

(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  
13. Oktober 2011 (13.10.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2011/124384 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
F16K 99/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/001743

(22) Internationales Anmeldedatum:  
7. April 2011 (07.04.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102010014308.1 9. April 2010 (09.04.2010) DE  
102010032799.9 30. Juli 2010 (30.07.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG [DE/DE]; Fahnenbergplatz, 79085 Freiburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LEMKE, Thomas [DE/DE]; Agnesenstr. 3, 79106 Freiburg (DE). KLÖCKER, Jens [DE/DE]; Im Höfle 9, 79853 Lenzkirch (DE). GOLDSCHMIDTBÖING, Frank [DE/DE]; Freiburgerstr. 31, 79183 Waldkirch (DE). WOIAS, Peter [DE/DE]; Maltererstraße 15, 79102 Freiburg (DE).

(74) Anwalt: KÜHL, Dietmar; Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser, Leopoldstrasse 4, 80802 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MICRO-VALVE HAVING AN ELASTICALLY DEFORMABLE VALVE LIP, METHOD FOR PRODUCING SAME AND MICRO-PUMP

(54) Bezeichnung : MIKROVENTIL MIT ELASTISCH VERFORMBARER VENTILLIPPE, HERSTELLUNGSVERFAHREN UND MIKROPUMPE

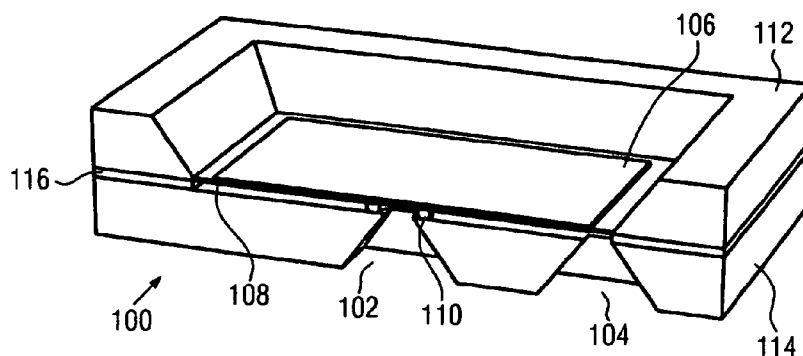


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to a micro-valve (100) which is formed from two firmly connected substrates (112, 114) and preferably has an actuator element (106, 108), for example that is diaphragm-driven, for the controlled opening and closing of a first and/or second passage (102, 104). The invention further relates to a method for producing such a micro-valve and to a micro-pump which uses at least one such micro-valve. Said micro-pump is intended to be used in particular in conjunction with the development of an artificial sphincter. The micro-valve has a first substrate and a second substrate (112, 114) which are non-detachably joined to each other in order to form a controllable fluid flow section, and at least one first passage (102) and at least one second passage (104). According to the invention, the micro-valve has at least one elastically deformable seal structure (110) which, for example, can be formed by a photostructurable silicon, to seal off the first and/or second passage.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2011/124384 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Mikroventil (100), das aus zwei fest verbundenen Substraten (112, 114) gebildet ist und vorzugsweise ein z. B. membrangetriebenes Aktorelement (106, 108) zum gesteuerten Öffnen und Schließen eines ersten und/oder zweiten Durchlasses (102,104) aufweist. Weiterhin bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein Herstellungsverfahren für ein solches Mikroventil sowie auf eine Mikropumpe, die mindestens ein derartiges Mikroventil verwendet. Diese Mikropumpe soll insbesondere im Zusammenhang mit der Entwicklung eines künstlichen Schließmuskels Verwendung finden. Das Mikroventil hat ein erstes Substrat und ein zweites Substrat (112, 114), die miteinander unlösbar verbunden sind, um eine steuerbare Fluid-Fließstrecke auszubilden, und mindestens einen ersten Durchlass (102) und mindestens einen zweiten Durchlass (104). Erfindungsgemäß weist das Mikroventil zum Abdichten des ersten und/oder zweiten Durchlasses mindestens eine elastisch verformbare Dichtstruktur (110) auf, die beispielsweise durch ein photostrukturierbares Silikon gebildet sein kann.

## MIKROVENTIL MIT ELASTISCH VERFORMBARER VENTILLIPPE, HERSTELLUNGSVERFAHREN UND MIKROPUMPE

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Mikroventil, das aus zwei fest verbundenen Substraten gebildet ist und vorzugsweise ein z. B. membrangetriebenes Aktorelement zum  
5 gesteuerten Öffnen und Schließen eines ersten und/oder zweiten Durchlasses aufweist. Weiterhin bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein Herstellungsverfahren für ein solches Mikroventil sowie auf eine Mikropumpe, die mindestens ein derartiges Mikroventil verwendet. Diese Mikropumpe soll insbesondere im Zusammenhang mit der Entwicklung eines hydraulischen Muskels (beispielsweise Schließmuskels) zur Behandlung der Harn-,  
10 Fäkalinkontinenz oder erektilen Dysfunktion Verwendung finden.

Während der letzten 20 Jahre wurden auf dem Gebiet der Mikrofluidik eine Vielzahl unterschiedlicher Mikroventiltypen entwickelt, wie dies beispielsweise aus dem Übersichtsartikel Oh, K. W. et al.: „A review of micro valves“, Journal of Micromechanics and Microengineering, 16(2006), R13 – R39, hervorgeht. Generell können Mikroventile in aktive und passive  
15 Ventile unterteilt werden, wobei ein passives Ventil unidirektional ist, da der Zustand des passiven Ventils von der anliegenden Druckdifferenz abhängt. Ist der Druck am Ausgang höher als am Eingang, so sperrt ein passives Ventil. Ist der Druck am Ausgang niedriger als am Eingang, so erlaubt das Ventil einen Durchfluss. Eine alternative Ausführungsform sind sogenannte Düse-Diffuserventile, welche in Durchlassrichtung einen wesentlich größeren Durchfluss als in Sperrrichtung aufweisen. Aktive Ventile können dagegen unab-  
20 hängig von Eingangs- und Ausgangsdruck geöffnet und geschlossen werden. Dies geschieht in der Regel mittels einer elektronischen Ansteuerung, beispielsweise über piezoelektrische oder elektromagnetische Antriebe. Bei aktiven Ventilen besteht grundsätzlich die Möglichkeit, in beide Richtungen einen Durchfluss zu ermöglichen. Durch diese Bidirektionalität sind Eingang und Ausgang nicht mehr statisch definiert, sondern hängen vom  
25 Betriebszustand des Ventils ab.

Bei vielen aktiven Ventilen wird eine Membran ausgelenkt, um das Ventil zu öffnen oder zu schließen. Dabei kommen eine Vielzahl von Aktuierungsprinzipien zum Einsatz. Weiterhin kann man bei aktiven Ventilen zwischen normal-geöffneten, normal-geschlossenen und  
30 bistabilen Ventilen unterscheiden. Bistabile Ventile sind solche Ventile, die zwei stabile Zustände aufweisen und die Eigenschaften normal-geöffneter und normal-geschlossener Ventile vereinen.

Mikroventile können in einer Vielzahl von verschiedenen Anwendungen, wie beispielsweise der Mikrodosierung, Medikamentenfreisetzung, Bioanalytik oder in sogenannten „Micro total analysis systems“ ( $\mu$ TAS), die alle zur chemischen Analyse einer Substanz nötigen Schritte automatisiert durchführen, angewendet werden.

5 Die vorliegende Erfindung ist grundsätzlich weder auf den Ventiltyp noch auf die Anwendung beschränkt, soll aber nachfolgend beispielhaft für ein normal-geschlossenes aktives Ventil gezeigt werden, wie es für ein sogenanntes „artificial sphincter system“, eine medizini-  
10 sche Schließmuskelprothese, anwendbar ist. Bekannte Mikroventile und Mikropumpen, wie sie beispielsweise aus der DE 10 2005 038 483 B3 hervorgehen, besitzen zwei zu-  
sammengefügte Substrate mit entsprechenden Durchlassöffnungen und Ventillippen, wel-  
che die Durchlassöffnungen umgeben und durch die Betätigung des Membranbereichs  
zum Schließen der Öffnungen dienen, welche durch mikromechanische Ätztechniken als  
15 Vorsprünge aus dem Substratmaterial herausgearbeitet sind. Es hat sich jedoch gezeigt,  
dass bei derartigen Mikroventilen das wiederholte Auftreffen der Membran auf den ver-  
gleichbar harten Ventilsitz zu einer dauerhaften Schädigung des Ventilsitzes führen kann.  
Dies verursacht im Laufe der Zeit durch abnehmende Dichtigkeit den irreparablen Ausfall  
des Systems. Insbesondere für implantierbare Mikrosysteme, wie die Schließmuskelpro-  
these, ist aber eine möglichst lange wartungsfreie Betriebszeit essentiell.

Die vorliegende Erfindung basiert daher auf der Idee, bei einem mit mikrosystemtechni-  
20 schen Verfahren hergestellten Ventil zum Abdichten mindestens einer der Durchlassöff-  
nungen eine elastisch verformbare Ventillippe vorzusehen. Mit einer derartigen elastisch  
verformbaren Ventillippe kann zum einen einem übermäßigen Verschleiß der Materialien  
im Betrieb vorgebeugt werden und zum anderen kann durch Ausgleich von Substratune-  
benheiten oder flexibles Anpassen an Strukturierungstoleranzen eine wesentlich verbes-  
25 serte Dichtigkeit des Ventils im geschlossenen Zustand erzeugt werden.

Als Material für eine solche Ventillippe kommt in vorteilhafter Weise ein Polymer in Frage,  
das ein E-Modul von höchstens circa 500 MPa hat, um eine ausreichende Verformbarkeit  
und Dämpfung sicherzustellen. Die Ventillippe wird einstückig aus diesem Polymermaterial  
gefertigt, erfindungsgemäß in einem einzigen Photolithographieschritt. Obwohl auch ande-  
30 re Materialien mit der geforderten Elastizität verwendet werden können, stellt ein direkt  
photostrukturierbares Silikon mit einem E-Modul von etwa 160 MPa ein gut geeignetes  
Dichtmaterial dar.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform steht die Ventillippe in einer geschlossenen Position unter mechanischer Vorspannung. Durch den hierdurch erzeugten Anpressdruck und die daraus entstehenden elastischen Verformung der Dichtlippe kann eine besonders sichere Abdichtung gewährleistet werden.

- 5 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist das erfindungsgemäße Mikroventil ein aktives Ventil und weist mindestens ein Aktorelement zum gesteuerten Öffnen und Schließen des ersten und/oder zweiten Durchlasses auf. Solche aktiven Ventile bieten, wie bereits erwähnt, den Vorteil, dass sie bidirektional sind und beispielsweise zur Realisierung einer bidirektionalen Mikropumpe verwendet werden können. Für einen Fachmann ist aber  
10 selbstverständlich klar, dass die erfindungsgemäßen Prinzipien für ein passives Ventil ebenfalls anwendbar sind.

Für verschiedene Anwendungen ist es erforderlich, dass ein Mikroventil ohne Aufwendung von Energie im geschlossenen Zustand verbleibt und nur zum Öffnen aktuiert werden muss. Solche normal-geschlossenen Ventile sind z. B. für die bereits erwähnte Schließ-  
15 muskelprothese erforderlich. Daher ist gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Mikroventils das Aktorelement zum Öffnen des ersten und/oder zweiten Durchlasses betätigbar, so dass ein normal-geschlossenes Mikroventil gebildet werden kann. Hierdurch wird in vorteilhafter Weise der Energieverbrauch für alle die Anwendungen signifikant reduziert, bei denen der überwiegende Teil der Betriebsdauer einen geschlos-  
20 senen Zustand des Ventils erfordert.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Ventillippe in einem planartechnischen Fertigungsschritt auf dem ersten und/oder dem zweiten Substrat ausgebildet. Diese Lösung erlaubt eine besonders kostengünstige Fertigung, da planartechnische Schritte als Teil des mikromechanischen Herstellungsprozesses vorgesehen werden können und Scheibenfer-  
25 tigung und Batchprozesse erlauben. Insbesondere wenn die Ventillippe durch eine photolithographisch strukturierte Silikonschicht gebildet wird, kann eine besonders exakte und definierte Formgebung der dichtenden Ventillippe erreicht werden.

Beispielsweise kann die Ventillippe einteilig so geformt sein, dass sie die jeweilige Durchlassöffnung umlaufend dichtend abschließt. Dies erlaubt eine besonders sichere und lang-  
30 zeitstabile Dichtung des Ventils im geschlossenen Zustand. Gleichzeitig kann auch gegen hohe Gegendrucke gedichtet werden.

In der Draufsicht kann die Ventillippe die verschiedensten Geometrien aufweisen. So wurden intensive Untersuchungen und positive Resultate für ringförmige Ventillippen durchgeführt. Selbstverständlich kann aber auch jede andere Grundfläche, beispielsweise eine rechteckige oder polygonale Struktur ebenso wie ovale und sonstige längliche Querschnitte gewählt werden.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist die Ventillippe mehrteilig ausgebildet. Es können beispielsweise eine Vielzahl säulenartiger versetzt angeordneter Dichtelemente vorgesehen sein. Diese bilden im mechanisch unbelasteten Zustand Durchlasspfade mit geringem fluidischen Widerstand aus und versperren im mechanisch belasteten Zustand den Fluidpfad durch stark erhöhten fluidischen Widerstand. Auf diese Weise kann beispielsweise auch eine verzahnte Struktur erreicht werden, indem ein Teil der Dichtelemente auf einem Substrat und ein weiterer Teil auf dem gegenüberliegenden Substrat angeordnet wird. Das Zusammenwirken von Dichtelementen auf zwei Substratseiten kann aber selbstverständlich auch im Fall umlaufender Dichtungen eingesetzt werden.

Der Vorteil einer solchen kombinierten Ausgestaltung ist die Möglichkeit, auf Fertigungstoleranzen flexibler zu reagieren und im Falle von beidseitig aufgebracht Dichtungen die Möglichkeit, eine verbesserte Abdichtung durch das Zusammenwirken zweier elastisch verformbarer Elemente zu erreichen.

Die vorteilhaften Eigenschaften der erfindungsgemäßen Mikroventilstruktur kommen besonders zum Tragen, wenn das Mikroventil mittels einer piezoelektrisch oder elektromagnetisch aktiverbaren auslenkbaren Membran zum Öffnen und Schließen des ersten und/oder zweiten Durchlasses ausgerüstet ist. Eine solche Membranstruktur lässt sich besonders einfach in den planartechnischen Fertigungsprozess integrieren und die benötigten Hübe lassen sich auf diese Weise gut erreichen.

Insbesondere Mikropumpen, die eine hohe Gegendruckstabilität, geringe Leckrate und hohe Energieeffizienz bei gleichzeitig geringer Baugröße aufweisen, können unter Verwendung des erfindungsgemäßen Mikroventils entworfen werden.

Dabei kann diese Pumpe eines oder mehrere der Mikroventile beinhalten, wie dies in der DE 10 2005 038 483 B3 beispielhaft für eine Zweikammermikropumpe gezeigt ist. Insbesondere bei der Anwendung für ein künstliches Schließmuskelsystem ist die erfindungsgemäße Mikropumpe vorteilhaft. Dabei handelt es sich um eine medizinische Schließmus-

kelprothese, deren Kernelement eine peristaltische Mikropumpe ist. Diese Pumpe pumpt ein flüssiges Medium vom sogenannten Reservoir in einen Kompressionsblähkörper oder umgekehrt.

Bei diesem z. B. aus der DE 102004018807 B4 bekannten und im Folgenden als GASS  
5 (German Artificial Sphincter System) bezeichneten System werden zwei stabile Zustände unterschieden, die schematisch in den Abbildungen 37 und 38 dargestellt sind. Im Defäkationszustand befindet sich der Großteil des Flüssigkeitsvolumens im Reservoir, wohingegen im Kontinenzzustand die Kompressionsblähkörper, welche den Enddarm verschließen, mit der Flüssigkeit gefüllt sind. In diesen beiden Zuständen sind die Ventile des Systems geschlossen, sodass kein Flüssigkeitstransfer zwischen dem Blähkörper und dem  
10 Reservoir stattfinden kann. Ein durch die Pumpe aufgebauter Druck wird im Kontinenzzustand aufrecht gehalten, während im Defäkationszustand der Rückfluss der Flüssigkeit in den Kompressionsblähkörper vermieden wird. Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Ventils kann zum einen ein normal-geschlossenes System realisiert werden, bei dem nur während  
15 der Zeiten, in denen der Übergang von einem auf den anderen Zustand erfolgt, Energie aufgewendet werden muss, während zum Aufrechterhalten des jeweils eingestellten Endzustands keine Energie mehr erforderlich ist. Weiterhin verhindern die guten Dichteigenschaften der erfindungsgemäßen Ventilanordnung unerwünschtes Übertreten der Flüssigkeit vom Kompressionsblähkörper in das Reservoir und umgekehrt und damit unerwünschte  
20 Druckverluste.

Weiterhin ist speziell bei implantierten Systemen eine lange Lebensdauer erwünscht und das erfindungsgemäße Ventil besitzt eine wesentlich längere Standzeit, da beim Schließen kein hart/harter Aufprall von funktionalen Siliziumstrukturen stattfindet, wie dies bei dem bekannten Ventil aus der DE 10 2005 038 483 B3 der Fall ist.

25 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird beim Zusammenfügen des ersten und zweiten Substrats mechanischer Druck auf die Ventillippe ausgeübt, so dass diese im geschlossenen Zustand verformt ist. Dieses Anpressen erlaubt die Herstellung eines besonders dichten normal-geschlossenen Ventils.

Um einen definierten Anpressdruck bei der Fertigung zu gewährleisten, können grundsätzlich zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt werden: Zum einen kann die feste Verbindung  
30 zwischen den beiden Substraten durch eine adhäsive Bondschicht erfolgen. In diesem Fall lässt sich über die Höhe der Bondschicht und die Höhe der Dichtstruktur der Grad der Ver-

formung, der sich in geschlossener Position einstellt, festlegen. Alternativ können die beiden Substrate aber auch durch Direktbondverfahren mit geeignetem Temperaturbudget aneinander gefügt werden. In diesem Fall kann durch eine definierte Ätzgrube oder definierte Ätzung zur Herstellung einer Kavität mit definierter Tiefe etc. an einer oder beiden Substratoberflächen der Grad der Verformung der Ventillippe im geschlossenen Zustand eingestellt werden.

Grundsätzlich ist die Verwendung von Aktoren mit großer Kraft und großem Stellweg vorteilhaft. Besonders geeignet und auch gut untersucht ist hier ein piezoelektrischer Biege- wandler. Es sind jedoch auch andere Antriebsprinzipien denkbar, beispielsweise unter Verwendung von Druckluft oder elektrostatischen oder elektromagnetischen Aktorprinzi-  
10 pielen. Jede andere Antriebsform, bei der eine flexible Membran zum Öffnen und Schließen des Ventils bewegbar ist, ist selbstverständlich für das erfindungsgemäße Mikroventil ebenfalls einsetzbar.

Weiterhin kann für verschiedene Anwendungen erforderlich sein, das erfindungsgemäße Mikroventil auch mit chemisch aggressiven oder biologisch kontaminierten Medien zu betreiben. Insbesondere kann auch das Bedürfnis nach einer Dekontamination oder Steri-  
15 lisation durch entsprechend aggressive chemische Agenzien bestehen. In diesen Fällen kann das Problem auftreten, dass die Verbindungsbereiche zwischen dem ersten und zweiten Substrat und insbesondere die Bondschicht durch die eingefüllten Medien ange-  
20 griffen werden. Im schlimmsten Fall verursacht ein solcher chemischer Angriff auf die Bondschicht den Ausfall des Bauteils.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung ist daher vorgesehen, dass alternativ oder zusätzlich zu dem elastischen Abdichten des ersten und/oder zweiten Durchlasses mindestens eine weitere elastisch verformbare Dichtstruktur an den Randbe-  
25 reichen der Ventilkammer und/oder an den Randbereichen des Bauelements nach außen angeordnet ist, durch welche insbesondere die Bondschicht vor den geförderten Medien geschützt werden kann.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine solche versiegelnde Dichtstruktur umlaufend, geschlossen, flexibel und deformierbar ausgeführt und ist beispielsweise aus einem photo-  
30 strukturierbaren Silikon hergestellt. Eine solche versiegelnde Dichtstruktur sorgt für die chemische Resistenz beispielsweise gegenüber Ätzmedien, die durch das Mikroventil oder



die Mikropumpe transportiert werden und verbessert außerdem die Einsetzbarkeit für biologische Anwendungen.

Zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung wird diese anhand der in den nachfolgenden Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Dabei werden gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen und gleichen Bauteilbezeichnungen versehen. Weiterhin können auch einzelne Merkmale oder Merkmalskombinationen aus den gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen für sich genommen eigenständige erfinderische oder erfindungsgemäße Lösungen darstellen.

Es zeigen:

- 10 **Fig. 1** eine perspektivische Ansicht eines Mikroventils in geschlossenem Zustand;
- Fig. 2** eine perspektivische Ansicht des Mikroventils aus Figur 1 im offenen Zustand;
- Fig. 3** eine Detailansicht des Ventils aus Figur 1;
- Fig. 4** eine Detailansicht des Ventils aus Figur 2;
- 15 **Fig. 5** ein Mikroventil gemäß einer weiteren Ausführungsform im geschlossenen Zustand;
- Fig. 6** eine perspektivische Ansicht des Ventils aus Figur 5 im geöffneten Zustand;
- Fig. 7** ein erstes Substrat im Ausgangszustand;
- Fig. 8** das erste Substrat nach dem Aufwachsen von Feuchtoxid und dem Abscheiden von Siliziumnitrid;
- 20 **Fig. 9** das erste Substrat nach der Strukturierung eines Photolacks;
- Fig. 10** das erste Substrat nach dem Trockenätzen;
- Fig. 11** das erste Substrat nach dem Entfernen des Photolacks;
- Fig. 12** das erste Substrat nach dem zeitkontrollierten KOH-Nassätzen;
- Fig. 13** das erste Substrat nach einem Flusssäureätzschritt;
- 25 **Fig. 14** das erste Substrat nach dem Aufdampfen einer Metallisierungsschicht;

- Fig. 15** das erste Substrat nach der photolithographischen Strukturierung aufgeschleuderten Silikons;
- Fig. 16** ein zweites Substrat im Ausgangszustand;
- Fig. 17** das zweite Substrat nach dem Aufwachsen von Feuchtoxid und dem Abscheiden von Siliziumnitrid;
- 5 **Fig. 18** das zweite Substrat nach dem Aufbringen und Strukturieren eines Photolacks;
- Fig. 19** das zweite Substrat nach einem Trockenätzschritt;
- Fig. 20** das zweite Substrat nach dem Entfernen des Photolacks;
- Fig. 21** das zweite Substrat nach dem zeitkontrollierten KOH-Nassätzen;
- 10 **Fig. 22** das zweite Substrat nach einem Flusssäureätzschritt;
- Fig. 23** das zweite Substrat nach dem Auflaminieren einer adhäsiven Bondschicht;
- Fig. 24** das zweite Substrat nach der photolithographischen Strukturierung der Bondschicht;
- Fig. 25** das erste und zweite Substrat während des Justierschritts;
- 15 **Fig. 26** das erste und zweite Substrat beim Bonden unter mechanischem Druck;
- Fig. 27** die fertiggestellte Mikroventilanordnung nach dem Anbringen eines piezoelektrischen Aktors;
- Fig. 28** eine schematische Darstellung einer Mikropumpe mit einem dichtenden Ventil;
- Fig. 29** eine schematische Darstellung einer Mikropumpe mit zwei dichtenden Ventilen;
- 20 **Fig. 30** das erste und zweite Substrat gemäß einer alternativen Ausführungsform während des Justierschritts;
- Fig. 31** das erste und zweite Substrat gemäß einer alternativen Ausführungsform beim Bonden unter mechanischem Druck;
- 25 **Fig. 32** die fertiggestellte Mikroventilanordnung gemäß einer alternativen Ausführungsform nach dem Anbringen eines piezoelektrischen Aktors;

- Fig. 33** eine Draufsicht auf eine Durchlassöffnung, die mit einer Vielzahl von Dichtele-  
menten gedichtet ist, im offenen Zustand;
- Fig. 34** eine weitere Ausführungsform unter Verwendung einer Vielzahl von Dichtelemen-  
ten im offenen Zustand;
- 5 **Fig. 35** die Anordnung der Figur 33 im geschlossenen Zustand;
- Fig. 36** die Anordnung der Figur 34 im geschlossenen Zustand;
- Fig. 37** ein Querschnitt durch eine Ventilanordnung mit Dichtelementen auf dem ersten  
und dem zweiten Substrat im geöffneten Zustand;
- Fig. 38** die Anordnung der Figur 37 im geschlossenen Zustand;
- 10 **Fig. 39** eine weitere Ventilanordnung mit einer Vielzahl von Dichtelementen mit abge-  
schrägten Wandungen;
- Fig. 40** eine schematische Darstellung eines künstlichen Schließmuskelsystems im kon-  
tinenten Zustand;
- Fig. 41** das Schließmuskelsystem der Figur 40 im Defäkationszustand.
- 15 **Figur 1** zeigt in einer geschnitten perspektivischen Ansicht ein erfindungsgemäßes Mikro-  
ventil 100 gemäß einer ersten vorteilhaften Ausführungsform. Das Mikroventil 100 weist  
eine erste Durchlassöffnung 102 und eine zweite Durchlassöffnung 104 auf, durch welche  
ein Fluid (eine Flüssigkeit oder ein Gas) ein- bzw. ausströmen kann. Beispielhaft ist hier  
angenommen, dass der Durchlass 102 ein Einlass und der Durchlass 104 ein Auslass ist.
- 20 Selbstverständlich können aber für die abzudichtenden Öffnungen auch andere Anordnun-  
gen gewählt werden. Das in Figur 1 gezeigte Mikroventil besitzt als Antriebsmechanismus  
eine Piezokeramik 106, die fest auf einer Membran 108 montiert, beispielsweise geklebt  
ist.
- In der vorliegenden Ausführungsform handelt es sich bei der Membran um eine Silizium-  
25 membran 108. Die Membran kann jedoch auch durch andere Materialien gebildet sein. Es  
kann erforderlich sein eine leitfähige Beschichtung auf der der Aktorseite zugewandten  
Membranseite aufzubringen. Ebenso ist es möglich eine strukturierte Metallisierung auf der  
Membranseite aufzubringen, die es ermöglicht den Piezoaktor direkt und ohne Drahtbond-  
verfahren über bekannte Fügeverfahren (Kleben, Bonden etc.) zu kontaktieren. Weiterhin

ist es möglich, die der Membran zugewandte Aktorseite mit einer strukturierten Metallisierung zu versehen, um diese dann auf der Membran zu montieren. Durch Anlegen einer Spannung an die Piezokeramik 106 verbiegt sich die Membran, wie dies grundsätzlich bekannt ist, und kann dabei sowohl in eine Richtung auf die erste Durchlassöffnung 102 zu, wie auch von der Durchlassöffnung weg bewegt werden.

Erfindungsgemäß ist zum Abdichten der ersten Durchlassöffnung 102 eine Ventillippe 110 vorgesehen. In der gezeigten Ausführungsform ist die Ventillippe 110 an der Membran, die in einem ersten Substrat 112 ausgebildet ist, angebracht. Die Einlassöffnung 102 und die Auslassöffnung 104 sind in dem zweiten Substrat 114 ausgebildet. Die beiden Substrate sind in der ersten Ausführungsform mittels einer adhäsiven Bondschicht 116 von genau definierter Dicke fest miteinander verbunden.

Wie aus den nachfolgenden Figuren 3 und 4 noch deutlicher wird, ist die Ventillippe 110 aus einem elastisch verformbaren Material gebildet und ist in dem in Figur 1 gezeigten geschlossenen Zustand des Ventils 100 verformt. Durch diese elastische Verformung im geschlossenen Zustand kann eine besonders sichere und dichte geschlossene Stellung des Ventils 100 erreicht werden. Bei der hier gezeigten Ausführungsform handelt es sich um ein normal-geschlossenes Ventil, d.h. die in Figur 1 gezeigte geschlossene Position ist die Ruheposition, welche die Membran 108 einnimmt, wenn die Piezokeramik 106 nicht mit einer elektrischen Spannung beaufschlagt wird. Der Vorteil eines solchen normal-geschlossenen Ventils besteht vor allem darin, dass keine Energie zum Aufrechterhalten des geschlossenen Zustands aufgewendet werden muss.

In Figur 3 und 4 ist der Bereich um Einlassöffnung 102 vergrößert dargestellt. Die erfindungsgemäße Ventillippe 110 hat eine ringförmige Gestalt und umschließt in der gezeigten Ausführungsform umlaufend die hier rechteckförmige Einlassöffnung 102. Im geschlossenen Zustand (in Figur 3 gezeigt) ist die Ventillippe 110 um einen Dickenbetrag zusammengedrückt, der sich über die Dicke der Bondschicht 116 (dargestellt in Figur 1) und die Höhe der Dichtstruktur 110 einstellen lässt. Beim Fügen des ersten und zweiten Substrats 112, 114, wird entsprechend der Dicke der Bondschicht 116 eine Stauchung des Dichtungsringes 110 hervorgerufen und somit der normal-geschlossene Charakter des Ventils 100 erreicht.

Wird die Membran 108 durch ein anliegendes elektrisches Feld an dem Piezoaktor 106 in Richtung 118 ausgelenkt, entspannt sich das Material der Dichtlippe zunächst. Bei genügend hoher Membranauslenkung entsteht schließlich zwischen Dichtlippe und gegenüberliegendem Substrat ein Spalt, durch den das Fluid fließen kann (s. Figur 4). Nach dem Be-

enden der Aktuierung kehrt die Membran 108 in ihre unaktuierte Position zurück und der Dichtungsring 110 wird erneut gestaucht und somit der Einlass 102 gegen den Auslass 104 abgedichtet. Erfindungsgemäß dämpft die weiche Ventillippe 110 den Aufprall und eine allmähliche Schädigung der Kontaktpartner wird insbesondere im dynamischen Betrieb vermieden. Je größer die Verformung im unaktuierten Zustand ist, desto größer ist auch der Leckdruck am Einlass und damit die zu erreichende Dichtigkeit. Andererseits kann mit geringeren Stauchungen eine höhere Durchflussrate im geöffneten Betrieb erreicht werden.

Zahlreiche experimentelle Untersuchungen und Computersimulationen haben gezeigt, dass die exakte Struktur der Dichtlippe 110 (in der gezeigten Ausführungsform eine ringförmige Struktur mit trapezförmigem Querschnitt) von entscheidender Bedeutung für die Strömungseigenschaften im geöffneten Zustand und die Dichtfähigkeit im geschlossenen Zustand ist. Erfindungsgemäß wird die Ventillippe durch einen planartechnischen Herstellungsprozess unter Verwendung eines photostrukturierbaren Silikons auf dem ersten Substrat 112 hergestellt.

Beispielsweise kann als Material für die Dichtlippe ein photostrukturierbares Silikon der Firma Dow Corning, WL-5150, verwendet werden. Dieses Material kann zur Herstellung von 15 bis 40  $\mu\text{m}$  dünnen Schichten oder entsprechenden freistehenden Strukturen mit Aspektverhältnissen von bis zu 1,3 verwendet werden; Strukturbreiten von  $\geq 15 \mu\text{m}$  sind dabei möglich. Die Viskosität des Ausgangsmaterials, das sich wie ein Negativphotolack verhält, beträgt 450 cPa. Das Elastizitätsmodul des prozessierten Silikons beträgt 160 MPa, die Eigenspannung auf Siliziumscheiben 2,6 MPa und die Zugfestigkeit 6 MPa. Die Dehnbarkeit wird mit 37,6% angegeben. Aus Nanoindentationsversuchen geht eine Nanoindentationshärte von 9,5 MPa und ein Nanoindentationsmodul von 300 MPa hervor. Eine thermische Stabilität bis zu 300°C ist nachgewiesen. Der thermische Ausdehnungskoeffizient beträgt  $236 \cdot 10^{-6} 1/\text{K}$ . Die Feuchteabsorption beträgt gemessen mit dem Pressure Cooker Test 0,24%. Diese Daten sind vom Hersteller in Dow Corning: „Dow Corning WL-5150 photo definable spin on silicone notes“, notes, 2006 bzw. Dow Corning: „information about Dow Corning brand low stress patternable silicone materials“, data sheet 2003, bekannt.

Wie bereits erwähnt, kann aber auch ein anderes Polymer verwendet werden, das ein E-Modul von höchstens 500 MPa im endgültig prozessierten Zustand aufweist.

Das Material wird, wie nachfolgend mit Bezug auf die Figuren 7 bis 27 noch im Detail erläutert werden wird, mit einem Standardphotolithographieprozess auf der Membraninnenfläche ausgebildet. Diese Anordnung hat den Vorteil, dass der Wafer, der das erste Substrat 112 beinhaltet, an dieser Oberfläche vollkommen plan ist und deshalb auf besonders einfache Weise durch Aufschleudern mit dem Silikon beschichtet werden kann. Selbstverständlich kann aber auch vorgesehen sein, die Dichtlippe 110 auf dem zweiten Substrat 114 auszubilden. Weiterhin können auch sowohl am ersten Substrat 112 wie auch an dem zweiten Substrat 114 Dichtstrukturen angeordnet sein, die zusammenwirken, um im geschlossenen Zustand die erforderliche Abdichtung zu erreichen.

- 10 Eine alternative Herstellungsweise des erfindungsgemäßen Mikroventils 100 wird nachfolgend mit Bezug auf die Figuren 5 und 6 erläutert. Dabei besteht der wesentliche Unterschied zu der bisher erläuterten ersten Ausführungsform darin, dass die Substrate 112, 114 ohne zusätzliche adhäsive Bondschicht 116 mittels eines Direktbondverfahrens zusammengefügt werden. Beim Siliziumdirektbonds werden, wie dies an sich bekannt ist, 15 die Siliziumsubstrate zunächst entweder thermisch oxidiert oder sie besitzen bereits eine natürliche Oxidschicht, die durch eine Oberflächenbehandlung hydrophilisiert wird. Die Oberflächen der zu verbindenden Wafer werden durch lediglich ein bis zwei Wassermoleküle umfassende Wasserschichten benetzt und miteinander in Kontakt gebracht. Die attraktive Wechselwirkung zwischen den beiden Substraten nach diesem Schritt beruht auf 20 der Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen, die aber zunächst noch schwach sind. Durch Tempern der Anordnung oder durch verschiedene chemisch physikalische Modifikationen des Prozesses kann die Bondfestigkeit die gewünschten Werte erreichen. Alternativ können auch Verfahren wie das eutektische Bonden oder das anodische Bonden eingesetzt werden, wenn entsprechend eines der beiden Substrate metallisiert wird, bzw. aus 25 einem Glas besteht. Bei allen Bondverfahren ist auf ein geeignetes Temperaturbudget zu achten, da das elastische Material in der Regel bei hohen Temperatur zerstört wird.

Bei allen Fügeverfahren, die ohne nennenswert dicke Zwischenschichten 116 auskommen, wird erfindungsgemäß eine Ätzgrube 120 in dem zweiten Substrat 114 vorgesehen. Mittels der Ätzgrubentiefe und der Höhe der elastischen Dichtstruktur kann dann der Grad der 30 Verformung der Ventillippe 110 im normal-geschlossenen Zustand eingestellt werden. Beispielsweise kann eine solche Ätzgrube durch reaktives Ionenätzen hergestellt werden.

Für einen Fachmann ist darüber hinaus klar, dass die Einstellung der Verformung der Ventillippe 110 auch durch eine Kombination aus Bondzwischen-schichtdicke und einer Ätzgrube festgelegt werden kann.

- Mit Bezug auf die Figuren 7 bis 27 soll nachfolgend die Herstellung einer erfindungsgemäßen Ventilanordnung im Detail erläutert werden. Dabei wird von einer Herstellung des Ventils 100 aus zwei Siliziumsubstraten ausgegangen. Selbstverständlich können aber entsprechend dem allgemeinen Fachwissen auch andere Materialien eingesetzt werden. Dabei wird auf dem ersten Substrat eine Membran durch KOH-Ätzung erzeugt und die spätere Außenseite dieses Substrats wird, um eine elektrische Kontaktierung der Aktoren zu ermöglichen, nacheinander mit Chrom und Gold bedampft. Auf der späteren Innenseite des ersten Substrats werden erfindungsgemäß ringförmige Ventillippen aus dem photostrukturierbaren Silikon Dow Corning WL-5150 hergestellt.
- 5
- 10 In dem zweiten Substrat werden ebenfalls mittels einer KOH-Ätzung Durchgangslöcher strukturiert, die als Ein- und Auslässe der Ventile dienen. Anschließend wird ein Trockenphotoresist (z.B. Ordyl SY300 von Elga Europe oder SU8) auf der Oberseite dieses Substrats auflaminiert und photolithographisch strukturiert. Die beiden Substrate – immer noch in Waferform – werden nunmehr in Kontakt gebracht und unter Druck gefügt. Nach dem Vereinzeln der Ventile werden diese mit Piezoaktoren bestückt. Hier kann beispielsweise ein elektrisch leitfähiges Epoxidsystem verwendet werden. Schließlich werden die Ventile mittels Drahtanschlüssen elektrisch kontaktiert.
- 15

Figur 7 zeigt das Ausgangssubstrat für das erste Substrat 112. Dabei werden beispielsweise n-Siliziumwafer mit einer (100)-Orientierung verwendet. Die Wafer haben beispielsweise einen Durchmesser von 100 mm und eine Dicke von 525 µm und sind doppelseitig poliert. Figur 8 zeigt das erste Substrat 112 nach dem Aufwachsen von 300 nm Feuchtoxid bei 950°C und dem Abscheiden von 100 nm LPCVD (low pressure chemical vapour deposition) Siliziumnitrid bei 760°C. Die Siliziumdioxidschicht ist mit dem Bezugszeichen 122, die Siliziumnitridschicht mit dem Bezugszeichen 124 versehen. In einem nächsten Schritt, der in Figur 9 illustriert ist, wird ein Photolack 126 aufgebracht und strukturiert. Mit Hilfe der Photolackschicht werden die Nitridschicht und die Siliziumdioxidschicht mittels eines Trockenätzschritts (Figur 10) strukturiert und anschließend wird der Photolack nasschemisch entfernt (Figur 11). Figur 12 stellt schematisch das zeitkontrollierte Nassätzen des Substrats 112 in 30%iger Kaliumhydroxidlauge bei 60°C dar. Durch diesen Prozessschritt wird die Membran 108 ausgebildet. Die maskierende Siliziumnitrid/Siliziumdioxidschicht 122, 124 wird anschließend, wie in Figur 13 gezeigt, mittels 10%iger Flussäure entfernt. Figur 14 zeigt das Substrat 112 nach einem Metallisierungsschritt, bei dem eine 20 nm dicke Chromschicht 128 und eine 200 nm dicke Goldschicht 130 aufgebracht werden.

20

25

30

Figur 15 zeigt die erfindungsgemäße photolithographische Strukturierung einer aufgeschleuderten Silikonschicht, um die Ventillippe 110 auf der dem Aktor gegenüberliegenden Seite der Membran 108 auszubilden. Dabei wird, wie dies grundsätzlich bekannt ist, zunächst das flüssige Vorläufermaterial aufgeschleudert, mittels eines Temperschritts getrocknet und anschließend belichtet. Das verwendete Silikonmaterial ist ein Negativphoto-  
5 lack, sodass die belichteten Gebiete quer vernetzen und später erhalten bleiben. Nach dem Belichten folgt ein weiterer Temperschritt und anschließend die Entfernung des unbelichteten Materials im Entwicklungsschritt. Ein Ausheizschritt schließt die Prozessierung ab, bei dem das Material nochmals um ca. 2% (Herstellerangabe) schrumpft.

10 Zur Herstellung des zweiten Substrats 114 werden gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel wiederum n-Silizium (100) Scheiben mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 525 µm verwendet, die doppelseitig poliert sind. Analog zu der Herstellung des ersten Substrats werden die Siliziumdioxid- und Siliziumnitridmaskierungsschichten aufgebracht und mittels eines Photolacks 126 strukturiert. In dem in Figur 21  
15 dargestellten zeitkontrollierten Nassätzschritt werden in dem zweiten Substrat 114 die Durchlassöffnungen 102 und 104 ausgebildet. Um die in Figur 1 und 2 gezeigte Variante mit adhäsiver Bondschicht 116 herzustellen, wird beispielsweise ein Trockenphotoresist auflaminiert, wobei beispielsweise eine Rollentemperatur von 100°C und eine Laminiergeschwindigkeit von 0,9 cm pro Sekunde verwendet wird. Durch eine photolithographische  
20 Strukturierung wird der spätere Innenbereich des Ventils freigelegt.

Wie aus einem Vergleich der schematischen Dickenunterschiede zwischen dem Dichtlippenmaterial 110 und der Bondschicht 116 (s. Figur 15 und Figur 24) deutlich wird, lässt sich der Grad der Verformung der Dichtlippe 110 im nicht aktuierten Zustand durch diese Schichtdickendifferenz einstellen.

25 Die Figuren 25 bis 27 zeigen die Endmontage der Ventilstruktur. Dabei werden das erste und zweite Substrat 112, 114 zunächst in Bezug aufeinander justiert, sodass die Ventillippe 110 entsprechend über der Einlassöffnung 102 angeordnet ist. Durch Ausüben einer Bondkraft von beispielsweise 60 N/cm<sup>2</sup> und einer Bondtemperatur auf ca. 95 °C werden die beiden Substrate gebondet und damit unlösbar miteinander verbunden. Figur 27 zeigt  
30 das vereinzelte Endprodukt, nachdem der Piezoaktor 106 mittels eines Leitklebers aufgeklebt und mit Drähten elektrisch kontaktiert wurde.



Für den Fall, dass eine Ätzgrube vorgesehen wird und die beiden Substrate ohne die Bondschicht 116 gefügt werden, wird nach dem Schritt der Figur 22 ein entsprechender Ätzschritt vorgenommen.

5 Abgesehen von diesen prozesstechnischen Verfahren, eine Vorspannung der Dichtlippe 110 im Ruhezustand über definierte Schichtdickenverhältnisse zu erzielen, besteht auch die Möglichkeit, das physikalische Prinzip einer mechanischen Hysterese der Membran 108 auszunutzen. Beispielsweise ist bekannt, dass piezoelektrische Aktoren eine derartige Hysterese in ihrer Verformung aufweisen. Ebenso zeigt eine kompressiv vorgespannte Membran hysteretisches Verhalten, unabhängig von der Art der Aktuierung. Auf diese 10 Weise lässt sich erreichen, dass durch entsprechende kurzzeitige Beaufschlagung des Piezoaktors mit einer elektrischen Spannung eine Restauslenkung der Membran 108 eingestellt wird, sodass die Ventillippe 110 auch nach Abschalten der Spannung in einem verformten Zustand verbleibt.

Die Figuren 28 und 29 zeigen beispielhaft zwei Mikropumpen, die unter Verwendung des 15 erfindungsgemäßen Prinzips hergestellt wurden. Dabei handelt es sich um Dreikammer-pumpen, die einen Einlass 202 mit einer ersten aktuierenden Membran 203 und einen Auslass 204 mit einer zweiten aktuierenden Membran 205 haben. Eine dritte auslenkbare Membran 207 dient der Volumenverdrängung, wie dies allgemein bekannt ist. Die erfindungsgemäße Ventillippe 210 kann dabei nur am Einlass 202 oder aber auch am Einlass 20 20 und Auslass 202, 204 vorgesehen sein.

In den Figuren 30 bis 32 ist eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der vorliegenden erfindungsgemäßen Ventilanordnung 100 gezeigt. Dabei ist zusätzlich zu der Ventillippe 110 eine weitere versiegelnde Dichtstruktur 111 vorgesehen, welche die Verbindung zwischen dem ersten und zweiten Substrat 112, 114 sowohl in Richtung auf die Ventilkammer 25 wie auch zu den äußeren Randbereichen des Bauteils hin fluiddicht abschließt.

Auch die versiegelnde Dichtstruktur 111 kann so dimensioniert werden, dass sie bei dem Fügeschritt der Figur 31 komprimiert wird, um einen zuverlässigen Schutz vor eindringenden Fluiden zu gewährleisten. Durch eine solche elastische Dichtung 111 entsteht, wie in Figur 32 gezeigt, eine umlaufende, geschlossene Versiegelung, welche das Bondmaterial 30 116 vor chemischen und/oder biologischen Substanzen schützt. Dabei kommt das Fluid, welches das Ventil benetzt, lediglich mit Silizium und Silikon in Berührung. Dies ist insbesondere bei Verwendung eines Adhesivbondlayers von großer Bedeutung.

Die erfindungsgemäße Ausbildung einer Ventillippe beschränkt sich jedoch nicht nur auf einteilige ring- oder rahnenförmige Ventillippen 110, wie sie bisher gezeigt wurden. Alternativ können auch mehrteilige Geometrien verwendet werden. Die Gestaltung ist derart ausgeführt, dass bei vertikalem Druck auf die Dichtstruktur eine möglichst ausgeprägte laterale Verformung eintritt (siehe Figur 33). So können z.B. säulenförmige Ventillippen-  
5 elemente 132, die hier einen wiederum ringförmigen Querschnitt aufweisen, um die Durchlassöffnung 102 angeordnet werden. Zwei Beispiele für eine solche mehrteilige Ausführungsform sind in den Figuren 33 und 34 im jeweils geöffneten Zustand gegeben. In dem geöffneten Zustand kann das Fluid 134 mit relativ geringem fluidischen Widerstand zwischen den Dichtelementen 132 hindurchströmen. Senkt sich jedoch die Membran und werden die Dichtelemente 132 verformt, kommen sie einander so nahe, dass dem Fluid der Durchgang versperrt ist. Dies ist in den Figuren 35 und 36 gezeigt. Dabei sind z.B. in  
10 Figur 36 eine Vielzahl derartiger Ventillippenelemente 132 versetzt angeordnet, sodass eine zuverlässige Abdichtung des Ventils im geschlossenen Zustand gesichert ist.

15 Wie mit Bezug auf die Figuren 37 bis 39 deutlich wird, müssen die Dichtelemente nicht nur auf einem Substrat angeordnet sein, sondern können ineinander verzahnt auch auf dem ersten und dem zweiten Substrat 112, 114 angeordnet sein. Insbesondere wenn man ab-  
geschrägte Seitenwände vorsieht, wie dies in Figur 39 deutlich wird, kann eine besonders effiziente Abdichtung erreicht werden, ohne hierfür einen zu großen Hub der Membran zu  
20 benötigen. Eine weitere vorteilhafte Ausführung entsteht bei der Verwendung von mehrteiligen Säulenelementen, mit vorzugsweise lateraler Verformung, welche mit einem gewissen Abstand zueinander auf dem oberen und unteren Substrat positioniert werden können. Die Dichtwirkung entsteht durch laterales Fügen der oberen und unteren Säulenelemente unter Druckbelastung.

25 In Figur 40 und 41 schließlich ist ein vorteilhafter Anwendungsbereich für eine Mikropumpe gemäß der erfindungsgemäßen Prinzipien dargestellt. Ein künstliches Ringmuskelsystem 300 nach hydraulischem Prinzip, das z. B. zum Verschließen eines Enddarms 302 verwendet werden kann, umfasst einen auf einem Trägerring 304 angebrachten Kompressionsblähkörper 306 und ein Reservoir 308. Über die erfindungsgemäße Mikropumpe 310 ist  
30 der Kompressionsblähkörper 306 mit dem Reservoir 308 fluidisch verbunden. Der in Figur 40 gezeigte Zustand ist der sogenannte Kontinenzzustand, in dem der Großteil des Fluids sich in dem Kompressionsblähkörper befindet. Die erfindungsgemäße Anordnung erlaubt nun, dass ohne Aufwendung von Energie und mit großer Zuverlässigkeit ein Rückfluss des Fluids aus dem Kompressionsblähkörper 306 in das Reservoir 308 verhindert wird.

Durch entsprechende Ansteuerung der Pumpe 310 kann für eine Defäkation das Fluid in das Reservoir 308 gepumpt werden und nach Abschluss dieses Vorganges wieder zurück in den Kompressionsblähkörper 306.

5 Die erfindungsgemäße Pumpenstruktur hat für das künstliche Schließmuskelsystem 300 den Vorteil, dass nur für die Übergangsvorgänge zwischen dem in Figur 40 und Figur 41 gezeigten Zuständen Energie aufgewendet werden muss. Zum Beibehalten der jeweiligen Zustände wird keine Energiezufuhr benötigt und die Pumpe dichtet jeweils zuverlässig.

10 Durch Vermeiden hart/harter Kontakte zwischen beweglichen und stationären Elementen des erfindungsgemäßen Ventils kann außerdem die Langzeitstabilität der Anordnung signifikant erhöht werden.

**PATENTANSPRÜCHE**

1. Mikroventil mit einem ersten Substrat (112) und einem zweiten Substrat (114), die miteinander unlösbar verbunden sind, um eine steuerbare Fluid-Fließstrecke auszubilden, und  
5 mit mindestens einem ersten Durchlass (102) und mindestens einem zweiten Durchlass (104),  
wobei das Mikroventil (100) zum Abdichten gegenüber einem Fluid mindestens eine elastisch verformbare Dichtstruktur (110, 111) aufweist.
2. Mikroventil nach Anspruch 1, wobei die Dichtstruktur zum Abdichten des ersten und/oder zweiten Durchlasses (102, 104) mindestens eine elastisch verformbare Ventillippe (110) aufweist.  
10
3. Mikroventil nach Anspruch 2, wobei die Ventillippe (110) bei geschlossenem Ventil unter Verformung steht.
4. Mikroventil nach einem der Ansprüche 1 bis 3, das weiterhin mindestens ein Aktorelement (106, 108) zum gesteuerten Öffnen und Schließen des ersten und/oder zweiten Durchlasses (102, 104) umfasst.  
15
5. Mikroventil nach Anspruch 4, wobei das Aktorelement (106, 108) zum Öffnen des ersten und/oder zweiten Durchlasses (102, 104) betätigbar ist, um ein normal-geschlossenes Mikroventil zu bilden.
6. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Dichtstruktur weiterhin eine versiegelnde Dichtstruktur (111) zum Versiegeln eines Verbindungsbereichs zwischen dem ersten Substrat (112) und dem zweiten Substrat (114) aufweist.  
20
7. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Dichtstruktur (110, 111) in einem planartechnischen Fertigungsschritt auf dem ersten und/oder auf dem zweiten Substrat (114, 112) ausgebildet ist.  
25
8. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Dichtstruktur (110, 111) durch ein Polymer gebildet ist, das ein E-Modul von höchstens 500 MPa hat.

9. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Dichtstruktur (110, 111) durch eine photolithographisch strukturierte Silikonschicht gebildet ist.
- 5 10. Mikroventil nach einem der Ansprüche 2 bis 9, wobei die Ventillippe (110) einteilig so ausgebildet ist, dass sie den ersten und/oder zweiten Durchlass (102, 104) umlaufend dichtend umschließt.
11. Mikroventil nach einem der Ansprüche 6 bis 10, wobei die versiegelnde Dichtstruktur (111) einteilig so ausgebildet ist, dass sie eine Ventilkammer umlaufend dichtend umschließt.
- 10 12. Mikroventil nach einem der Ansprüche 6 bis 11, wobei die versiegelnde Dichtstruktur (111) einteilig so ausgebildet ist, dass sie einen äußeren Randbereich des Mikroventils umlaufend dichtend begrenzt.
- 15 13. Mikroventil nach einem der Ansprüche 2 bis 12, wobei die Ventillippe (110) mehrteilig ausgebildet ist und eine Vielzahl säulenartiger, versetzt angeordneter Dichtelemente (132) aufweist, die im mechanisch unbelasteten Zustand Durchlasspfade mit geringem fluidischem Widerstand ausbilden und im mechanisch belasteten und verformten Zustand den Fluidpfad durch stark erhöhten fluidischen Widerstand versperren.
- 20 14. Mikroventil nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das weiterhin eine durch piezoelektrische oder elektrostatische Aktuierung auslenkbare Membran (108) zum Öffnen und Schließen des ersten und/oder zweiten Durchlasses (102, 104) umfasst.
15. Mikropumpe mit mindestens einem Mikroventil (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
- 25 16. Hydraulischer Muskel oder Schwellkörper mit einem Kompressionsblähkörper (306) und einem Reservoir (308), die fluidisch miteinander verbunden sind, wobei das Fluid zwischen dem Kompressionsblähkörper und dem Reservoir mittels einer Mikropumpe (200, 310) gemäß Anspruch 11 bewegbar ist.
17. Verfahren zum Herstellen eines Mikroventils mit den folgenden Schritten:  
30 Ausbilden eines ersten und eines zweiten Substrates;

Ausbilden mindestens einer ersten und einer zweiten Durchlassöffnung in dem zweiten und/oder ersten Substrat;

Aufbringen und Strukturieren einer elastisch verformbaren Dichtstruktur auf dem ersten Substrat und/oder auf dem zweiten Substrat zum Ausbilden mindestens einer Ventillippe und/oder mindestens einer versiegelnden Dichtstruktur;

Zusammenfügen des ersten und zweiten Substrats, so dass die mindestens eine Ventillippe die mindestens eine ersten und/oder Durchlassöffnung in einer geschlossenen Position abdichtet.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die Ventillippe einteilig so ausgebildet ist, dass sie die Durchlassöffnung umlaufend dichtend umschließt.

19. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die Ventillippe mehrteilig ausgebildet ist und eine Vielzahl säulenartiger, versetzt angeordneter Dichtelemente aufweist, die im mechanisch unbelasteten Zustand Durchlasspfade mit geringem fluidischem Widerstand ausbilden und im mechanisch belasteten Zustand den Fluidpfad durch stark erhöhten fluidischen Widerstand versperren.

20. Verfahren nach Anspruch 19, wobei eine erste Anzahl der Dichtelemente an dem ersten Substrat und eine zweite Anzahl der Dichtelemente an dem zweiten Substrat angeordnet wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, wobei in dem Schritt des Zusammenfügens des ersten und zweiten Substrats auf die Ventillippe mechanischer Druck in Richtung des Zusammenfügens ausgeübt wird, so dass die Ventillippe bei geschlossenem Ventil verformt ist, um ein normal-geschlossenes Mikroventil zu bilden.

22. Verfahren nach Anspruch 21, wobei vor dem Schritt des Zusammenfügens des ersten und zweiten Substrats auf mindestens einem der beiden Substrate eine Bondschicht aufgebracht wird, deren Schichtdicke zumindest teilweise einen Grad der Verformung der Ventillippe in der geschlossenen Position einstellt.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, wobei vor dem Schritt des Zusammenfügens des ersten und zweiten Substrats an mindestens einem der beiden Substrate eine Vertiefung angebracht wird, deren Tiefe zumindest teilweise einen Grad der Verformung der Ventillippe in der geschlossenen Position einstellt.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 23, wobei der Schritt des Aufbringens und Strukturierens der elastisch verformbaren Schicht umfasst:  
Aufschleudern und photolithographisches Strukturieren einer Silikonschicht.
- 5 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 24, wobei in dem Schritt des Ausbildens eines ersten und eines zweiten Substrates auf dem zweiten oder ersten Substrat eine Membran als Teil eines Aktorelements hergestellt wird.
26. Verfahren nach Anspruch 25, wobei die Membran vor der Inbetriebnahme des Mikroventils ausgelenkt wird, sodass die Ventillippe in einer Ruheposition des Aktorelements verformt ist, um ein normal-geschlossenes Mikroventil zu bilden.
- 10 27. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 oder 26, weiterhin umfassend den Schritt:  
Aufbringen eines piezoelektrischen Aktors zum Aktuieren der Membran.
- 15 28. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27, wobei das Aktorelement einen piezoelektrischen oder elektromagnetischen Aktor mit hysteretischem Verhalten aufweist.

1/11

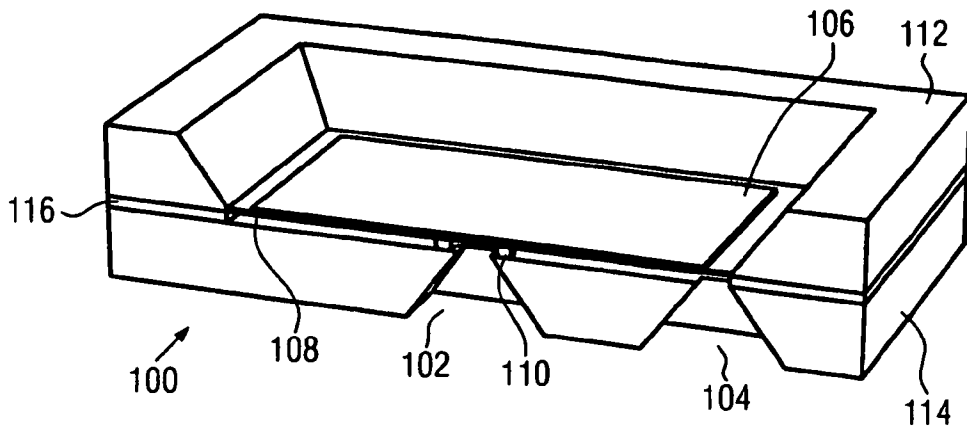


FIG. 1

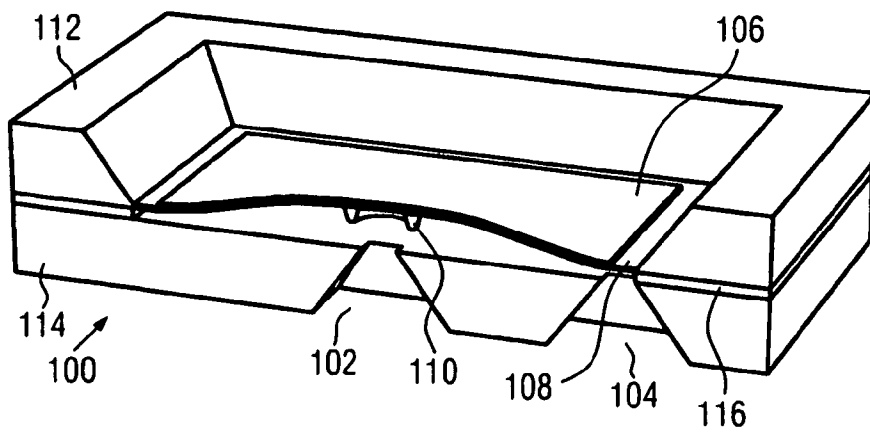


FIG. 2



2/11

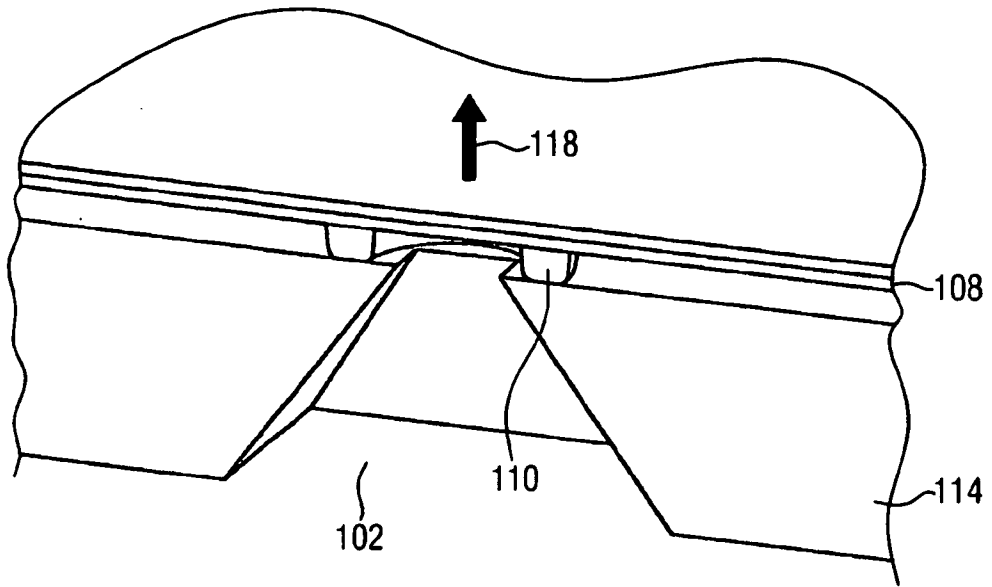


FIG. 3

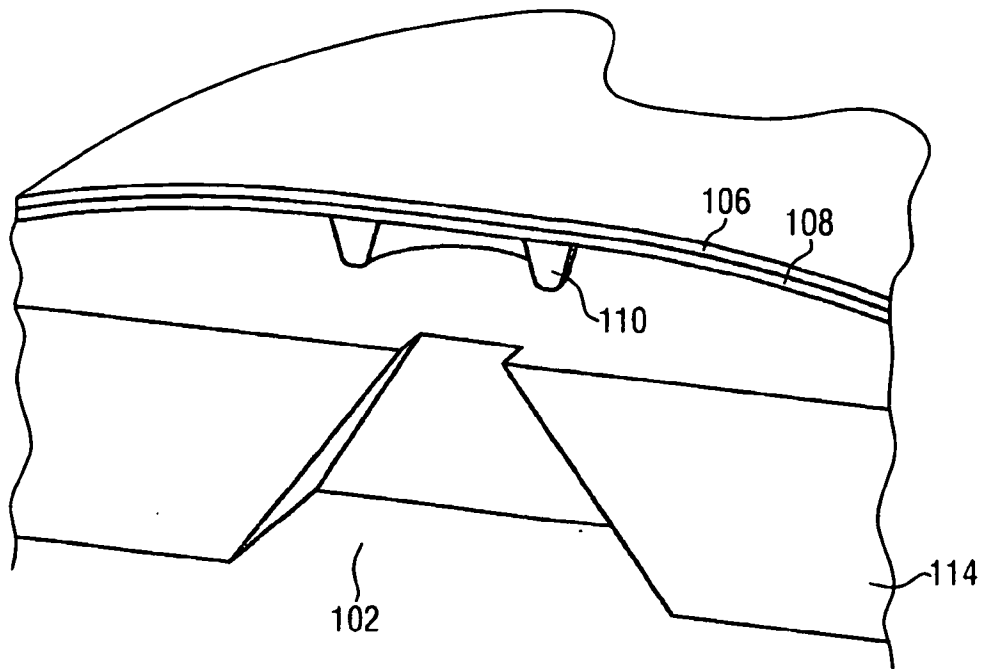


FIG. 4

3/11

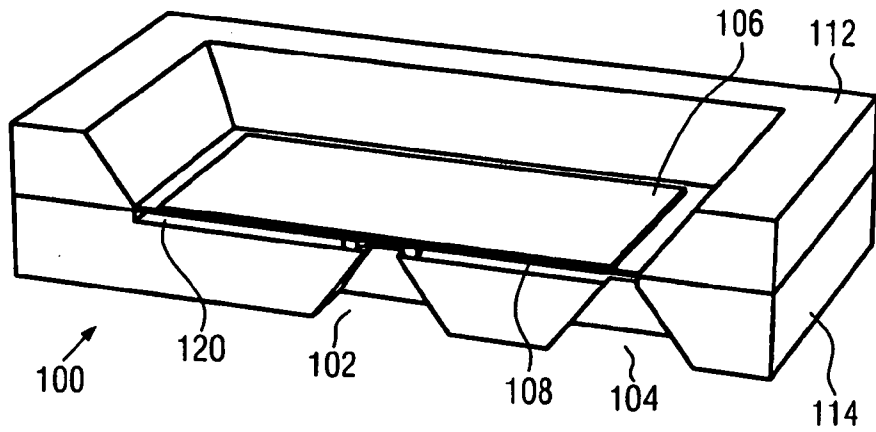


FIG. 5

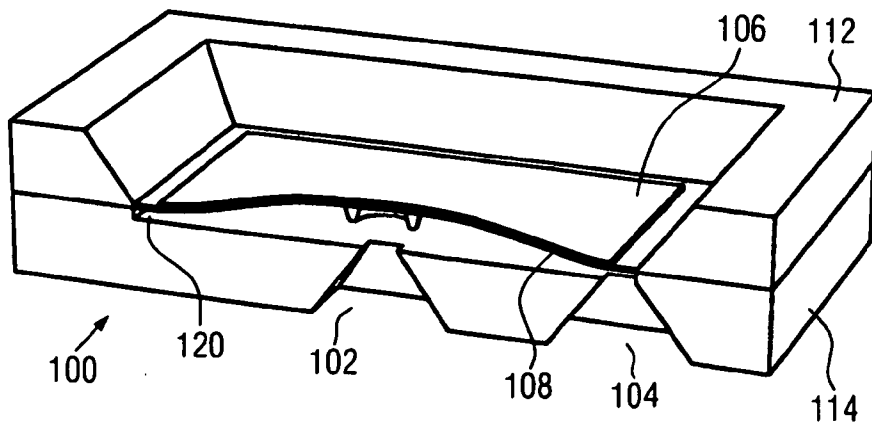
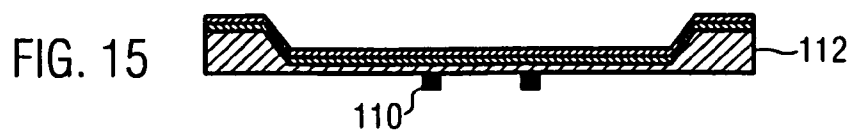
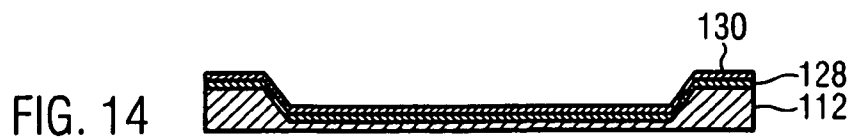
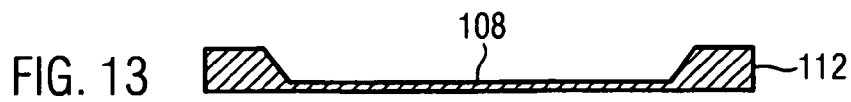
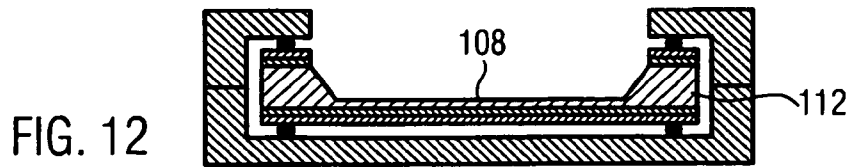
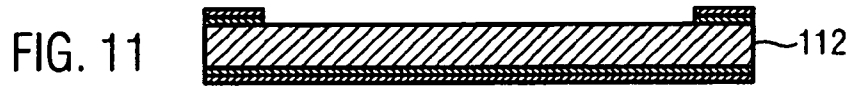
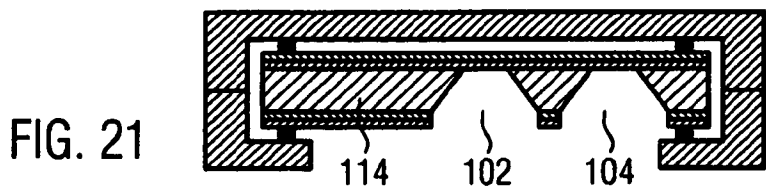
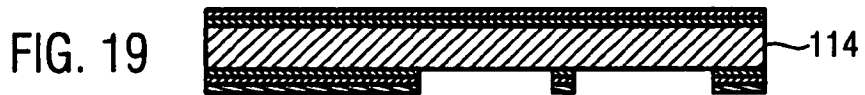
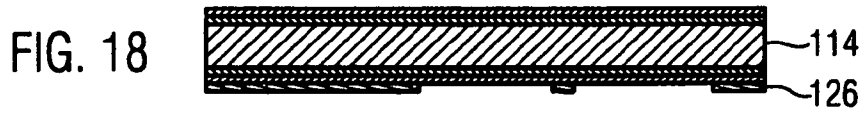


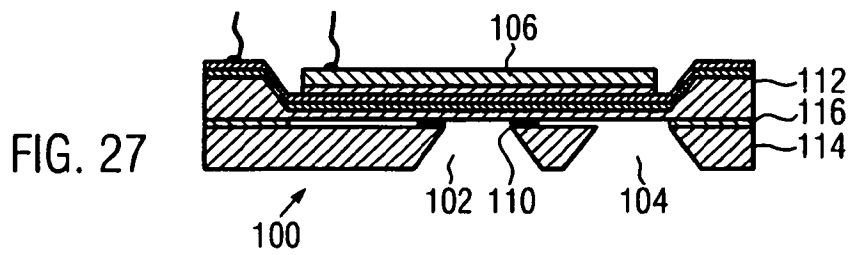
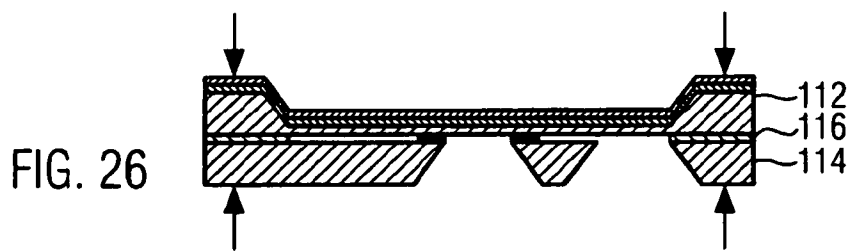
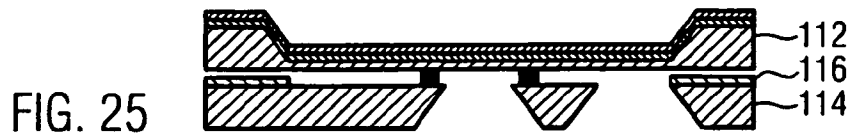
FIG. 6

4/11



5/11





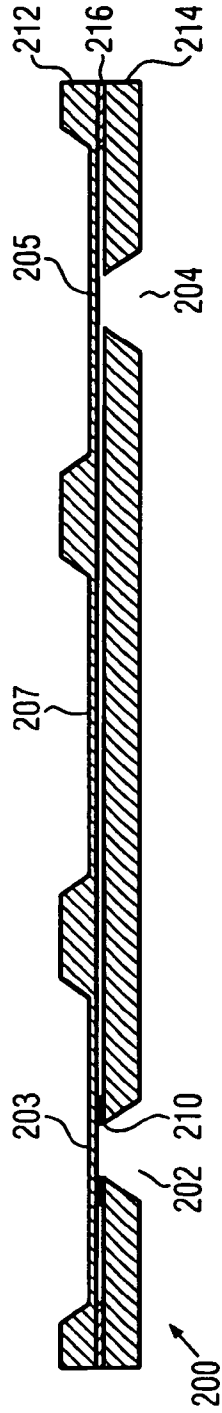


FIG. 28

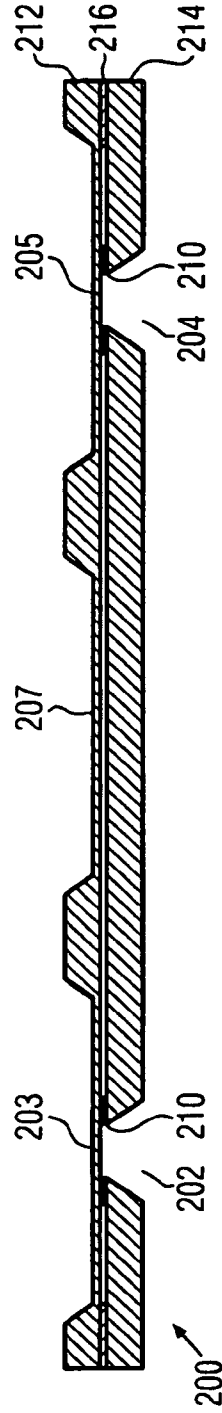
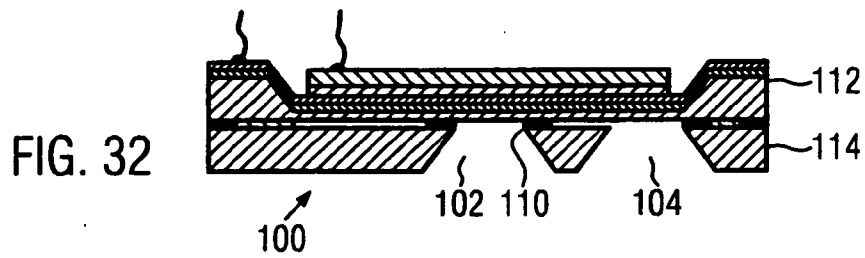
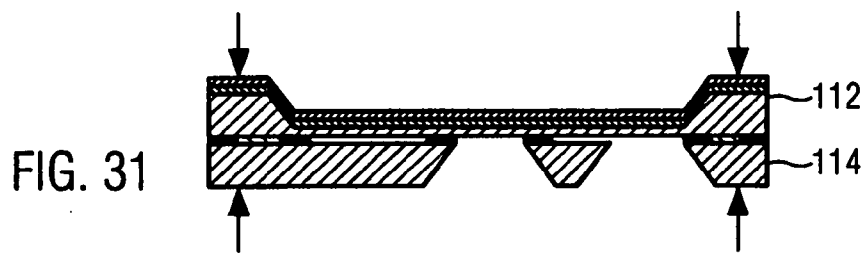
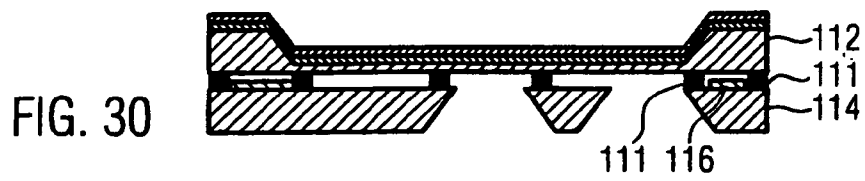


FIG. 29



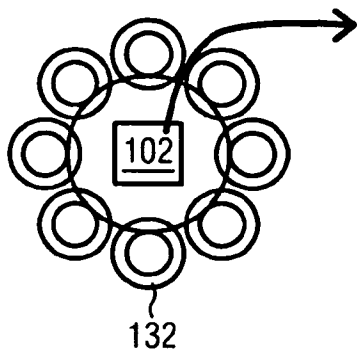


FIG. 33

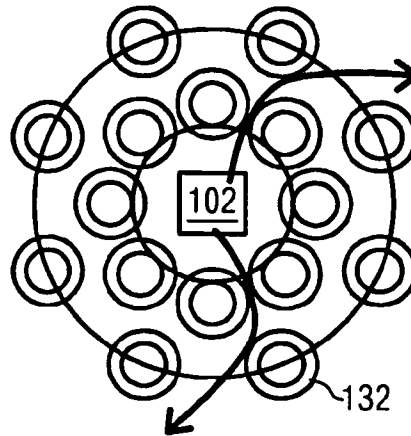


FIG. 34

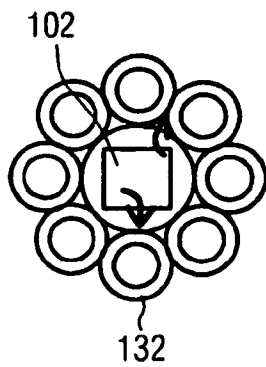


FIG. 35

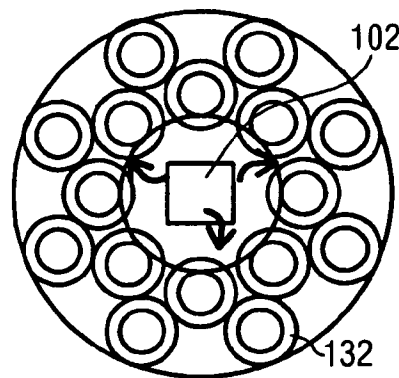


FIG. 36



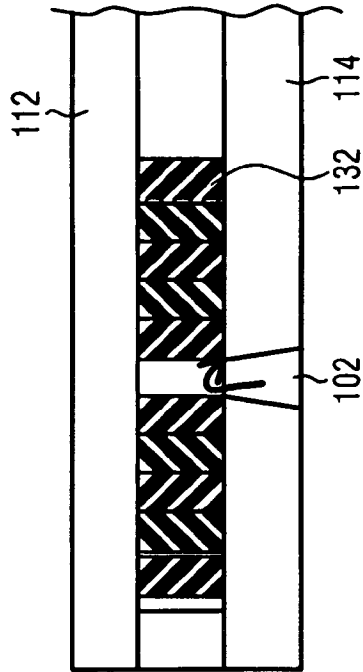


FIG. 38

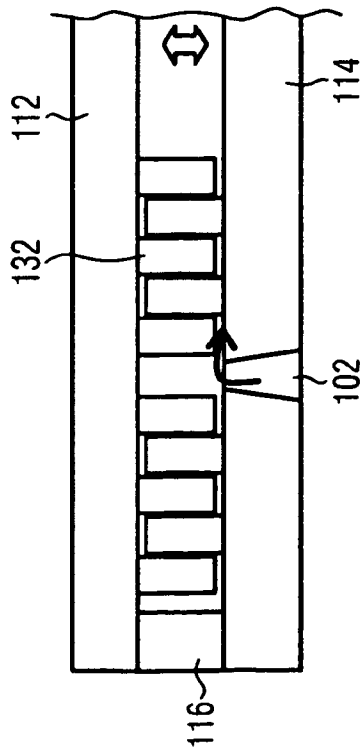


FIG. 37

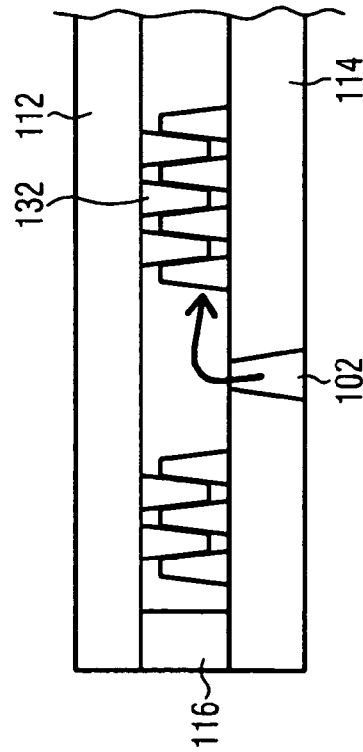
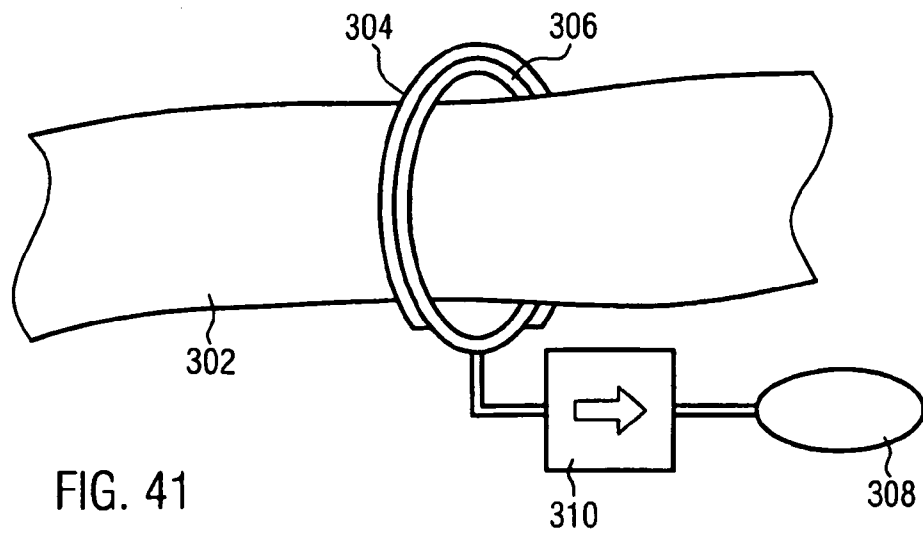
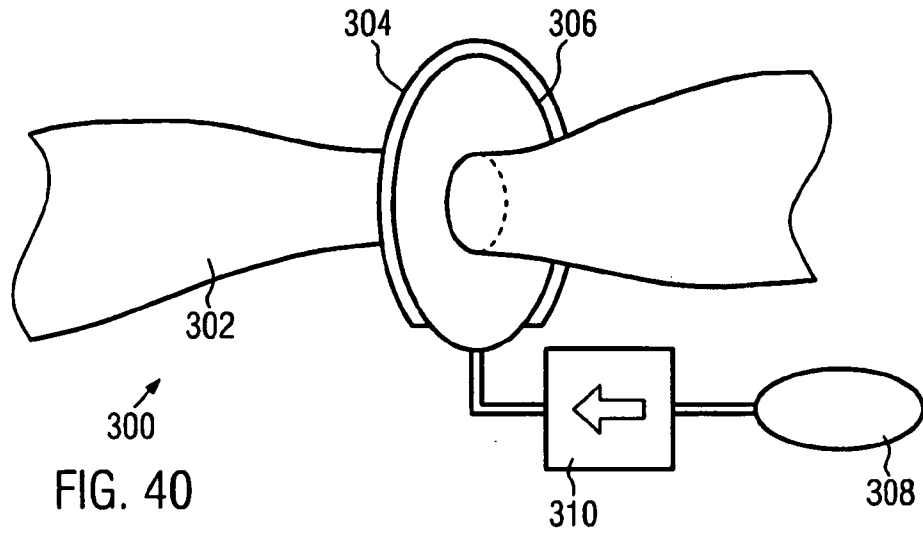


FIG. 39



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2011/001743

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. F16K99/00  
ADD.  
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)  
F16K

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 practical, 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.
A	WO 91/02169 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]) 21 February 1991 (1991-02-21) cited in the application page 6 - page 8; figures 1,2 -----	1,4-12, 14,17, 18,21-28
A	US 5 333 831 A (BARTH PHILLIP W [US] ET AL) 2 August 1994 (1994-08-02)  column 6, line 11 - column 7, line 61; figures 5-18 -----	1,2,4,5, 10,14, 17,18,21
A	CH 683 793 A5 (WESTONBRIDGE INT LTD [IE]) 13 May 1994 (1994-05-13) column 2, line 58 - column 3, line 59; figures 1-4 -----	1,4,5, 14,15,17
	----- -/--	

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 document 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  1 July 2011	Date of mailing of the international search report  11/07/2011
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Christensen, Jakob
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2011/001743

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2004 018807 A1 (UNIVERSITAETSKLINIKUM FREIBURG [DE]) 24 November 2005 (2005-11-24) paragraph [0007] - paragraph [0014]; figure -----	1,16

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/001743

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9102169	A1	21-02-1991	DE 3926647 A1 14-02-1991
			EP 0438570 A1 31-07-1991
			JP 4501303 T 05-03-1992
			US 5142781 A 01-09-1992
-----			
US 5333831	A	02-08-1994	DE 4402096 A1 25-08-1994
			JP 6241346 A 30-08-1994
-----			
CH 683793	A5	13-05-1994	NONE
-----			
DE 102004018807	A1	24-11-2005	AT 399510 T 15-07-2008
			WO 2005099618 A2 27-10-2005
			DK 1734895 T3 10-11-2008
			EP 1734895 A2 27-12-2006
			ES 2309755 T3 16-12-2008
			US 2007213580 A1 13-09-2007
-----			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. F16K99/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F16K		
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.
A	WO 91/02169 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]; MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]) 21. Februar 1991 (1991-02-21) in der Anmeldung erwähnt Seite 6 - Seite 8; Abbildungen 1,2 -----	1,4-12, 14,17, 18,21-28
A	US 5 333 831 A (BARTH PHILLIP W [US] ET AL) 2. August 1994 (1994-08-02)  Spalte 6, Zeile 11 - Spalte 7, Zeile 61; Abbildungen 5-18 -----	1,2,4,5, 10,14, 17,18,21
A	CH 683 793 A5 (WESTONBRIDGE INT LTD [IE]) 13. Mai 1994 (1994-05-13) Spalte 2, Zeile 58 - Spalte 3, Zeile 59; Abbildungen 1-4 -----	1,4,5, 14,15,17
	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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" älteres Dokument, 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 anderen 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	
1. Juli 2011	11/07/2011	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Christensen, Jakob	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 10 2004 018807 A1 (UNIVERSITAETSKLINIKUM FREIBURG [DE]) 24. November 2005 (2005-11-24) Absatz [0007] - Absatz [0014]; Abbildung -----	1,16

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/001743

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9102169	A1	21-02-1991	DE 3926647 A1 14-02-1991
			EP 0438570 A1 31-07-1991
			JP 4501303 T 05-03-1992
			US 5142781 A 01-09-1992
-----			
US 5333831	A	02-08-1994	DE 4402096 A1 25-08-1994
			JP 6241346 A 30-08-1994
-----			
CH 683793	A5	13-05-1994	KEINE
-----			
DE 102004018807	A1	24-11-2005	AT 399510 T 15-07-2008
			WO 2005099618 A2 27-10-2005
			DK 1734895 T3 10-11-2008
			EP 1734895 A2 27-12-2006
			ES 2309755 T3 16-12-2008
			US 2007213580 A1 13-09-2007
-----			