von Fig. 10 bis 13;

Fig. 15 eine Fotografie mit einem Größenvergleich für eine Mikropumpe nach dem Stand der Technik;

Fig. 16 einen Schnitt durch eine weitere Ausführungsform eines Planarspulen in Leiterplattentechnik verwendenden Mikroaktuators zum Aufbau eines Mikrolinearmotors;

Fig. 17, 18 unterschiedliche Funktionsstellungen des im Mikrolinearmotors von Fig. 16;

Fig. 19-22 unterschiedliche Darstellungen eines Einzelbauteils zum Aufbau eines Mikroaktuators mit Planarspulentechnik, und

Fig. 23 eine Darstellung unterschiedlicher Ausgestaltungen des Einzelbauteils von Fig. 19 bis 22 im Größenvergleich.

Im Folgenden werden anhand der beigefügten Zeichnungen Ausführungsformen für einen Mikroaktuator 10 erläutert.

Ausführungsbeispiele für den Mikroaktuator 10 sind in den Figuren 9 bis 12 sowie 16 bis 18 dargestellt.

Der Mikroaktuator 10 weist ein erstes Aktuatorelement 12 und ein zweites Aktuatorelement 14 auf, welche relativ zueinander beweglich sind.

Das erste Aktuatorelement 12 weist eine erste Magnetfelderzeugungseinheit 16 auf, mittels der aus einem elektrischen Strom 53 ein Magnetfeld 50 erzeugbar ist. Ein Ausführungsbeispiel für die Magnetfelderzeugungseinheit 16 ist in Fig. 1 dargestellt. Die Figuren 2 bis 7 zeigen unterschiedliche Stadien im Verlauf der Herstellung einer solchen Magnetfelderzeugungseinheit 16 und auch im Verlauf der Herstellung des ersten Aktuatorelements 12.

Das zweite Aktuatorelement 14 ist dazu ausgebildet, durch Einwirkung des durch die Magnetfelderzeugungseinheit 16 erzeugten Magnetfelds bewegt zu werden.

Insgesamt wird hierdurch ein elektrodynamischer Mikroaktuator 10 geschaffen.

Wie in Fig. 1 dargestellt, weist ein Ausführungsbeispiel der Magnetfelderzeugungseinheit 16 eine aus mehreren Planarspulenlagen 18a-18d gebildete Planarspule 20 auf. Jede Planarspulenlage 18a-18d ist durch spiralförmig angeordnete Leiterschleifen 22 ausgebildet, wobei die Enden der Planarspulenlagen 18a-18d über Vias 24 miteinander zu der Planarspule 20 verbunden sind.

Die Herstellung der Planarspule 20 erfolgt in Leiterplattentechnik, wie dies im Folgenden anhand der Fig. 2 bis 7 näher erläutert wird.

Fig. 2 zeigt dabei eine Leiterplattenlage 26 zum Aufbau eines Multilayer-Leiterplattenelements 28.

Die Leiterplattenlage 26 weist ein Leiterplattensubstrat 30 aus einem elektrisch isolierenden Werkstoff, insbesondere Kunststoff und/oder faserverstärkten Kunststoff auf. Das Leiterplattensubstrat 30 kann starr oder flexibel ausgebildet sein. Das Leiterplattensubstrat 30 weist eine Dicke zwischen 0,2 mm und 1,5 mm auf. Auf wenigstens einer, vorzugsweise beiden Seiten der Leiterplattenlage 26 ist

eine Leiterschicht 32 aus einem elektrisch leitfähigen Material, insbesondere Metall, mehr insbesondere Kupfer ausgebildet.

An jeder Leiterschicht 32 wird jeweils eine der Planarspulenlagen 18a-18d ausgebildet.

Hierzu wird wie dies in Fig. 3 dargestellt ist, eine photoresistive Schicht 34 aufgetragen und weiter eine Belichtungsmaske 36 aufgelegt. Anstelle einer Belichtung über Belichtungsmasken 36, die die Struktur der Planarspulenlagen 18a-18d sowie eventuelle Anschlüsse vorgeben, können auch andere selektive Belichtungsverfahren, beispielsweise Laserbelichtungen oder Strahlbelichtungen mittels Strahlscannen verwendet werden.

Die jeweils belichteten Bereiche der photoresistiven Schicht 34 verändern ihre chemischen Eigenschaften, so dass die nicht belichteten Bereiche durch Ätzen oder dergleichen entfernt werden können, wie dies in Fig. 4 dargestellt ist.

Anschließend erfolgt, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist, ein Entfernen derjenigen Bereiche der Leiterschichten 32, die nicht mit dem belichteten photoresistiven Schichtbereichen 34 versehen sind. So bleiben die Leiterschleifen 22 der Planarspulenlagen 18a-18d auf dem Leiterplattensubstrat 30 stehen.

Allgemein werden die Planarspulenlagen 18a-18d durch lithografische Verfahren an einem Leiterplattenelement 26, 28 hergestellt. Das gemäß den Fig. 2 bis 5 erläuterte lithografische Verfahren ist hier nur als Beispiel zu sehen.

Anschließend werden mehrere der mit den Planarspulenlagen 18a, 18b auf beiden Seiten versehenen Leiterplattenlagen 26 unter Zwischenlage von elektrischen Isolationsschichten 38 aufeinandergelegt und unter Anwendung von Wärme und Druck miteinander verpresst, wie dies in Fig. 9 dargestellt ist.

Die elektrische Isolationsschicht 38 kann zum Beispiel aus noch nicht ausgehärtetem Kunststoff gebildet sein. Insbesondere ist ein Prepreg-Material vorgesehen. Der so entstehende Sandwich-Aufbau aus mehreren

Leiterplattenlagen 26 und dazwischen eingefügten Isolationsschichten 38 wird anschließend, wie dies in Fig. 6 dargestellt ist, unter Anwendung von Druck und Wärme oder dergleichen ausgehärtet.

Es entsteht so ein Multilayer-Leiterplattenelementrohling 40, der in Fig. 7 näher dargestellt ist.

Es ist möglich, dass der Multilayer-Leiterplattenelementrohling 40 wie dargestellt nur eine Planarspule 20 mit den unterschiedlichen Planarspulenlagen 18a-18d enthält. Besonders bevorzugt ist jedoch, dass nicht nur eine Planarspule 20 in einem Schritt hergestellt wird, sondern dass nebeneinander eine Vielzahl von Planarspulen 20 hergestellt werden.

Fig. 8 zeigt zum Beispiel eine Leiterplattenlage 26 bei der an jedem der dargestellten Felder 42 jeweils eine der Planarspulenlagen 18a, oder betrachtet man beide Seiten gegenüberliegende Planarspulenlagen 18a, 18b, hergestellt werden. Diese mit vielen Feldern 42 versehenen Leiterplattenlagen 26 können gemeinsam zu einem großen Multilayer-Leiterplattenelementrohling 40 verpresst werden, der nebeneinander viele der Planarspulen 20 enthält.

Unabhängig davon, ob nur eine der Planarspulen 20 oder mehrere der Planarspulen 20 nebeneinander in einem Multilayer-Leiterplattenelementrohling 40 hergestellt werden, erfolgt gemäß Fig. 7 anschließend an das Verpressen und das Aushärten das Herstellen der Vias 24 mittels Laserbohren, wobei ein erster Laserstrahl 44 zum Andeuten des Laserbohrens dargestellt ist. Nach dem Erzeugen einer entsprechenden Bohrung wird diese anschließend mit elektrisch leitendem Material, zum Beispiel Zinn oder dergleichen, zum Herstellen der Vias 24 verfüllt. Es können auch feste Metallstäbe zum Herstellen der Vias 24 durch die entsprechenden Bohrungen geführt werden.

Wie in Fig. 7 durch einen zweiten Laserstrahl 46 angedeutet, erfolgt dann ein Zuschneiden des Multilayer-Leiterplattenelementrohlings 40, um so ein mit der mit der Planarspule 20 versehenes Multilayer-Leiterplattenelement 28 herzustellen.

Durch entsprechende Formung des Multilayer-Leiterplattenelements 28 kann dieses ohne Weiteres unmittelbar als erstes Aktuatorelement 12 verwendet werden. Dabei dienen die Bereiche aus Kunststoff/Isolationsmaterial des Multilayer-Leiterplattenelements 28 als Gehäuse 64, in welches die Planarspule 20 mit ihren unterschiedlichen Planarspulenlagen 18a-18d eingebettet ist.

In Fig. 9 ist die Funktion des Mikroaktuators 10 mit dem ersten Aktuatorelement 12 und dem zweiten Aktuatorelement 14 dargestellt. Durch Leiten eines Stromes 53 über eine – hier nicht näher dargestellte – Steuerung durch die Planarspule 20 wird ein Magnetfeld erzeugt.

Fig. 9 stellt insbesondere die Lageempfindlichkeit zwischen dem Magnetfeld und der Spule dar. Fig. 9 zeigt eine radiale Spule, gebildet beispielsweise durch eine oder mehrere der Leiterschleifen 22, welche mit dem Strom 53 bestromt ist. Die Dreiecke in der Figur stellen die Ausbildung des Magnetfelds 50 unter Einfluss auch des Permanentmagnetrings des Magneten 52 dar.

Das zweite Aktuatorelement 14 ist dazu ausgebildet, unter Einfluss des Magnetfeldes 50 angetrieben zu werden. Beispielsweise weist das zweite Aktuatorelement 14 einen Magneten 52, insbesondere einen Permanentmagneten auf. So wird das zweite Aktuatorelement 14 je nach Polung und Stärke des Magnetfeldes relativ zu dem ersten Aktuatorelement 12 angezogen oder abgestoßen.

Durch die Ausbildung der Planarspulen 20 mittels lithografischer Techniken an einem Leiterplattenelement 28 lassen sich Leiterschleifen 22 mit hoher Packungsdichte und sehr geringer Breite herstellen. Hierdurch sind relativ hohe Magnetkräfte erzeugbar, insbesondere da die Abstände zwischen dem Magneten 52 des zweiten Aktuatorelements 14 und der Magnetfelderzeugungseinheit 16 des ersten Aktuatorelements 12 sehr gering sind.

Hierdurch lässt sich mittels des Mikroaktuators 10 beispielsweise eine Mikropumpe 54 herstellen, von der ein Ausführungsbeispiel in den Fig. 10 bis 12 dargestellt ist.

Allgemein sind bei dem Mikroaktuator 10 das erste Aktuatorelement 12 und das zweite Aktuatorelement 14 vorzugsweise elastisch miteinander verbunden. Beispielsweise kann ein elastisches Element 56, wie zum Beispiel eine Feder oder eine Membran 58 zur Verbindung zwischen den Aktuatorelementen 12, 14 vorgesehen sein. Das elastische Element 56 kann zum Beispiel auch durch einen elastischen Körper oder dergleichen gebildet sein.

Das elastische Element 56 kann insbesondere im entspannten Zustand eine Ruhelage definieren, wobei eine Auslenkung unter Betätigung des Magnetfeldes aus der Magnetfelderzeugungseinheit 16 erfolgen kann.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Mikropumpe 54 ist als elastisches Element 56 die Membran 58 vorgesehen, welche auch ein Pumpvolumen 60 in der Mikropumpe 54 abschließt.

Beispielhaft für den Einsatz der Mikroaktuatoren 10 auf elektromagnetischer Basis ist die in den Figs. 10 bis 12 gezeigte Mikromembranpumpe 55 dargestellt. Bei ihr ist das in Fig. 9 und Fig. 1 erläuterte Spulen/Magnetsystem – gebildet aus dem ersten Aktuatorelement 12 und dem zweiten Aktuatorelement 14 – als Antriebseinheit eingesetzt worden.

Die Mikropumpe 54 weist das durch die als elastisches Element 56 ausgebildete erste Membran 58 und das durch das erste Aktuatorelement 12 gebildete Gehäuse 64 begrenzte Pumpvolumen 60 auf.

Weiter weist die Mikropumpe 54 ein erstes Membranventil 66 und ein zweites Membranventil 68 auf, die in einem Deckel 62 des Gehäuses 64, vorgesehen sind. Zur Herstellung wurden in dem Deckel 62 selektiv mit Laserbohrungen 70 vorgesehen, welche mit Folienelementen 72 verschließbar sind. Die Folienelemente 72 können selektiv mit Laser freigeschnitten sein. Sie sind entsprechend so angebracht, dass das erste Membranventil 66 in eine unterschiedliche Richtung als das zweite Membranventil 68 wirkt.

Weiter weist die Mikropumpe 54 das mit dem Magnet 52 – beispielsweise ausgebildet als Magnetring – versehene zweite Aktuatorelement 14 auf, welches z. B. konzentrisch zu dem ersten Aktuatorelement 12 bewegbar ist. Insbesondere sind die Aktuatorelemente 12, 14 konzentrisch ineinander geschachtelt.

Das zweite Aktuatorelement 14 ist vorzugsweise mit einem statischen Magnetfeld ausgestattet.

Die Planarspule 20, die entsprechend zuvor anhand der Figs. 1 bis 8 erläuterten Verfahrensweise hergestellt worden ist, ist ebenfalls im Querschnitt in Fig. 10 zu sehen. Die Planarspule 20 ist radial ausgeformt und dient als Antriebsspule.

Weiter sind Durchkontaktierungen 74a, 74b dargestellt, um die einzelnen Planarspulenlagen 18a-18d der Windungsebenen der Planarspule 20 miteinander elektrisch zu verbinden.

Durch die elektrischen Planarspulenlagen 18a-18d und die Ausbildung des Gehäuses 74 und durch Isolationsschichtlagen 38 ergibt sich ein als Gehäuse 64 wirkender Gesamtkörper.

Das Gehäuse 64 ist – zum Beispiel außen – mit einer ferromagnetischen Schicht 76 versehen, welche als magnetischer Rückschluss wirkt und so die magnetische Weglänge reduziert.

Die Membran 58 bildet eine Suspensionsmembran, welche die Aufhängung des durch den Magneten 52 gebildeten zweiten Aktuatorelements 14 und den Abschluss des Pumpvolumens 60 nach unten bildet und auch einen Teil der Rückstellkräfte übernimmt.

Fig. 11 zeigt einen Vorgang des Füllens. Durch die Bestromung der als Antriebsspule wirkenden Planarspule 20 mit einem Strom 53 wird der Magnet 52 nach unten ausgelenkt. Diese Auslenkung führt zu einer Volumenvergrößerung, welche ein Füllen des Pumpvolumens über das erste Membranventil 66 nach sich zieht.

Fig. 12 zeigt einen Vorgang des Leerens der Mikropumpe 54. Durch die Umkehr der Stromrichtung wird der Magnet 52 wieder in Richtung als Antriebsspule wirkende Planarspule 20 gezogen und bewirkt damit einen Pumpenvolumenreduzierung. Diese zieht einen Ausstoß des Pumpmediums durch das zweite Membranventil 68 nach sich.

Fig. 13 zeigt einen Größenvergleich des als Antriebssystem wirkenden Aktuatorelements 12 mit einem 1-Cent-Stück. Das erste Aktuatorelement 12 weist einen Durchmesser von nur 5 mm auf.

Fig. 14a bis 14c zeigen unterschiedliche Darstellungen eines Ausführungsbeispiels des ersten Aktuatorelements 12, welches bei der Mikropumpe 54 eingesetzt wird. Wie ersichtlich, sind an der Außenseite des Multilayer-Leiterplattenelements 28 unterschiedliche Kontaktpads 78 für Anschlüsse an die Steuerung und/oder Elektronik zur Lieferung des Antriebsstromes vorgesehen. Wie aus dem Schnitt von Fig. 14c erkennbar, sind insgesamt vier Leiterplattenlagen 26 mit jeweils zwei Planarspulenlagen 18a, 18b bzw. 18c, 18d aufeinandergestapelt, so dass die Planarspule 20 insgesamt 8 Planarspulenlagen aufweist. Dies ist nur ein Beispiel allgemein können n Leiterplattenlagen 26 mit n größer oder gleich 1 oder 2 vorgesehen sein, insbesondere ist n gleich 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 oder 10.

Fig. 15 zeigt einen Größenvergleich mit einer piezobetriebenen Mikropumpe nach dem Stand der Technik. Die elektrodynamische Mikropumpe 54 gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung ist demnach sehr kompakt ausgebildet und weist eine bessere Leistungsfähigkeit als bisherige piezobetriebene Mikropumpen auf.

Anstelle des gezeigten Nutzens des elektrodynamischen Antriebes von Planarspulen 20 in Leiterplattentechnik an Mikropumpen 54 sind selbstverständlich auch andere Verwendungen des Mikroaktuators 10 denkbar.

Der Mikroaktuator 10 kann zum Beispiel auch zum Schalten elektrischer Vorgänge oder zur Positionierung von optischen Elementen, wie zum Beispiel Linsen oder Spiegelelementen, eingesetzt werden. Dies ist in den Zeichnungen nicht näher dargestellt; es wird für nähere Einzelheiten zur weiteren möglichen Einsatzgebieten auch auf die Literaturstellen [2] und [3] verwiesen.

Beispielsweise könnten an dem ersten und dem zweiten Aktuatorelement 12, 14 anstelle einer Membran wie bei der Mirkopumpe 54 erläutert jeweils eine Linse angeordnet werden, wobei ein Fokusierung oder sonstige Einstellung durch Relativverschiebung der Linsen erfolgt. Bei einer anderen Ausgestaltung ist eine elastische Linse vorgesehen, deren Form durch Relativbewegung der Aktuatorelemente veränderbar ist.

Bei einer anderen (nicht dargestellten) Ausgestaltung ist eines der Aktuatorelemente 12, 14 mit einer Kontaktplatte versehen, die bei Relativbewegung der Aktuatorelemente einen elektrischen Kontakt schließt oder öffnet. Dadurch ist ein elektrischer Schalter gebildet.

Es könnten auch mechanische Vorgänge durchgeführt werden. Beispielsweise ist an einem der Aktuatorelemente ein Riegel angelenkt, mit dem ein Verriegelungs- und Entriegelungsvorgang durchführbar ist (elektronisches Schloss). Insbesondere könnte ein Riegel durch eine Schubstange 82 der im Folgenden anhand der Fig. 16 bis 18 erläuterten weiteren Ausgestaltung des Mikroaktuators 10 gebildet werden.

In Fig. 16 bis 18 ist als weiteres Beispiel für die vorteilhafte Verwendung des Mikroaktuators 10 ein linearer synchroner Mikromotor – Linearmotor 88 - gezeigt. Unter Verwendung der Herstellungstechnologie für das Spulensystem in einer Axialflussmaschine 80 sind äußerst kleine lineare Antriebe zu realisieren. Diese können sehr kleine Zylinder ersetzen. Weiter kann die Funktion sehr kleiner Zylinder durch die Positionierbarkeit eines synchronen Antriebs erweitert werden. Zudem kann ein solcher Antrieb extreme Beschleunigungen verwirklichen.

Solch eine Synchronmaschine ist mit gestapelten Ringen aus Magneten 52 umsetzbar, welche über eine Zugstange 82 miteinander montiert werden. In der in den Figuren dargestellten Lage der Magnetfelder muss ein solches System von Magneten 52 gegen deren Abstoßkraft in diese Lage gezogen werden und entsprechend fixiert werden, damit sich die überlagernden Pole ausbilden.

Demnach weist das zweite Aktuatorelement 14 bei diesen Ausführungsformen ein aus mehreren Magneten 52 gebildetes Magnetsystem 84 mit einer Stange 82 auf.

Das erste Aktuatorelement 12 weist eine oder mehrere der Planarspulen 20 auf. Die einen oder mehreren Planarspulen 20 sind zirkular zum Magnetsystem 84 ausgebildet. Die Spulen 20 werden lithografisch in Leiterplattentechnolgie hergestellt. Damit kommen sie fertigungsinherent als stabiles Bauteil vor.

Somit sind auch sehr kleine Spaltmaße zwischen dem ersten Aktuatorelement 12 – wirkt hier als Stator 86 – und dem als Abtriebselement – Läufer 90 - wirkenden zweiten Aktuatorelement 14 erreichbar. Somit ist die Kopplung des über die Spulen 20 induzierten Magnetfeldes mit dem statischen Magnetfeld des Läufers 90 wesentlich verbessert.

Sehr einfach sind Außendurchmesser von 6-8 mm für das Gesamtsystem zu erreichen. 3-4 mm für das Gesamtsystem sind mit etwas mehr Aufwand erreichbar.

Durch eine geeignete Ansteuerung können mit diesem Linearmotor 88 auch Positionierungsvorgänge durchgeführt werden.

Durch eine Vervielfältigung der Antriebsspulen oder des Magnetsystems kann der Verfahrweg und der Schub angepasst werden.

In dieser Konfiguration bedarf es keiner Stromzuführung zum als Läufer 90 wirkenden zweiten Aktuatorelement 14, wodurch sich prinzipiell auch ein „endloser“ Verfahrweg verwirklichen lässt.

Durch eine geeignete Verschaltung der Spulen 20 kann die dynamische Systemeigenschaft angepasst werden.

Über die Leiterplattenelemente 28 kann zudem über ein Luftführungskanalsystem (hier nicht dargestellt) eine Luftlagerung eingearbeitet werden. Damit wird dann auch die Funktion der linearen Führung integriert.

Die Fig. 19 bis 23 zeigen Beispiele für Bauteile zum Aufbau weiterer Ausführungsformen des Mikroaktuators 10. Es sind unterschiedliche Bauformen erreichbar. Fig. 19 und 20 zeigen eine weitere Ausgestaltung des Multilayer-Leiterplattenrohlings 40 in unterschiedlichen Perspektiven. Bei dieser Ausgestaltung sind die Planarspulen 20 mit den unterschiedlichen Planarspulenlagen 18a, 18b, 18c rechteckig ausgebildet.

Fig. 21 und 22 zeigen Schnitte durch das aus dem Multilayer-Leiterplattenrohling 40 der Fig. 19 und 20 hergestellten Multilayer-Leiterplattenelements 28 mit einer rechteckigen inneren Öffnung 92. Die Öffnung 92 wird, wie oben anhand Fig. 7 beschrieben hergestellt.

Mehrere dieser Mulitlayer-Leiterplattenelemente 28 von Fig. 21 und 22 können mit zueinander fluchtenden Öffnungen 92 aufeinandergelegt werden, um so z.B. den Stator 86 des Linearmotors 88 der Fig. 16 bis 18 zu bilden. Bei anderen Ausgestaltungen wird ein einzelnes dieser Multilayer-Leiterplattenelemente 28 oder eine aufeinandergestapelte Anordnung aus mehreren dieser Multilayer-Leiterplattenelemente 28 als erstes Aktuatorelement 12 des Mikroaktuators 10 in einer Ausgestaltung als Mikropumpe, optisches Element, Schalter oder dergleichen, wie oben ausgeführt, verwendet.

Fig. 23 zeigt mehrere unterschiedlicher dieser Multilayer-Leiterplattenelemente 28 mit unterschiedlichen Formen im Größenvergleich auf einer karierten Unterlage, bei der die benachbarten Linien einen Abstand von 5 mm haben.

Bezugszeichenliste:

10	Mikroaktuator
12	erstes Aktuatorelement
14	zweites Aktuatorelement
16	Magnetfelderzeugungseinheit
18a	erste Planarspulenlage
18b	zweite Planarspulenlage
18c	dritte Planarspulenlage
18d	vierte Planarspulenlage
20	Planarspule
22	Leiterschleife
24	Via
26	Leiterplattenlage
28	Multilayer-Leiterplattenelement
30	Leiterplattensubstrat
32	Leiterschicht
34	photoresistive Schicht
36	Belichtungsmaske
38	elektrische Isolationsschicht
40	Multilayer-Leiterplattenelementrohling
42	Feld
44	erster Laserstrahl
46	zweiter Laserstrahl
48	Multilayer-Leiterplattenelement
50	Magnetfeld
52	Magnet
53	Strom
54	Mikropumpe
55	Mikromembranpumpe
56	elastisches Element
58	Membran
60	Pumpvolumen
62	Deckel
64	Gehäuse

66	erstes Membranventil
68	zweites Membranventil
70	Bohrung
72	Folienelement
74a	erste Durchkontaktierung
74b	zweite Durchkontaktierung
76	ferromagnetische Schicht
78	Kontaktpad
80	Axialflussmaschine
82	Zugstange
84	Magnetsystem
86	Stator
88	Linearmotor
90	Läufer
92	Öffnung

Ansprüche:

1. Mikroaktuator (10), umfassend ein erstes Aktuatorelement (12) mit einer Magnetfelderzeugungseinheit (16) und ein relativ zu der Magnetfelderzeugungseinheit (16) durch Einwirkung eines durch die Magnetfelderzeugungseinheit (16) erzeugten Magnetfeldes bewegbares zweites Aktuatorelement (14), wobei die Magnetfelderzeugungseinheit (16) wenigstens eine an einer Leiterschicht (32) eines Leiterplattenelements (26, 28) ausgebildete Planarspule (20) aufweist.

2. Mikroaktuator (10) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Leiterplattenelement ein Multilayer-Leiterplattenelement (28) ist und dass die Planarspule (20) eine an dem Multilayer-Leiterplattenelement (28) ausgebildete mehrlagige Planarspule (20) aufweist.

3. Mikroaktuator (10) nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen benachbarten Lagen der Planarspule (20) eine Substratschicht oder eine Zwischenlage des Multilayer-Leiterplattenelements (28) zur elektrischen Isolierung vorgesehen ist.

4. Mikroaktuator (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das zweite Aktuatorelement (14) einen Permanentmagneten aufweist.

5. Mikroaktuator (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das erste und das zweite Aktuatorelement (12, 14) konzentrisch zu einer

Mittelachse durch die Planarspule (20) angeordnet sind und relativ zu dieser Mittelachse axial zueinander beweglich sind.

6. Mikroaktuator (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
dass das Leiterplattenelement als Außengehäuse des Mikroaktuators (10) ausgebildet ist.

7. Mikroaktuator (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,
dass Leiterspulen der Planarspule (20) eine Breite von weniger als 900 µm, insbesondere weniger als 500µm, mehr insbesondere weniger als 100 µm aufweisen.

8. Verfahren zum Herstellen eines Mikroaktuators (10), umfassend lithografisches Ausbilden wenigstens einer Ebene einer Planarspule (20) an einer Leiterplattenschicht zum Bilden einer Magnetfelderzeugungseinheit (16) an einem ersten Aktuatorelement (12), Zusammenfügen des ersten Aktuatorelements (12) mit einem aufgrund eines durch die Magnetfelderzeugungseinheit (16) antreibbar bewegbaren zweiten Aktuatorelement (14) derart, dass die Aktuatorelemente (12, 14) relativ zueinander bewegbar sind.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
gekennzeichnet durch
Ausbilden mehrere Ebenen von Planarspulen (20) an mehreren Leiterplattenschichten, Zusammenfügen der Leiterplattenschichten unter Zwischenlage von Isoliermaterial, um eine Multilayer-Leiterplattenelement (28) mit einer mehrlagigen Planarspule (20) auszubilden,
elektrisches Verbinden mehrere Lagen der Planarspule (20) über Vias (24).

10. Verfahren nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Schritt elektrisches Verbinden den Schritt:

Erzeugen von Durchgangsöffnungen mittels Laserstrahlen (44, 46) oder Elektronenstrahlen umfasst.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10,
umfassend
Schneiden des Leiterplattenelements (26, 28) mittels Laserstrahlen (44, 46) oder Elektronenstrahlen.

12. Verwenden eines Mikroaktuators (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 oder eines durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11 erhältlichen Mikroaktuators (10) in einer Mikropumpe (54), in einem Mikrolinearmotor (88), in einem Mikroventil, einer optischen Schalteinheit oder zum Bewegen eines optischen Elements, eines Spiegels und/oder einer Linse.

13. Mikropumpe (54), Mikrolinearmotor, Mikroventil oder optisches oder elektrisches Schaltelement, umfassend einen Mikroaktuator (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und/oder einen durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11 erhältlichen Mikroaktuator (10).

FIG 1

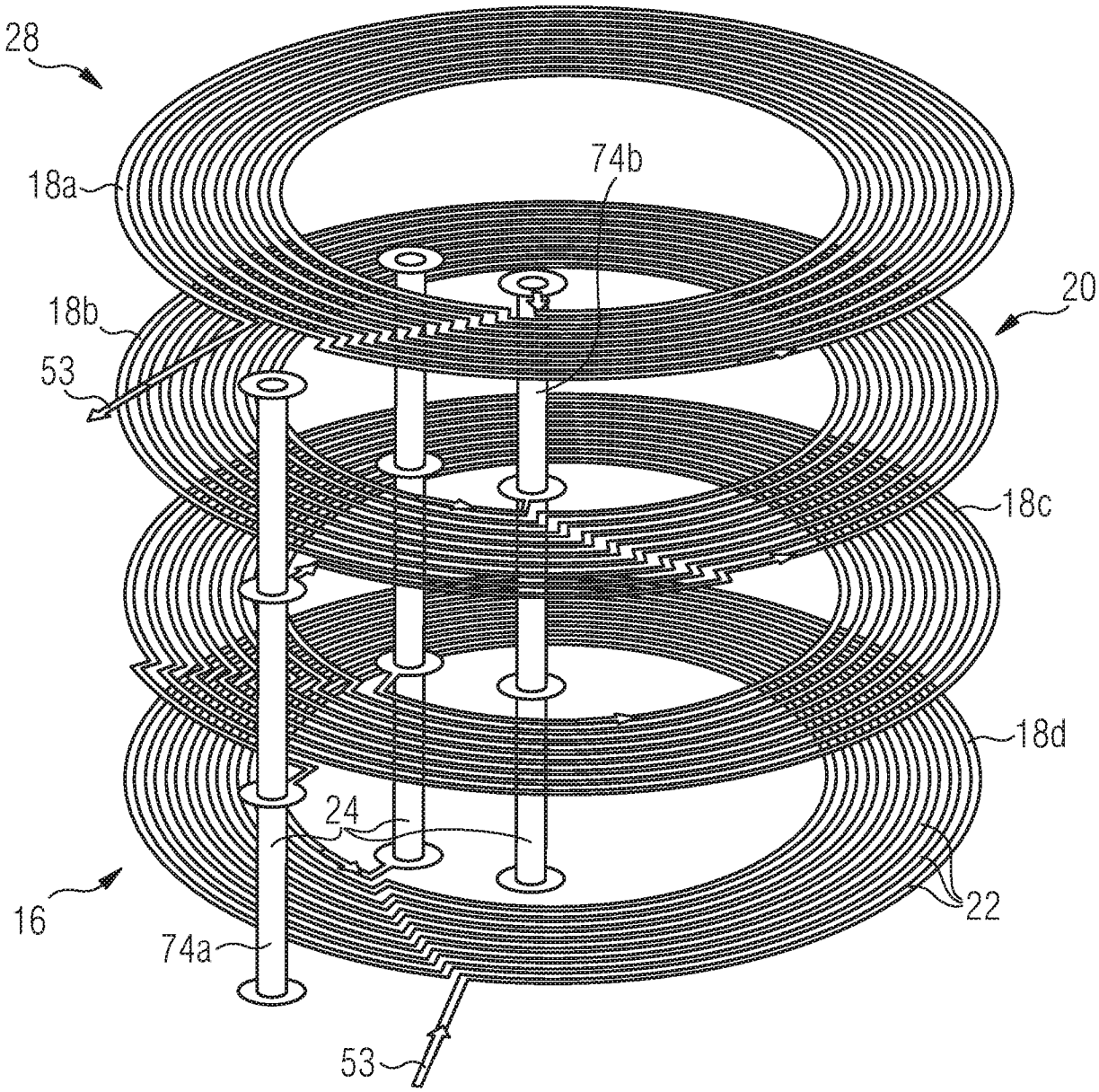


FIG 2

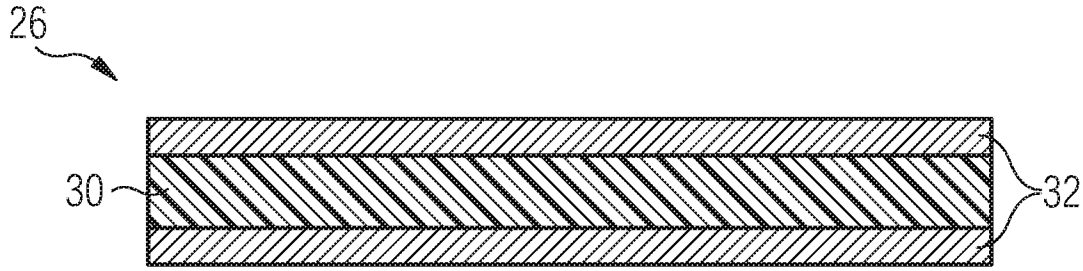


FIG 3

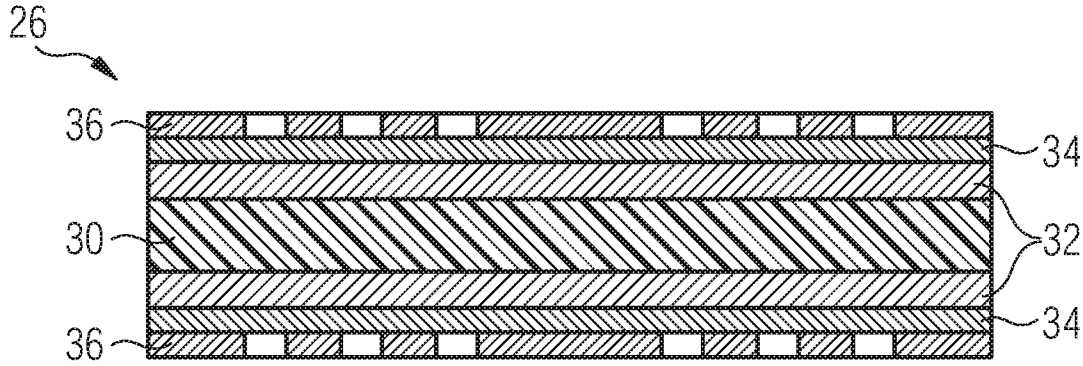


FIG 4

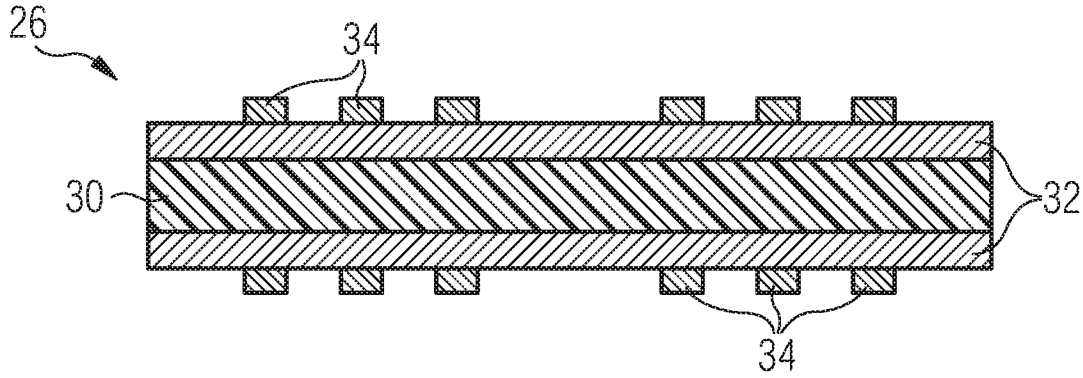


FIG 5

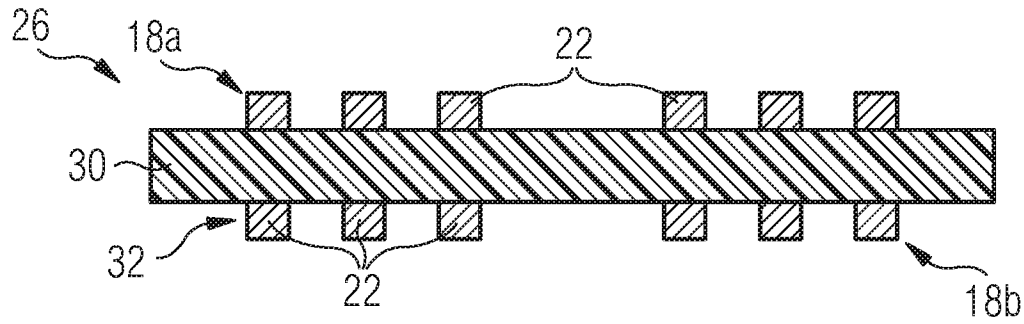


FIG 6

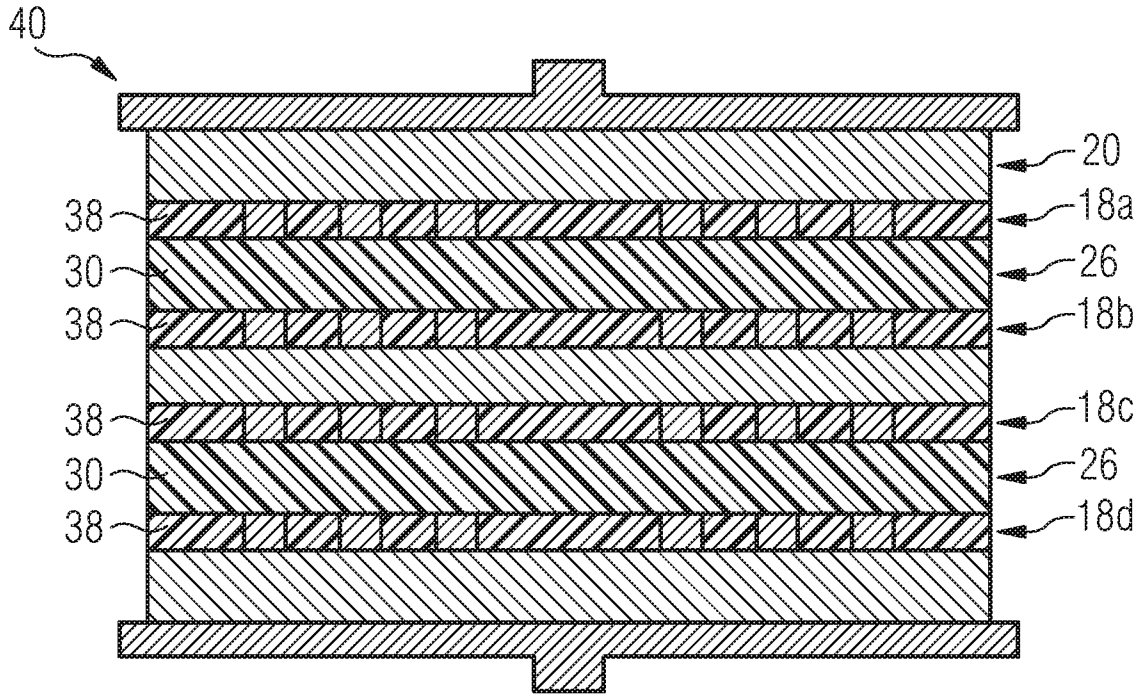


FIG 7

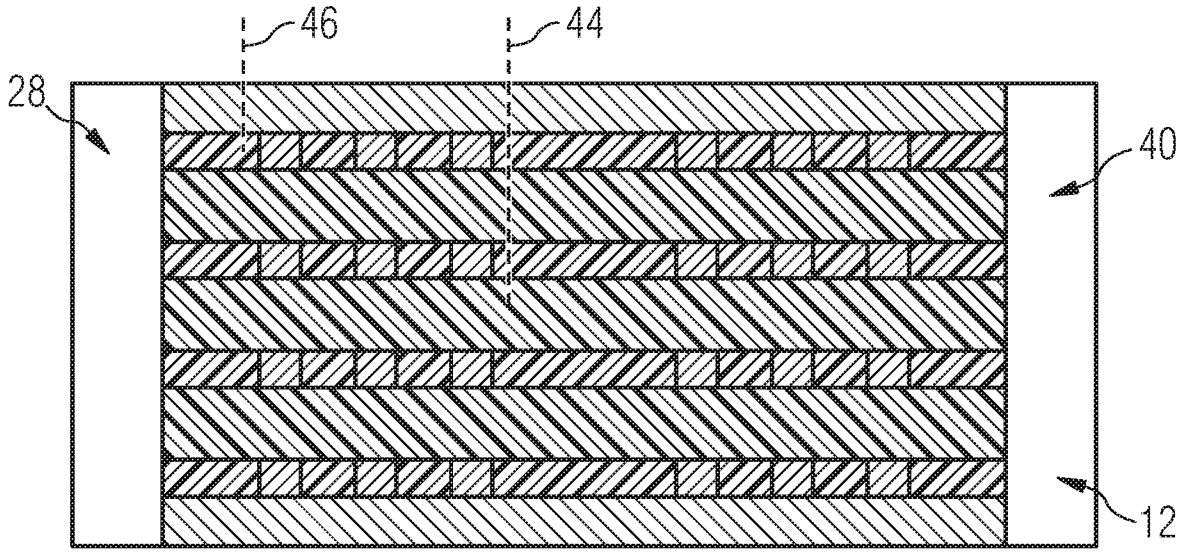


FIG 8

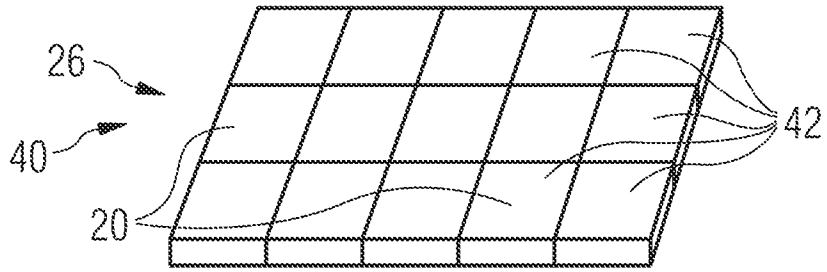


FIG 9

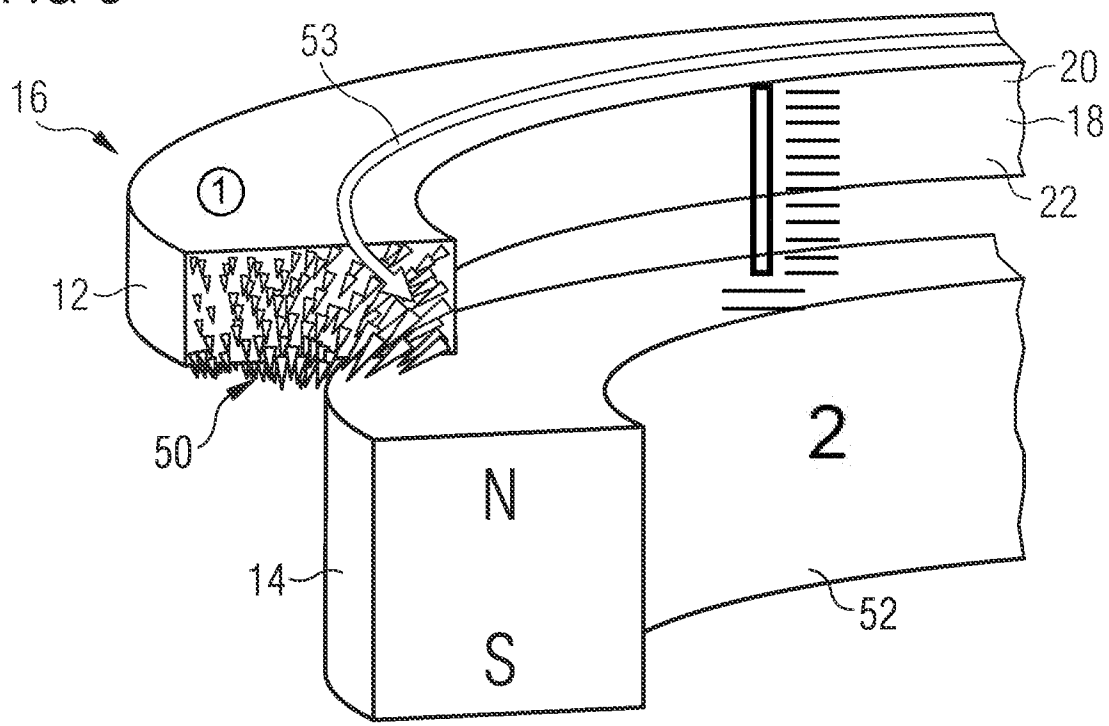


FIG 10

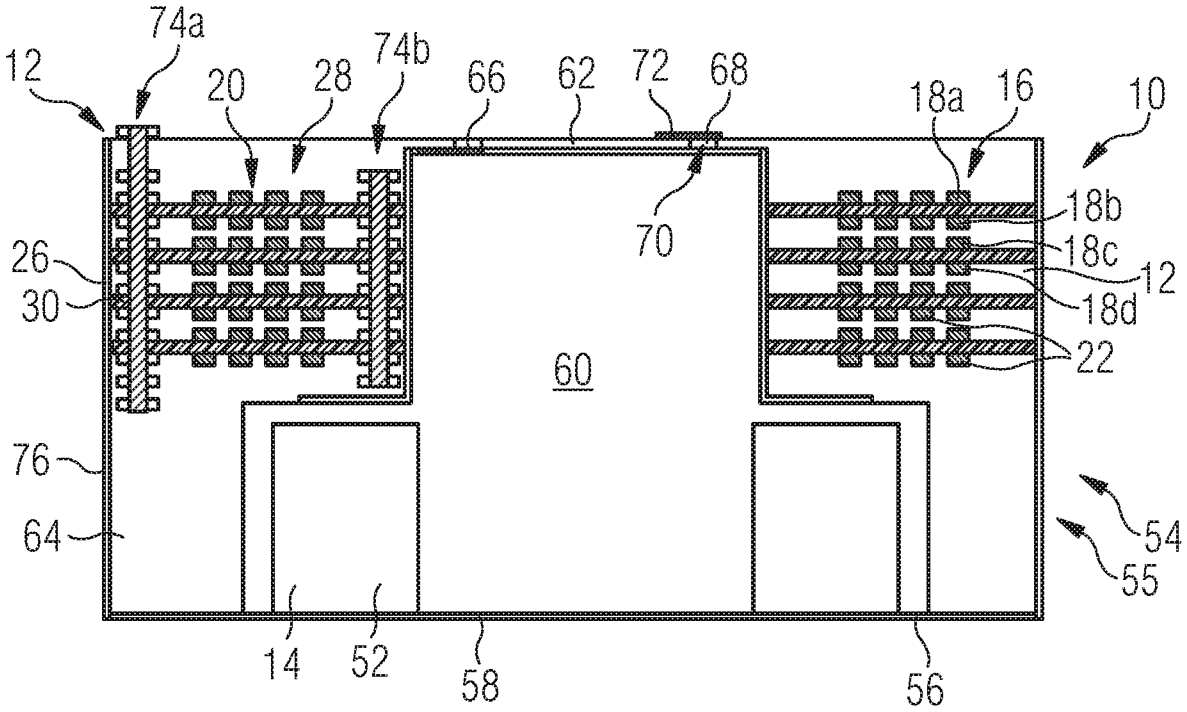

74a
12
20
28
74b
66
62
72
68
18a
16
10
70
18b
18c
12
18d
22
26
30
60
76
64
54
55
14
52
58
56

FIG 11

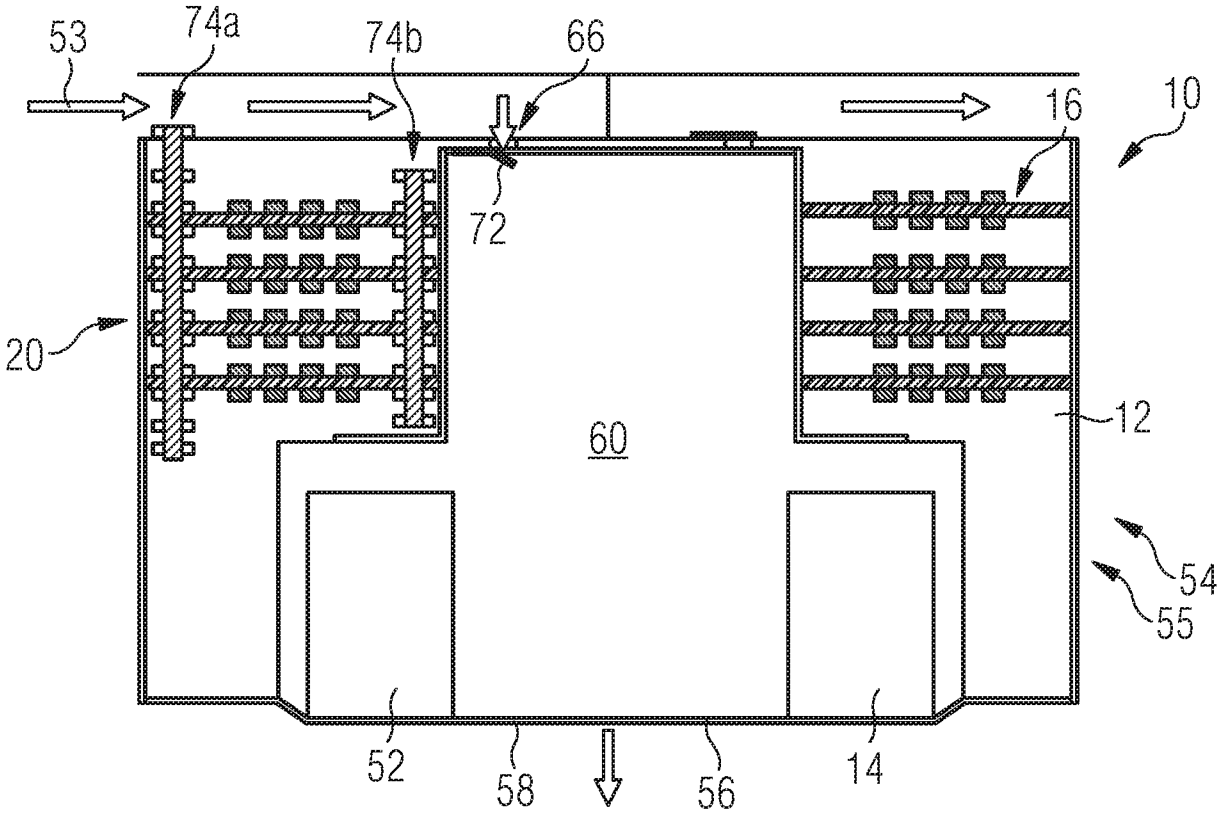

53
74a
74b
66
16
10
72
20
12
60
54
55
52
58
56
14

FIG 12

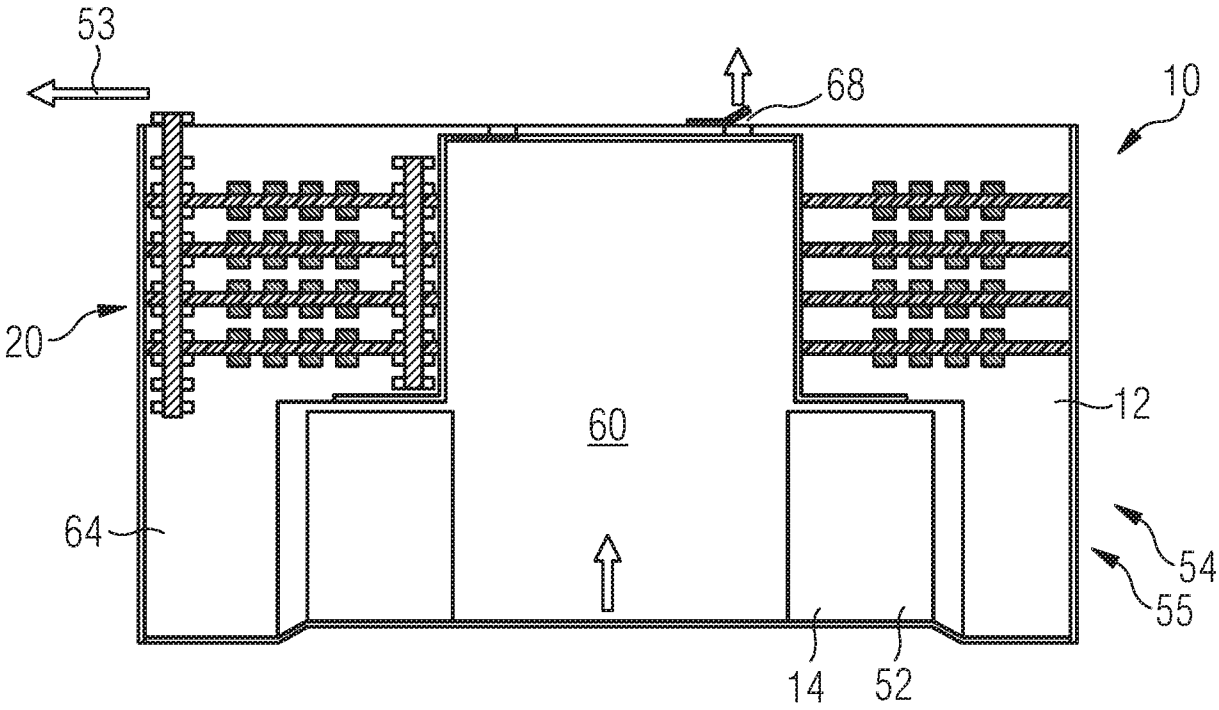


FIG 13

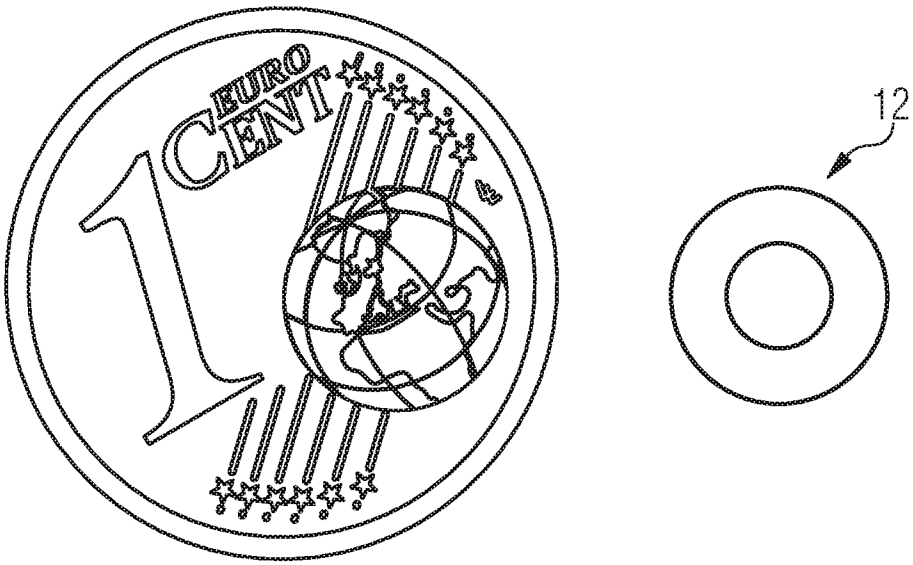


FIG 14a

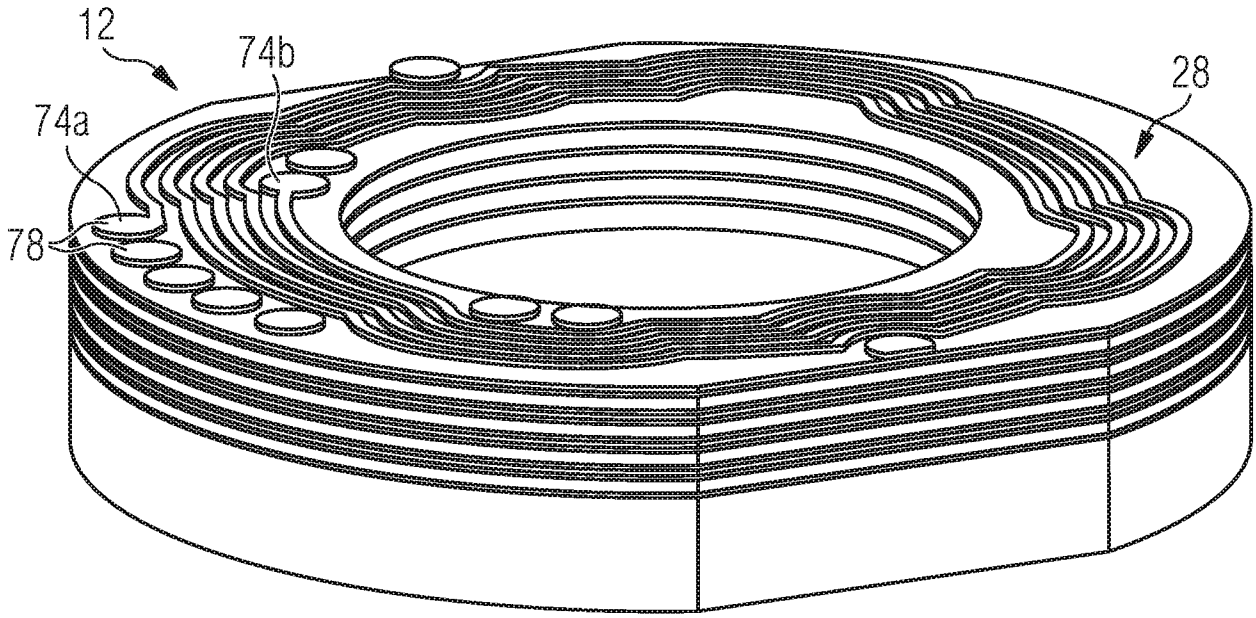


FIG 14b

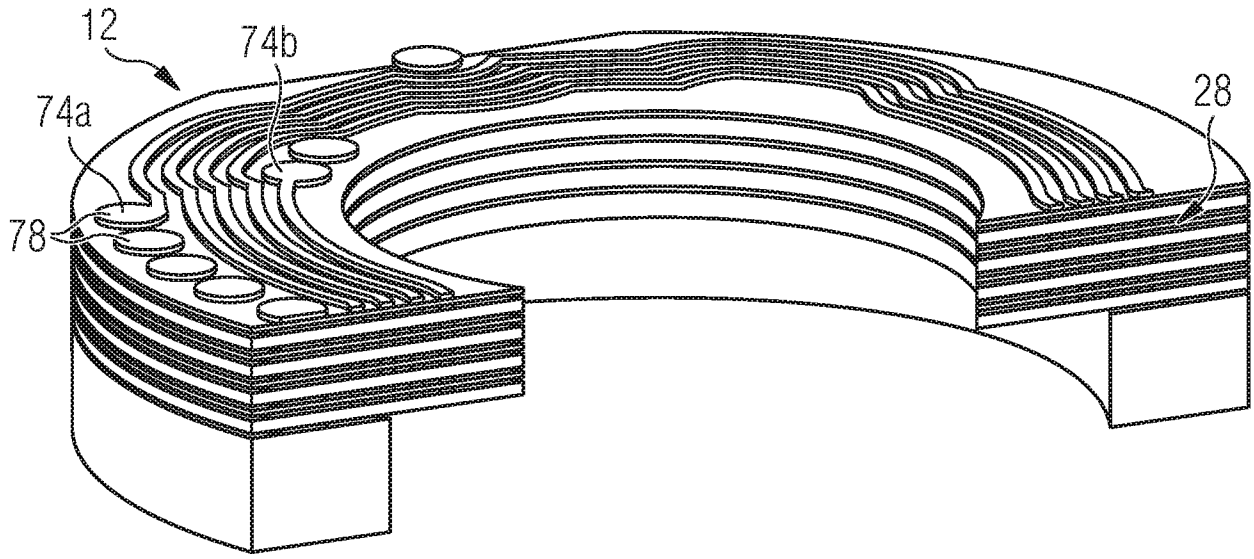


FIG 14c

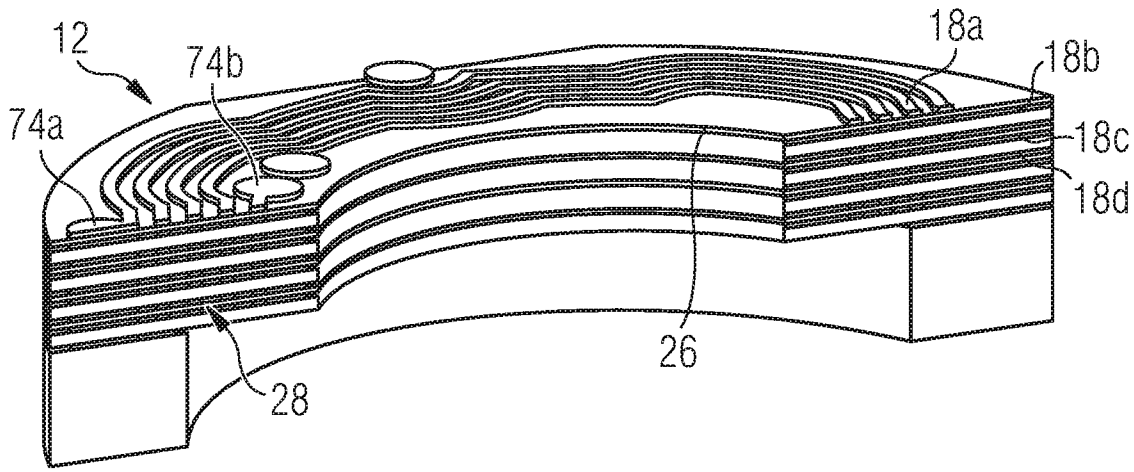


FIG 15 Stand der Technik

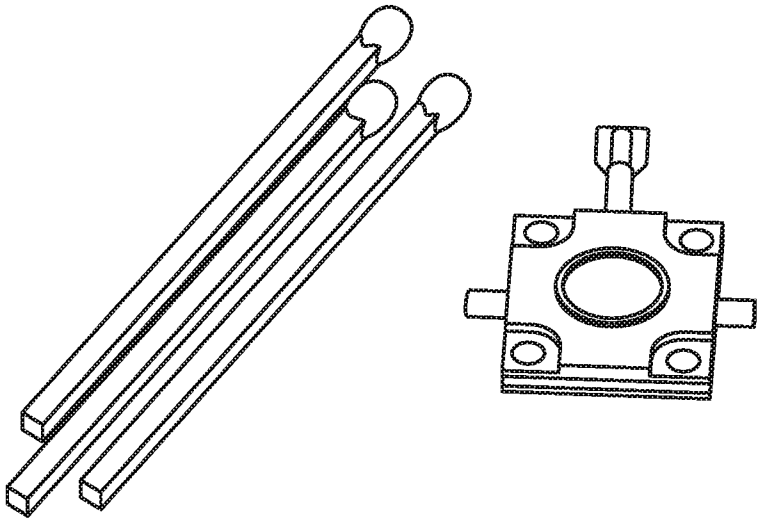


FIG 16

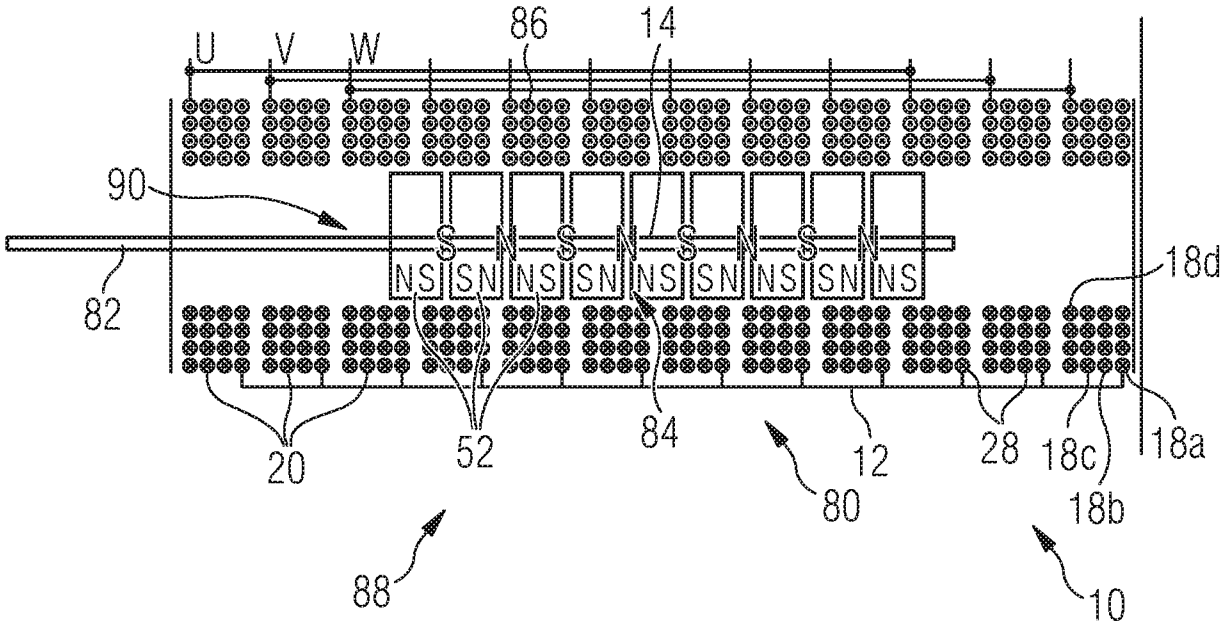


FIG 17

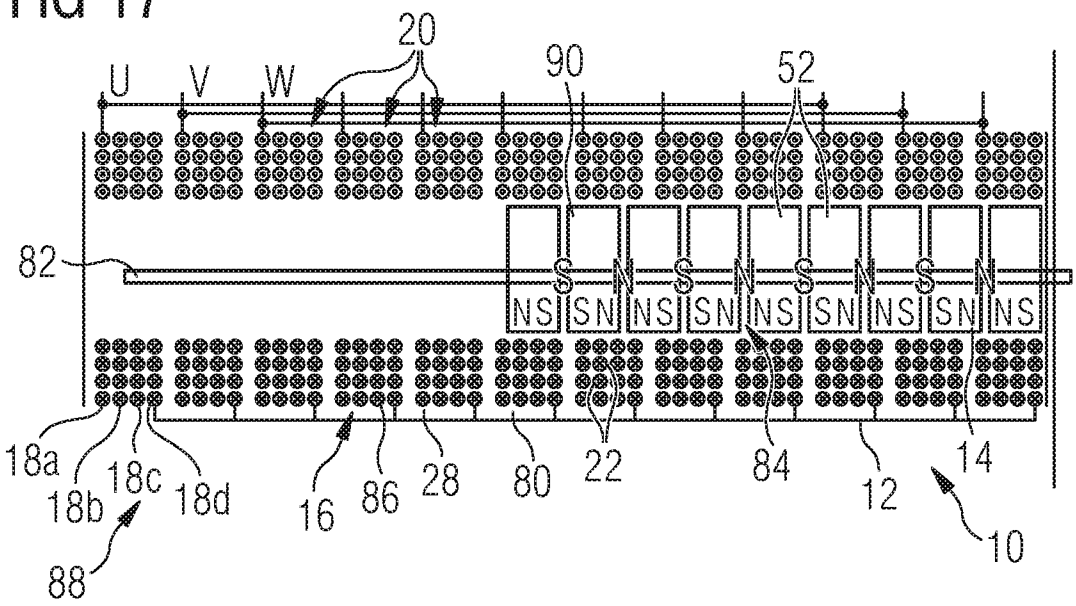

U
V
W
20
90
52
82
S
N
NS
SN
18a
18b
18c
18d
88
16
86
28
80
22
84
12
14
10

FIG 18

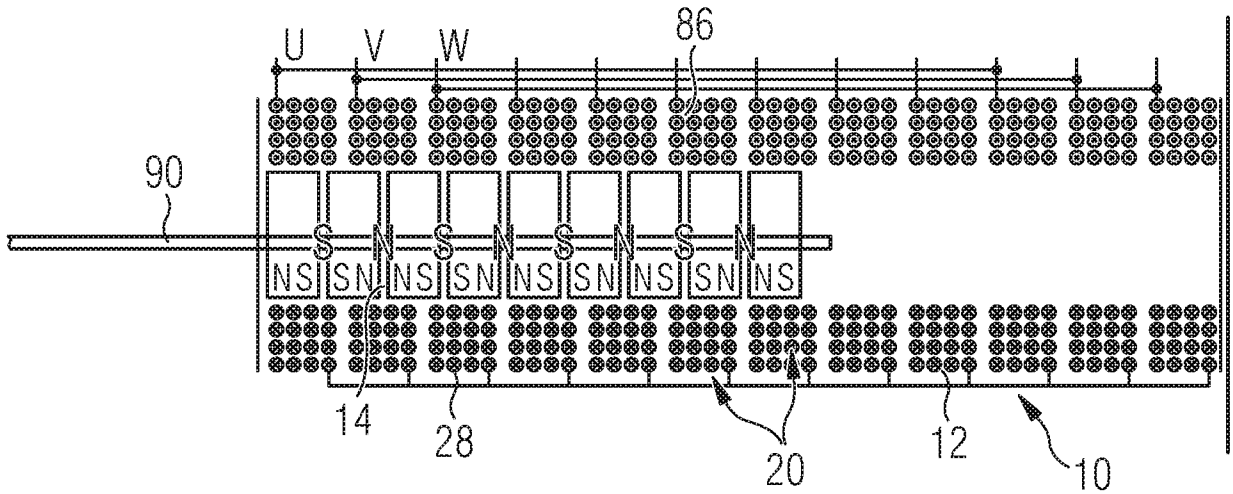

U
V
W
86
90
S
N
NS
SN
14
28
20
12
10

FIG 19

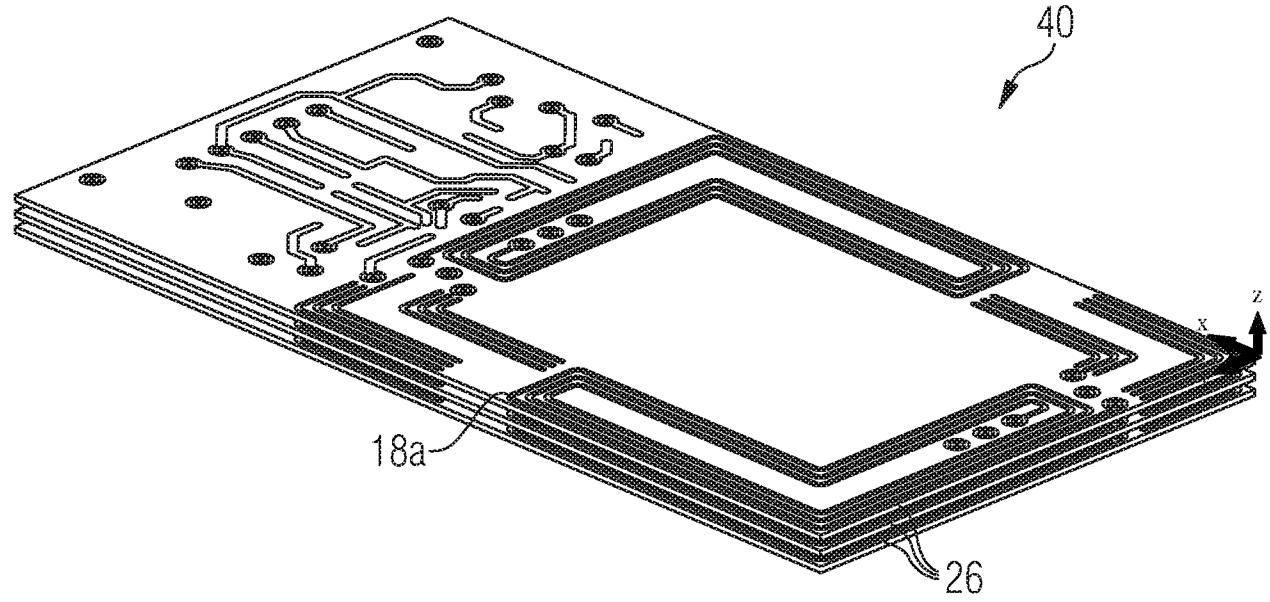


FIG 20

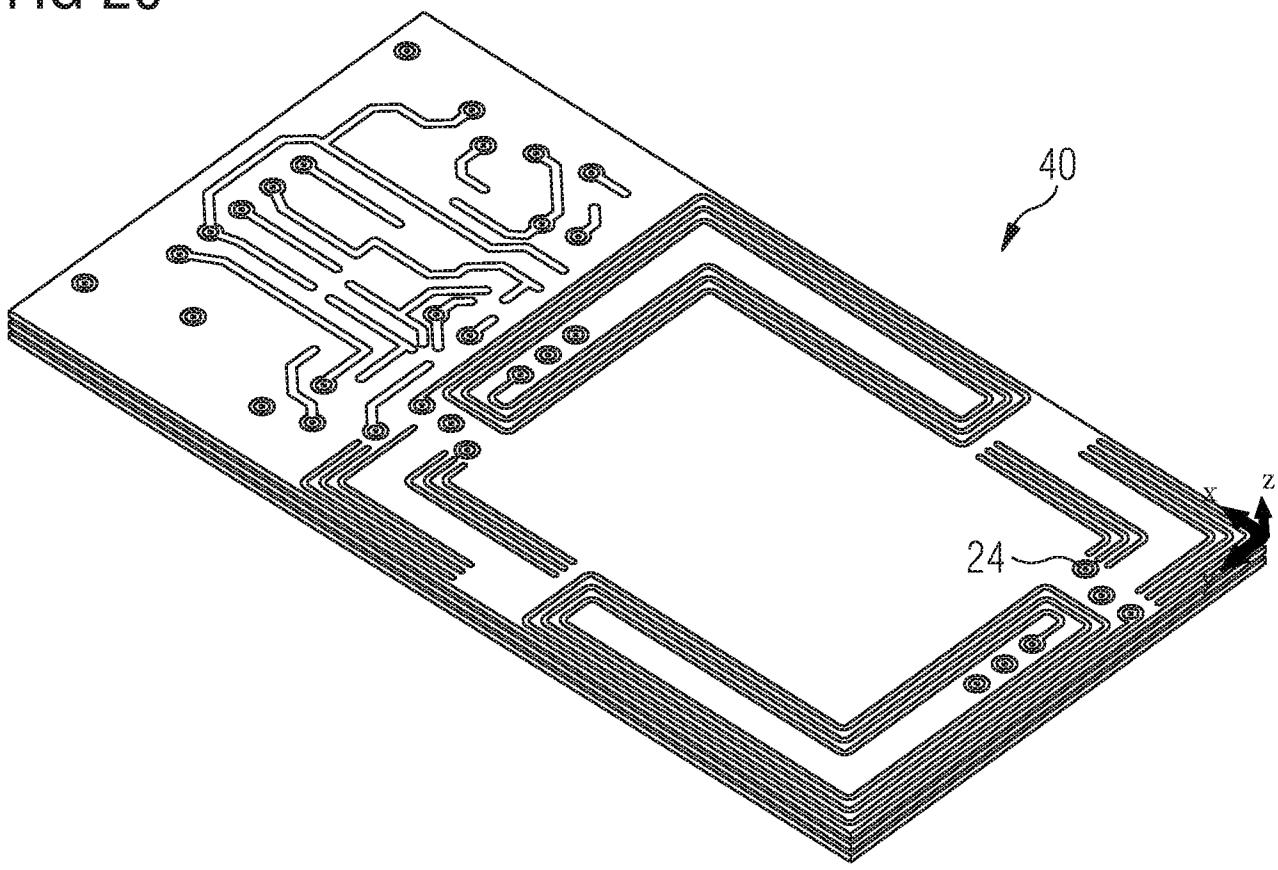


FIG 21

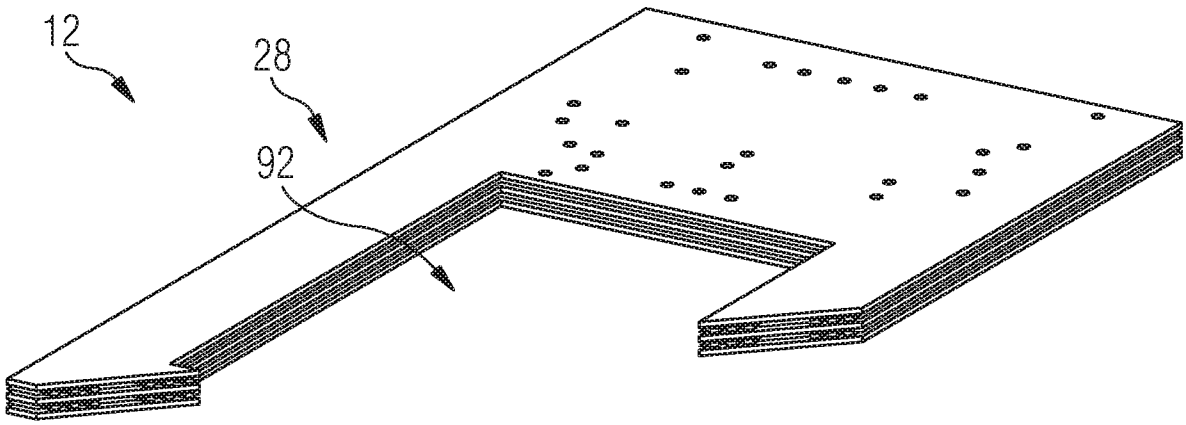


FIG 22

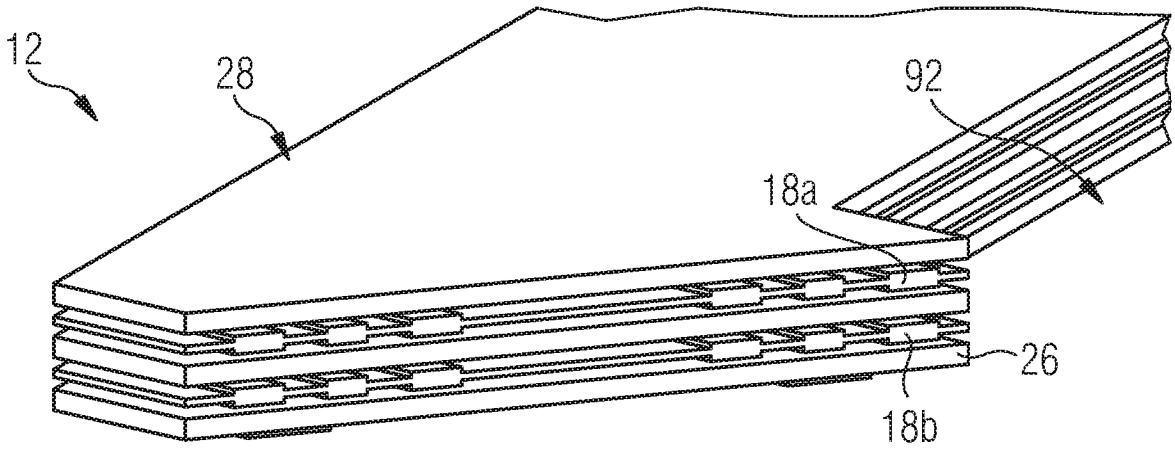
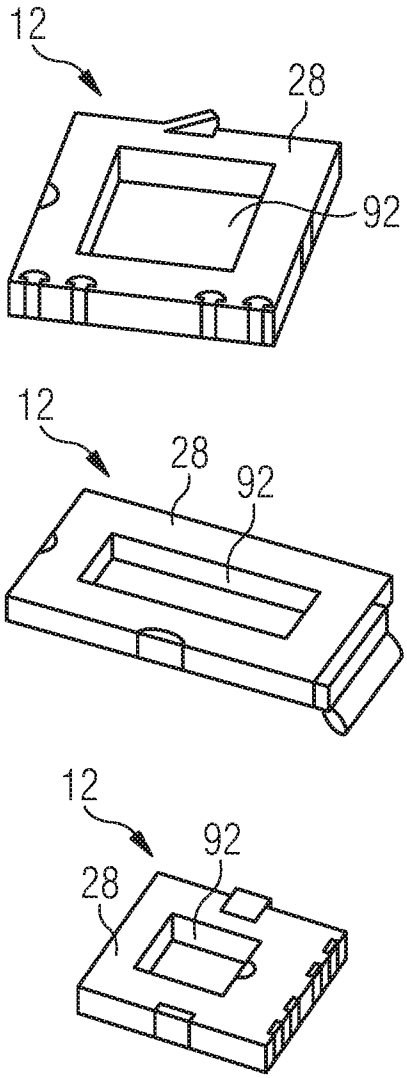


FIG 23



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/DE2019/100854

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02K 3/26(2006.01)i; ***H02K 33/16***(2006.01)i; ***H05K 1/02***(2006.01)i; ***F04B 43/04***(2006.01)i; ***H01F 27/28***(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PAULINE J CHANG ET AL. "Force measurements of a magnetic micro actuator proposed for a microvalve array" *JOURNAL OF MICROMECHANICS & MICROENGINEERING, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL, GB,* Vol. 24, No. 3, 20 February 2014 (2014-02-20), page 34005, [retrieved on 2014-02-20] DOI: 10.1088/0960-1317/24/3/034005 ISSN: 0960-1317, XP020258204 abstract sections 1, 2.1 and 4; figures 1, 2, 4, 5b	1-3, 6-10, 12, 13
X	KLEEN S ET AL. "ULTRAFLACHE MOTOREN IM PFENNIGFORMAT" *F & M FEINWERKTECHNIK MIKROTECHNIK MIKROELEKTRONIK, HANSER, MUNCHEN, DE,* Vol. 108, No. 4, 01 April 2000 (2000-04-01), pages 56-58 ISSN: 1437-9503, XP000966545 the whole document	1-4, 8-11

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
24 January 2020	**31 January 2020**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Moyaerts, Laurent** Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MINFENG WANG ET AL. "A novel N x M array of resonance-based addressable MEMS actuators" *2013 IEEE SENSORS, IEEE,* 28 October 2012 (2012-10-28), pages 1-4 DOI: 10.1109/ICSENS.2012.6411349 ISSN: 1930-0395, XP032340624 the whole document	1-10, 12, 13
X	DE BHAILS D ET AL. "Modelling and analysis of a magnetic microactuator" *SENSORS AND ACTUATORS A: PHYSICAL, ELSEVIER BV, NL,* Vol. 81, No. 1-3, 01 April 2000 (2000-04-01), pages 285-289 DOI: 10.1016/S0924-4247(99)00176-4 ISSN: 0924-4247, XP004191306 the whole document	1, 4, 5, 12, 13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2019/100854

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02K3/26 H02K33/16 H05K1/02 F04B43/04 H01F27/28
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02K

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PAULINE J CHANG ET AL: "Force measurements of a magnetic micro actuator proposed for a microvalve array", JOURNAL OF MICROMECHANICS & MICROENGINEERING, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL, GB, Bd. 24, Nr. 3, 20. Februar 2014 (2014-02-20), Seite 34005, XP020258204, ISSN: 0960-1317, DOI: 10.1088/0960-1317/24/3/034005 [gefunden am 2014-02-20] Zusammenfassung Abschitte 1, 2.1 und 4; Abbildungen 1, 2, 4, 5b ----- -/--	1-3, 6-10,12, 13

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [ ] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
24. Januar 2020	31/01/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Moyaerts, Laurent

1

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	KLEEN S ET AL: "ULTRAFLACHE MOTOREN IM PFENNIGFORMAT", F & M FEINWERKTECHNIK MIKROTECHNIK MIKROELEKTRONIK, HANSER, MUNCHEN, DE, Bd. 108, Nr. 4, 1. April 2000 (2000-04-01) , Seiten 56-58, XP000966545, ISSN: 1437-9503 das ganze Dokument	1-4,8-11
X	MINFENG WANG ET AL: "A novel N x M array of resonance-based addressable MEMS actuators", 2013 IEEE SENSORS, IEEE, 28. Oktober 2012 (2012-10-28), Seiten 1-4, XP032340624, ISSN: 1930-0395, DOI: 10.1109/ICSENS.2012.6411349 das ganze Dokument	1-10,12, 13
X	DE BHAILS D ET AL: "Modelling and analysis of a magnetic microactuator", SENSORS AND ACTUATORS A: PHYSICAL, ELSEVIER BV, NL, Bd. 81, Nr. 1-3, 1. April 2000 (2000-04-01), Seiten 285-289, XP004191306, ISSN: 0924-4247, DOI: 10.1016/S0924-4247(99)00176-4 das ganze Dokument	1,4,5, 12,13