

(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
4. März 2004 (04.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/018875 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F04B 43/04**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/009352

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. August 2003 (22.08.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102 38 600.5 22. August 2002 (22.08.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT**

**ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E. V.** [DE/DE]; Hansastrasse 27 c,
80686 München (DE).

(72) Erfinder; und

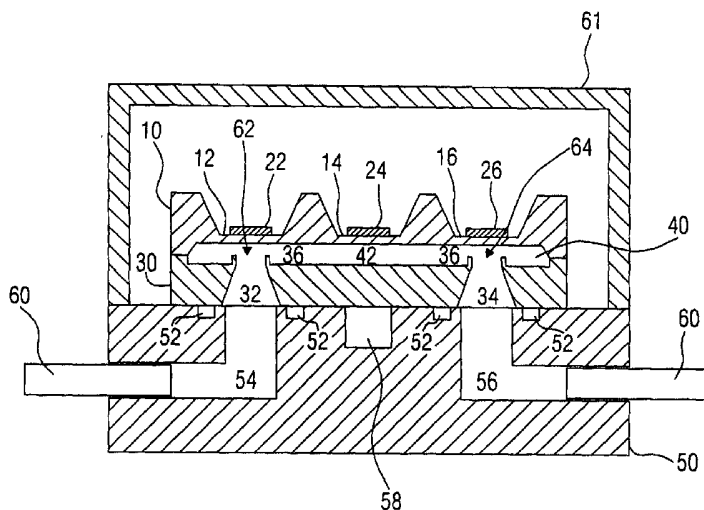
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RICHTER, Martin** [DE/DE]; Brahmstrasse 6, 81677 München (DE).
WACKERLE, Martin [DE/DE]; Grafinger Strasse 20,
83565 Tegernau (DE). **CONGAR, Yücel** [DE/DE];
Emil-Nolde-Str. 20, 50170 Kerpen (DE). **NISSEN, Julia**
[DE/DE]; Daiserstrasse 27, 81371 München (DE).

(74) Anwälte: **SCHOPPE, Fritz** usw.; Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, Postfach 71 08 67, 81458 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PERISTALTIC MICROPUMP

(54) Bezeichnung: PERISTALTISCHE MIKROPUMPE



(57) **Abstract:** The invention concerns a peristaltic micropump comprising a first membrane zone (12) provided with a first piezoelectric actuator (22) for actuating said first membrane zone (12), a second membrane zone (14) provided with a second piezoelectric actuator (24) for actuating said second membrane zone (14), and a third membrane zone (16) provided with a third piezoelectric actuator (26) for actuating said third membrane zone (16). A pump body (30) forms, with the first membrane zone (12), one first valve (62) whereof the passage orifice (32) is open when the first membrane zone (12) is not actuated and is closed when the first membrane zone (12) is operating. The pump body (30) forms, with the second membrane zone (14), a pumping cavity (42) whereof the volume decreases when the second membrane zone (14) is operating. Said pump body (30) forms, with the third membrane zone (16), a second valve (64) whereof the passage orifice (34) is open when the third membrane zone (16) is not actuated and is closed when the third membrane zone (16) is operating. The first and second valves (62, 64) are in fluid connection with the pumping cavity (42).

(57) **Zusammenfassung:** Eine peristaltische Mikropumpe umfaßt einen ersten Membranbereich (12) mit einem ersten Piezoaktor (22) zum Betätigen des ersten Membranbereichs (12), einen zweiten Membranbereich (14) mit einem zweiten Piezoaktor (24) zum Betätigen des zweiten Membranbereichs (14)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/018875 A1



(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

und einen dritten Membranbereich (16) mit einem dritten Piezoaktor (26) zum Betätigen des dritten Membranbereichs (16). Ein Pumpenkörper (30) bildet zusammen mit dem ersten Membranbereich (12) ein erstes Ventil (62), dessen Durchlaßöffnung (32) im unbetätigten Zustand des ersten Membranbereichs (12) offen ist und dessen Durchlaßöffnung (32) durch Betätigen des ersten Membranbereichs (12) verschließbar ist. Der Pumpenkörper (30) bildet zusammen mit dem zweiten Membranbereich (24) eine Pumpkammer (42), deren Volumen durch Betätigen des zweiten Membranbereichs (14) verringerbare ist. Der Pumpenkörper (30) bildet zusammen mit dem dritten Membranbereich (14) ein zweites Ventil (64), dessen Durchlaßöffnung (34) im unbetätigten Zustand des dritten Membranbereichs (16) offen ist und dessen Durchlaßöffnung (34) durch Betätigen des dritten Membranbereichs (14) verschließbar ist. Das erste und das zweite Ventil (62, 64) sind mit der Pumpkammer (42) fluidmäßig verbunden.

Peristaltische Mikropumpe

Beschreibung

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Mikropumpe und insbesondere eine Mikropumpe, die nach einem peristaltischen Pumpprinzip arbeitet.

- 10 Mikropumpen, die nach einem peristaltischen Pumpprinzip arbeiten, sind aus dem Stand der Technik bekannt. So befaßt sich der Artikel „Design and simulation of an implantable medical drug delivery system using microelectromechanical systems technology“ , von Li Cao u.a., Sensors and Actua-
- 15 tors, A94 (2001), Seiten 117 bis 125, mit einer peristaltischen Mikropumpe, die einen Einlaß, drei Pumpkammern, drei Siliziummembranen, drei normal-geschlossene aktive Ventile, drei Piezostapelbetätigungsglieder aus PZT, Mikrokanäle zwischen den Pumpkammern und einen Auslaß aufweist. Die
- 20 drei Pumpkammern sind von gleicher Größe und sind in einen Siliziumwafer geätzt.

- Aus der WO 87/07218 ist ebenfalls eine peristaltische Mikropumpe bekannt, die drei Membranbereiche in einer durchge-
- 25 henden Substratfläche aufweist. In einer Trägerschicht, die das Substrat und eine zugeordnete Stützschrift trägt, ist ein Pumpkanal ausgebildet, der mit einem Fluidvorrat in Verbindung steht. In dem Pumpkanal ist im Bereich eines Einlaßventiles und eines Auslaßventiles jeweils eine Quer-
- 30 rippe gebildet, auf der ein zugeordneter Membranabschnitt im unbetätigten Zustand aufliegt, um im unbetätigten Zustand das Einlaßventil und das Auslaßventil zu verschließen. Zwischen den dem Einlaßventil und dem Auslaßventil zugeordneten separat betätigbaren Membranbereichen ist der
- 35 dritte Membranbereich, der ebenfalls separat betätigbar ist, angeordnet. Durch Betätigen des dritten Membranbereichs wird das Kammervolumen zwischen den beiden Ventilbereichen erhöht. Somit kann durch ein entsprechendes zeit-

lich gesteuertes Ansteuern der drei Membranbereiche eine peristaltische Pumpwirkung zwischen Einlaßventil und Auslaßventil erreicht werden. Gemäß der WO 87/07218 besteht das Aktorelement aus einem Dreierverbund aus Metallmembran, durchgehender keramischer Schicht und segmentierter Elektrodenanordnung. Die keramische Schicht muß dabei segmentiert polarisiert werden, was technisch schwierig ist. Ein derartiges segmentiertes Piezo-Biegeelement ist somit aufwendig und erlaubt nur geringe Hubvolumina, so daß eine derartige Pumpe nicht blasentolerant und selbstansaugend arbeiten kann.

Aus der DE 19719862 A1 ist eine, nicht auf dem peristaltischen Prinzip arbeitende, Mikromembranpumpe bekannt, bei der eine an eine Pumpkammer angrenzende Pumpmembran durch eine Piezoaktor betätigbar ist. Ein Fluideinlaß und ein Fluidauslaß der Pumpkammer sind jeweils mit passiven Rückschlagventilen versehen. Gemäß dieser Schrift ist das Kompressionsverhältnis der Mikropumpe, d. h. das Verhältnis von Hubvolumen der Pumpmembran zu Gesamtpumpkammervolumen abhängig von dem maximalen von der Ventilgeometrie und der Ventilbenetzung abhängigen Druckwert, der notwendig ist, um die Ventile zu öffnen, eingestellt, um einen blasentoleranten, selbstansaugenden Betrieb der dortigen Mikromembranpumpe zu ermöglichen.

Neben den oben genannten Piezoaktoren wäre es ferner möglich, Mikropumpen unter Verwendung elektrostatischer Aktoren zu realisieren, wobei elektrostatische Aktoren jedoch nur sehr geringe Hübe ermöglichen. Alternativ wäre auch die Realisierung pneumatischer Antriebe möglich, was jedoch einen hohen Aufwand hinsichtlich einer externen Pneumatik sowie der dafür erforderlichen Schaltventile notwendig macht. Pneumatische Antriebe stellen somit aufwendige, teure und platzintensive Verfahren dar, um eine Membranauslenkung zu implementieren.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine peristaltische Mikromembranpumpe zu schaffen, die einfach aufgebaut werden kann und die einen blasentoleranten, selbstansaugenden Betrieb ermöglicht.

5

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine peristaltische Mikropumpe gemäß Anspruch 1 gelöst.

Die vorliegende Erfindung schafft eine peristaltische Mikropumpe mit folgenden Merkmalen:

10 einem ersten Membranbereich mit einem ersten Piezoaktor zum Betätigen des ersten Membranbereichs;

15 einem zweiten Membranbereich mit einem zweiten Piezoaktor zum Betätigen des zweiten Membranbereichs;

20 einem dritten Membranbereich mit einem dritten Piezoaktor zum Betätigen des dritten Membranbereichs; und

einem Pumpenkörper, der zusammen mit dem ersten Membranbereich ein erstes Ventil bildet, dessen Durchlaßöffnung im unbetätigten Zustand des ersten Membranbereichs offen ist und dessen Durchlaßöffnung durch Betätigen des ersten Membranbereichs verschließbar ist, der zusammen mit dem zweiten Membranbereich eine Pumpkammer bildet, deren Volumen durch Betätigen des zweiten Membranbereichs verringerbar ist, und der zusammen mit dem dritten Membranbereich ein zweites Ventil bildet, dessen Durchlaßöffnung im unbetätigten Zustand des dritten Membranbereichs offen ist und dessen Durchlaßöffnung durch Betätigen des dritten Membranbereichs verschließbar ist,

35 wobei das erste und das zweite Ventil mit der Pumpkammer fluidmäßig verbunden sind.

Die vorliegende Erfindung schafft somit eine peristaltische Mikropumpe, bei der das erste und das zweite Ventil im un-

betätigten Zustand offen sind, und bei der das erste und das zweite Ventil durch Bewegen der Membran zu dem Pumpenkörper hin verschlossen werden können, während das Volumen der Pumpkammer durch Bewegen des zweiten Membranbereichs ebenfalls zu dem Pumpenkörper hin verringerbar ist.

Durch diesen Aufbau ermöglicht die erfindungsgemäße peristaltische Mikropumpe die Realisierung blasentoleranter, selbstansaugender Pumpen, selbst wenn auf einer Membran angeordnete Piezoelemente als Piezoaktor verwendet werden. Alternativ können erfindungsgemäß als Piezoaktoren auch sogenannte Piezo-Stapel (Piezo-Stacks) verwendet werden, die jedoch gegenüber Piezo-Membranwandlern nachteilig dahingehend sind, daß sie groß und teuer sind, Probleme bezüglich der Verbindungstechnik zwischen Stapel und Membran und Probleme bei der Justage der Stapel liefern und somit insgesamt mit einem höheren Aufwand verbunden sind.

Um sicherzustellen, daß die erfindungsgemäße peristaltische Mikropumpe blasentolerant und selbstansaugend arbeiten kann, wird dieselbe vorzugsweise derart dimensioniert, daß das Verhältnis aus Hubvolumen und Totvolumen größer als ein Verhältnis aus Förderdruck und Atmosphärendruck ist, wobei das Hubvolumen das durch die Pumpmembran verdrängbare Volumen ist, das Totvolumen das zwischen Einlaßöffnung und Auslaßöffnung der Mikropumpe verbleibende Volumen, wenn die Pumpmembran betätigt ist und eines der Ventile geschlossen und eines geöffnet ist, ist, der Atmosphärendruck maximal etwa 1050 hPa (Worst-Case-Betrachtung) beträgt, und der Förderdruck der in dem Fluidkammerbereich der Mikropumpe, d. h. in der Druckkammer, notwendige Druck ist, um eine Flüssigkeits/Gas-Grenzfläche an einer Stelle, die eine Flussengstelle in der Mikroperistaltikpumpe, d.h. zwischen der Pumpkammer und der Durchlaßöffnung des ersten oder zweiten Ventils, einschließlich dieser Durchlaßöffnung, darstellt, vorbei zu bewegen.

Genügt das Verhältnis aus Hubvolumen und Totvolumen, das als Kompressionsverhältnis bezeichnet werden kann, der obigen Bedingung, so ist sichergestellt, daß die peristaltische Mikropumpe blasentolerant und selbstansaugend arbeitet. Dies gilt sowohl bei Einsatz der peristaltischen Mikropumpe zum Fördern von Flüssigkeiten, wenn eine Gasblase, in der Regel eine Luftblase, in den Fluidbereich der Pumpe gelangt, als auch beim Einsatz der erfindungsgemäßen Mikropumpe als Gaspumpe, wenn unbeabsichtigterweise Feuchtigkeit aus dem zu fördernden Gas kondensiert und somit eine Gas/Flüssigkeits-Grenzfläche in dem Fluidbereich der Pumpe auftreten kann.

Kompressionsverhältnisse, die der obigen Bedingung genügen, können erfindungsgemäß beispielsweise realisiert werden, indem das Volumen der Pumpkammer größer ausgeführt wird als das von zwischen den jeweiligen Ventilmembranbereichen und gegenüberliegenden Pumpenkörperabschnitten gebildeten Ventilkammern. Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen kann dies realisiert werden, indem der Abstand zwischen Membran und Oberfläche und Pumpenkörperoberfläche im Bereich der Pumpkammer größer ist als im Bereich der Ventilkammern.

Eine weitere Erhöhung des Kompressionsverhältnisses einer erfindungsgemäßen peristaltischen Mikropumpe kann erreicht werden, indem die Kontur einer in dem Pumpenkörper strukturierten Pumpkammer an die Biegelinie der Pumpmembran, d. h. die gebogene Kontur derselben im betätigten Zustand, angepaßt wird, so daß die Pumpmembran im betätigten Zustand im wesentlichen das gesamte Volumen der Pumpkammer verdrängen kann. Ferner können auch die Konturen von in dem Pumpenkörper gebildeten Ventilkammern entsprechend an die Biegelinie der jeweils gegenüberliegenden Membranabschnitte angepaßt sein, so daß im Optimalfall im geschlossenen Zustand der betätigte Membranbereich im wesentlichen das gesamte Ventilkammervolumen verdrängt.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beigelegten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- 5 Fig. 1 eine schematische Querschnittansicht eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen peristaltischen Mikropumpe in einem Fluidsystem;
- 10 Fig. 2a bis 2f schematische Darstellungen zur Erläuterung eines Piezo-Membranwandlers;
- 15 Fig. 3a bis 3c schematische Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung der Begriffe Hubvolumen und Totvolumen;
- 20 Fig. 4 ein schematisches Diagramm, das die Volumen/Druck-Zugstände während eines Pumpzyklusses zeigt;
- 25 Fig. 5a bis 5c schematische Darstellungen zur Erläuterung des Begriffs Förderdruck;
- 30 Fig. 6a bis 6c schematische Ansichten eines alternativen Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Mikropumpe;
- 35 Fig. 7 eine vergrößerte Darstellung eines Bereichs von Fig. 6b;
- 30 Fig. 8 eine vergrößerte schematische Querschnittsdarstellung eines modifizierten Bereichs von Fig. 7;
- 35 Fig. 9a, 9b und 9c schematische Darstellungen möglicher Pumpkammergestaltungen;
- 35 Fig. 10a und 10b schematische Darstellungen eines alternativen Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Mikropumpe;

- Fig. 11 bis 13 schematische Querschnittansichten vergrößerter Bereiche von Modifikationen des in den Fig. 10a und 10b gezeigten Beispiels;
- 5 Fig. 14 eine schematische Querschnittansicht eines weiteren alternativen Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Mikropumpe;
- 10 Fig. 15 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Mehrfach-Mikropumpe; und
- Fig. 16 eine schematische Darstellung eines alternativen Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Mikropumpe.
- 15

Ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen peristaltischen Mikropumpe, die in ein Fluidsystem integriert ist, ist in Fig. 1 gezeigt. Die Mikromembranpumpe umfaßt ein Membranelement 10, das drei Membranabschnitte 12, 14 und 16 aufweist. Jeder der Membranabschnitte 12, 14 und 16 ist mit einem Piezoelement 22, 24 bzw. 26 versehen und bildet zusammen mit demselben einen Piezo-Membranwandler. Die Piezoelemente 22, 24, 26 können auf die jeweiligen Membranabschnitte 25 geklebt sein oder können durch Siebdruck oder andere Dickschichttechniken auf der Membran gebildet sein.

Das Membranelement ist an äußeren Bereichen desselben umlaufend an einen Pumpenkörper 30 gefügt, so daß zwischen demselben eine fluiddichte Verbindung besteht. In dem Pumpenkörper 30 sind zwei Fluiddurchlässe 32 und 34 gebildet, von denen einer, je nach Pumprichtung, einen Fluideinlaß und der andere einen Fluidauslaß darstellt. Bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Fluiddurchlässe 35 32, 34 jeweils von einer Dichtlippe 36 umgeben.

Ferner sind bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel die Unterseite des Membranelements 10 und die Oberseite des

Pumpenkörpers 30 strukturiert, um eine Fluidkammer 40 zwischen denselben zu definieren.

Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel sind sowohl das Membranelement 10 als auch der Pumpenkörper 30 in einer jeweiligen Siliziumscheibe implementiert, so daß dieselben beispielsweise durch Silicon Fusion Bonding aneinander gefügt sein können. Wie Fig. 1 zu entnehmen ist, weist das Membranelement 10 in der Oberseite desselben drei Ausnehmungen und in der Unterseite desselben eine Ausnehmung auf, um die drei Membranbereiche 12, 14 und 16 zu definieren.

Durch die Piezoelemente bzw. Piezokeramiken 22, 24 und 26 sind die Membranabschnitte 12, 14 und 16 jeweils in Richtung auf den Pumpenkörper 30 zu betätigbar, so daß der Membranabschnitt 12 zusammen mit dem Fluiddurchlaß 32 ein Einlaßventil 62 darstellt, das durch Betätigen des Membranabschnitts 12 verschlossen werden kann. In gleicher Weise stellen der Membranabschnitt 16 und der Fluiddurchlaß 34 zusammen ein Auslaßventil 64 dar, das durch Betätigen des Membranabschnitts 16 mittels des Piezoelements 26 geschlossen werden kann. Schließlich ist durch Betätigen des Piezoelements 24 das Volumen des zwischen den Ventilen angeordneten Pumpkammerbereichs 42 reduzierbar.

Bevor auf die Funktionsweise der in Fig. 1 gezeigten peristaltischen Mikropumpe eingegangen wird, sei zunächst kurz die Fluidsystemumgebung, in die die Mikropumpe gemäß Fig. 1 eingebaut ist, beschrieben. Die Pumpe ist dabei mit dem Pumpenkörper 30 auf einen Trägerblock 50 geklebt, wobei optional, wie in Fig. 1 gezeigt ist, Nuten 52 in dem Trägerblock 50 vorgesehen sein können, um überschüssigen Kleber aufzunehmen. Die Nuten 52 können beispielsweise in dem Trägerblock 50 gebildete Fluidkanäle 54 und 56 umgebend vorgesehen sein, um überschüssigen Kleber aufzunehmen und zu verhindern, daß derselbe in die Fluidkanäle 54, 56 bzw. die Fluiddurchlässe 32, 34 gelangt. Der Pumpenkörper 30 ist derart an den Trägerblock geklebt bzw. gefügt, daß der Flu-

iddurchlaß 32 in Fluidverbindung mit dem Fluidkanal 54 und daß der Fluiddurchlaß in Fluidverbindung mit dem Fluidkanal 56 ist. Zwischen den Fluidkanälen 54 und 56 kann in dem Trägerblock 50 ein weiterer Kanal 58 als Querleckschutz vorgesehen sein. An den äußeren Enden der Fluidkanäle 54, 56 sind Anschlußstücke 60 vorgesehen, die beispielsweise zum Anbringen von Schlauchleitungen an das in Fig. 1 gezeigte Fluidsystem dienen können. Ferner ist in Fig. 1 schematisch ein Gehäuse 61 gezeigt, das beispielsweise unter Verwendung einer Klebeverbindung an den Trägerblock 50 gefügt ist, um einen Schutz für die Mikropumpe zu liefern und die Piezoelemente feuchtedicht abzuschließen.

Zur Beschreibung eines Peristaltikpumpenzyklusses der in Fig. 1 gezeigten Pumpe sei zunächst von einem Ausgangszustand ausgegangen, bei dem das Einlaßventil 62 geschlossen ist, die dem zweiten Membranabschnitt 14 entsprechende Pumpmembran im unbetätigten Zustand ist und das Auslaßventil 64 offen ist. Ausgehend von diesem Zustand wird durch Betätigen des Piezoelements 24 die Pumpmembran 14 nach unten bewegt, was dem Druckhub entspricht, wodurch das Hubvolumen durch das offene Auslaßventil in den Auslaß, d. h. den Fluidkanal 56 gefördert wird. Das Komprimieren der Pumpkammer 42 während des Druckhubes um das Hubvolumen führt zu einem Überdruck in der Pumpkammer, der sich durch die Fluidbewegung durch das Auslaßventil abbaut.

Ausgehend von diesem Zustand wird das Auslaßventil 64 geschlossen und das Einlaßventil 62 geöffnet. Anschließend wird die Pumpmembran 14 nach oben bewegt, indem die Betätigung des Piezoelements 24 beendet wird. Die dadurch expandierende Pumpkammer führt zu einem Unterdruck in der Pumpkammer, der wiederum ein Einsaugen von Fluid durch das geöffnete Einlaßventil 62 zur Folge hat. Anschließend wird das Einlaßventil 62 geschlossen und das Auslaßventil 64 geöffnet, so daß wieder der oben genannte Ausgangszustand erreicht ist. Durch den beschriebenen Pumpzyklus würde somit ein Fluidvolumen, das im wesentlichen dem Hubvolumen des

Membranabschnitts 14 entspricht, von dem Fluidkanal 54 zu dem Fluidkanal 56 gepumpt.

Erfindungsgemäß werden als Piezoaktoren vorzugsweise Piezo-
5 Membranwandler bzw. Piezo-Biegewandler verwendet. Einen optimalen Hub verrichtet ein solcher Biegewandler, wenn die lateralen Abmessungen der Piezokeramik ca. 80% der darunterliegenden Membran entsprechen. Je nach lateralen Abmessungen der Membran, die typischerweise Seitenlängen von 4
10 mm bis 12 mm aufweisen kann, können somit Auslenkungen von mehreren 10 µm Hub und damit Volumenhubbe im Bereich von 0,1 µl bis 10 µl erreicht werden. Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung weisen Volumenhubbe zumindest in einem solchen Bereich auf, da bei einem derartigen
15 Volumenhub vorteilhaft blasentolerante Peristaltikpumpen realisiert werden können.

Zu beachten ist bei Piezo-Membranwandlern dabei, daß diese einen effektiven Hub nur nach unten, d. h. zu dem Pumpenkörper hin ermöglichen. Diesbezüglich wird auf die schematischen Darstellungen der Fig. 2a bis 2f verwiesen. Fig. 2a zeigt eine Piezokeramik 100, die auf beiden Oberflächen derselben mit Metallisierungen 102 versehen ist. Die Piezokeramik umfaßt vorzugsweise einen großen d31-Koeffizienten
25 und ist in Richtung des Pfeils 104 in Fig. 2a polarisiert. Gemäß Fig. 2a liegt keine Spannung an der Piezokeramik an.

Zur Erzeugung eines Piezo-Membranwandlers ist nun die in Fig. 2a gezeigte Piezokeramik 100 fest auf einer Membran
30 106 montiert, beispielsweise geklebt, wie in Fig. 2b gezeigt ist. Bei der dargestellten Membran handelt es sich dabei um eine Siliziummembran, wobei die Membran jedoch durch beliebige andere Materialien gebildet sein kann, solange sie elektrisch kontaktiert werden kann, beispielsweise als metallisierte Siliziummembran, als Metallfolie oder
35 als durch einen Zweikomponentenspritzguß leitfähig gemachte Kunststoffmembran.

Wird nun an die Piezokeramik eine positive Spannung, d. h. eine Spannung in Polarisationsrichtung, $U > 0$, angelegt, so kontrahiert die Piezokeramik, siehe Fig. 2c. Durch die feste Verbindung der Piezokeramik 100 zur Membran 106 wird
5 durch diese Kontraktion die Membran 106 nach unten ausgelenkt, wie durch Pfeile in Fig. 2d verdeutlicht ist.

Um eine Bewegung der Membran nach oben zu bewirken, müßte eine negative Spannung, d. h. eine Spannung entgegen der
10 Polarisationsrichtung, an die Piezokeramik angelegt werden, wie in Fig. 2e gezeigt ist. Dies führt jedoch zu einer Depolarisation der Piezokeramik schon bei geringen Feldstärken in Gegenrichtung, wie in Fig. 2e durch einen Pfeil 108 angedeutet ist. Typische Depolarisationsfeldstärken von
15 Bleizirkonattitanat-Keramiken (PZT-Keramiken) liegen beispielsweise bei -4000 V/cm . Somit kann eine Bewegung der Membran nach oben, d. h. in Richtung der Piezokeramik, nicht realisiert werden, wie in Fig. 2f angedeutet ist.

20 Trotz dieses Nachteils dahingehend, daß aufgrund der unsymmetrischen Natur des Piezoeffektes mit dem Zweischicht-Silizium-Piezo-Biegewandler, d. h. dem Piezo-Membranwandler, nur eine aktive Bewegung nach unten, d. h. in Richtung zu dem Pumpenkörper hin, realisiert werden kann, stellt die
25 Verwendung eines solchen Biegewandlers eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar, da diese Form von Wandlern zahlreiche Vorteile aufweist. Zum einen besitzen sie ein schnelles Ansprechverhalten, in der Größenordnung von ca. 1 Millisekunde bei einem geringen Energieverbrauch. Ferner ist eine Skalierung mit Abmessungen von
30 Piezokeramik und Membran über große Bereiche möglich, so daß ein großer Hub ($10 \dots 200 \mu\text{m}$) und eine große Kraft (Schalldrücke 10^4 Pa bis 10^6 Pa) möglich sind, wobei bei einem größeren Hub die erreichbare Kraft abnimmt und umgekehrt. Ferner ist durch die Membran das zu schaltende Medium von der Piezokeramik getrennt.
35

Sollen die erfindungsgemäßen peristaltischen Mikropumpen bei Anwendungen zum Einsatz kommen, bei denen ein blasentolerantes, selbstansaugendes Verhalten erforderlich ist, müssen die Mikroperistaltikpumpen entworfen werden, um einer Designregel hinsichtlich des Kompressionsverhältnisses, das das Verhältnis von Hubvolumen zu Totvolumen definiert, zu genügen. Zur Definition der Begriffe Hubvolumen ΔV und Totvolumen V_0 sei zunächst auf die Fig. 3a bis 3b verwiesen.

10

Fig. 3a zeigt schematisch einen Pumpenkörper 200 mit einer oberen Oberfläche desselben, in der eine Pumpkammer 202 strukturiert ist. Oberhalb des Pumpenkörpers 200 ist schematisch eine Membran 204 gezeigt, die mit einem Einlaßventil-Piezoaktor 206, einem Pumpkammer-Piezoaktor 208 und einem Auslaßventil-Piezoaktor 210 versehen ist. Durch die Piezoaktoren 206, 208 und 210 können jeweilige Bereiche der Membran 204 nach unten, d. h. in Richtung auf den Pumpenkörper 200 zu, bewegt werden, wie durch Pfeile in Fig. 3a gezeigt ist. Durch die Linie 212 ist in Fig. 3a ferner der der Pumpkammer 200 gegenüberliegende Abschnitt der Membran 204, d. h. die Pumpmembran, in ihrem ausgelenkten, d. h. durch den Pumpkammer-Piezoaktor 208 betätigten, Zustand gezeigt. Die Differenz des Pumpkammervolumens zwischen dem nicht ausgelenkten Zustand der Membran 204 und dem ausgelenkten Zustand 212 der Membran 204 stellt das Hubvolumen ΔV der Pumpmembran dar.

Gemäß Fig. 3a können die unter dem Einlaßventil-Piezoaktor 206 und unter dem Auslaßventil-Piezoaktor 210 angeordneten Kanalbereiche 214 und 216 durch ein jeweiliges Betätigen des entsprechenden Piezoaktors geschlossen werden, indem die jeweiligen Membranbereiche auf den darunterliegenden Bereichen des Pumpenkörpers aufliegen. Dabei sind die Figuren 3a bis 3c lediglich grobe schematische Darstellungen, wobei die jeweiligen Elemente so ausgestaltet sind, daß ein Schließen jeweiliger Ventilöffnungen möglich ist. Somit

35

sind wiederum ein Einlaßventil 62 und ein Auslaßventil 64 gebildet.

In Fig. 3b ist eine Situation gezeigt, bei der das Volumen der Pumpkammer 202 durch Betätigen des Pumpkammer-Piezoaktors 208 reduziert ist und bei der das Einlaßventil 62 geschlossen ist. Die in Fig. 3b gezeigte Situation stellt somit den Zustand nach dem Ausstoßen einer Fluidmenge aus dem Auslaßventil 64 dar, wobei das Volumen des zwischen dem geschlossenen Einlaßventil 62 und der Durchlaßöffnung des offenen Auslaßventils 64 verbleibenden Fluidbereichs das Totvolumen V_0 bezüglich des Druckhubes darstellt, wie durch den schraffierten Bereich in Fig. 3b gezeigt ist. Das Totvolumen bezüglich eines Saughubes, bei dem das Einlaßventil 62 geöffnet und das Auslaßventil 64 geschlossen ist, ist durch das Volumen des zwischen dem geschlossenen Auslaßventil 64 und der Durchlaßöffnung des geöffneten Einlaßventils 62 verbleibenden Fluidbereichs definiert, wie in Fig. 3c durch den schraffierten Bereich gezeigt ist.

An dieser Stelle sei angemerkt, daß das jeweilige Totvolumen von dem jeweils geschlossenen Ventil bis zu der Durchlaßöffnung, an der im Moment einer jeweiligen Volumenänderung der Pumpkammer ein wesentlicher Druckabfall stattfindet, definiert ist. Bei einem symmetrischen Aufbau von Einlaßventil und Auslaßventil, wie er für eine bidirektionale Pumpe bevorzugt ist, sind die Totvolumen V_0 für den Druckhub und den Saughub identisch. Ergeben sich aufgrund einer Unsymmetrie für einen Druckhub und einen Saughub unterschiedliche Totvolumina, so sei im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung im folgenden davon ausgegangen, daß zur Ermittlung des jeweiligen Kompressionsverhältnisses das größere der beiden Totvolumina verwendet wird.

35

Das Kompressionsverhältnis der Mikroperistaltikpumpe berechnet sich aus dem Hubvolumen ΔV und dem Totvolumen V_0 wie folgt:

$$\varepsilon = \Delta V / V_0.$$

Gl.1

Im folgenden wird von einer Worst-Case-Betrachtung ausgegangen, bei der der gesamte Pumpenbereich mit einem komprimierbaren Fluid (Gas) gefüllt ist. Die bei einem peristaltischen Pumpzyklus, wie er oben beschrieben wurde, in der Peristaltikpumpe auftretenden Volumen/Druck-Zustände sind in dem Diagramm von Fig. 4 gezeigt. Dabei sind in Fig. 4 jeweils sowohl die isothermen Volumen/Druck-Kennlinien als auch die adiabatischen Volumen/Druck-Kennlinien gezeigt, wobei im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung im folgenden von isothermen Verhältnissen, wie sie bei langsamen Zustandsänderungen auftreten, ausgegangen wird.

Zu Beginn eines Druckhubes herrscht in dem zwischen Einlaßventil und Auslaßventil existierenden Fluidbereich ein Druck p_0 , während dieser Bereich ein Volumen $V_0 + \Delta V$ aufweist. Ausgehend von diesem Zustand bewegt sich die Druckmembran während des Druckhubes um das Hubvolumen ΔV nach unten, wodurch sich ein Überdruck p_u in dem Fluidbereich, d. h. der Pumpkammer, bildet, so daß bei einem Volumen von V_0 ein Druck von $p_0 + p_u$ herrscht. Der Überdruck in der Pumpkammer baut sich ab, indem das Luftvolumen ΔV durch den Auslaß gefördert wird, bis ein Druckausgleich stattgefunden hat. Dieses Ausströmen von Fluid aus dem Auslaß entspricht in Fig. 4 dem Sprung von der oberen Kurve zu der unteren Kurve. Am Ende des Druckausgleichs herrscht somit ein Zustand p_0, V_0 , der dem Ausgangspunkt eines Saughubes entspricht. Ausgehend von diesem Zustand wird die Membran von dem Pumpenkörper wegbewegt, d. h. das Volumen der Druckkammer expandiert um das Hubvolumen ΔV . Somit wird zu dem in Fig. 4 als „Saughub nach Expansion“ bezeichneten Zustand $p_0 - p_u, V_0 + \Delta V$ gewechselt. Aufgrund des herrschenden Unterdrucks wird ein Fluidvolumen ΔV durch die Einlaßöffnung angesaugt, bis ein Druckausgleich stattgefunden hat. Das Einströmen von Fluid in die Pumpkammer entspricht in Fig. 4 dem Sprung von der unteren Kurve zu der oberen Kurve. Nach

dem Druckausgleich herrscht somit der Zustand p_0 , $V_0 + \Delta V$, der wiederum dem Ausgangspunkt eines Druckhubes entspricht.

Bei den obigen allgemeinen Zustandsbetrachtungen, die zur
5 allgemeinen Erläuterung der Erfindung dienen, wurden jeweils die Volumenverdrängungen des Einlaßventiles und Auslaßventiles zwischen den jeweiligen Saughüben und Druckhüben vernachlässigt.

10 Um eine Blasentoleranz erreichen zu können, muß der Überdruck p_u beim Druckhub, bzw. der Unterdruck p_u beim Saughub, einen Mindestwert beim Druckhub überschreiten bzw. beim Saughub unterschreiten. Anders ausgedrückt muß der Druckbetrag beim Druckhub und beim Saughub einen Mindest-
15 wert, der als Förderdruck p_f bezeichnet werden kann, überschreiten. Dieser Förderdruck ist der Druck in der Druckkammer, der mindestens herrschen muß, um eine Flüssigkeits/Gas-Grenzfläche an einer Stelle, die eine Flußengstelle zwischen der Pumpkammer und der Durchlaßöffnung
20 des ersten oder zweiten Ventils, einschließlich dieser Durchlaßöffnung, darstellt, vorbei zu bewegen. Dieser Förderdruck kann abhängig von der Größe dieser Flußengstelle wie folgt ermittelt werden.

25 Es müssen Kapillarkräfte überwunden werden, wenn freie Oberflächen, beispielsweise in Form von Gasblasen (beispielsweise Luftblasen) in den Fluidbereichen innerhalb der Pumpe bewegt werden. Der Druck, der aufgebracht werden muß, um solche Kapillarkräfte zu überwinden, hängt von der Ober-
30 flächenspannung der Flüssigkeit an der Flüssigkeit/Gas-Grenzfläche und dem maximalen Krümmungsradius r_1 und dem minimalen Krümmungsradius r_2 des Meniskus dieser Grenzfläche ab:

$$35 \quad \Delta p = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad \text{Gl.2}$$

Der zu erbringende Förderdruck ist durch Gleichung 2 definiert, und zwar an der Stelle innerhalb des Strömungspfades der Mikroperistaltikpumpe, an der die Summe der inversen Krümmungsradien r_1 und r_2 einer Flüssigkeits/Gas-Grenzfläche mit einer gegebenen Oberflächenspannung maximal ist.
5 Diese Stelle entspricht der Flußengstelle.

Zur Veranschaulichung sei beispielsweise ein Kanal 220 (Fig. 5a) mit einer Breite d betrachtet, wobei die Höhe des Kanals ebenfalls d betrage. Der Kanal 220 besitzt an beiden Kanalenden 222, beispielsweise unter der Ventilmembran oder der Pumpmembran, eine Querschnittsänderung. In Fig. 5a ist der Kanal vollständig mit einer Flüssigkeit 224 gefüllt, die in Richtung des Pfeils 226 fließt.
10

15 Gemäß Fig. 5b trifft nun eine Luftblase 228 auf die Querschnittsänderung am Eingang des Kanals 220. Dabei tritt ein Benetzungswinkel θ auf. Der Benetzungswinkel θ definiert einen maximalen Krümmungsradius r_1 und einen minimalen Krümmungsradius r_2 eines durch den Kanal 220 zu bewegendes Meniskus 230, wobei bei gleicher Höhe und Breite des Kanals $r_1 = r_2$ gilt. In Fig. 5c ist die Situation dargestellt, wenn die Luftblase, bzw. der Meniskus 230 die Querschnittsänderung 222 am Ende des Kanals 220 erreicht.
20

25 Stellt ein solcher Kanal den Bereich eines Fluidsystems dar, an dem die größte Kapillarkraft überwunden werden muß, so beträgt der erforderliche Druck in diesem Spezialfall mit $r_1 = r_2 = r = d/2$:

30

$$\Delta p = \sigma \frac{2}{r} = \sigma \frac{4}{d} \quad \text{Gl. 3}$$

Diese Druckbarriere ist bei Mikroperistaltikpumpen der erfindungsgemäßen Art aufgrund der kleinen Geometriedimensionen nicht zu vernachlässigen, wenn ein solcher Kanal die Engstelle der Pumpe darstellt. Bei einem Leitungsdurchmesser von beispielsweise $d = 50 \mu\text{m}$ und einer Oberflächenspannung
35

nung Luft/Wasser von $\sigma_{wa} = 0,075$ N/m beträgt die Druckbarriere $\Delta p_b = 60$ hPa, während bei einem Kanaldurchmesser $d = 25$ μ m die Druckbarriere $\Delta p_b = 120$ hPa beträgt.

- 5 Bei Mikroperistaltikpumpen der erfindungsgemäßen Art wird die angesprochene Engstelle in der Regel jedoch durch den Abstand zwischen Ventilmembran und gegenüberliegendem Bereich des Pumpenkörpers (beispielsweise einer Dichtlippe) bei geöffnetem Ventil definiert sein. Diese Engstelle
10 stellt einen Spalt dar, der eine gegenüber der Höhe unendlich große Breite aufweist, d.h. $r_1 = r$ und $r_2 = \infty$.

Für einen solchen Kanal ergibt sich aus obiger Gleichung 2:

$$15 \quad \Delta p = \sigma \frac{1}{r} \quad \text{Gl.4}$$

Allgemein ist der Zusammenhang zwischen dem kleinsten Krümmungsradius und dem kleinsten Wandabstand d durch folgende Beziehung gegeben:

$$20 \quad r = \frac{d}{2 \cdot \sin(90^\circ + \Gamma - \Theta)} \quad \text{Gl.5}$$

wobei Θ den Benetzungswinkel darstellt und Γ die Verkipfung zwischen den beiden Wänden.

- 25 Der Worst-Case-Fall, d.h. der kleinste Krümmungsradius unabhängig vom Verkipfungswinkel und Benetzungswinkel ist gegeben, wenn die Sinusfunktion maximal, d.h. $\sin(90^\circ + \Gamma - \Theta) = 1$ wird. Dies tritt beispielsweise bei abrupten Querschnitts-
30 änderungen, wie sie in den Fig. 5a bis 5c gezeigt sind, oder bei Kombinationen von Verkipfungswinkel Γ und Benetzungswinkel Θ auf. Im Worst-Case-Fall gilt:

$$35 \quad r = \frac{d}{2} \quad \text{Gl.6}$$

Als kleinster auftretender Krümmungsradius kann daher unabhängig vom Verkipfungswinkel Γ , Benetzungswinkel Θ oder abrupten Querschnittsänderungen die Hälfte des kleinsten auftretenden Wandabstands betrachtet werden.

5

In einer Peristaltikpumpe existieren zum einen Fluidverbindungen zwischen den Kammern mit einer gegebenen Kanalgeometrie und einer Engstelle, die eine geringste Durchflußabmessung d definiert. Für einen solchen Kanal gilt:

10

$$\Delta p = \sigma \frac{4}{d} \quad \text{Gl.7.}$$

Zum anderen besitzt die Peristaltikpumpe eine Engstelle am Einlaß- bzw. Auslassventil, die durch die von dem Ventilhub d abhängigen Spaltgeometrie definiert ist. Für diese gilt:

15

$$\Delta p = \sigma \frac{2}{d} \quad \text{Gl.8.}$$

Die jeweilige Engstelle (Kanalengstelle oder Ventilengstelle im geöffneten Zustand), an der größere Kapillarkräfte überwunden werden müssen, kann als Flußengstelle der Mikroperistaltikpumpe betrachtet werden.

20

Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung werden daher Verbindungskanäle innerhalb der Peristaltikpumpe derart ausgelegt, daß der Durchmesser des Kanals mindestens das doppelte der Ventilengstelle, d.h. dem Abstand zwischen Membran und Pumpenkörper im geöffneten Ventilzustand, übersteigt. In einem solchen Fall stellt der Ventilspace die Flußengstelle der Mikroperistaltikpumpe dar. Beispielsweise können bei einem Ventilhub von $20\mu\text{m}$ Verbindungskanäle mit einer geringsten Abmessung, d.h. Engstelle, von $50\mu\text{m}$ vorgesehen sein. Die obere Grenze des Kanaldurchmessers wird durch das Totvolumen des Kanals bestimmt.

35

Die zu überwindende Kapillarkraft hängt von der Oberflächenspannung an der Flüssigkeit/Gas-Grenzfläche ab. Diese Oberflächenspannung hängt wiederum von den beteiligten Partnern ab. Für eine Wasser/Luft-Grenzfläche beträgt die
5 Oberflächenspannung etwa 0,075 N/m und variiert leicht mit der Temperatur. Organische Lösemittel besitzen in der Regel eine deutlich geringere Oberflächenspannung, während die Oberflächenspannung an einer Quecksilber/Luft-Grenzfläche beispielsweise etwa 0,475 N/m beträgt. Eine Peristaltikpumpe,
10 pe, die ausgelegt ist, um die Kapillarkraft bei einer Oberflächenspannung von 0,1 N/m zu überwinden, eignet sich somit, um nahezu alle bekannten Flüssigkeiten und Gase blasentolerant und selbstansaugend zu pumpen. Alternativ kann das Kompressionsverhältnis einer erfindungsgemäßen Mikrope-
15 ristaltikpumpe entsprechend höher gemacht werden, um ein solches Pumpen beispielsweise auch für Quecksilber zu ermöglichen.

Die im nachfolgenden erörterten Designregeln gelten für die
20 Förderung von Gasen und inkompressiblen Flüssigkeiten, wobei bei der Förderung von Flüssigkeiten davon ausgegangen werden muß, daß im Worst-Case-Fall Luftblasen das gesamte Pumpkammervolumen ausfüllen. Bei der Förderung von Gasen muß damit gerechnet werden, daß aufgrund einer Auskondensierung
25 Flüssigkeit in die Pumpe gelangen kann. Im folgenden wird davon ausgegangen, daß der Piezoaktor so ausgelegt ist, daß alle erforderlichen Unterdrücke und Überdrücke erreicht werden können.

30 Zunächst sei ein Druckhub betrachtet. Während des Ausstoßvorgangs komprimiert die Aktormembran das Gasvolumen, bzw. Luftvolumen. Der maximale Überdruck in der Pumpkammer p_U wird dann durch den Druck in der Luftblase bestimmt. Er berechnet sich aus der Zustandsgleichung der Luftblase.

35

$$p_0(V_0 + \Delta V)^{\gamma_A} = (p_0 + p_U)V_0^{\gamma_A} \quad \text{Gl.9}$$

Die Variablen p_0 , V_0 , ΔV und p_u wurden oben bezugnehmend auf Fig. 4 erläutert. γ_A stellt den Adiabatenkoeffizient des Gases, d.h. der Luft, dar. Die linke Seite der obigen Gleichung stellt den Zustand vor der Kompression dar, während
 5 die rechte Seite den Zustand nach der Kompression darstellt. Weiterhin muß der Überdruck p_u beim Druckhub größer als der positive Förderdruck p_F sein:

$$p_u > p_F \quad \text{Gl.10}$$

10

Nun sei ein Saughub betrachtet. Der Saughub unterscheidet sich durch die Ausgangslage der Volumina. Nach der Expansion entsteht der Unterdruck p_u in der Pumpkammer, d. h. p_u ist negativ:

15

$$p_0 V_0^{\gamma_A} = (p_0 + p_u)(V_0 + \Delta V)^{\gamma_A} \quad \text{Gl.11}$$

Die linke Seite der Gleichung 11 gibt den Zustand vor der Expansion wieder, während die rechte Seite den Zustand nach der Expansion wiedergibt. Der Unterdruck p_u beim Druckhub muß kleiner sein als der notwendige negative Förderdruck p_F . Dabei ist zu beachten, daß der Förderdruck p_F bei der Betrachtung des Druckhubes betragsmäßig positiv, bei der Betrachtung des Saughubes betragsmäßig negativ ist. Es
 25 folgt:

$$p_u < p_F \quad \text{Gl.12}$$

Aus den obigen Gleichungen ergibt sich für das mindestens
 30 notwendige Kompressionsverhältnis von blasentoleranten Mikroperistaltikpumpen für den Druckhub:

$$\epsilon > \left(\frac{p_0}{p_0 + p_F} \right)^{\frac{1}{\gamma_A}} - 1 \quad \text{Gl.13}$$

35 Für den Saughub ergibt sich folgendes Kompressionsverhältnis:

$$\varepsilon > \left(\frac{p_0}{p_0 + p_F} \right)^{\frac{1}{\gamma_A}} - 1 \quad \text{Gl.14}$$

Ist der Förderdruck p_F klein gegenüber dem Atmosphärendruck p_0 , können die vorhergehenden Gleichungen wie folgt vereinfacht werden, was einer Linearisierung um den Punkt p_0 , V_0 entspricht:

Druckhub: $\varepsilon > \frac{1}{\gamma_A} \frac{p_F}{p_0} \quad \text{Gl.15}$

Saughub: $\varepsilon > -\frac{1}{\gamma_A} \frac{p_F}{p_0} \quad \text{Gl.16}$

Als gültige Gleichung für den Saughub und den Druckhub ergibt sich:

$$\varepsilon > \frac{1}{\gamma_A} \frac{|p_F|}{p_0} \quad \text{Gl.17}$$

Bei schnellen Zustandsänderungen sind die Verhältnisse adiabatisch, d. h. $\gamma_A = 1,4$ für Luft. Bei langsamen Zustandsänderungen sind die Verhältnisse isotherm, d. h. $\gamma_A = 1$. Mit einer konsequenten Anwendung der Worst-Case-Annahme wird im folgenden das Kriterium mit $\gamma_A = 1$ verwendet. Somit kann als Designregel für das notwendige Kompressionsverhältnis blasentoleranter Mikroperistaltikpumpen festgehalten werden, daß das Kompressionsverhältnis größer sein muß als das Verhältnis des Förderdrucks zum Atmosphärendruck, d. h.:

$$\varepsilon > \frac{|p_F|}{p_0} \quad \text{Gl.18}$$

Oder mit den genannten Volumina:

$$\frac{\Delta V}{V_0} > \frac{|p_F|}{p_0} \quad \text{Gl.19}$$

Die oben angegebene einfache lineare Designregel entspricht der Tangente an der isothermen Zustandsgleichung von Fig. 4
5 im Punkt p_0, V_0 .

Bevorzugte Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer Mikroperistaltikpumpen werden somit derart gestaltet, daß das Kompressionsverhältnis der obigen Bedingung genügt, wobei der
10 minimal notwendige Förderdruck dem in Gleichung 8 definierten Druck entspricht, wenn in der Peristaltikpumpe auftretende Kanalengstellen minimale Abmessungen aufweisen, die zumindest doppelt so groß wie der Ventilsplatt sind. Alternativ kann der minimal erforderliche Förderdruck dem in
15 Gleichung 3 oder Gleichung 7 definierten Druck entsprechen, wenn die Flußengstelle der Mikroperistaltikpumpe nicht durch einen Splatt sondern einen Kanal definiert ist.

Soll eine erfindungsgemäße Mikroperistaltikpumpe zum Einsatz kommen, wenn Druckrandbedingungen eines Unterdrucks p_1 am Einlaß bzw. eines Gegendrucks p_2 am Auslaß vorherrschen, so muß das Kompressionsverhältnis einer Mikroperistaltikpumpe entsprechend größer sein, um ein Pumpen gegen diese
20 Einlaßdrücke bzw. Auslaßdrücke zu ermöglichen. Die Druckrandbedingungen werden von der vorgesehenen Anwendung der Mikroperistaltikpumpe definiert und können von wenigen hPa bis zu mehreren 1000 hPa reichen. Für solche Fälle muß der in der Pumpkammer auftretende Überdruck p_U , bzw. Unterdruck p_U diese Gegendrücke mindestens erreichen, damit eine Pumpwirkung auftritt. Beispielsweise führt allein die Höhendifferenz eines möglichen Einlaßgefäßes bzw. Auslaßgefäßes von
30 50 cm bei Wasser zu Gegendrücken von 50 hPa.

Weiter stellt die gewünschte Förderrate eine Randbedingung
35 dar, die zusätzliche Anforderungen stellt. Bei einem gegebenen Hubvolumen ΔV wird die Förderrate Q durch die Betriebsfrequenz f des sich wiederholenden Peristaltikzyklus-

ses definiert: $Q = \Delta V \cdot f$. Innerhalb der Periodendauer $T = 1/f$ muß sowohl der Saughub als auch der Druckhub der Peristaltikpumpe verrichtet werden, insbesondere muß das Hubvolumen ΔV umgesetzt werden. Die verfügbare Zeit beträgt daher maximal $T/2$ für Saughub und Druckhub. Die benötigte Zeit, um das Hubvolumen durch die Pumpkammerzuleitung und die Ventilengstelle zu fördern, hängt nun einerseits von dem Strömungswiderstand ab, andererseits von der Druckamplitude in der Pumpkammer.

10

Sollen mit einer erfindungsgemäßen Mikroperistaltikpumpe schaumartige Substanzen gepumpt werden, so kann es notwendig sein, daß eine Mehrzahl von Kapillarkräften, wie sie oben beschrieben sind, überwunden werden muß, da mehrere entsprechende Flüssigkeit/Gas-Grenzflächen auftreten. In einem solchen Fall muß die Mikroperistaltikpumpe ausgelegt sein, um ein Kompressionsverhältnis aufzuweisen, um entsprechend höhere Förderdrücke erzeugen zu können.

15

20

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das Kompressionsverhältnis einer erfindungsgemäßen Mikroperistaltikpumpe entsprechend höher gewählt werden muß, wenn der in der Mikroperistaltikpumpe notwendige Förderdruck p_F neben den angesprochenen Kapillarkräften ferner von den Randbedingungen der Anwendung abhängt. Beachtet werden sollte, daß hier der Förderdruck relativ zum Atmosphärendruck betrachtet wird, im Druckhub also ein positiver Förderdruck p_F angenommen wird, während im Saughub ein negativer Förderdruck p_F angenommen wird. Als ein technisch sinnvoller Wert für einen robusten Betrieb kann daher für einen Saughub und einen Druckhub ein Betrag des Förderdrucks von mindestens $p_F = 100$ hPa angenommen werden.

25

30

Betrachtet man einen Gegendruck von beispielsweise 3000 hPa am Pumpenauslaß, gegen den gepumpt werden muß, so ergibt sich nach der obigen Gleichung 13 ein Kompressionsverhältnis von $\varepsilon > 3$, wobei ein Atmosphärendruck von 1013 hPa angenommen wird.

35

Muß die Mikroperistaltikpumpe gegen einen großen Unterdruck ansaugen, beispielsweise einen Unterdruck von -900 hPa, so ist nach der obigen Gleichung 14 ein Kompressionsverhältnis von $\epsilon > 9$ einzuhalten, um ein Pumpen gegen einen solchen Unterdruck zu ermöglichen.

Beispiele von peristaltischen Mikropumpen, die die Realisierung derartiger Kompressionsverhältnisse ermöglichen, werden nachfolgend näher erläutert.

Fig. 6b zeigt eine schematische Querschnittansicht einer peristaltischen Mikropumpe mit Membranelement 300 und Pumpenkörper 302 entlang der Linie b-b von Fig. 6a und Fig. 6c, während Fig. 6a eine schematische Draufsicht auf das Membranelement 300 und Fig. 6c eine schematische Draufsicht auf den Pumpenkörper 302 zeigt. Das Membranelement 300 besitzt wiederum drei Membranabschnitte 12, 14 und 16, die jeweils mit Piezoaktoren 22, 24 und 26 versehen sind. In dem Pumpenkörper 302 ist wiederum eine Einlaßöffnung 32 und eine Auslaßöffnung 34 gebildet, derart, daß die Einlaßöffnung 32 zusammen mit dem Membranbereich 12 ein Einlaßventil definiert, während die Auslaßöffnung 34 mit dem Membranbereich 16 ein Auslaßventil definiert. Unterhalb des Membranabschnitts 14 ist eine Pumpkammer 304 in dem Pumpenkörper 302 gebildet. Ferner sind Fluidkanäle 306 in dem Pumpenkörper 302 gebildet, die mit den Membranbereichen 12 und 16 zugeordneten Ventilkammer 308 und 310 fluidmäßig verbunden sind. Die Ventilkammern 308 und 310 sind bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel durch Ausnehmungen in dem Membranelement 300 gebildet, wobei in dem Membranelement 300 ferner eine zu der Pumpkammer 304 beitragende Ausnehmung 312 gebildet ist.

Bei dem in den Fig. 6a bis 6c gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Pumpkammervolumen 304 größer ausgeführt als die Volumen der Ventilkammern 308 und 310. Dies wird bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel erreicht, indem eine Pumpkam-

merabsenkung in dem eine Strukturierung in der Form einer Pumpkammerabsenkung in dem Pumpenkörper 302 gebildet ist. Der Hub der Pumpenmembran 14 wird vorzugsweise so ausgelegt, daß sie das Volumen der Pumpkammer 304 weitgehend
5 verdrängen kann.

Eine weitere Erhöhung des Pumpkammervolumens gegenüber den Ventilkammervolumen ist bei dem in den Fig. 6a bis 6c gezeigten Ausführungsbeispiel erreicht, indem die Pumpkammer-
10 membran 14 flächenmäßig (in der Ebene des Membranelements 300 bzw. des Pumpenkörpers 302) größer gestaltet ist als die Ventilkammermembranen, wie am besten in Fig. 6a zu sehen ist. Somit ergibt sich eine flächenmäßig verglichen mit den Ventilkammern größere Pumpkammer.

15 Um den Strömungswiderstand zwischen den Ventilkammern 308 und 310 und der Pumpkammer 304 zu reduzieren, sind die Zuleitungskanäle 306 in der Oberfläche des Pumpenkörpers 302 strukturiert. Diese Fluidkanäle 306 liefern einen reduzierten Strömungswiderstand, ohne das Kompressionsverhältnis der peristaltischen Mikropumpe signifikant zu verschlechtern.
20

Alternativ zu dem in den Fig. 6a bis 6c gezeigten Ausführungsbeispiel könnte die Oberfläche des Pumpenkörpers 302 mit dreistufigen Absenkungen realisiert sein, um die Pumpkammer erhöhter Tiefe (verglichen mit den Ventilkammern) zu implementieren, während der obere Chip eine im wesentlichen unstrukturierte Membran ist. Solche zweistufige Absenkungen
25 sind technologisch etwas schwieriger zu realisieren als das in den Fig. 6a bis 6c gezeigte Ausführungsbeispiel.
30

Beispielhafte Abmessungen des in den Fig. 6a bis 6c gezeigten Ausführungsbeispiels einer peristaltischen Mikropumpe
35 lauten wie folgt:

Abmessung der Ventilmembrane 12, 16: 7,3 x 5,6 mm;

Abmessung der Pumpmembran 14: 7,3 x 7,3 mm;

Membrandicke: 40 μm ;

Durchmesser der Einlaß- bzw. Auslaßdüse 32, 34: mindestens 50 μm ;

Ventilkammerhöhe: 8 μm ;

5 Höhe der Pumpkammer: 30 μm ;

Breite der Ventil-Dichtlippen d_{DL} : 10 μm ;

realisierbare Gesamtgröße: 8 x 21 mm;

Abmessungen der Piezoelemente: Fläche: 0,8 mal Membranabmessung, Dicke: 2,5 mal Membrandicke;

10 Dicke der Piezoelemente: 100 μm ; und

Öffnungsquerschnitt der Öffnungen 32, 34: 100 μm x 100 μm .

Eine vergrößerte Darstellung des linken Teils der in Fig. 6b gezeigten Querschnittsdarstellung ist in Fig. 7 gezeigt, wobei in Fig. 7 die Höhe H der Pumpkammer 304 angezeigt ist. Obwohl gemäß der Darstellung von Fig. 7 die die Pumpkammer 304 bildenden Strukturierungen in dem Pumpenkörper 302 und in dem Membranelement 300 gleiche Tiefen besitzen, ist es bevorzugt, die Strukturierungen in dem Pumpenkörper 302 mit einer größeren Tiefe als die in dem Membranelement auszugestalten, um den Flußkanal 306 mit einem ausreichenden Flußquerschnitt zu versehen, ohne jedoch das Kompressionsverhältnis übermäßig zu beeinträchtigen. Beispielsweise können die Strukturierungen in dem Pumpenkörper 302, die zu dem Fluidkanal 306 und der Pumpkammer 304 beitragen, eine Tiefe von 22 μm aufweisen, während die Strukturierungen in dem Membranelement 300, die die Ventilkammern 308 definieren bzw. zu der Druckkammer 304 beitragen, eine Tiefe von 8 μm aufweisen können.

30

Fig. 8 stellt eine schematische Querschnittsansicht einer Vergrößerung des Abschnitts A von Fig. 7 dar, jedoch in einer modifizierten Form. Gemäß Fig. 8 ist der Steg von der Öffnung 32 in Richtung zu dem Kanal 206 hin beabstandet angeordnet. Dadurch können Montagetoleranzen bei einer doppelseitigen Lithographie berücksichtigt werden. Ferner kann damit verhindert werden, daß Waferdickenschwankungen, die Ventilöffnungen mit unterschiedlichen Querschnittsgrößen zur

35

Folge haben können, keine negativen Auswirkungen haben. Wie in Fig. 8 zu erkennen ist, definiert der Abstand x zu der Membran 12 die Flußengstelle zwischen Pumpkammer und Ventildurchlaßöffnung bei geöffneter Ventilstellung.

5

Wie oben ausgeführt wurde, muß in den Bereichen des Fluidsystems, in denen eine Pumpwirkung erforderlich ist, indem ein Pumpkammervolumen einer Peristaltikpumpe gebildet wird, das Kompressionsverhältnis der Peristaltikpumpe groß gewählt werden, um ein selbstbefüllendes Verhalten und einen robusten Betrieb bezüglich einer Blasentoleranz zu gewährleisten. Um dies zu erreichen, ist es bevorzugt, die Totvoluminas klein zu halten, was unterstützt werden kann, indem die Kontur bzw. Form der Pumpkammer an die Biegelinie der Pumpmembran im ausgelenkten Zustand angepaßt wird.

15

Eine erste Möglichkeit, eine solche Anpassung zu realisieren, besteht darin, eine runde Pumpkammer zu implementieren, d.h. eine Pumpkammer, deren Umfangsform an die Auslenkung der Pumpmembran angepasst ist. Eine schematische Draufsicht auf den Pumpkammer- und Fluidkanal-Abschnitt eines Pumpenkörpers mit einer solchen Pumpkammer ist in Fig. 9a gezeigt. In die runde Pumpkammer 330 münden wiederum vergleichbar mit der Darstellung von Fig. 6c die Fluidkanäle 306, die eine Fluidverbindung zu Ventilkammern, die beispielsweise wiederum in einem Membranelement strukturiert sein können, herstellen.

20

25

Um eine weitere Reduzierung des Totvolumens und damit eine weitere Erhöhung des Kompressionsverhältnisses erreichen zu können, kann die Pumpkammer unter der Pumpmembran so gestaltet werden, daß ihre der Pumpmembran zugewandte Kontur paßgenau der Biegelinie der Pumpmembran folgt. Eine solche Kontur der Pumpkammer kann beispielsweise durch ein entsprechend geformtes Spritzgußwerkzeug oder durch einen Prägestempel erreicht werden. Eine schematische Draufsicht auf einen Pumpenkörper 340, in dem eine solche der Biegelinie der Aktormembran folgende Fluidkammer 342 strukturiert

30

35

ist, ist in Fig. 9b gezeigt. Ferner sind in Fig. 9b in dem Pumpenkörper strukturierte Fluidkanäle 344 dargestellt, die zu der Fluidkammer 342 hin und von derselben weg führen. Eine schematische Querschnittansicht entlang der Linie c-c von Fig. 9b ist in Fig. 9c gezeigt, wobei in Fig. 9c ferner eine Membran 346 mit dem derselben zugeordneten Piezoaktor 348 dargestellt. Ein Fluß durch die Fluidkanäle 344 ist in Fig. 9c durch Pfeile 350 angezeigt. Ferner ist in Fig. 9c die der Membran 346 zugewandte an die Biegelinie der Membran (im betätigten Zustand) angepaßte Kontur 352 der Fluidkammer bzw. Pumpkammer 342 zu erkennen. Diese Form der Fluidkammer 352 ermöglicht, daß bei Betätigen der Membran 346 durch den Piezoaktor 348 im wesentlichen das gesamte Volumen der Fluidkammer 342 verdrängt wird, wodurch ein hohes Kompressionsverhältnis erreicht werden kann.

Ein Ausführungsbeispiel einer peristaltischen Mikropumpe, bei der sowohl die Pumpkammer 342 als auch Ventilkammern 360 an die Biegelinien der jeweils zugeordneten Membranabschnitte 12, 14 und 16 angepaßt sind, ist in den Fig. 10a und 10b gezeigt, wobei Fig. 10b eine schematische Draufsicht auf den Pumpenkörper 340 zeigt, während Fig. 10a eine schematische Querschnittansicht entlang der Linie a-a von Fig. 10b zeigt. Wie den Fig. 10a und 10b zu entnehmen ist, sind Form und Kontur der Ventilkammer 360 und 362 wie oben Bezug nehmend auf die Pumpkammer 342 erläutert, an die Biegelinie des jeweils zugeordneten Membranabschnitts 12 bzw. 16 angepaßt. Wie ferner am besten in Fig. 10b zu sehen ist, sind wiederum Fluidkanäle 344a, 344b, 344c und 344d in dem Pumpenkörper 340 gebildet. Der Fluidkanal 344a stellt einen Eingangsfluidkanal dar, der Fluidkanal 344b verbindet die Ventilkammer 360 mit der Pumpkammer 342, der Fluidkanal 344c verbindet die Pumpkammer 342 mit der Ventilkammer 362, und der Fluidkanal 344d stellt einen Ausgangskanal dar.

Wie ferner in Fig. 10a gezeigt ist, ist das Membranelement 380 bei diesem Ausführungsbeispiel ein unstrukturiertes Membranelement, das in eine in dem Pumpenkörper 340 vorge-

sehene Ausnehmung eingebracht ist, um zusammen mit den in dem Pumpenkörper 340 gebildeten Fluidbereichen die Ventilkammern und die Pumpkammer zu definieren.

- 5 Die Verbindungskanäle 344b und 344c zwischen den Aktorkammern sind so geschaltet, daß sie ein im Vergleich zum Hubvolumen geringes Totvolumen beinhalten. Gleichzeitig verringern diese Fluidkanäle den Strömungswiderstand zwischen den Aktorkammern signifikant, so daß auch größere Pumpfrequenzen und damit größere Förderströme, wobei ein solcher
10 Strom wiederum durch Pfeile 350 in Fig. 10a angezeigt ist, möglich werden. Im Bereich der Ventilkammern 360 und 362 werden die Fluidkanäle durch Betätigen der Membranabschnitte 12 bzw. 16 durch die vollständig ausgelenkten Membranabschnitte
15 getrennt, so daß eine Fluidtrennung zwischen den Fluidkanälen 344a und 344b bzw. zwischen den Fluidkanälen 344c und 344d auftritt. Die Kontur der Ventilkammern muß dabei exakt an die Biegelinie der jeweiligen Membranabschnitte angepaßt sein, um eine dichte Fluidtrennung zu erreichen. Alternativ kann, wie in Fig. 11 gezeigt ist, ein
20 Steg 390 in der jeweiligen Ventilkammer im Bereich des größten Hubs des Membranabschnitts 12 vorgesehen sein, der entsprechend geformt ist, so daß er vollständig durch die Biegung des Membranabschnitts 12 abgedichtet werden kann. Spezieller biegt sich der Steg zu den Rändern der Ventilkammer hin nach oben, entsprechend der an die Biegelinie
25 angepassten Form der Ventilkammer. Dieser Steg kann in die jeweilige Ventilkammer vorstehen, wobei alternativ, wie es in Fig. 11 gezeigt ist, die Tiefe der Verbindungskanäle 344 größer sein kann als der Hub y des Membranabschnitts 12,
30 bei dem der Membranabschnitt an dem Pumpenkörper anliegt, so daß der Steg 390 sozusagen versenkt ist. Ist die Tiefe der Verbindungskanäle größer als der maximale Hub, geht dies zu Kosten des Kompressionsverhältnisses, ermöglicht jedoch geringe Strömungswiderstände zwischen den Aktorkammern.
35

Ein alternatives Ausführungsbeispiel einer Ventilkammer 360 ist in Fig. 12 gezeigt, wobei dort die Tiefe der Verbindungskanäle 344 kleiner ist als der maximale Hub y des Membranabschnitts 12, und damit als die Tiefe der an die Biegelinie des Membranabschnitts 12 angepaßten Ventilkammer 360 im Bereich des größten Hubes des Membranabschnitts 12. Dadurch kann eine sichere Abdichtung im geschlossenen Zustand des Ventils erreicht werden.

Um eine Ventilabdichtung im geschlossenen Zustand zu erreichen, die vorgegebenen Druckanforderungen genügt, kann es bevorzugt sein, in der Ventilkammer 360 einen Steg 390a vorzusehen, der nicht die maximal mögliche Biegelinie des Aktorelements, d. h. des Membranabschnitts 12 zusammen mit dem Piezoaktor 22, nachbildet, wie in Fig. 13 gezeigt ist. Die maximal mögliche Biegelinie des Membranabschnitts 12 ist in Fig. 13 durch eine gestrichelte Linie 400 gezeigt, während die Linie 410 der maximal möglichen Auslenkung des Membranabschnitts 12 aufgrund des Vorsehens des Stegs 390a entspricht. Somit sitzt die Membran 12 im voll ausgelenkten Zustand, wenn der Steg 390 abgedichtet wird, mit einer Restkraft auf dem Steg 390a auf, wobei diese Restkraft dimensioniert werden kann, um Druckanforderungen, die die Dichtung aushalten muß, zu genügen.

Bei praktischen Realisierungen wird die Biegelinie der Membran oft nicht perfekt konzentrisch zum Membranmittelpunkt sein, beispielsweise aufgrund von Montagetoleranzen der Piezokeramiken und aufgrund von Inhomogenitäten des Kleberauftrags, durch den die Piezokeramiken an den Membranen angebracht sind. Daher kann der Bereich der Stegabdichtung etwas, beispielsweise um ca. 5 bis 20 μm , je nach Hub des Aktors, gegenüber dem Rest der Fluidkammer erhöht werden, um einen sicheren Kontakt der Membran mit dem Steg und damit eine sichere Abdichtung zu gewährleisten. Dies entspricht ebenfalls der in Fig. 13 gezeigten Situation. Zu beachten ist allerdings, daß dadurch das Totvolumen vergrößert und das Kompressionsverhältnis verringert wird.

Alternativ zu den genannten Möglichkeiten kann als Fluidkammermaterial zumindest im Bereich unter der beweglichen Membran ein plastisch verformbares Material, beispielsweise Silikon, verwendet werden. Durch entsprechend groß ausgelegte Aktorkräfte können dann Inhomogenitäten ausgeglichen werden. In einem solchen Fall liegt keine Hart-Hart-Dichtung mehr vor, so daß eine gewisse Toleranz gegen Partikel und Ablagerungen existiert.

Im folgenden sei kurz eine beispielhafte Dimensionierung einer Peristaltikpumpe, wie sie in den Fig. 10a und 10b gezeigt ist, angegeben. Die Dicke der Membranabschnitte 12, 14 und 16 und somit die Dicke des Membranelements 380 kann beispielsweise 40 µm betragen, während die Dicke der Piezoaktoren beispielsweise 100 µm betragen kann. Als Piezokeramik kann eine PZT-Keramik mit einem großen d31-Koeffizienten verwendet werden. Die Seitenlänge der Membranen kann beispielsweise 10 mm betragen, während die Seitenlänge der Piezoaktoren beispielsweise 8 mm betragen kann. Der Spannungshub zum Betätigen der Aktoren bei der genannten Aktorgeometrie kann beispielsweise 140 V betragen, was einen maximalen Hub von ca. 100 bis 200 µm mit einem Hubvolumen der Pumpmembran von ca. 2 bis 4 µl zur Folge hat.

Durch die Anpassung der Fluidkammerausführung an die Biegelinie der Membran fällt das Totvolumen der drei für die Peristaltikpumpe benötigten Fluidkammern weg, so daß nur noch die Verbindungskanäle, die die Ventilkammern mit der Pumpkammer verbinden, verbleiben. Werden Verbindungskanäle mit einer Tiefe von 100 µm, einer Breite von 100 µm und einer Länge von jeweils 10 mm, so daß sich eine Gesamtlänge für die Fluidkanäle 344b und 344c von 20 mm ergibt, ergibt das ein Pumpkammer-Totvolumen von 0,2 µl. Daraus kann ein Kompressionsverhältnis $\epsilon = \Delta V/V = 4 \text{ µl}/0,2 \text{ µl} = 20$ ermittelt werden.

Mit einem derart großen Kompressionsverhältnis von bis zu 20 sind derartige Fluidmodule blasentolerant und selbstansaugend und können sowohl Flüssigkeiten als auch Gase fördern. Derartige Fluidpumpen können ferner für kompressible und flüssige Medien prinzipiell mehrere bar Druck aufbauen, je nach Auslegung des Piezoaktors. Bei einer solchen Mikropumpe wird der maximal erzeugbare Druck nicht mehr durch das Kompressionsverhältnis begrenzt, sondern durch die maximale Kraft des Antriebselements und durch die Dichtheit der Ventile definiert. Trotz dieser Eigenschaften können durch eine geeignete Kanaldimensionierung mit einem geringen Strömungswiderstand mehrere ml/min gefördert werden.

Bei dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel waren sämtliche Fluidkanäle, d. h. auch der Einlaßfluidkanal 344a und der Auslaßfluidkanal 344d lateral geführt, d. h. die Fluidkanäle verlaufen in der gleichen Ebene wie die Fluidkammern. Wie oben dargelegt wurde, kann bei einem derartigen Verlauf die Abdichtung der Kanäle schwierig sein. Vorteilhaft an dem lateralen Verlauf der Fluidkanäle ist jedoch, daß das gesamte Fluidsystem einschließlich mit dem Einlaßkanal 344a und/oder dem Auslaßkanal 344d verbundenen Reservoiren mit einem Herstellungsschritt geformt werden kann, beispielsweise mit Spritzguß oder Prägen.

In Fig. 14 ist ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Mikroperistaltikpumpe gezeigt, bei dem der Einlaßfluidkanal 412 und der Auslaßfluidkanal 414 in dem Pumpenkörper 340 vertikal versenkt sind. Die Fluidkanäle 412 und 414 weisen einen im wesentlichen vertikalen Abschnitt 412a und 414a auf, die jeweils im wesentlichen zentral unter den zugeordneten Membranabschnitten 12 bzw. 16 in die Ventilkammern 360 bzw. 362 münden. Der Vorteil des in Fig. 14 gezeigten Ausführungsbeispiels der Fluidkanäle besteht darin, daß die Fluidkanäle definiert abgedichtet werden können. Nachteilig ist jedoch, daß solche vertikal versenkten Fluidkanäle fertigungstechnisch schwierig herzustellen sind.

Die erfindungsgemäßen peristaltischen Mikropumpen werden vorzugsweise angesteuert, indem die Membran, beispielsweise die Metallmembran oder die Halbleitermembran, auf einem Massepotential liegt, während die Piezokeramiken durch einen typischen Peristaltikzyklus bewegt werden, indem jeweils entsprechende Spannungen an die Piezokeramiken angelegt werden.

Neben der oben beschriebenen Mikroperistaltikpumpe unter Verwendung von drei Fluidkammern 342, 360 und 362 kann ein erfindungsgemäße peristaltische Mikropumpe weitere Fluidkammern aufweisen, beispielsweise eine weitere Fluidkammer 420, die über einen Fluidkanal 422 mit der Pumpkammer 342 verbunden ist. Eine derartige Struktur ist in Fig. 15 schematisch gezeigt, wobei ein erstes Reservoir 424 über den Fluidkanal 344a mit der Ventilkammer 360 verbunden ist, ein zweites Reservoir 426 über einen Fluidkanal 428 mit der Ventilkammer 420 verbunden ist und ein drittes Reservoir 430 über den Fluidkanal 344d mit der Ventilkammer 362 verbunden ist.

Eine Struktur mit vier Fluidkammern, wie sie in Fig. 15 gezeigt ist, kann beispielsweise eine Verzweigungsstruktur bzw. einen Mischer bilden, bei dem die Mischströme aktiv gefördert werden können. Die Erweiterung auf vier Fluidkammern mit vier zugeordneten Fluidaktoren ermöglicht, wie beispielsweise in Fig. 15 gezeigt ist, die Realisierung von drei Peristaltikpumpen, wobei jede Pumprichtung zwischen allen Reservoirs 424, 426 und 430 in beiden Richtungen realisiert werden kann. Dabei ist es möglich, daß ein einziges Membranelement alle Fluidkammern und Reservoirbehälter abdeckt, wobei für jede Fluidkammer ein separater Piezoaktor vorgesehen ist. Somit kann die gesamte Fluidik sehr flach gestaltet werden, wobei die funktionalen, fluidischen Strukturen inklusive Fluidkammern, Kanälen, Membranen, Piezoaktoren und Trägerstrukturen eine Gesamthöhe in der Größenordnung 200 bis 400 µm aufweisen können. Somit sind Sys-

teme denkbar, die in Chipkarten integriert werden können. Ferner sind sogar flexible fluidische Systeme denkbar.

Neben den gezeigten Ausführungsbeispielen können Fluidkammern beliebig in einer Ebene verschaltet werden. So kann beispielsweise unterschiedlichen Reservoirs z. B. je eine Mikroperistaltikpumpe zugeordnet werden, die dann beispielsweise Reagenzien einer chemischen Reaktion zuführen (beispielsweise bei einer Brennstoffzelle), oder eine Kalibriersequenz für ein Analysesystem durchführen, beispielsweise bei einer Wasseranalyse.

Zur Erzeugung eines Piezo-Membranwandlers können die Piezokeramiken beispielsweise auf die jeweiligen Membranabschnitte geklebt werden. Alternativ können die Piezokeramiken, beispielsweise PZT, direkt in Dickschichttechnik aufgebracht werden, beispielsweise durch Siebdruckverfahren mit geeigneten Zwischenschichten.

Ein alternatives Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen mikroperistaltischen Pumpe mit versenktem Einlaßfluidkanal 412 und versenktem Auslaßfluidkanal 414 ist in Fig. 16 gezeigt. Der Einlaßflußkanal 412 mündet wiederum im wesentlichen mittig unter dem Membranabschnitt 12 in eine Ventilkammer 442, während der Auslaßfluidkanal 414 im wesentlichen mittig unter dem Membranabschnitt 16 in eine Ventilkammer 444 mündet. Die jeweiligen Mündungsöffnungen des Einlaßkanals 412 und des Auslaßkanals 414 sind mit einer Dichtlippe 450 versehen. Ferner ist in dem Pumpenkörper 440 eine Pumpkammer 452 gebildet, die durch Fluidkanäle in Wänden 454 mit den Ventilkammern 442 und 444 fluidmäßig verbunden ist. Gemäß dem in Fig. 16 gezeigten Ausführungsbeispiel bilden die drei Membranabschnitte 12, 14 und 16 wiederum ein Membranelement 456. Bei diesem Ausführungsbeispiel werden die Membranabschnitte jedoch durch Piezostapelaktoren 460, 462 und 464 angetrieben, die auf die entsprechenden Membranabschnitte aufsetzbar sind. Zu diesem Zweck werden die Piezostapelaktoren unter Verwendung geeigneter

Gehäuseteile 470 bzw. 472, die in Fig. 16 entfernt von dem Pumpenkörper und dem Membranelement gezeigt sind, verwendet.

5 Piezostapelaktoren sind vorteilhaft dahingehend, daß dieselben nicht fest mit dem Membranelement verbunden sein müssen, so daß dieselben einen modularen Aufbau ermöglichen. Bei solchen nicht fest verbundenen Piezostapelaktoren ziehen die Aktoren einen Membranabschnitt nicht aktiv zu-
10 rück, wenn eine Betätigung desselben beendet wird. Vielmehr kann eine Rückbewegung des Membranabschnitts nur durch die Rückstellkraft der elastischen Membran selbst erfolgen.

Die erfindungsgemäßen peristaltischen Mikropumpen können
15 unter Verwendung verschiedenster Herstellungsmaterialien und Herstellungstechniken gefertigt werden. Der Pumpenkörper kann beispielsweise aus Silizium hergestellt werden, aus Kunststoff durch Spritzguß gefertigt werden oder feinkwerktechnisch spanend hergestellt werden. Das Membranelement, das die Antriebsmembrane für die beiden Ventile und
20 die Pumpkammer bildet, kann aus Silizium hergestellt werden, kann durch eine Metallfolie, beispielsweise Edelstahl oder Titan, gebildet sein, kann durch eine in Zweikomponenten-Spritzgußtechnik gefertigte mit leitfähigen Beschichtungen versehene Kunststoffmembran gebildet sein, oder kann
25 durch eine Elastomermembran realisiert sein.

Die Verbindung von Membranelement und Pumpenkörper ist ein wichtiger Punkt da an dieser Verbindung im Betrieb der Peristaltikpumpe hohe Scherkräfte auftreten können. An diese
30 Verbindung sind folgende Anforderungen zu stellen:

- dicht;
- dünne Fügeschicht ($< 10 \mu\text{m}$), da die Pumpkammerhöhe ein
35 kritischer Designparameter ist, der das Totvolumen beeinflusst;
- mechanische Beständigkeit; und
- chemisch beständig gegen zu fördernde Medien.

Im Falle von Silizium als Grundstruktur und Membranelement kann ein fügeschichtloses Silicon Fusion Bonding erfolgen. Im Falle einer Silizium-Glaskombination kann vorzugsweise
5 ein anodisches Bonden verwendet werden. Weitere Möglichkeiten sind ein eutektisches Waferbonden oder ein Waferkleben.

Falls die Grundstruktur aus Kunststoff besteht und das Membranelement eine Metallfolie ist, kann ein Laminieren
10 durchgeführt werden, wenn ein Haftvermittler zwischen Membranelement und Grundstruktur verwendet wird. Alternativ kann ein Kleben mit einem Klebstoff hoher Scherfestigkeit erfolgen, wobei dann in der Grundstruktur vorzugsweise Kapillarstopgräben gebildet werden, um ein Eindringen von
15 Kleber in die Fluidstruktur zu vermeiden.

Falls sowohl Membranelement als auch Pumpenkörper aus Kunststoff bestehen, kann zur Verbindung derselben ein Ultraschallschweißen verwendet werden. Falls eine der beiden
20 Strukturen optisch transparent ist, kann alternativ ein Laserschweißen erfolgen. Im Falle einer Elastomermembran können die Dichtungseigenschaften der Membran ferner dazu verwendet werden, eine Abdichtung durch Klemmung zu gewährleisten.

25 Im folgenden wird kurz erläutert, wie eine mögliche Befestigung der Membran an dem Pumpenkörper bei einer erfindungsgemäßen Mikroperistaltikpumpe erfolgen kann. Wird bei der erfindungsgemäßen Mikropumpe die Membran an den Pumpen-
30 körper geklebt, so ist zu beachten, daß die Dosierung von Fügeschichtmaterialien (z.B. Klebstoff) kritisch ist, da einerseits die Membran rundum dicht sein muß (also ausreichend Klebstoff aufgebracht werden muß), und andererseits ein Eindringen von überschüssigem Klebstoff in die Fluid-
35 kammern vermieden werden muß.

Das Fügeschichtmaterial, das ein Klebstoff oder ein Haftmittel sein kann, wird z.B. durch Dispensieren oder durch

einen entsprechend geformten Stempel auf die Fügeschicht aufgebracht. Nach dem Auftrag des Fügeschichtmaterials wird die Membran auf den Grundkörper bestückt. Mögliche Grate, die z.B. beim Vereinzeln am Rand der Membran sein können, finden in einer entsprechenden Aufnahme für den Grat Platz, so daß eine definierte Lage der Membran vor allem in der Richtung senkrecht zur Oberfläche derselben sichergestellt ist, was bezüglich des Totvolumens und der Dichtheit wichtig ist.

Danach wird mit einem Stempel auf den Pumpenkörper gedrückt, damit die Klebeschicht möglichst dünn und definiert bleibt. Um überschüssigen Kleber aufzunehmen, kann ein Kapillarstopgraben vorgesehen sein, der die in dem Pumpenkörper gebildeten Fluidbereiche umgibt. Somit kann solcher überschüssiger Kleber nicht in die Fluidkammern gelangen. Unter diesen Bedingungen kann der Klebstoff definiert und dünn aushärten. Das Aushärten kann bei Raumtemperatur erfolgen oder beschleunigt im Ofen oder durch UV-Bestrahlung bei Verwendung von UV-härtenden Klebstoffen.

Alternativ zu der beschriebenen Klebetechnik kann als Verbindungstechnik ein Anlösen des Grundkörpers bzw. Pumpenkörpers durch geeignete Lösemittel und ein Fügen einer Kunststoffmembran an den Grundkörper erfolgen.

Patentansprüche

1. Peristaltische Mikropumpe mit folgenden Merkmalen:

5

einem ersten Membranbereich (12) mit einem ersten Piezoaktor (22; 460) zum Betätigen des ersten Membranbereichs;

10

einem zweiten Membranbereich (14) mit einem zweiten Piezoaktor (24; 462) zum Betätigen des zweiten Membranbereichs;

15

einem dritten Membranbereich (16) mit einem dritten Piezoaktor (26; 464) zum Betätigen des dritten Membranbereichs; und

einem Pumpenkörper (30; 302; 340; 440),

20

der zusammen mit dem ersten Membranbereich (12) ein erstes Ventil (62) bildet, dessen Durchlaßöffnung (32) im unbetätigten Zustand des ersten Membranbereichs offen ist und dessen Durchlaßöffnung durch Betätigen des ersten Membranbereichs verschließbar ist,

25

der zusammen mit dem zweiten Membranbereich (14) eine Pumpkammer (42; 304; 330; 342; 452) bildet, deren Volumen durch Betätigen des zweiten Membranbereichs veränderbar ist, und

30

der zusammen mit dem dritten Membranbereich (16) ein zweites Ventil (64) bildet, dessen Durchlaßöffnung (34) im unbetätigten Zustand des dritten Membranbereichs offen ist und dessen Durchlaßöffnung durch Betätigen des dritten Membranbereichs verschließbar ist,

35

wobei das erste und das zweite Ventil (62, 64) mit der Pumpkammer fluidmäßig verbunden sind.

2. Peristaltische Mikropumpe gemäß Anspruch 1, bei der zwischen einem Hubvolumen ΔV , einem Totvolumen V_0 , einem Förderdruck P_F und dem Atmosphärendruck P_0 folgende Beziehung gilt:

$$\Delta V/V_0 > P_F/P_0,$$

wobei das Hubvolumen ΔV das bei einer Betätigung des zweiten Membranbereichs (14) verdrängte Volumen ist, wobei das Totvolumen V_0 ein Volumen ist, das zwischen der geöffneten Durchlaßöffnung (32; 34) eines der Ventile (62, 64) und der geschlossenen Durchlaßöffnung (32, 34) des anderen der Ventile (62, 64) im betätigten Zustand des zweiten Membranbereichs (14) vorliegt, und wobei der Förderdruck p_F der in der Pumpkammer (42; 304; 330; 342; 452) notwendige Druck ist, um eine Flüssigkeits/Gas-Grenzfläche an einer Flußengstelle in der peristaltischen Mikropumpe vorbei zu bewegen.

3. Peristaltische Mikropumpe gemäß Anspruch 1 oder 2, bei der zwischen dem ersten Membranbereich (12) und dem Pumpenkörper (302; 340; 440) eine erste Ventilkammer (308; 360; 442) gebildet ist und bei der zwischen dem dritten Membranbereich (16) und dem Pumpenkörper (302; 340; 440) eine zweite Ventilkammer (310; 362; 444) gebildet ist, wobei die Ventilkammern mit der Pumpkammer (42; 304; 330; 342; 452) fluidmäßig verbunden sind.

4. Peristaltische Mikropumpe gemäß Anspruch 3, bei der das Volumen der Pumpkammer (304) größer ist als das Volumen der ersten oder der zweiten Ventilkammer (308, 310).

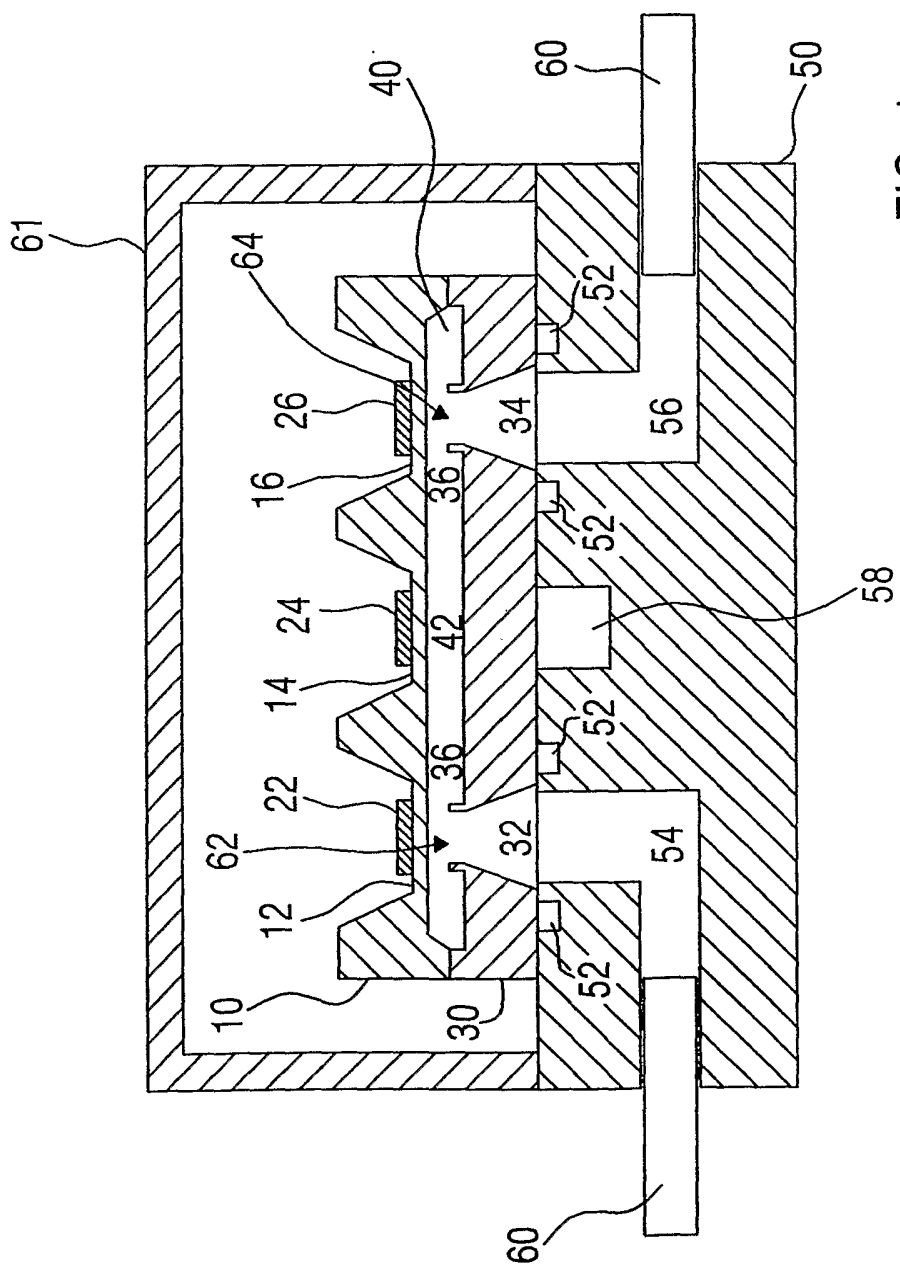
5. Peristaltische Mikropumpe gemäß Anspruch 4, bei der ein Abstand zwischen Membranoberfläche und Pumpenkörperoberfläche im Bereich der Pumpkammer (304) größer ist als im Bereich der Ventilkammer (308, 310).

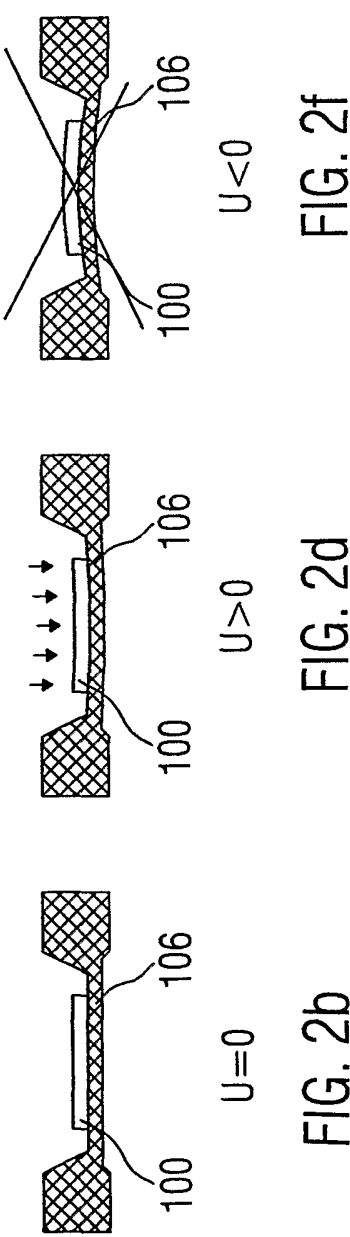
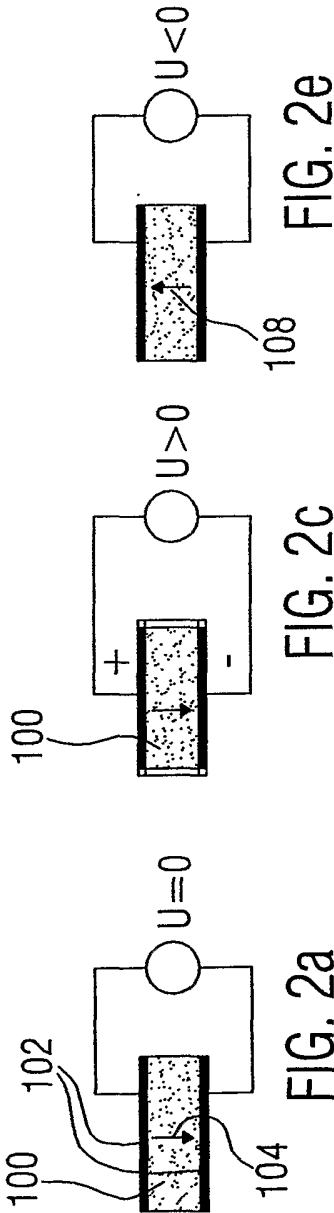
6. Peristaltische Mikropumpe nach Anspruch 4 oder 5, bei der der zweite Membranbereich (14) und die Pumpkammer flächenmäßig größer sind als der erste oder dritte Membranbereich (12, 16) und die zugeordneten Ventilkammern.
7. Peristaltische Mikropumpe nach einem der Ansprüche 3 bis 6, bei der die Membranbereiche (12, 14, 16) in einem Membranelement (10; 300; 380; 456) gebildet sind, wobei die Ventilkammer (308, 310; 360, 362; 442, 444), die Pumpkammer (42; 304; 330; 342; 452) und Fluidkanäle (306; 344) zwischen den Ventilkammern und der Pumpkammer durch Strukturierungen in dem Pumpenkörper und/oder in dem Membranelement gebildet sind.
8. Peristaltische Mikropumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der die Pumpkammer (330; 342) eine Strukturierung in dem Pumpenkörper (340) aufweist, wobei die Kontur der Strukturierung an die gebogene Kontur des zweiten Membranabschnitts (14) im betätigten Zustand angepaßt ist.
9. Peristaltische Mikropumpe nach einem der Ansprüche 3 bis 7, bei der die Pumpkammer (342) und die Ventilkammern (360, 362) Strukturierungen in dem Pumpenkörper (340) aufweisen, wobei die Konturen der Strukturierungen an die jeweilige gebogene Kontur des entsprechenden Membranabschnitts (12, 14, 16) im betätigten Zustand angepaßt sind.
10. Peristaltische Mikropumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei der der erste und der dritte Membranbereich (12, 16) und die Piezoaktoren (22, 26; 460, 464) derselben derart ausgelegt sind, daß sie im betätigten Zustand mit einer vorbestimmten Kraft auf ein Gegen-element (390; 390a), um das jeweilige Ventil zu schließen, drücken.

11. Peristaltische Mikropumpe nach Anspruch 9, die laterale Fluidzuleitungen (344a, 344d) zu den Ventilkammern (360, 362) aufweist, die in dem Pumpenkörper (340) gebildet sind, die durch Betätigen des entsprechenden Membranabschnitts verschlossen werden.
12. Peristaltische Mikropumpe nach Anspruch 11, bei der im Bereich einer Ventilkammer (360, 362) ein Steg (390; 390a) vorgesehen ist, gegen den der entsprechende betätigte Membranabschnitt anliegt, um die entsprechende laterale Fluidleitung zu verschließen.
13. Peristaltische Mikropumpe gemäß Anspruch 11, bei der die Ventilkammern dem jeweiligen Membranabschnitt gegenüberliegend ein plastisch verformbares Material aufweisen, gegen das im betätigten Zustand der jeweilige Membranabschnitt anliegt.
14. Peristaltische Mikropumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, die ferner zumindest einen weiteren Membranbereich mit einem weiteren Piezoaktor zum Betätigen des weiteren Membranbereichs aufweist, wobei der weitere Membranbereich zusammen mit dem Pumpenkörper ein weiteres Ventil bildet, dessen Durchlaßöffnung im unbetätigten Zustand des weiteren Membranbereichs offen ist und dessen Durchlaßöffnung durch Betätigen des weiteren Membranbereichs verschließbar ist, wobei das weitere Ventil mit der Pumpkammer fluidmäßig verbunden ist.
15. Peristaltische Mikropumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei der die Piezoaktoren Piezomembranwandler, die durch jeweilige auf einen Membranbereich aufgebrachte Piezoelemente gebildet sind, sind.
16. Peristaltische Mikropumpe nach Anspruch 15, bei dem die Piezoelemente auf den jeweiligen Membranbereich

geklebt oder in Dickschichttechnik auf dem jeweiligen Membranbereich gebildet sind.

- 5 17. Peristaltische Mikropumpe nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei der die Piezoaktoren durch jeweilige Piezostapel gebildet sind.
- 10 18. Fluidsystem mit einer Mehrzahl von peristaltischen Mikropumpen nach einem der Ansprüche 1 bis 17 und einer Mehrzahl von Reservoirren, die mit den peristaltischen Mikropumpen fluidmäßig verbunden sind.





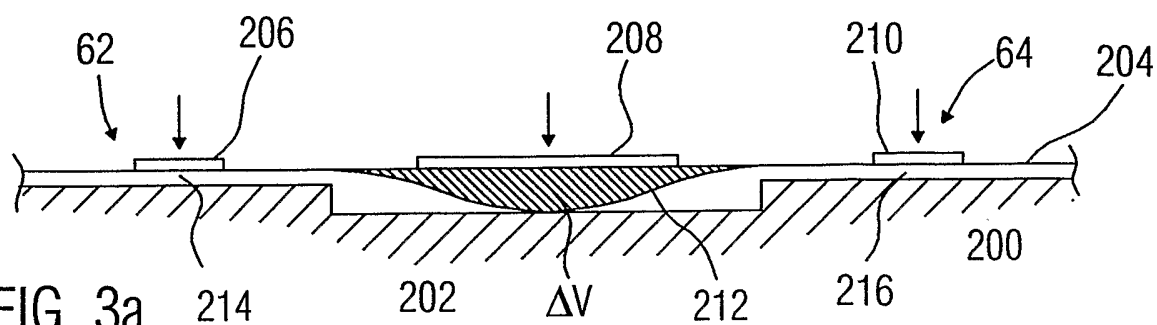


FIG. 3a

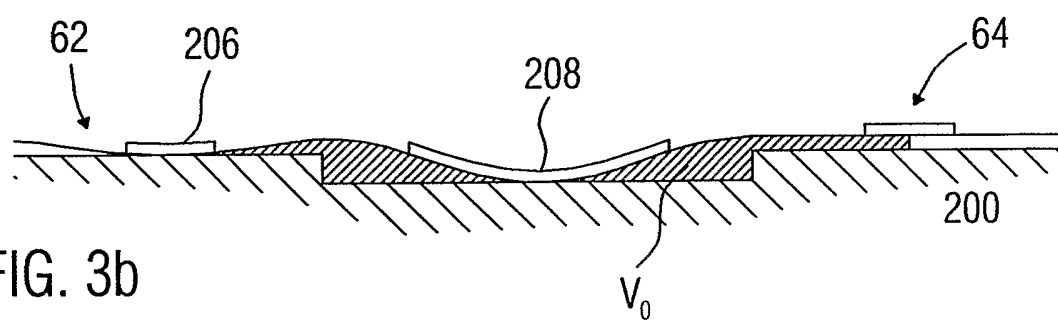


FIG. 3b

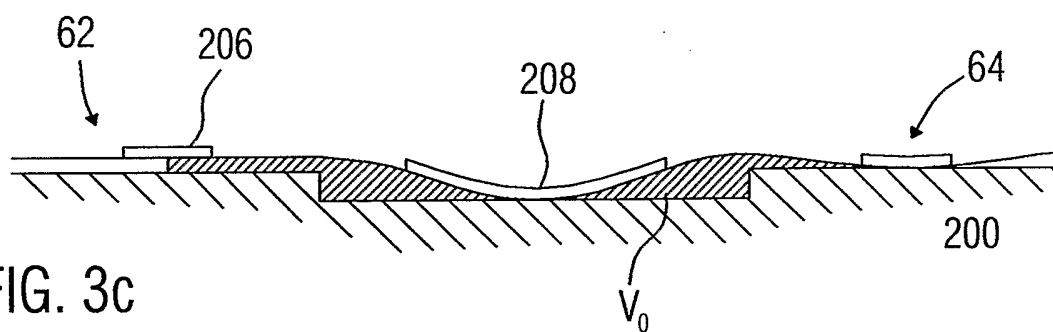


FIG. 3c

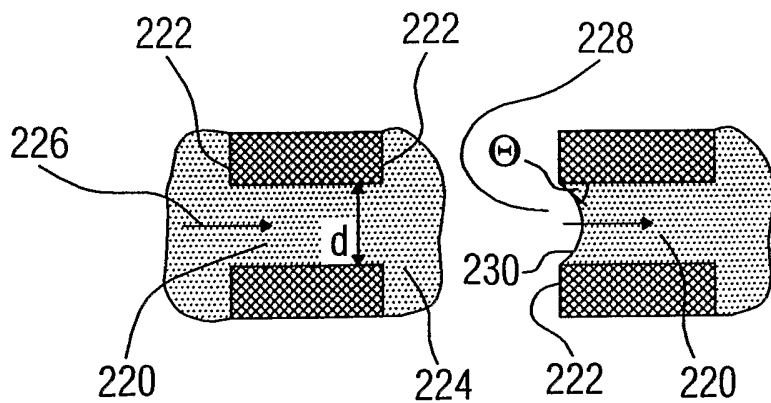


FIG. 5a

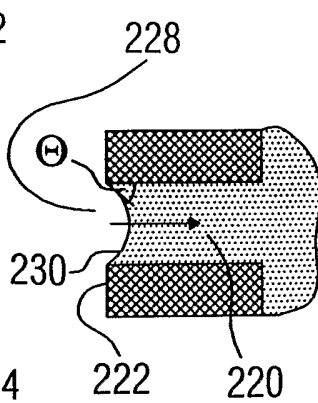


FIG. 5b

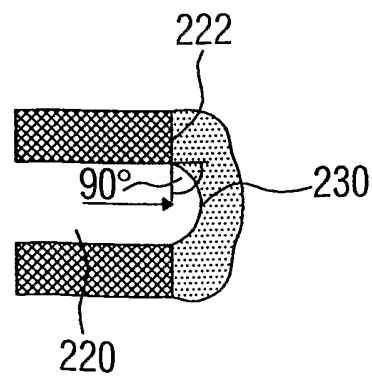


FIG. 5c

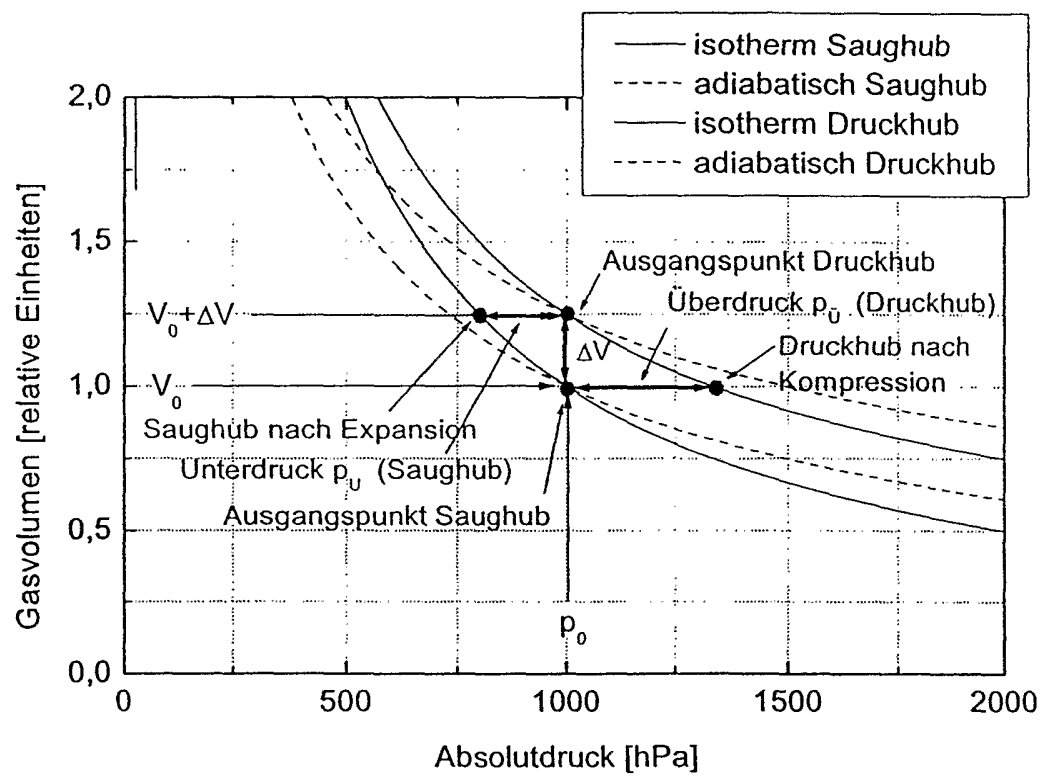


FIG. 4

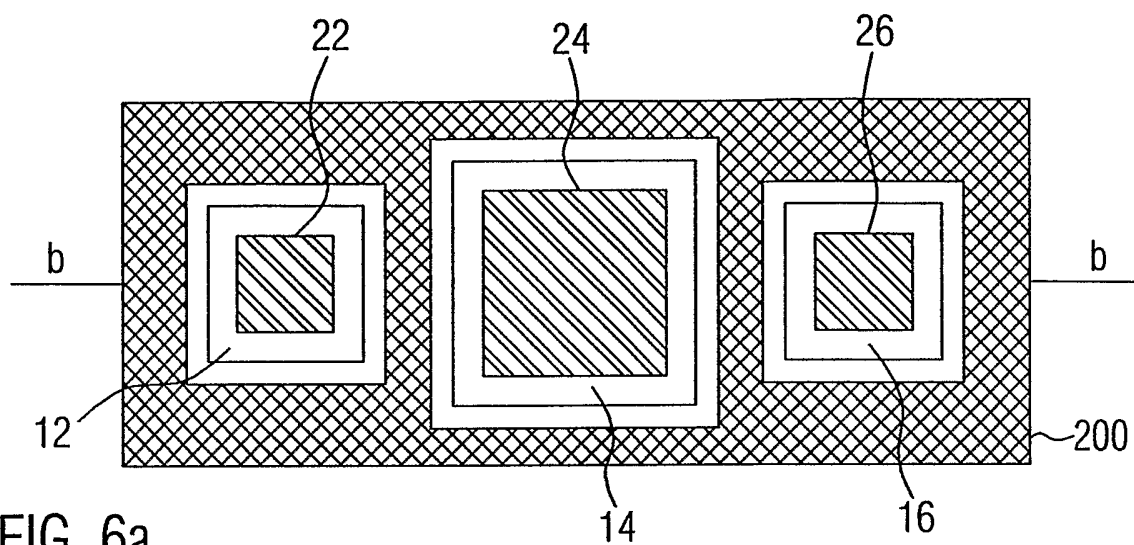


FIG. 6a

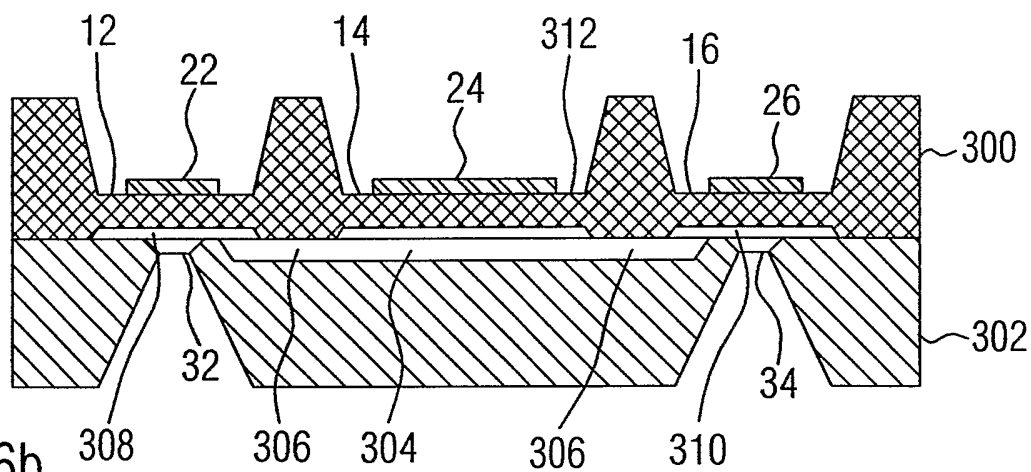


FIG. 6b

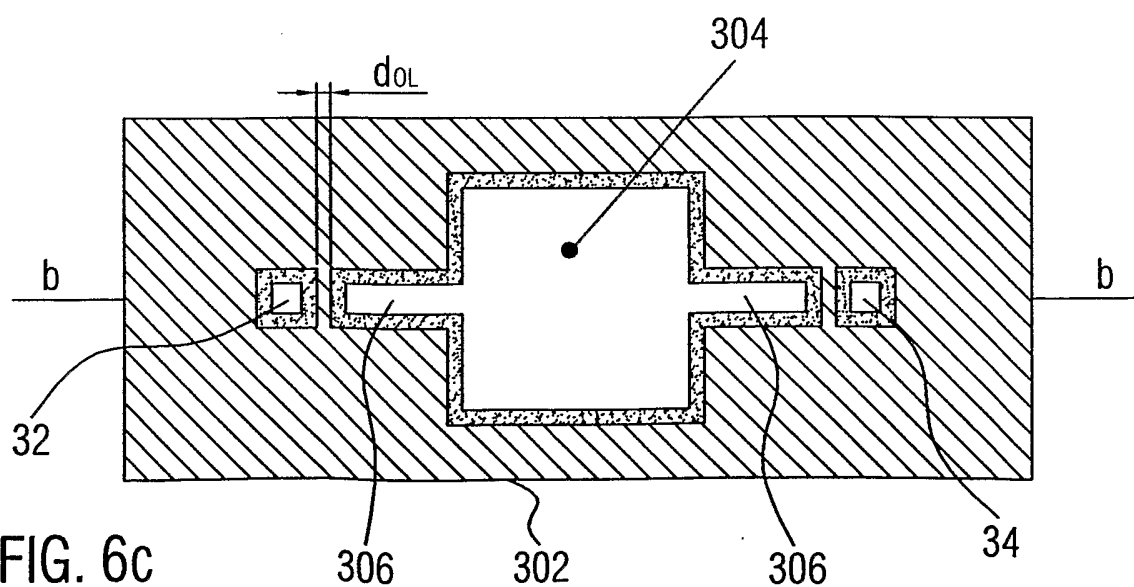


FIG. 6c

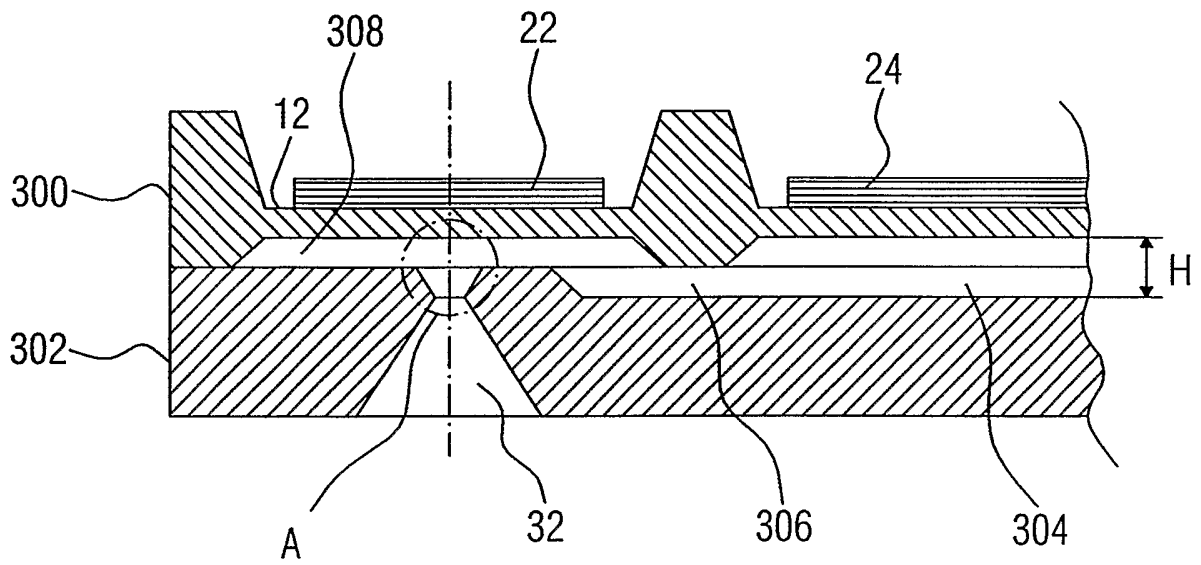


FIG. 7

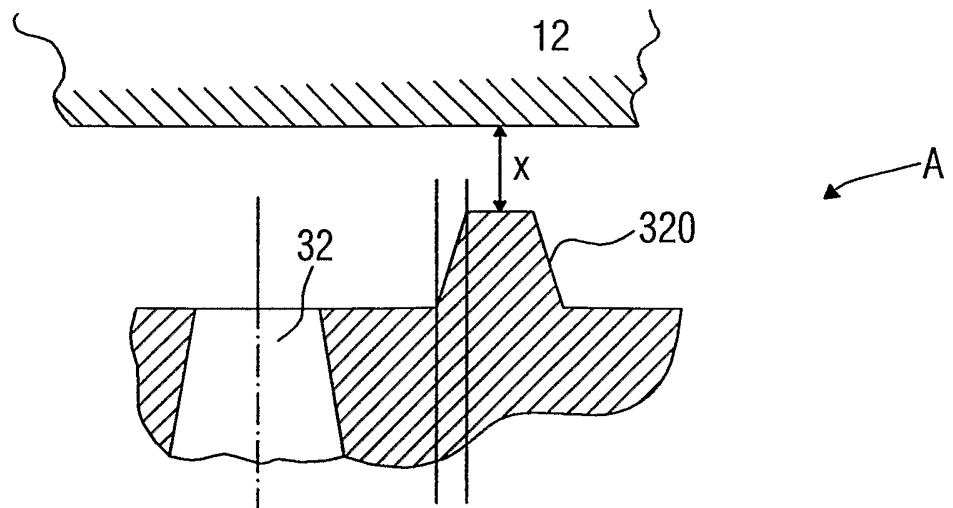


FIG. 8

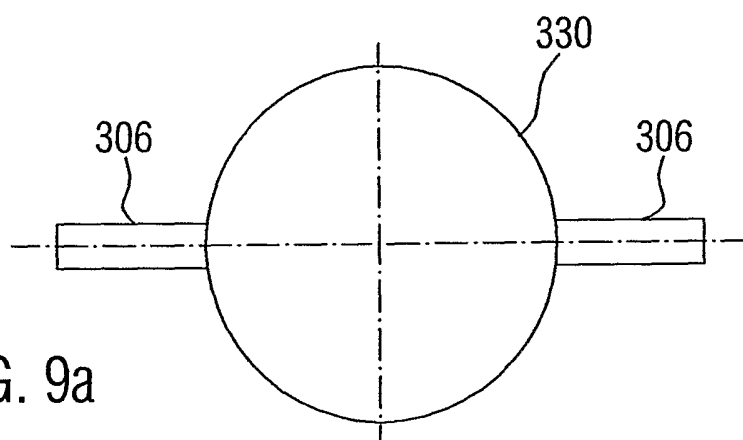


FIG. 9a

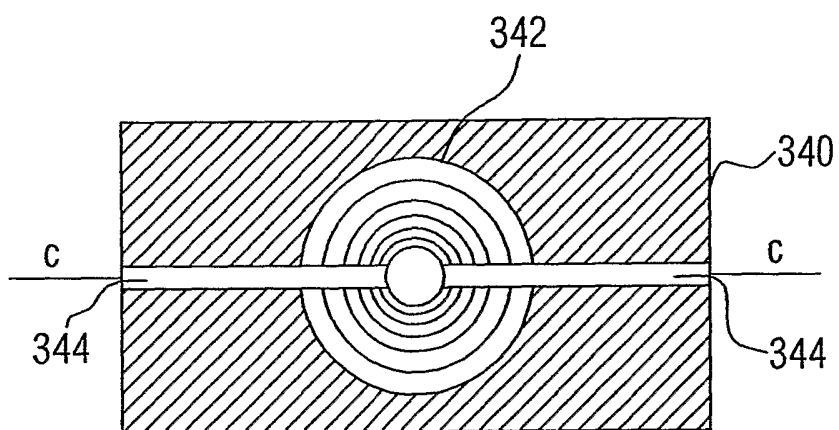


FIG. 9b

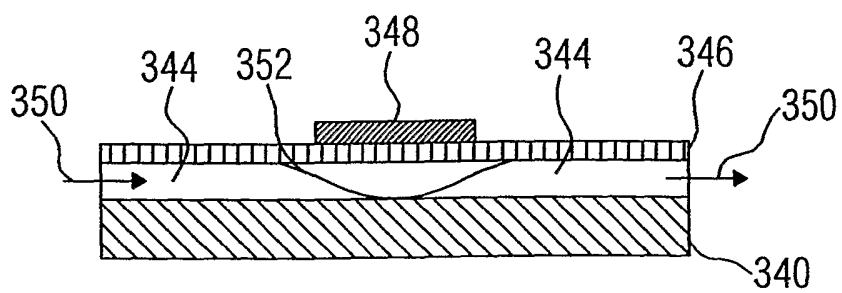


FIG. 9c

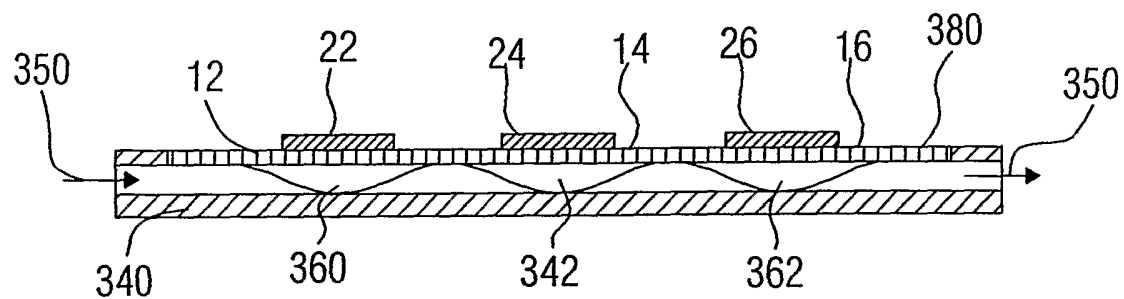


FIG. 10a

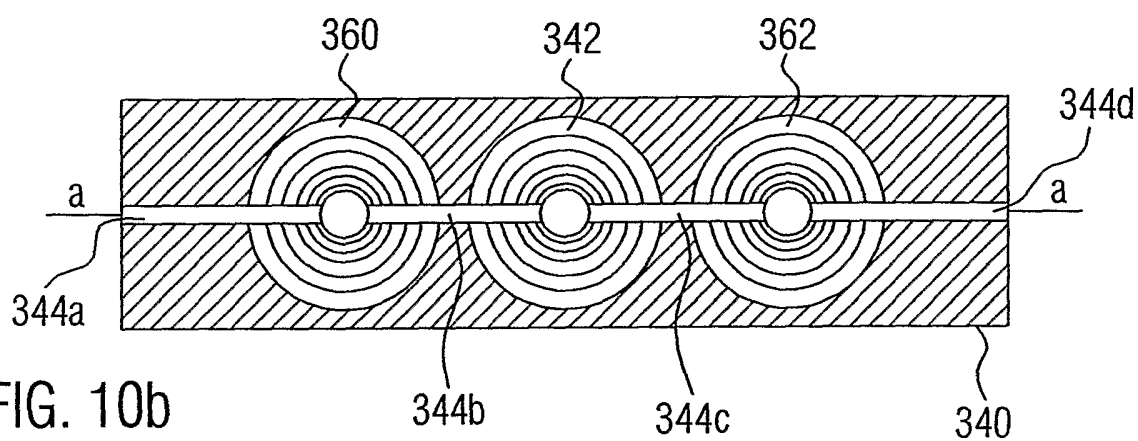


FIG. 10b

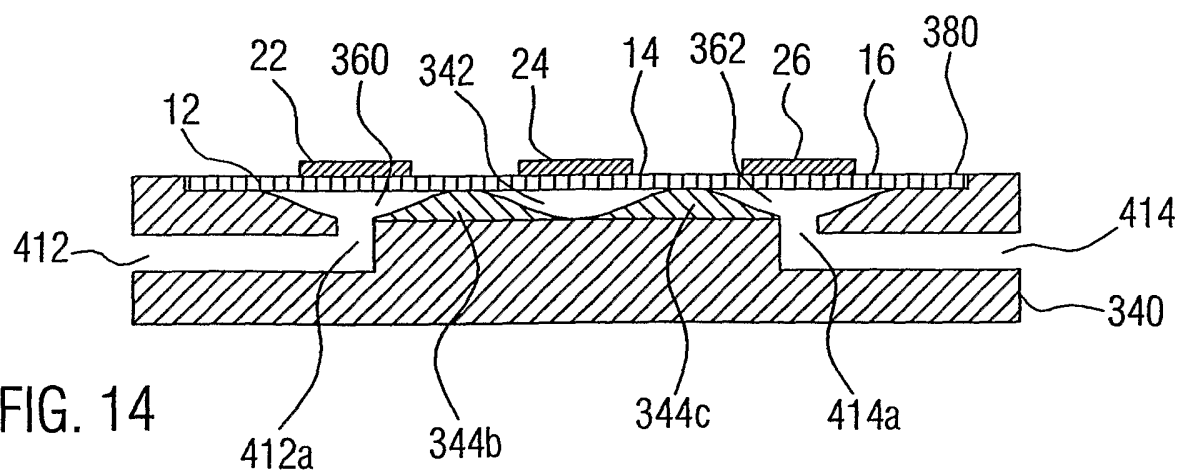
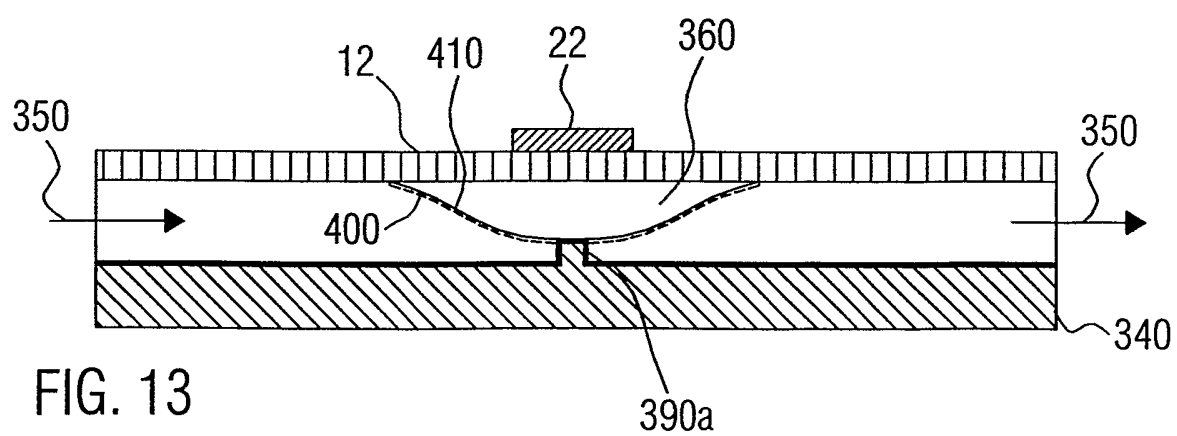
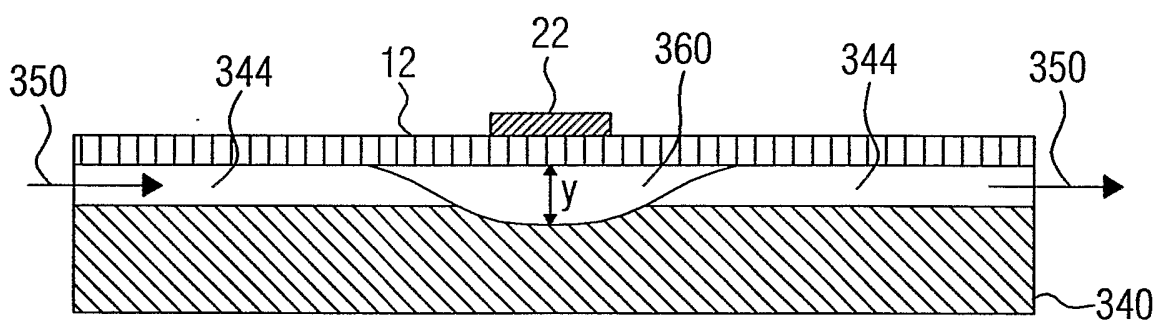
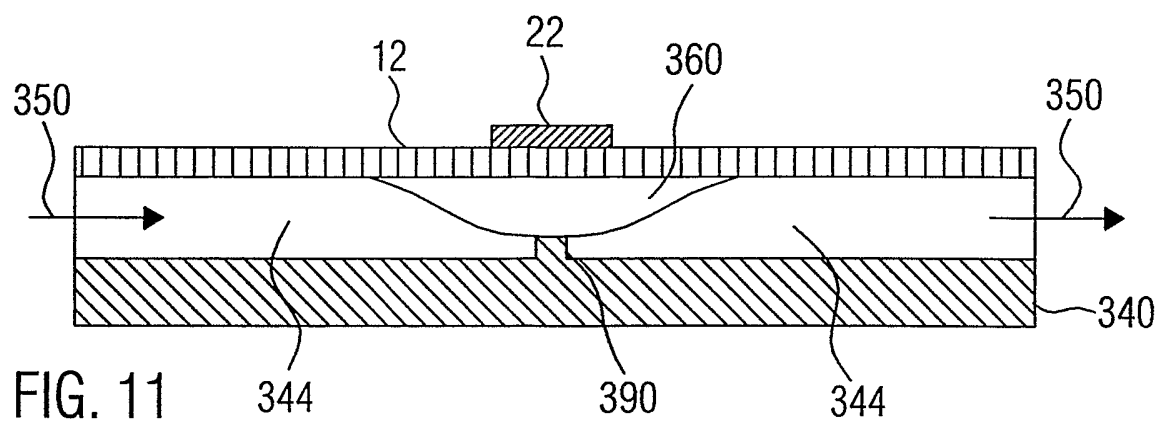


FIG. 14



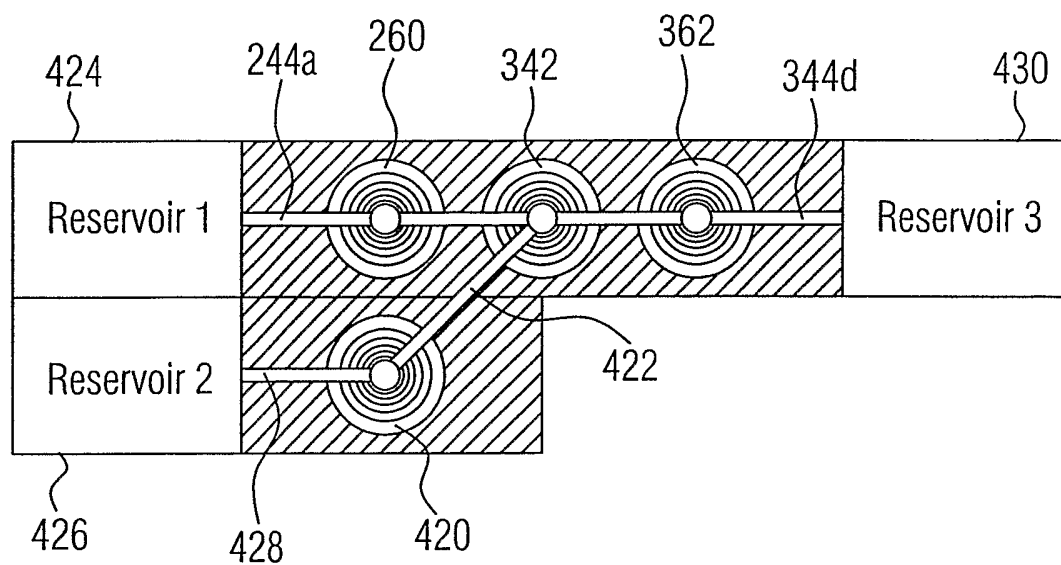


FIG. 15

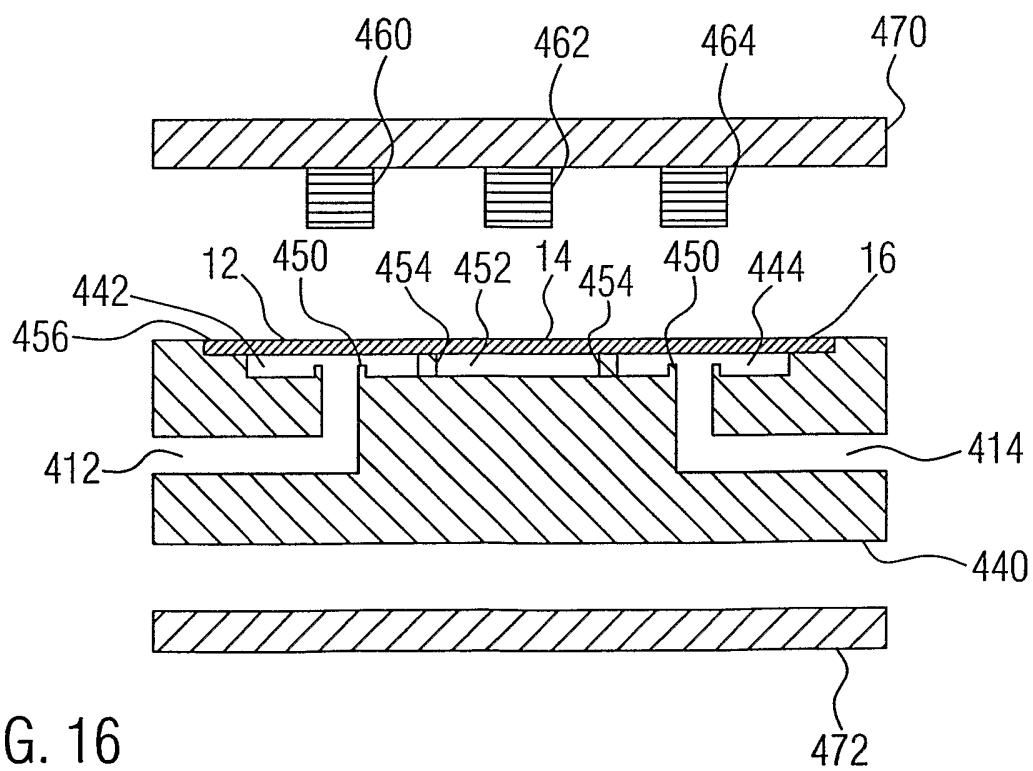


FIG. 16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/09352

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 F04B43/04

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)

IPC 7 F04B

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 00 28213 A (LAURELL THOMAS ;WALLIN ANDREAS (SE)) 18 May 2000 (2000-05-18) page 1, line 30 -page 2, line 33 ---	1
A	US 6 074 178 A (FACE SAMUEL A ET AL) 13 June 2000 (2000-06-13) column 2, line 34 -column 3, line 19 ---	1
A	WO 87 07218 A (SIEMENS AG) 3 December 1987 (1987-12-03) cited in the application page 1, line 7 -page 4, line 28 -----	1

☐

Further documents are listed in the continuation of box C.

☒

Patent family members are listed in 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

5 November 2003

Date of mailing of the international search report

13/11/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fistas, N

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/09352

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0028213	A	18-05-2000	AU 1436800 A WO 0028213 A1	29-05-2000 18-05-2000
US 6074178	A	13-06-2000	US 5816780 A US 6042345 A US 6071088 A	06-10-1998 28-03-2000 06-06-2000
WO 8707218	A	03-12-1987	DE 3618106 A1 WO 8707218 A1 EP 0310605 A1 JP 1500892 T	03-12-1987 03-12-1987 12-04-1989 30-03-1989

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/09352

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F04B43/04

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F04B

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 00 28213 A (LAURELL THOMAS ;WALLIN ANDREAS (SE)) 18. Mai 2000 (2000-05-18) Seite 1, Zeile 30 -Seite 2, Zeile 33 ---	1
A	US 6 074 178 A (FACE SAMUEL A ET AL) 13. Juni 2000 (2000-06-13) Spalte 2, Zeile 34 -Spalte 3, Zeile 19 ---	1
A	WO 87 07218 A (SIEMENS AG) 3. Dezember 1987 (1987-12-03) in der Anmeldung erwähnt Seite 1, Zeile 7 -Seite 4, Zeile 28 -----	1

☐ 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 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 nicht als 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

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. November 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

13/11/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Fistas, N

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/09352

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0028213	A	18-05-2000	AU	1436800 A	29-05-2000
			WO	0028213 A1	18-05-2000
US 6074178	A	13-06-2000	US	5816780 A	06-10-1998
			US	6042345 A	28-03-2000
			US	6071088 A	06-06-2000
WO 8707218	A	03-12-1987	DE	3618106 A1	03-12-1987
			WO	8707218 A1	03-12-1987
			EP	0310605 A1	12-04-1989
			JP	1500892 T	30-03-1989