

PCTWELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ :

F04B 19/00, 43/04, 43/00, 7/04

A2

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/10435

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

20. März 1997 (20.03.97)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP96/03863

(22) Internationales Anmeldedatum: 3. September 1996 (03.09.96)

(30) Prioritätsdaten:

195 34 378.6	15. September 1995 (15.09.95)	DE
196 24 271.1	18. Juni 1996 (18.06.96)	DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): INSTI-
TUT FÜR MIKRO- UND INFORMATIONSTECHNIK
HAHN-SCHICKARD-GESELLSCHAFT [DE/DE];
Wilhelm-Schickard-Strasse 10, D-78052 Villingen-
Schwenningen (DE).

(72) Erfinder; und

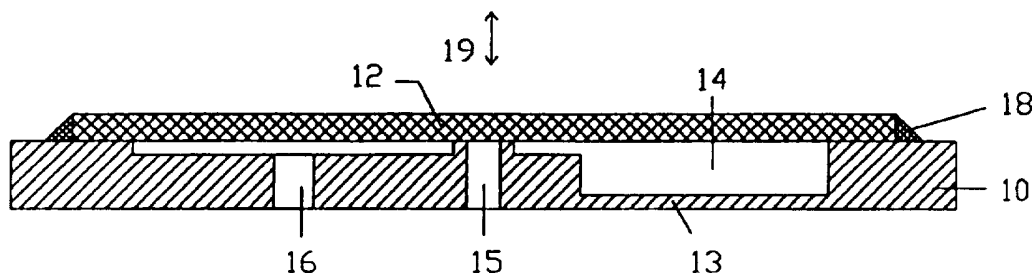
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): STEHR, Manfred [DE/DE];
Virchowweg 9, D-78054 Villingen-Schwenningen (DE).(74) Anwalt: SCHOPPE, Fritz; P.O. Box 71 08 67, D-81458
München (DE).(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE,
CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL,
PT, SE).

Veröffentlicht

*Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.*

(54) Title: FLUID PUMP WITHOUT NON-RETURN VALVES

(54) Bezeichnung: RÜCKSCHLAGVENTILLOSE FLUIDPUMPE



(57) Abstract

A fluid pump comprising a pump housing, a displacer and an elastic membrane. The displacer can be placed in a first and second end position by means of a drive unit. The displacer and the pump housing are so laid out that there is between them a pump chamber through which fluid can flow via a first and second opening with an inlet and an outlet. The elastic membrane is adjacent to the pump chamber. The displacer closes the first opening when in the first end position and leaves it open when in the second end position.

(57) Zusammenfassung

Eine Fluidpumpe besteht aus einem Pumpenkörper, einem Verdränger und einem elastischen Puffer. Der Verdränger ist mittels eines Antriebs in eine erste und eine zweite Endstellung positionierbar. Der Verdränger und der Pumpenkörper sind derart ausgebildet, daß zwischen denselben eine Pumpkammer, die über eine erste und eine zweite Öffnung mit einem Einlaß und einem Auslaß fluidmäßig verbindbar ist, definiert ist. Der elastische Puffer grenzt an die Pumpkammer an. Der Verdränger verschließt die erste Öffnung, wenn er in der ersten Endstellung ist, und läßt die erste Öffnung offen, wenn er in der zweiten Endstellung ist.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

Rückschlagventillose Fluidpumpe

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Fluidpumpen.

Es ist bekannt, zum Transport von Flüssigkeiten und Gasen Verdrängerpumpen zu verwenden, die aus einem periodischen Verdränger, einem Kolben oder einer Membran, und zwei passiven Rückschlagventilen bestehen. Durch die periodische Bewegung des Kolbens oder der Membran wird Flüssigkeit durch das Einlaßventil in eine Pumpkammer angesaugt, bzw. durch das Auslaßventil aus der Pumpkammer verdrängt. Die Transportrichtung ist dabei durch die Anordnung der Ventile vorgegeben. Soll bei einer derartigen Anordnung die Pumprichtung umgekehrt werden, ist bei solchen bekannten Pumpen eine mit einem hohen Aufwand verbundene, externe Umsteuerung der Ventile notwendig. Derartige Pumpen sind beispielsweise bei Jarolav und Monika Ivantysyn; Hydrostatische Pumpen und Motoren; Vogel Buchverlag, Würzburg, 1993, gezeigt.

Entsprechende Pumpen, die eine geringe Baugröße aufweisen und geringe Pumpströme liefern, bezeichnet man als Mikropumpen. Die Verdränger solcher Pumpen sind typischerweise als Membran ausgeführt, siehe P. Gravesen, J. Branebjerg, O. S. Jensen; Microfluidics - A review; Micro Mechanics Europe Neuchatel, 1993, Seiten 143 - 164. Die Verdränger können durch unterschiedliche Mechanismen angetrieben werden. Bei H.T.G. Van Lintel, F.C.M. Van de Pol. S. Bouwstra, A Piezoelectric Micropump Based on Micromachining of Silicon, Sensors & Actuators, 15, Seiten 153 - 167, 1988, S. Shoji, S. Nakagawa and M. Esashi, Micropump and sample injector for integrated chemical analyzing systems; Sensors and Actuators, A21-A23 (1990) Seiten 189 - 192, E. Stemme, G. Stemme; A valveless diffuser/nozzle-based fluid pump; Sensors & Actuators A, 39 (1993) 159 - 167, und T. Gerlach, H. Wurmus; Working principle and performance of the dynamic micropump;

Proc. MEMS'95; (1995), Seiten 221 - 226; Amsterdam, The Netherlands, sind piezoelektrische Antriebsmechanismen gezeigt. Thermopneumatische Mechanismen zum Antreiben der Verdränger sind bei F.C.M. Van de Pol, H.T.G. Van Lintel, M. Elwenspoek and J.H.J. Fluitman, A Thermo-pneumatic Micropump Based on Micro-engineering Techniques, Sensors & Actuators, A21-A23, Seiten 198 - 202, 1990, B. Büstgens, W. Bacher, W. Menz, W. K. Schomburg; Micropump manufactured by thermoplastic molding; Proc. MEMS'94; (1994), Seiten 18 - 21, gezeigt. Ein elektrostatischer Mechanismus ist bei R. Zengerle, W. Geiger, M. Richter, J. Ulrich, S. Kluge, A. Richter; Application of Micro Diaphragm Pumps in Microfluid Systems; Proc. Actuator '94; 15. - 17.6.1994; Bremen, Germany; Seiten 25 - 29, gezeigt. Ferner können die Verdränger thermomechanisch oder magnetisch angetrieben werden.

Wie ebenfalls in den oben genannten Schriften gezeigt ist, können als Ventile entweder passive Rückschlagventile oder spezielle Strömungsdüsen verwendet werden. Die Förderrichtung von Mikropumpen kann ohne eine Zwangssteuerung der Ventile allein durch eine Ansteuerung mit einer Frequenz oberhalb der Resonanzfrequenz der Ventile umgekehrt werden. Dazu seien R. Zengerle, S. Kluge, M. Richter, A. Richter; A. Bidirectional Silicon Micropump; Proc. MEMS '95; Amsterdam, Niederlande; Seiten 19-24, J. Ulrich, H. Füller, R. Zengerle; Static and dynamic flow simulation through a KOH-etched micro valve; Proc. TRANSDUCERS '95, Stockholm, Sweden, (1995), Seiten 17 - 20, betrachtet. Die Ursache dieses Effekts ist eine Phasenverschiebung zwischen der Bewegung des Verdrängers und dem Öffnungszustand der Ventile. Ist die Phasendifferenz größer als 90° , so ist der Öffnungszustand der Ventile antizyklisch zu deren Zustand im normalen Vorwärtsmodus und die Pumprichtung ist umgedreht. Eine externe Umsteuerung der Ventile, wie sie bei makroskopischen Pumpen notwendig ist, entfällt. Die entscheidende Phasendifferenz zwischen dem Verdränger und den Ventilen hängt dabei einerseits von der Antriebsfrequenz der Pumpe und andererseits von der Resonanzfrequenz des beweglichen Ventiltails in der

Flüssigkeitsumgebung ab.

Ein Nachteil dieser Ausführungsform besteht darin, daß bei der Ausführung der Ventile ein Kompromiß zwischen deren mechanischer Resonanz in der Flüssigkeitsumgebung, deren Strömungswiderstand, deren fluidischer Kapazität, d.h. der elastischen Volumenverformung, deren Baugröße und deren mechanischer Stabilität gefunden werden muß. Diese Parameter, die alle jeweils Auswirkungen auf die Pumpdynamik haben, können also nicht unabhängig voneinander auf ein Optimum eingestellt werden und stehen zum Teil einer erwünschten, weiteren Miniaturisierung der Pumpabmessungen entgegen.

Generell nachteilig bei der Verwendung von Pumpen mit passiven Rückschlagventilen ist ferner die Tatsache, daß die Pumpen im ausgeschalteten Zustand das zu fördernde Medium nicht sperren. Übersteigt der Eingangs- den Ausgangsdruck um die Vorspannung der Ventile, so durchfließt das zu pumpende Medium die Pumpe.

Mikropumpen, die spezielle Strömungsdüsen verwenden, besitzen den Nachteil, daß sie einen sehr geringen maximalen Pumpwirkungsgrad im Bereich von den 10 - 20% aufweisen.

Eine beispielhafte, mit Rückschlagventilen versehene Mikropumpe ist in der EP 0 568 902 A2 offenbart. Diese Mikropumpe wird durch die Reziprokbewegung einer Membran betrieben. Durch die Bewegung der Membran ändert sich das Volumen einer Pumpkammer, die durch die Membran und ein Trägerbauglied gebildet ist. Der Auslaß und der Einlaß der Mikropumpe sind mit einem Auslaßventil bzw. einem Einlaßventil versehen.

Ausgehend von dem genannten Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, effiziente Fluidpumpen mit einem einfachen Aufbau, die keine Rückschlagventile aufweisen, zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch rückschlagventillose Fluidpumpen

gemäß den Patentansprüchen 1, 19 und 25 gelöst.

Die vorliegende Erfindung schafft gemäß einem ersten Aspekt eine Fluidpumpe mit einem Pumpenkörper, einem Verdränger, der mittels eines Antriebs in eine erste und eine zweite Endstellung positionierbar ist, wobei der Verdränger und der Pumpenkörper derart ausgebildet sind, daß zwischen denselben eine Pumpkammer, die über eine erste und eine zweite Öffnung, die keine Rückschlagventile aufweisen, mit einem Einlaß und einem Auslaß fluidmäßig verbindbar ist, definiert ist, und einem elastischen Puffer, der an die Pumpkammer angrenzt. Der Verdränger verschließt die erste Öffnung, wenn er in der ersten Endstellung ist und läßt die erste Öffnung offen, wenn er in der zweiten Endstellung ist.

Bei der Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung sind keine Rückschlagventile, weder passive noch aktive, erforderlich. Ferner kann die Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung zum aktiven Sperren des Fluids in beiden Richtungen verwendet werden. Bei der Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine Umkehr der Förderrichtung ohne Verwendung einer externen Zwangssteuerung von Ventilen und ohne die Verwendung einer Resonanz von passiven Rückschlagventilen erreichbar. Die mit der Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung erreichbare Pumpleistung kann durch die Steuerung des Zeitablaufs des Treibens des Verdrängers in die erste und in die zweite Endposition, also durch das Steuern des Taktverhältnisses, optimiert werden. Ferner kann die erreichbare Pumpleistung über eine Querschnittanpassung von erster und zweiter Öffnung optimiert werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt ferner die Erkenntnis zugrunde, daß es möglich ist, eine selbstansaugende Fluidpumpe, beispielsweise eine selbstansaugende Mikropumpe, zu schaffen, indem das in der Mikropumpe entstehende Totvolumen, d.h. jenes Volumen, welches nur hin- und herbewegt wird und keinen Pumpbeitrag liefert, drastisch reduziert wird. Dadurch wird eine Selbstbefüllung bei einer einfachen An-

steuerung des Pumpenantriebs reproduzierbar.

Die vorliegende Erfindung schafft gemäß einem zweiten und dritten Aspekt eine rückschlagventillose Fluidpumpe bestehend aus einem Pumpenkörper und einem flexiblen Verdränger, wobei der Pumpenkörper und der flexible Verdränger einen Pumpraum definieren, der über eine erste Öffnung und eine zweite Öffnung mit einem Einlaß und einem Auslaß fluidmäßig verbindbar ist. Gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung verschließt der Verdränger in der ersten Endstellung die erste und die zweite Öffnung, wobei der Verdränger die erste Öffnung öffnet, während die zweite Öffnung im wesentlichen geschlossen bleibt, wenn der Verdränger durch den Antrieb aus der ersten Endstellung in die zweite Endstellung bewegt wird. Gemäß dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung sind die erste und die zweite Öffnung beabstandet zueinander auf unterschiedlichen Seiten einer Mittelachse des Verdrängers angeordnet, wobei der Verdränger die erste Öffnung verschließt, wenn er in der ersten Endstellung ist, und die erste Öffnung offen läßt, wenn er in der zweiten Endstellung ist.

Die Fluidpumpe gemäß dem zweiten und dem dritten Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht vorzugsweise aus einem Pumpenkörper in der Form einer Platte und einem Verdränger in der Form einer Membran. Vorzugsweise sind in der Platte die Einlaß- und die Auslaßöffnung gebildet. Der Verdränger in der Form der Membran kann dabei in der Ruhestellung direkt auf einer Hauptoberfläche der Platte aufliegen. Ferner kann zwischen dem Verdränger in der Form der Membran und einer Hauptoberfläche der Platte ein kapillarer Spalt ausgebildet sein.

Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen dargelegt.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeich-

nungen näher erläutert, wobei gleiche Elemente in unterschiedlichen Zeichnungen mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Querschnittsdarstellung eines ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2 eine Darstellung der wesentlichen Pumpparameter der Pumpe, die in Fig. 1 gezeigt ist;
- Fig. 3 eine Darstellung der transienten Vorgänge der einzelnen Komponenten der in den Figuren 1 und 2 dargestellten Pumpe;
- Fig. 4a bis 4e graphische Darstellungen der Pumpe von Fig. 1 während eines Pumpzyklusses;
- Fig. 5 eine Schnittansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels der Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 6 eine Querschnittsansicht eines dritten Ausführungsbeispiels einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 7 eine Schnittansicht eines vierten Ausführungsbeispiels einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 8 eine Darstellung der transienten Vorgänge der einzelnen Komponenten bei einer Rückwirkung der Pumpkammer auf den Verdränger;
- Fig. 9 ein fünftes Ausführungsbeispiel einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung; und
- Fig. 10a bis 10e graphische Darstellungen einer Pumpe gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung

während eines Pumpzyklusses.

Fig. 11 eine Querschnittsdarstellung eines siebten Ausführungsbeispiels einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 12 eine Querschnittsdarstellung eines achten Ausführungsbeispiels einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 13 eine Querschnittsdarstellung eines neunten Ausführungsbeispiels einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 14a bis 14e grafische Darstellungen der Pumpe von Fig. 11 während eines Pumpzyklusses; und

Fig. 15a bis 15e grafische Darstellungen der Pumpe von Fig. 13 während eines Pumpzyklusses.

In Fig. 1 ist ein erstes Ausführungsbeispiel einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt. Die Pumpe weist einen Pumpenkörper 10, der plattenartig ausgebildet ist, und einen Verdränger 12, der über Verbindungen 18, die materialabhängig ausgeführt sind, auf dem Pumpenkörper befestigt ist, auf. Eine Pumpkammer 14 ist durch eine Ausnehmung in dem Pumpenkörper 10 gebildet. In dem Pumpenkörper sind ferner zwei Öffnungen, eine erste Öffnung 15 und eine zweite Öffnung 16, vorgesehen, an welche die Fluidleitungen des zu pumpenden Fluids angeschlossen werden können. Ein elastischer Puffer 13 ist bei dem ersten Ausführungsbeispiel durch eine Verdünnung des Pumpenkörpers 10 als eine Membran ausgebildet, die druckabhängig verformbar ist.

Der Verdränger 12 kann durch einen Antrieb (nicht gezeigt) periodisch zwischen zwei Endstellungen hin- und herbewegt werden. In der ersten Endstellung verschließt der Verdränger 12 die erste Öffnung 15, die im normalen Betrieb der Pumpe

den Einlaß darstellt. In der zweiten Endposition läßt der Verdränger 12 die erste Öffnung 15 offen. Die zweite Öffnung 16, die im normalen Betrieb den Auslaß darstellt, ist ungeachtet der Stellung des Verdrängers 12 während eines gesamten Pumpzyklus geöffnet.

Nachfolgend wird der Pumpmechanismus der in Fig. 1 dargestellten Pumpe näher erläutert. Für diese Erläuterung wird die erste Öffnung 15 als Einlaßöffnung und die zweite Öffnung 16 als Auslaßöffnung betrachtet. In Fig. 2 sind die wesentlichen Parameter, die zur Erklärung des Pumpmechanismus nötig sind, dargestellt.

Es sei angenommen, daß auf der Einlaßseite der hydrostatische Druck p_1 herrscht, auf der Auslaßseite der hydrostatische Druck p_2 und in der Pumpkammer der Druck p . Die Durchströmung der beiden Öffnungen sei mit ϕ_e für die Einlaßöffnung 15 und mit ϕ_a für die Auslaßöffnung 16 bezeichnet. Der Verdränger, bei dem gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel die Ruhelage der ersten Endstellung, bei der die Einlaßöffnung verschlossen ist, entspricht, wird durch die Betätigung des Antriebs in seine zweite Endstellung bewegt, wodurch eine Änderung des Volumens der Pumpkammer um eine definierte Volumenmenge dV^* stattfindet. Eine druckabhängige Volumenverdrängung des elastischen Puffers wird mit V_{Puffer} bezeichnet. Sie wird positiv gewertet, wenn sich die Membran 13 aus der Pumpkammer 14 herauswölbt, und negativ, wenn sich dieselbe in die Pumpkammer 14 hineinverformt.

Das Volumen der Pumpkammer setzt sich aus einem Grundvolumen V_0 der Pumpkammer 14, der Auslenkung des Verdrängers 12 $V_{\text{Verdränger}}$ und der Volumenverformung des Puffervolumens V_{Puffer} gemäß folgender Gleichung zusammen:

$$V_{\text{Pumpkammer}} = V_0 + V_{\text{Puffer}}(p) + V_{\text{Verdränger}} \quad (1)$$

Eine Änderung des Pumpkammervolumens $dV_{\text{Pumpkammer}}$ setzt sich dementsprechend wie folgt zusammen:

$$dV_{\text{Pumpkammer}} = dV_0(p) + dV_{\text{Puffer}}(p) + dV_{\text{Verdränger}} \quad (2)$$

Die Kontinuitätsgleichung für das Volumen der Pumpkammer lautet:

$$dV_{\text{Pumpkammer}}/dt = \phi_e(p_1 - p) - \phi_a(p - p_2) \quad (3)$$

Ein gesamter Pumpzyklus läßt sich in vier Teilschritte zerlegen, wobei sich die zeitlichen Abläufe unter einigen vereinfachenden Annahmen auf der Basis von Gleichung (2) und Gleichung (3) berechnen lassen. Im folgenden wird das zeitliche Verhalten der einzelnen Pumpkomponenten in den vier Teilschritten, sowie der sich daraus ergebende Pumpeffekt erläutert. Dabei wird zunächst von einer Pumpkammer ausgegangen, die vollständig mit einem inkompressiblen Medium gefüllt ist, beispielsweise einer Flüssigkeit mit $dV_0/dp \approx 0$. Es gilt:

$$dV_0(p) = [dV_0(p)/dp] dp = 0 \quad (4)$$

Teilschritt 1:

Der Verdränger 12 wird von der ersten Endposition, also derjenigen Endposition, in der er die Einlaßöffnung 15 verschließt, innerhalb einer sehr kurzen Zeit, $dt \approx 0$, um ein definiertes Volumen dV^* nach oben bewegt. Dies führt zu einer entsprechenden Volumenverformung des elastischen Puffervolumens, d.h. der Membran 13, in die Pumpkammer hinein, da der Pumpkammerinhalt als inkompressibel angenommen wurde, und da innerhalb der kurzen Zeit $dt \approx 0$ die Volumenveränderung des Verdrängers 12 nicht durch die Fluidströmungen ϕ_e und ϕ_a kompensiert werden können. Wenn $dt \approx 0$ angenommen wird, folgt aus der Gleichung (3) $dV_{\text{Pumpkammer}} \approx 0$ und daraus mit den Gleichung (2) und (4) $dV_{\text{Puffer}} = -dV_{\text{Verdränger}} = -dV^*$. Das verformte Puffervolumen erzeugt in der Pumpkammer 14 einen Unterdruck, der sich über die Charakteristik $V_{\text{Puffer}}(p)$ berechnen läßt.

Teilschritt 2 (Saugphase):

Durch den in der Pumpkammer erzeugten Unterdruck treten nun Fluidströmungen durch die Einlaß- und die Auslaßöffnung auf. Entsprechend der in die Pumpkammer geströmten Fluidmenge entspannt sich das Puffervolumen, wobei sich der von demselben erzeugte Unterdruck abbaut. Der zeitliche Verlauf des Pumpkammerdrucks in dieser Pumpphase ergibt sich aus den Gleichungen (2) und (3) zu:

$$dp/dt = [\phi_e(p_1-p) - \phi_a(p-p_2)] / [dV_{\text{Puffer}}/dp] \quad (5)$$

Sind die Strömungswiderstände der Einlaß- und Auslaßöffnung gleich groß und entsprechen die hydrostatischen Drücke p_1 und p_2 dem Umgebungsdruck, so fließen durch die Einlaß- bzw. Auslaßöffnung jeweils gleich große Fluidmengen in die Pumpkammer 14.

Teilschritt 3:

Nun wird der Verdränger aus der zweiten Endposition, d.h. derjenigen Endposition, in der die Einlaßöffnung offen war, innerhalb einer sehr kurzen Zeit, $dt \approx 0$, um ein definiertes Volumen $dV_{\text{Verdränger}} = -dV^*$ nach unten bewegt. Die Einlaßöffnung ist nun verschlossen. Die Abwärtsbewegung des Verdrängers 12 führt zu einer entsprechenden Volumenverformung des elastischen Puffers, d.h. der Membran 13 im ersten Ausführungsbeispiel, aus der Pumpkammer 14 heraus, da der Pumpkammerinhalt als inkompressibel angenommen wurde, und die Volumenänderung des Verdrängers 12 innerhalb der kurzen Zeit nicht durch die Fluidströmungen ϕ_e und ϕ_a durch die Öffnung 15, 16 ausgeglichen werden kann. Erfolgt der zeitliche Ablauf innerhalb $dt \approx 0$, dann folgt aus der Gleichung (3) $dV_{\text{Pumpkammer}} \approx 0$ und daraus mit den Gleichungen (2) und (4): $dV_{\text{Puffer}} = -dV_{\text{Verdränger}} = +dV^*$. Das verformte Puffervolumen erzeugt nun in der Pumpkammer einen Überdruck, der sich ebenfalls aus der Druckcharakteristik $V_{\text{Puffer}}(p)$ des Puffers

berechnen läßt.

Teilschritt 4 (Pumpphase):

Nach dem Teilschritt 3 ist die Einlaßöffnung 15 durch den Verdränger 12 verschlossen. Somit kann die Fluidströmung, die aufgrund des Überdrucks in der Pumpkammer 14 auftritt, die Pumpkammer ausschließlich durch die Auslaßöffnung 16 verlassen. Entsprechend der aus der Pumpkammer geströmten Fluidmenge entspannt sich das Puffervolumen, wobei sich der von dem Puffervolumen erzeugte Überdruck abbaut. Der zeitliche Verlauf des Pumpkammerdrucks in dieser Phase ergibt sich wiederum aus den Gleichungen (2) und (3) zu:

$$dp/dt = [-\phi_a(p-p_2)] / [dV_{\text{Puffer}}/dp] \quad (6)$$

Wie aus der obigen Erläuterung offensichtlich ist, wird während des Teilschritts 2 die Fluidmenge dV^* durch die Einlaß- und Auslaßöffnung 15, 16 angesaugt, wohingegen sie während des Teilschritts 4 allein durch die Auslaßöffnung 16 verdrängt wird. Sind die Strömungswiderstände von Einlaß- und Auslaßöffnung gleich groß und arbeitet die Pumpe ohne Last, d.h. $p_2 = p_1 = 0$, so wird in der Nettobilanz über einen gesamten Zyklus 50% des Verdrängervolumens dV^* vom Einlaß 15 in den Auslaß 16 transportiert.

Aus einem Vergleich der Gleichungen (5) und (6) ist dabei ersichtlich, daß der Teilschritt 2, die Saugphase, schneller abläuft, als der Teilschritt 4, die Pumpphase. Die Ursache dafür liegt darin, daß der Unterdruck in der Saugphase durch einen Fluidstrom durch beide Öffnungen ausgeglichen wird. Der Überdruck in der Pumpphase muß dagegen durch eine Fluidströmung durch nur eine Öffnung, die Auslaßöffnung 16, ausgeglichen werden.

Durch eine Variation der Strömungswiderstände von Einlaß- und Auslaßöffnung, d.h. eine Änderung der Öffnungsquerschnitte der beiden Öffnungen, kann der Pumpwirkungsgrad va-

riert werden. Insbesondere durch eine Erhöhung des Strömungswiderstandes auf der Auslaßseite bezüglich zur Einlaßseite kann der Wirkungsgrad im lastfreien Fall auf deutlich mehr als 50% optimiert werden. Der Grund dafür liegt in einer deutlich geringeren Rückströmung von Fluid vom Auslaß in die Pumpkammer während der Saugphase. Allerdings hat die Erhöhung des Strömungswiderstandes auf der Auslaßseite gemäß Gleichung (6) eine entsprechende Verlängerung der Pumpphase zur Folge.

Saug- und Pumpphasen unterschiedlicher Dauer können bei der Ansteuerung des Verdrängers berücksichtigt werden, indem ein von 50% verschiedenes Taktverhältnis verwendet wird, d.h. indem der Zeitablauf des Treibens des Verdrängers in die erste und in die zweite Endposition gesteuert wird. In dem Fall, des erhöhten Strömungswiderstandes auf der Auslaßseite bedeutet dies, daß die Saugphase durch die Ansteuerung des Verdrängers verkürzt wird, während die Pumpphase verlängert wird.

In Fig. 3 sind die transienten Vorgänge in der Pumpe gemäß Fig. 1 in Diagrammform dargestellt.

Die Kurve "A" zeigt den Verlauf der Verdrängerbewegung während eines Pumpzyklusses in den vier Teilschritten 1, 2, 3 und 4. Im Schritt 1 wird der Verdränger sehr schnell nach oben ausgelenkt und verharrt während des Schritts 2 in dieser Stellung. Dabei ist die Einlaßöffnung offen. Im Schritt 3 wird der Verdränger sehr schnell nach unten bewegt, verschließt die Eingangsöffnung und verharrt während des Schritts 4 in diesem Zustand.

Die Kurve "B" stellt die Reaktion des Puffers dar, der gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 1 aus der Membran 13 besteht. Dieses elastische Pufferelement in der Form der Membran 13 kann sich entsprechend der Druckverhältnisse verformen. Während des Schritts 1 kompensiert die Verformung des Puffers die Volumenänderung des Verdrängers. Während des

Schritts 2 baut sich die Verformung des Puffers durch die Fluidströmungen durch die Einlaß- bzw. Auslaßöffnung wieder ab. Im Schritt 3 verformt sich das Pufferelement nach unten und kompensiert so die schnelle Volumenänderung des Verdrängers. Während des Teilschritts 4 baut sich diese Verformung durch die Fluidströmung durch die Auslaßöffnung wieder ab.

Die Kurve "C" stellt den Pumpkammerdruck dar. Da der Pumpkammerdruck von der Verformung des Puffers abhängt, entspricht sein Verlauf im wesentlichen dem Verlauf der Volumenänderung durch den Puffer.

Die Kurve "D" veranschaulicht den Durchfluß durch die Einlaßöffnung. Aus der Kurve "D" ist ein Gleichrichterwirkung zu erkennen, da der Einlaß im Schritt 3 verschlossen wird und während des Teilschritts 4, während dem in der Druckkammer ein Überdruck herrscht, verschlossen bleibt. Damit ist eine Rückströmung von der Pumpkammer in die Einlaßseite verhindert.

Die Kurve "E" zeigt den Durchfluß durch die Auslaßöffnung. Da die Auslaßöffnung in beiden Endstellungen des Verdrängers geöffnet ist, strömt das Fluid sowohl im Schritt 2 als auch im Schritt 4 durch die Auslaßöffnung. Der Nettotransport von Fluid durch die Einlaß- und Auslaßöffnung ergibt sich aus dem Integral über eine der beiden Kurven "D" oder "E". Im normalen Betriebsmodus ist der Nettotransport vom Einlaß zum Auslaß gerichtet.

In den Fig. 4a bis 4e ist die Pumpe gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel, das in Fig. 1 gezeigt ist, während der verschiedenen Teilschritte eines Pumpzyklusses dargestellt.

Die Figuren 5, 6 und 7 zeigen weitere Ausführungsbeispiele für eine Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung.

Fig. 5 zeigt eine Pumpe, bei der ein Puffer 43 in einem Pumpenkörper 40 angeordnet ist. Der Pumpenkörper 40 weist eine

Grundplatte 40a und Seitenwände 40b auf, die zusammen einen Hohlkörper bilden, der durch die Seitenwände 40b und die Grundplatte 40a abgeschlossen ist und auf einer Seite, in Fig. 5 der nach oben gerichteten Seite, offen ist. Weist die Grundplatte eine runde Form auf, sind die Seitenwände ausgebildet, um eine rohrförmige Struktur zu definieren. Durch die Grundplatte erstreckt sich eine Einlaßöffnung 45 und eine Auslaßöffnung 46. In dem Hohlraum befindet sich ein Verdränger 42, der denselben zu der offenen Seite hin abschließt und mittels eines Antriebs (nicht gezeigt) in der Richtung, die durch den Pfeil 19 gezeigt ist, kolbenartig in dem Hohlraum bewegbar ist.

Eine Pumpkammer 44 wird durch eine Aussparung des Verdrängers 42 sowie den Pumpenkörper 40 gebildet. Der elastische Puffer 43 ist bei diesem Ausführungsbeispiel in dem Pumpenkörper 40, d.h. in der Seitenwand 40b des Grundkörpers 40 ausgebildet. Zu diesem Zweck ist die Seitenwand 40b in einem Bereich, der an die Pumpkammer 44 angrenzt, verdünnt, um eine membranartige Struktur zu ergeben. Die Funktionsweise dieses zweiten Ausführungsbeispiels entspricht der des ersten Ausführungsbeispiels.

Fig. 6 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung. Ein Pumpenkörper 50 ist dabei in gleicher Weise aufgebaut wie der Pumpenkörper 40 des zweiten Ausführungsbeispiels, mit der Ausnahme, daß der elastische Puffer nicht in demselben gebildet ist. In dem Pumpenkörper 50 ist wiederum ein Verdränger 52 angeordnet und in der Richtung des Pfeils 19 kolbenartig bewegbar. Der Verdränger 52 besitzt im Querschnitt die Form eines H, wobei ein Bein desselben einen Vorsprung 52a aufweist, um eine Einlaßöffnung 55 in dem Pumpenkörper 50 zu verschließen. Eine Auslaßöffnung 56 in dem Pumpenkörper 50 ist stets geöffnet. Der Verdränger 52 ist ausgebildet, um den Pumpenkörper 50 zu der offenen Seite hin zu verschließen. Dabei kann er abhängig von der Form des Pumpenkörpers 50, von oben gesehen, eine beliebige runde, mehreckige, elliptische, usw.,

Form aufweisen.

Durch die Form des Verdrängers 52 wird zwischen dem Verdränger 52 und dem Pumpenkörper 50 wiederum eine Pumpkammer 54 definiert. Im Gegensatz zum bezugnehmend auf Fig. 5 beschriebenen, zweiten Ausführungsbeispiel ist der elastische Puffer bei diesem Ausführungsbeispiel jedoch nicht in dem Pumpenkörper 50 gebildet, sondern in dem Verdränger 52. Dabei ist der elastische Puffer als Membran 53 in dem Verdränger 52 ausgebildet.

In Fig. 7 ist ein viertes Ausführungsbeispiel einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. In Fig. 7 sind Bauteile, die solchen in Fig. 6 gleichen, mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Der Pumpenkörper ist bei dem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung identisch dem Pumpenkörper des dritten Ausführungsbeispiels. Bei dem vierten Ausführungsbeispiel ist ein elastisches Pufferelement 63 in einem Verdränger 62 angeordnet, derart, daß das elastische Pufferelement 63 eine Grenzfläche zu einer von dem Verdränger 62 und dem Pumpenkörper 50 gebildeten Pumpkammer 64 aufweist. Beim Betrieb dieser Pumpe wird das elastische Pufferelement 63 zusammengedrückt und ausgedehnt, wodurch sich wiederum die vorher erläuterte Funktionsweise ergibt.

Neben den dargestellten elastischen Puffern kann die Funktion des elastischen Pufferelements auch von einem elastischen Medium in der Pumpkammer übernommen werden. Beispiele sind ein Gaseinschluß in einer mit Flüssigkeit gefüllten Kammer oder auch ein gummiartiges Material in der Pumpkammer. In diesem Fall kann auf die elastische Membran, die als Teil des Verdrängers oder des Pumpenkörpers einen Abschnitt der Pumpkammerbegrenzung liefert, verzichtet werden. Sofern das zu pumpende Medium kompressibel ist, beispielsweise Gas, kann die Pufferfunktion von demselben selbst übernommen werden, wobei keine weiteren mechanischen Bauteile zur Realisierung des Puffers notwendig sind. Der Hub des Verdrängers

in den oben erläuterten Schritten 1 und 3 wird dann zunächst durch eine Expansion bzw. Kompression des elastischen Mediums in der Pumpkammer oder des zu pumpenden Mediums selbst, kompensiert werden. In den Schritten 2 bzw. 4 relaxiert die Volumenverformung des Mediums in Folge von Fluidströmungen durch die Öffnungen, wie oben bezugnehmend auf das erste Ausführungsbeispiel beschrieben wurden. Eine reine Gaspumpe kann also lediglich mit einem Verdränger und zwei Öffnungen realisiert werden, wobei der Verdränger jeweils periodisch eine der beiden Öffnungen verschließt.

Bei der obigen Beschreibung des Pumpmechanismus wurde von einem zwangsgesteuerten Volumen-Verdränger ausgegangen, bei dem keine Rückwirkung zwischen der Verdrängerstellung und dem Pumpkammerdruck besteht. Für eine derartige Realisierung sind Antriebsmechanismen mit einer sehr großen Kraftdichte notwendig. Der Pumpmechanismus funktioniert auch, wenn eine derartige Rückwirkung, bzw. Kopplung, vorhanden ist.

Eine Darstellung der transienten Vorgänge der einzelnen Komponenten, beispielsweise der des Ausführungsbeispiels, das in Fig. 1 gezeigt ist, bei einer Rückwirkung der Pumpkammer auf den Verdränger, d.h. ohne eine Zwangssteuerung, ist in Fig. 8 dargestellt. In diesem Fall wird der Verdränger in Schritt 1 seine endgültige Endposition nicht vollständig erreichen, sondern erst gegen Ende des Teilschritts 2. Entsprechend muß der Verdränger am Ende des Teilschritts 3 die Einlaßöffnung noch nicht vollständig verschließen, sondern erst mit zunehmenden Druckausgleich während des Teilschritts 4. Für den Pumpeffekt ist ferner eine sehr schnelle Ansteuerung des Verdrängers innerhalb einer sehr kurzen Zeit, $\Delta t \approx 0$, günstig, jedoch nicht zwingend erforderlich.

Gemäß einem Vorteil der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die Stellung des Verdrängers im abgeschalteten Modus der Pumpe ohne einen zusätzlichen Aufwand derart auszulegen, daß durch das Blockieren der Einlaßöffnung durch den Verdränger eine Fluidströmung in beide Richtung ausgeschlossen

ist. Ist der Verdränger zwangsgesteuert und wird seine Stellung durch den in der Pumpkammer herrschenden Druck nicht beeinflußt, ist dadurch die Blockierung der Fluidleitung in beide Richtungen ohne einen zusätzlichen Aufwand gegeben. Falls eine Rückwirkung zwischen der Verdrängerposition und dem Pumpkammerdruck existiert, kann der Antrieb des Verdrängers derart ausgelegt werden, daß er den Verdränger aktiv auf die Einlaßöffnung drückt und somit die Fluidströmung aktiv unterbindet. Bei einem piezoelektrisch angetriebenen Verdränger, der beispielsweise mittels eines Piezostapelaktors, einer Piezoscheibe oder einem Piezobiegewandler betätigt wird, würde dies lediglich die Umpolung der Betriebsspannung erfordern.

Gemäß einem weiteren Vorteil kann die Pumprichtung einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung umgekehrt werden. Wird der Verdränger mit einer Frequenz angesteuert, die oberhalb der mechanischen Resonanz des Puffers in der betreffenden Umgebung, d.h. in dem zu pumpenden Fluid, liegt, so ergibt sich eine Phasenverschiebung von mehr als 90° zwischen der Expansion bzw. Kompression des Pufferelements und dem durch die Verdrängerstellung definierten Öffnungszustand der Einlaßöffnung. Der Puffer in der Pumpkammer nimmt somit Pumpmedium auf, während die Einlaßöffnung verschlossen ist, und gibt Pumpmedium ab, wenn Einlaß- und Auslaßöffnung offen sind. Damit ergibt sich eine zu der oben beschriebenen umgekehrte Pumprichtung. In diesem Fall kommt es zu einer Umkehrung der Pumprichtung von der Auslaßöffnung zu der Einlaßöffnung.

Der Vorteil gegenüber der bereits existierenden, bidirektionalen Mikropumpe liegt dabei darin, daß (i) auf passive Ventile ganz verzichtet werden kann, und (ii) die Resonanzfrequenz des Puffers anders wie bei der Resonanz eines passiven Rückschlagventils, unabhängig von weiteren wichtigen Größen, wie beispielsweise dem Strömungswiderstand des Ventils, der fluidischen Kapazität, der Baugröße des Ventils und dessen mechanischer Stabilität, eingestellt werden kann.

Folglich können die Resonanzfrequenzen auf einen Bereich von < 200 Hertz erniedrigt werden, wodurch der Aufwand bei der elektrischen und mechanischen Ansteuerung des Verdrängers erheblich reduziert ist. Im Gegensatz dazu liegt bei passiven Ventilen die Resonanz im Bereich zwischen 2000 Hertz und 6000 Hertz. Durch die Reduzierung der Resonanzfrequenz sind die auf den Verdränger wirkenden Trägheitskräfte deutlich geringer. Ferner kann der Mechanismus nicht nur bei mikroskopischen Pumpen, die kleine bewegte Massen liefern, sondern auch in makroskopischer Bauweise realisiert werden.

Ein weiterer Vorteil einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung ergibt sich, wenn dieselbe als eine Mikropumpe ausgeführt wird. Obwohl Mikropumpen in konventioneller Bauform sowohl Flüssigkeiten als auch Gase transportieren können, sind sie durchgehend nicht selbstansaugend, d.h. sie sind nicht in der Lage, eine mit Gas gefüllte Pumpkammer im Laufe des Pumpvorgangs selbständig durch Flüssigkeit zu ersetzen. Dies erschwert den Einsatz der Pumpen in der Praxis ganz erheblich. Nachfolgend wird auf die Ursachen für die nicht vorhandene Selbstansaugung näher eingegangen.

Bei Mikropumpen mit passiven Rückschlagventilen spielen Kapillarkräfte eine große Rolle. Sobald der Flüssigkeitsspiegel das Einlaßventil erreicht und das bewegliche Ventilteil, die Ventilklappe oder die Ventilmembran, benetzt, treten Kapillarkräfte auf, welche die Bewegung stark einschränken, bzw. welche den notwendigen Kraftaufwand zur Bewegung des elastischen Ventilteils erheblich vergrößern. Erst wenn das gesamte bewegliche Ventilteil vollständig mit Flüssigkeit umspült ist, heben sich diese Kräfte wieder auf und die Pumpe befindet sich in ihrem normalen Pumpmodus.

Da bei konventionellen Mikropumpen die passiven Rückschlagventile nicht von außen gesteuert werden, kann man die Antriebskraft nicht direkt zur Überwindung der Kapillarkräfte einsetzen. Mit dem Antrieb ist vielmehr zunächst das Gas in der Pumpkammer zu komprimieren, bzw. zu expandieren, wobei

erst über den Gasdruck eine Kraft zur Überwindung der Kapillarkräfte auf die Ventile übertragen wird. Dieser indirekte Kraftübertrag über ein kompressibles Gas, verbunden mit der Tatsache, daß die Nettoangriffsfläche des Drucks an dem beweglichen Ventiltail sehr gering ist, beinhaltet sehr große Verluste bei der Kraftübertragung des Antriebs auf das Rückschlagventil und verhindert bei den derzeit bekannten Mikropumpen die Selbstansaugung.

Bei der Realisierung von Mikropumpen mit Düsen anstelle von Rückschlagventilen, um die Pumprichtung zu definieren, tritt ein Pumpeffekt nur ein, wenn der Strömungswiderstand jeder einzelnen Düse in Pumprichtung geringer ist als entgegengesetzt zur Pumprichtung. Bei der Mittelung über den gesamten Pumpzyklus bedeutet dies für die Eingangsdüse, daß der Volumendurchsatz in die Pumpkammer hinein größer sein muß als aus der Pumpkammer heraus. Sobald jedoch nun der Flüssigkeitsmeniskus zur Eingangsdüse gelangt, ändert sich der Strömungswiderstand der Düse aufgrund der größeren Dichte der Flüssigkeit dramatisch. Wird ein für die Dichteänderung typischer Wert von 1.000 angenommen, ändert sich der Strömungswiderstand um den Faktor $(1000)^{\frac{1}{2}} \approx 30$. Da in Pumprichtung Flüssigkeit durch die Düse strömen muß, ist der Volumendurchsatz deutlich geringer als entgegen der Pumprichtung, da in diesem Fall Gas durch die Düse strömt. In dieser Situation bricht die Pumpwirkung zusammen, wobei aus diesem Grund eine Selbstansaugung nicht gegeben ist.

Im Gegensatz zu den gerade beschriebenen bekannten Mikropumpen kann bei der erfindungsgemäßen Pumpe der Aktor direkt zur Überwindung der Kapillarkräfte eingesetzt werden. Durch den direkten Kraftübertrag des Antriebs auf das von einer Flüssigkeit benetzte Teil stehen sehr viel höhere Kräfte zur Überwindung der Kapillarkräfte zur Verfügung. Somit kann der Verdränger trotz Benetzung arbeiten.

In Fig. 9 ist ein fünftes Ausführungsbeispiel einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Verdränger 82 Teil eines zweiten Pumpenkörpers 90. Der zweite Pumpenkörper 90 ist strukturiert, d.h. er weist Verdickungen und Verdünnungen 89 auf, um eine elastische Aufhängung für den Verdränger 82 zu liefern. Der zweite Pumpenkörper 90 ist über Verbindungen 88 auf einem Pumpenkörper 80 befestigt. Die Pumpkammer 84 ist als ein kapillarer Spalt zwischen dem Pumpenkörper 80, dem Verdränger 82 und dem zweiten Pumpenkörper 90 ausgebildet. Der Pumpenkörper 80 weist eine Einlaßöffnung 85 auf, die von dem Verdränger 82 verschlossen ist, wenn sich derselbe in der ersten Endstellung befindet. Der Verdränger 82 kann wiederum in der Richtung des Pfeils 19 bewegt werden. In dem zweiten Pumpenkörper 90 befinden sich zwei Auslaßöffnungen 86a und 86b. Der Puffer ist bei diesem Ausführungsbeispiel wiederum als Membran ausgeführt, die sich in dem Pumpenkörper 80 befindet.

Bei einem alternativen Ausführungsbeispiel könnte der Puffer durch die Verdünnungen 89, die als elastische Aufhängungen für den Verdränger 82 dienen, realisiert sein, wobei der Puffer in dem Pumpenkörper 80 dann entfallen würde. In diesem Fall wäre es vorteilhaft, wenn die Verdünnungen 89 gegenüber den in Fig. 9 dargestellten vergrößert wären.

Wenn die Bauhöhe der Pumpkammer 84, wie bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel, als kapillarer Spalt ausgeführt ist, füllt sich dieselbe von selbst, sobald ein Flüssigkeitsmeniskus an diesem Spalt anliegt. Eine derartige Reduktion der Pumpkammerhöhe ist bei konventionellen Mikropumpen mit Rückschlagventilen ausgeschlossen, da dadurch die Bewegung der Ventile eingeschränkt wird. Bei Mikropumpen mit Strömungsdüsen stellt die Pumpkammer bei einer drastischen Reduktion der Pumpkammerhöhe einen zusätzlichen Strömungswiderstand dar. Dieser innere Strömungswiderstand der Pumpkammer dominiert über den Strömungswiderstand der Düsen, so daß der Pumpeffekt basierend auf der Vorzugsrichtung der Düsen zusammenbricht.

Bei den bisher beschriebenen Ausführungsbeispielen ist die zweite Öffnung, die beim normalen Betrieb der Pumpe der Auslaßöffnung entspricht stets geöffnet.

In den Fig. 10a bis 10e ist ein sechstes Ausführungsbeispiel einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung während der verschiedenen Teilschritte eines Pumpzyklusses dargestellt.

Bei der Pumpe gemäß den Fig. 10a bis 10b ist der Puffer in dem Verdränger gebildet, derart, daß der Verdränger und der Puffer als verschiedene Bereiche einer Membran gebildet sind, welche den Pumpenkörper überspannt, um die Pumpkammer zu definieren. Der Pumpenkörper ist ähnlich dem des ersten Ausführungsbeispiels ausgebildet, mit der Ausnahme, daß der Puffer nicht in demselben gebildet ist. Ein derartiger Aufbau der erfindungsgemäßen Pumpe ermöglicht eine weiter vereinfachte Herstellung derselben.

Die vorliegende Erfindung schafft somit eine Pumpe, die auf einem neuartigen Mechanismus basiert, gänzlich ohne Rückschlagventile auskommt und eine Umkehrung der Pumprichtung ohne eine externe Umsteuerung von Ventilen ermöglicht. Somit besitzt die Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung einen wesentlich einfacheren Aufbau. Ferner kann der Verdränger gleichzeitig dazu verwendet werden, eine Fluidströmung über die Pumpe nach deren Abschalten in beiden Richtungen passiv oder aktiv abzusperren.

Die vorliegende Erfindung liefert ferner eine Pumpe, die Vorteile bei der Umschaltung der Pumprichtung liefert. Gemäß der vorliegenden Erfindung kann die Resonanz des mechanischen Bauteils, das im konventionellen Fall das Ventil und bei der vorliegenden Erfindung das Pufferelement ist, unabhängig von dem Strömungswiderstand eines Ventils, dessen Baugröße, dessen fluidischer Kapazität und dessen mechanischer Stabilität eingestellt werden. Dadurch ist es möglich, einerseits die Bauteile weiter zu miniaturisieren und ande-

rerseits die Resonanzfrequenzen durchschnittlich zu erniedrigen. Bei konventionellen Mikropumpen stehen sich diese beiden Effekte gegenläufig gegenüber.

Im Gegensatz zu konventionellen Mikropumpen, bei denen typische Resonanzfrequenzen im Bereich von 2000 Hertz bis 3000 Hertz liegen, ist eine Umkehr der Pumprichtung bei einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung schon auf Frequenzen von 40 Hertz möglich. Dadurch wird der Aufwand der elektrischen und mechanischen Ansteuerung des Verdrängers erheblich reduziert. Außerdem sind die Trägheitskräfte, die auf den Verdränger wirken, deutlich geringer, und der Mechanismus kann nicht nur bei mikroskopischen Pumpen realisiert werden, sondern auch in makroskopischer Bauweise.

Im Vergleich zu Pumpen mit Strömungsdüsen weist die erfindungsgemäße Pumpe, die ohne Rückschlagventile auskommt, einen erhöhten Wirkungsgrad pro Pumpzyklus von mehr als 50% auf.

Bei einer mikromechanischen Ausführung der erfindungsgemäßen Pumpe kann dieselbe nur aus einem einzigen strukturierten Bauteil, in dem der Verdränger realisiert ist, und einer Grundplatte mit zwei Öffnung bestehen. Diese einfachen Strukturen erlauben einen problemlosen Zusammenbau des Gesamtsystems. Eine Grundstruktur aus Pyrex erlaubt das anodische Bonden des strukturierten Siliziumbauteils auf den Pyrex-Grundkörper, der als Pumpenkörper dient. Die Öffnungen in der Grundstruktur können als einfache Bohrungen oder beliebig geformt ausgeführt sein. Dies reduziert den Aufwand gegenüber der Herstellung von Strömungsdüsen erheblich. Ferner kann die Grundbauform der Mikropumpe rund sein oder jede beliebige Form aufweisen.

Als Materialien für die Mikropumpe kommen neben Silizium fast alle anderen Werkstoffe in Betracht, beispielsweise Metalle, Kunststoffe, Gläser, Keramiken. Dabei ist eine einfache Fertigung in Kunststoffspritzgußtechnik ebenso möglich

wie die Fertigung in Metalldruck-Gußtechnik oder das LIGA-Verfahren.

Der Antrieb der Mikropumpe, d.h. des Verdrängers, kann durch alle bekannten Aktorverfahren erfolgen, beispielsweise piezoelektrisch, pneumatisch, thermopneumatisch, thermomechanisch, elektrostatisch, magnetisch, magnetostruktiv oder hydraulisch.

Über integrierte Sensoren, beispielsweise in der Puffermembran, läßt sich ein Regelkreis aufbauen, der den Antrieb der Mikropumpe in den jeweils optimalen Arbeitsbereich bringt.

Das Einsatzgebiet der erfindungsgemäßen Pumpe deckt den gesamten Bereich der Mikrofluidik und Fluidik ab, da das Medium sowohl bidirektional befördert als auch definiert gesperrt werden kann. Die minimale Baugröße ermöglicht den Aufbau von minimalen Misch- und Dosiersystemen in der Medizin-, Chemie- und Analysetechnik. Bei B.H. van de Schoot, S. Jeanneret, A. van den Berg and N.F. de Rooij; A silicon integrated miniature chemical analysis system; Sensors and Actuators, B, 6 (1992), Seiten 57-60, werden für eine derartige Anwendung zwei Pumpen verwendet, wohingegen man mit nur einer erfindungsgemäßen Pumpe auskommen würde. Generell ist das Pumpenprinzip für einen weiten Bereich von Baugrößen geeignet, so daß in vielen Fällen die Spritzgußtechnik als kostengünstige Fertigungstechnik eingesetzt werden kann.

Fig. 11 zeigt ein siebtes Ausführungsbeispiel einer selbstansaugenden Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung. Die Fluidpumpe weist einen Pumpenkörper 110 auf, an dem mittels einer Verbindungseinrichtung 112 ein Verdränger 114 in der Form einer Membran 114 angebracht ist. Die Membran 114 kann an den Abschnitten, an denen der Verdränger an dem Pumpenkörper 110 befestigt ist, verdickt sein. Die Membran 114 ist mittels einer Antriebsvorrichtung 116, die eine piezoelektrische, eine pneumatische, eine thermopneumatische, eine thermomechanische, eine elektrostatische, eine magnetische,

eine magnetostriktive oder eine hydraulische Antriebsanordnung sein kann, aus der Stellung, die in Fig. 11 dargestellt ist und im folgenden als erste Endstellung bezeichnet wird, in eine zweite Endstellung bewegbar. Bei diesem Ausführungsbeispiel sind in dem Pumpenkörper 110 zwei Öffnungen 118 und 120 angeordnet, die beispielsweise mit einer Einlaß- bzw. Auslaß-Fluidleitung (nicht gezeigt) verbunden sein können. Bei der in Fig. 11 dargestellten Pumpe ist die Öffnung 118 die Einlaßöffnung, während die Öffnung 120 die Auslaßöffnung darstellt. Die Membran 114 ist vorzugsweise direkt über der Einlaßöffnung 118 mit der Antriebsvorrichtung 116 verbunden, um den Betrieb der Pumpe, der nachfolgend bezugnehmend auf Fig. 14 erläutert wird, zu ermöglichen. Zur Befestigung der Antriebsvorrichtung kann die Membran 114 an der Stelle derselben, an der sie mit der Antriebseinrichtung 116 verbunden ist, eine Verdickung aufweisen.

Die in Fig. 11 dargestellte, selbstansaugende, selbstbefüllende Mikropumpe unterscheidet sich von bekannten Mikropumpen dadurch, daß sie im Pumpbetrieb abwechselnd die erste Öffnung 118 öffnet, während die zweite Öffnung 120 verschlossen bleibt, um dann die zweite Öffnung 120 zu öffnen, während die erste Öffnung geschlossen ist. Bei der in Fig. 11 dargestellten Pumpe ist zu jedem Zeitpunkt immer nur eine Öffnung, 118 oder 120, geöffnet, während die andere Öffnung geschlossen ist. In der Ruhephase sind beide Öffnungen 118 und 120 verschlossen, wodurch das Pumpmedium definiert abgesperrt wird.

In Fig. 12 ist ein achttes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Fluidpumpe dargestellt. Die Fluidpumpe weist wiederum einen Pumpenkörper 110 auf, an dem mittels einer Verbindungseinrichtung 112 eine Membran 124 angebracht ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist jedoch zwischen der Membran und dem Pumpenkörper ein kapillarer Spalt 126 gebildet. Um die Öffnungen 118 und 120 zu verschließen, wenn der Verdränger, d.h. die Membran 124, in der Ruhelage ist, weist die Membran an den Orten der Öffnungen Verdickungen auf, die

der Oberfläche der Platte des Pumpenkörpers 110 zugewandt sind. Wiederum ist an der Membran eine Antriebseinrichtung 116 angebracht.

Auf der Oberseite, d.h. der dem Pumpenkörper abgewandten Seite, der Membran 124 können Strukturierungen ausgebildet sein, die eine optimale Puffervolumen-Anpassung und -Entleerung ermöglichen. Ferner können Strukturierungen, welche beispielsweise als Strömungskanäle ausgeführt sein können, auf der Oberseite des Pumpenkörpers, d.h. der Oberseite, die der Membran 124 zugewandt ist, oder der Membranunterseite zur optimalen Befüllung bzw. Entleerung der Pumpe genutzt werden.

Alternativ zu dem in Fig. 12 dargestellten Ausführungsbeispiel könnten die Öffnungen 118 und 120, die in dem Pumpenkörper 110 angeordnet sind, ferner Erhebungen, die dieselben umgeben, aufweisen. In diesem Fall müßte die Membran 124 keine dem Pumpenkörper 110 zugewandten Verdickungen aufweisen, um ein Verschließen der Öffnungen 118 und 120 zu ermöglichen.

In Fig. 13 ist ein neuntes Ausführungsbeispiel einer Fluidpumpe gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Bei der in Fig. 13 dargestellten Pumpe ist zwischen dem Pumpenkörper 110 und einer einen Verdränger bildenden Membran 136 ein kapillarer Spalt ausgebildet. Bei diesem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist es bedeutsam, daß die zwei Öffnungen 118 und 120 beabstandet voneinander auf unterschiedlichen Seiten einer Mittelachse der Membran 136 angeordnet sind. Durch diesen asymmetrischen Aufbau der erfindungsgemäßen Pumpe ist ein selbstansaugender bzw. selbstbefüllender Betrieb der Mikropumpe gemäß der vorliegenden Erfindung möglich.

Bezugnehmend auf die Fig. 14a bis 14e wird nachfolgend ein Pumpzyklus der Pumpe, die in Fig. 11 dargestellt ist, erläutert. Hierbei sei darauf hingewiesen, daß das in Fig. 12

dargestellte Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung im Betrieb einen gleichartigen Pumpzyklus durchläuft.

In Fig. 14a ist die Pumpe in der Ruhestellung dargestellt, die auch in Fig. 11 gezeigt ist. In dieser Stellung sind beide Anschlüsse verschlossen, wodurch eine absolute Medien-sperrung erzeugt wird.

Wie in Fig. 14b gezeigt ist, wird dann der Verdränger, d.h. die Membran 114, aus der Ruhestellung in der Richtung des in der Fig. 14b gezeigten Pfeils punktuell nach oben bewegt, wobei die Einlaßöffnung, die Öffnung 118, geöffnet wird, während die Auslaßöffnung, die Öffnung 120, verschlossen bleibt. Die in Fig. 14b gezeigte Stellung kann als zweite Endstellung des Verdrängers betrachtet werden.

In Fig. 14c ist dargestellt, wie durch die Aufwärtsbewegung des Verdrängers ein zu pumpendes Medium durch die Einlaßöffnung, d.h. die Öffnung 118, in die durch die Aufwärtsbewegung des Verdrängers gebildete Pumpkammer gezogen wird. Nachfolgend wird, wie in Fig. 14d gezeigt ist, der Verdränger schlagartig, punktuell nach unten bewegt und verschließt somit die Einlaßöffnung. Durch die Verdrängerverformung, d.h. die Verformung der Membran 114, wird ein Puffervolumen zwischen Membran und Pumpenkörper gebildet, welches dem aufgenommenen Fluidvolumen entspricht, was bewirkt, daß die Auslaßöffnung freigegeben wird.

Wie in Fig. 14e dargestellt ist, wird das Puffervolumen durch die Auslaßöffnung, d.h. die Öffnung 120, entleert, wobei das zu pumpende Medium "verschoben" bzw. über eine "Rollverdrängung" transportiert wurde.

Der oben beziehend auf die Fig. 14a bis 14e beschriebene Pumpmechanismus ergibt eine Pumprichtung von der Einlaßöffnung 118 zu der Auslaßöffnung 120. Durch das Erhöhen der Antriebsfrequenz auf eine Frequenz oberhalb der Resonanzfrequenz des Gesamtsystems, bestehend aus dem Verdränger und

dem Fluidsystem, kann eine Umkehr der Pumprichtung erreicht werden. Es ist offensichtlich, daß sich dann auch die Einlaß- bzw. Auslaß-Öffnung umkehren, d.h. daß die Einlaßöffnung 118 zur Auslaßöffnung wird, und die Auslaßöffnung 120 zur Einlaßöffnung wird.

Das bei jedem Pumpzyklus von der erfindungsgemäßen Fluidpumpe durch eine Öffnung aufgenommene Volumen des Mediums entspricht dem durch die zweite Öffnung abgegebenen Volumen des Mediums. Die bei der erfindungsgemäßen Pumpe auftretende Rückströmung bzw. das Totvolumen, d.h. jenes Volumen, das nur hin- und herbewegt wird und keinen Pumpbeitrag liefert, gehen bei dieser Anordnung im Gegensatz zu bekannten Mikropumpen gegen Null. Dadurch wird bei der erfindungsgemäßen Mikropumpe bei einer einfachen Ansteuerung der Antriebsvorrichtung die Selbstbefüllung in Verbindung mit der Membranverformung und der sequentiellen Öffnung der Öffnungen reproduzierbar.

In den Fig. 15a bis 15e ist ein Pumpzyklus des in Fig. 13 dargestellten neunten Ausführungsbeispiels einer Pumpe gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Wie in Fig. 15a gezeigt ist, wird die Membran 136 zunächst ausgehend von einer Ruhelage mittels der Antriebsvorrichtung 116 nach unten bewegt, derart, daß die Öffnung 118 verschlossen ist. Wiederum sei zur Vereinfachung der Erklärung die Öffnung 118 als die Einlaßöffnung bezeichnet, während die Öffnung 120 als die Auslaßöffnung bezeichnet wird. Die in Fig. 15a dargestellte Stellung der Membran 136 kann als erste Endstellung bezeichnet werden.

Wie in Fig. 15b dargestellt ist, wird die Membran 136 nachfolgend ruckartig nach oben bewegt. In diesem Fall ist nicht immer nur eine Öffnung verschlossen, während die andere geöffnet ist. Wie in den Fig. 15b und 15c gezeigt ist, sind hier kurzzeitig auch beide Öffnungen geöffnet, wobei jedoch durch die Öffnungen ein unterschiedliches Maß des Mediums fließt, da sich die Öffnungshöhe, d.h. der Abstand der Mem-

bran über den Öffnungen, unterscheidet und damit der Flußwiderstand. Durch die Einlaßöffnung 118 fließt somit ein größerer Fluidstrom als durch die Auslaßöffnung 120. Dies ist in Fig. 15c durch die unterschiedlich kräftig dargestellten Pfeile angezeigt.

Wie in Fig. 15d gezeigt ist, wird die Membran nachfolgend ruckartig nach unten bewegt, wodurch die Öffnung 118 verschlossen wird. Wiederum ist zwischen der Membran und dem Pumpenkörper ein Pumpvolumen gebildet, das, wie in Fig. 15e gezeigt ist, anschließend durch die Rückverformung des Verdrängers durch die Öffnung 120 entleert wird.

Bei der in Fig. 13 dargestellten Fluidpumpe, deren Betrieb bezüglich Fig. 15 erläutert wurde, existiert ein größeres Totvolumen als bei dem siebten und dem achten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, die in den Fig. 11 und 12 gezeigt sind. Dadurch weist das bezüglich den Fig. 13 und 15 beschriebene dritte Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung einen geringeren Wirkungsgrad als die bezüglich der Fig. 11 und 12 beschriebenen Ausführungsbeispiele auf.

Die Mikropumpe gemäß den Fig. 11 und 12 läßt sich mit einer konstanten Antriebsfrequenz selbst befüllen. Nachdem das zu pumpende Medium den Pumpraum oder die Pumpkammer befüllt hat und an der Austrittsöffnung austritt, kann die Antriebsfrequenz der Antriebsvorrichtung, die den Verdränger treibt, im Falle des Pumpens eines flüssigen Mediums um den Faktor 10 gesenkt werden, da nun keine Luft mehr verdrängt werden muß, sondern nur mehr das flüssige Medium.

Eine Basis für den Pumpmechanismus liegt in der Verdränger- verformung und der Anordnung der Öffnungen. Das zu pumpende Medium wird durch die Öffnung 118 aufgenommen und zur Öffnung 120 "verschoben" oder über eine "Rollverdrängung" transportiert.

Die Pumpenkörper und Verdrängereinrichtungen gemäß der vor-

liegenden Erfindung können vorzugsweise aus Silizium bestehen. Daneben können dieselben auch in einer Kunststoff-spritztechnik gefertigt sein. Als Antriebsvorrichtungen können alle in der Technik bekannten Antriebe verwendet werden. Die für die Mikropumpe charakteristischen, transienten Kurvenformen für den Hub, den Pumpkammerdruck, die Verdrängervolumenänderung und den Durchfluß können ohne weiteres hergeleitet werden.

Alternativ zu den dargestellten Fluidpumpen könnte ein kapillarer Spalt zwischen der Verdrängermembran und der Pumpenkörperplatte auch durch eine Ausnehmung in der Pumpenkörperplatte gebildet sein.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht gemäß dem zweiten und dritten Aspekt derselben somit erstmals die Herstellung rückschlagventillosen, selbstansaugender, d.h. selbstbefüllender, Mikropumpen. Das Einsatzgebiet der erfindungsgemäßen Pumpen deckt den gesamten Bereich der Mikrofluidik und der Fluidik ab, da das zu pumpende Medium sowohl bidirektional befördert als auch definiert gesperrt werden kann. Ferner sind die erfindungsgemäßen Pumpen mit einem minimalen Aufwand und mit minimalen Baugrößen herstellbar. Durch diese geringen Baugrößen ermöglicht die vorliegende Erfindung den Aufbau von minimalen Misch- und Dosiersystemen in der Medizin-, Chemie- und Analyse-Technik, wobei die dabei verwendeten Pumpen einen guten Wirkungsgrad aufweisen.

Patentansprüche

1. Fluidpumpe, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

einen Pumpenkörper (10; 40; 50; 80);

einen Verdränger (12; 42; 52; 62; 82), der mittels eines Antriebs in eine erste und eine zweite Endstellung positionierbar ist, wobei der Verdränger und der Pumpenkörper derart ausgebildet sind, daß zwischen denselben eine Pumpkammer (14; 44; 54; 64; 84), die über eine erste (15; 45; 55; 85) und eine zweite (16; 46; 56; 86a, 86b) Öffnung, die nicht mit Rückschlagventilen versehen sind, mit einem Einlaß und einem Auslaß fluidmäßig verbindbar ist, definiert ist; und

einen elastischen Puffer (13; 43; 53; 63; 83), der an die Pumpkammer angrenzt;

wobei der Verdränger die erste Öffnung verschließt, wenn er in der ersten Endstellung ist und die erste Öffnung offen läßt, wenn er in der zweiten Endstellung ist.

2. Fluidpumpe gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß der Verdränger (12) in der Form einer Platte ausgebildet ist, die auf dem Pumpenkörper (10) befestigt ist, wobei der Pumpenkörper eine Aussparung aufweist, die die Pumpkammer (14) definiert.

3. Fluidpumpe gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß der Pumpenkörper (40; 50) eine Grundplatte (40a) und von derselben vorstehende Seitenwände (40b) aufweist, wobei der Verdränger (42; 52; 62) kolbenartig in dem durch die Grundplatte (40a) und die Seitenwände (40b)

gebildeten Hohlraum bewegbar ist.

4. Fluidpumpe gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

daß der Verdränger (42; 52; 62) eine Aussparung aufweist, die zusammen mit der Grundplatte (40a) und/oder den Seitenwänden (40b) des Pumpenkörpers (40; 50) die Pumpkammer (44; 54; 64) definiert.

5. Fluidpumpe gemäß Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet,

daß die erste und die zweite Öffnung (45, 46; 55, 56) in der Grundplatte (40a) des Pumpenkörpers (40; 50) gebildet sind.

6. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

daß der Puffer (13; 43; 83) in den Pumpenkörper (10; 40; 80) angeordnet ist.

7. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

daß der Puffer (53; 63) in dem Verdränger (52; 62) angeordnet ist.

8. Fluidpumpe gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

daß der Puffer (13; 43; 83) durch eine Verdünnung einer Wand des Pumpenkörpers als eine Membran ausgebildet ist.

9. Fluidpumpe gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,

daß der Puffer (53) durch eine Verdünnung des Verdrängers (52) als eine Membran ausgebildet ist.

10. Fluidpumpe gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,

daß der Puffer (63) als ein elastisches Pufferelement, das sich in dem Verdränger (62) befindet und eine Grenzfläche zur Pumpkammer (64) aufweist, gebildet ist.
11. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

daß der Puffer durch ein elastisches Medium in der Pumpkammer gebildet ist.
12. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

daß der Puffer durch das zu übertragende Medium selbst gebildet ist.
13. Fluidpumpe gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

daß der Verdränger (82) in einen zweiten Pumpenkörper (90) integriert ist, der Verdünnungen (89) aufweist, um eine elastische Aufhängung für den Verdränger (82) zu liefern.
14. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet,

daß der Verdränger (12; 42; 52; 62; 82) die erste Öffnung nach dem Abschalten der Pumpe passiv oder aktiv in beide Flußrichtungen verschließt.
15. Fluidpumpe gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet,

daß das aktive Verschließen der ersten Öffnung durch den Antrieb, der den Verdränger auf die erste Öffnung drückt, bewirkt wird.

16. Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet,

daß die Pumprichtung der Pumpe durch ein Betreiben des Verdrängers mit einer Frequenz, die oberhalb der Resonanzfrequenz des Puffers ist, umkehrbar ist.

17. Fluidpumpe gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

daß die Pumpkammer (84) als ein kapillarer Spalt ausgebildet ist.

18. Fluidpumpe gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

daß der Verdränger und der Puffer als verschiedene Bereiche einer Membran gebildet sind, die den Pumpenkörper zur Bildung der Pumpkammer überspannt.

19. Rückschlagventillose Fluidpumpe gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

einen Pumpenkörper (110);

einen flexiblen Verdränger (114; 124), der entlang seines Umfangs fluiddicht an dem Pumpenkörper (110) angebracht ist und mittels einer Antriebseinrichtung (116) in eine erste und eine zweite Endstellung bewegbar ist;

wobei der Pumpenkörper (110) und der flexible Verdränger (114; 124) einen Pumpenraum definieren, der über eine erste Öffnung (118) und eine zweite Öffnung (120) mit einem Einlaß und einem Auslaß fluidmäßig verbindbar ist;

wobei der Verdränger (114; 124) in der ersten Endstellung die erste und die zweite Öffnung verschließt; und

wobei der Verdränger (114; 124) die erste Öffnung (118) öffnet, während die zweite Öffnung (120) im wesentlichen geschlossen ist, wenn der Verdränger (114; 124) durch die Antriebseinrichtung (116) aus der ersten Endstellung in die zweite Endstellung bewegt wird.

20. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet,

daß der Pumpenkörper (110) in der Form einer Platte und der Verdränger (114) in der Form einer Membran ausgebildet ist, derart, daß die Membran auf einer Hauptoberfläche der Platte aufliegt, wenn der Verdränger (114) in der ersten Endstellung ist.

21. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet,

daß Pumpenkörper (110) in der Form einer Platte und der Verdränger (124) in der Form einer Membran ausgebildet ist, derart, daß zwischen einer Hauptoberfläche der Platte und der Membran ein kapillarer Spalt (126) gebildet ist.

22. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet,

daß die erste und die zweite Öffnung (118, 120) in dem Pumpenkörper (110) angeordnet sind, wobei die Membran (124) eine erste und eine zweite zu der Platte (110) hin gerichtete Verdickung aufweist, die die erste und die zweite Öffnung verschließen, wenn der Verdränger (124) in der ersten Endstellung ist.

23. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet,

daß die erste und die zweite Öffnung (118, 120) in dem

Pumpenkörper (110) angeordnet sind, wobei um die erste und die zweite Öffnung (118, 120) Erhebungen vorgesehen sind, derart, daß die Membran die erste und die zweite Öffnung (118, 120) in der ersten Endstellung verschließt.

24. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet,

daß der Verdränger (114; 124) nach dem Abschalten der Pumpe die erste und die zweite Öffnung (118, 120) passiv und/oder aktiv verschließt.

25. Rückschlagventillose Fluidpumpe gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

einen Pumpenkörper (110);

einen flexiblen Verdränger (136), der entlang seines Umfangs fluiddicht an dem Pumpenkörper (110) angebracht ist und mittels einer Antriebseinrichtung (116) in eine erste und eine zweite Endstellung bewegbar ist;

wobei der Pumpenkörper (110) und der flexible Verdränger (136) einen Pumpenraum definieren, der über eine erste Öffnung (118) und eine zweite Öffnung (120) mit einem Einlaß und einem Auslaß fluidmäßig verbindbar ist;

wobei die erste und die zweite Öffnung (118, 120) beabstandet zueinander auf unterschiedlichen Seiten einer Mittelachse des Verdrängers (136) angeordnet sind; und

wobei der Verdränger (136) die erste Öffnung (118) verschließt, wenn er in der ersten Endstellung ist, und die erste Öffnung (118) offen läßt, wenn er in der zweiten Endstellung ist.

26. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß Anspruch 25, da-

durch gekennzeichnet

daß der Pumpenkörper (110) in der Form einer Platte und der Verdränger (136) in der Form einer Membran ausgebildet ist, derart, daß zwischen einer Hauptoberfläche der Platte und der Membran ein kapillarer Spalt gebildet ist.

27. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 19 bis 26, dadurch gekennzeichnet,

daß der Pumpenkörper (110) und der Verdränger (114; 124; 136) aus Silizium hergestellt sind.

28. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 19 bis 27, dadurch gekennzeichnet,

daß der Pumpenkörper (110) und der Verdränger (114; 124; 136) mittels Kunststoffspritztechnik hergestellt sind.

29. Rückschlagventillose Fluidpumpe gemäß einem der Ansprüche 19 bis 28, dadurch gekennzeichnet,

daß die Pumprichtung der Pumpe durch ein Betreiben des Verdrängers (114; 124; 136) mit einer Frequenz, die oberhalb der Resonanzfrequenz ist, umkehrbar ist.

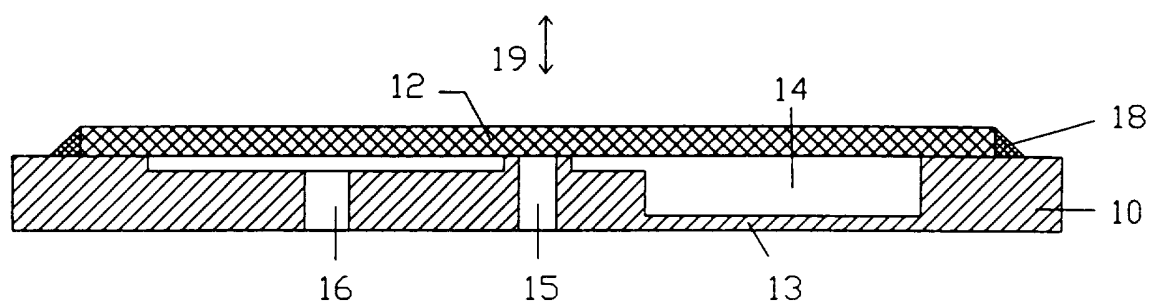


Fig. 1

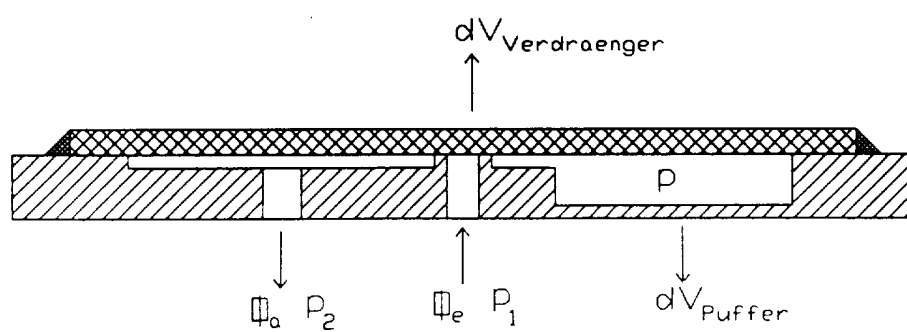


Fig. 2

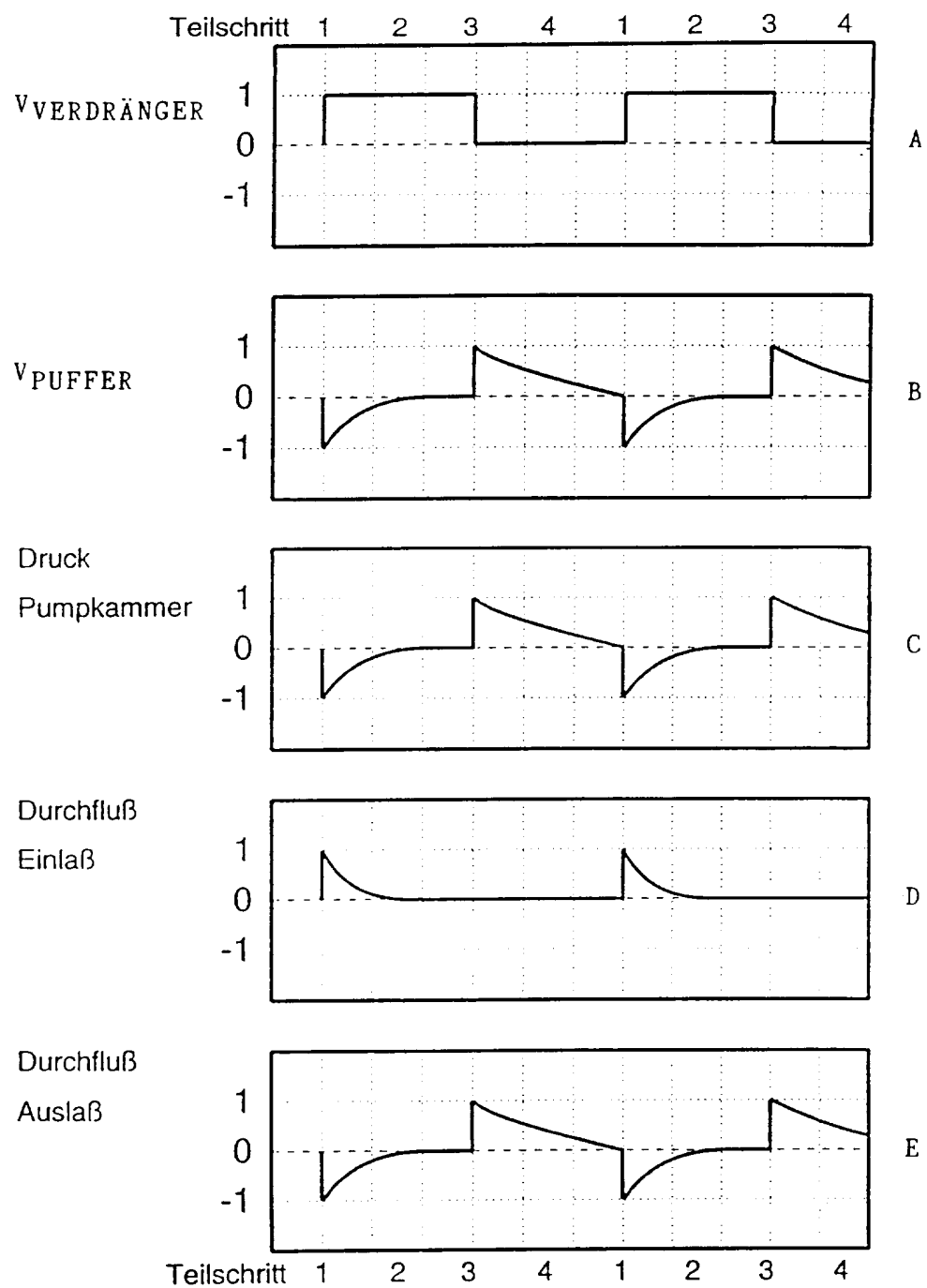


FIG. 3

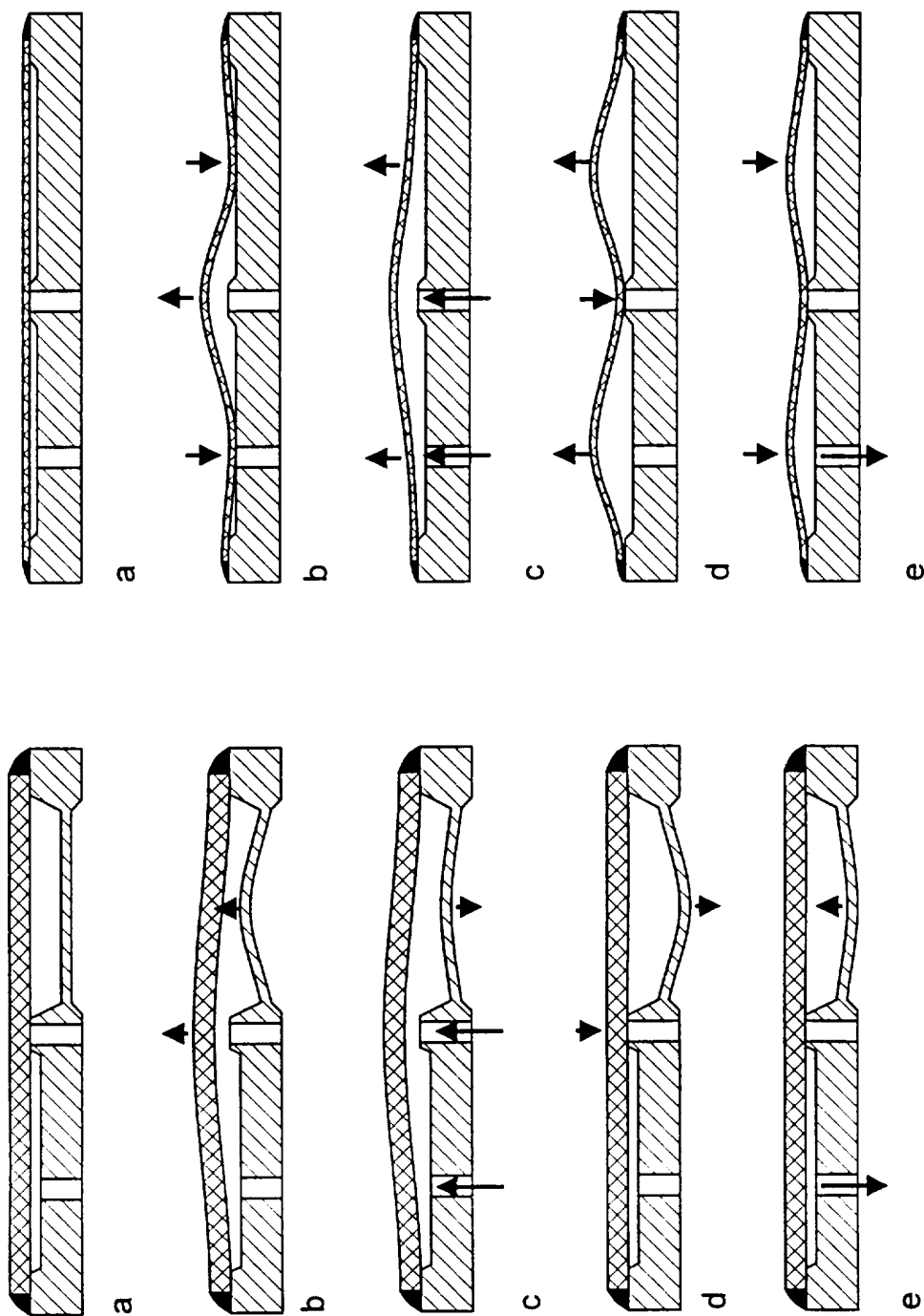


Fig. 10

Fig. 4

- 4/8 -

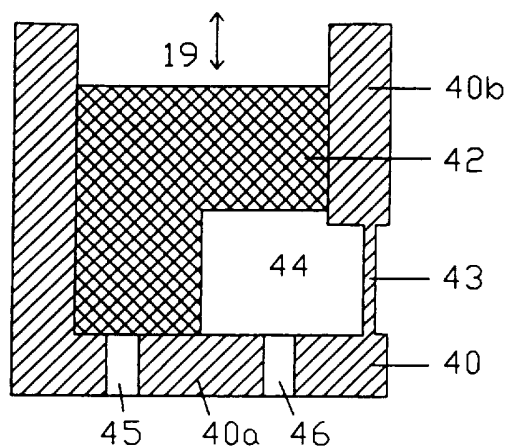


Fig. 5

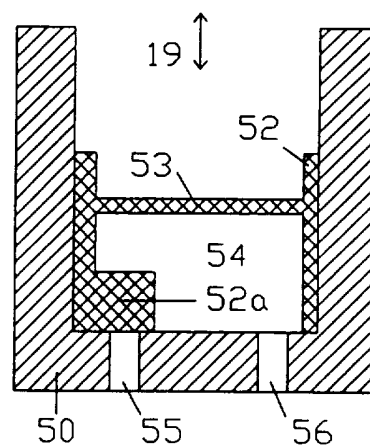


Fig. 6

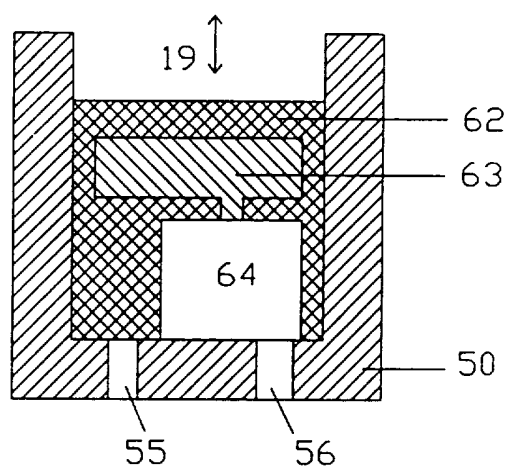


Fig. 7

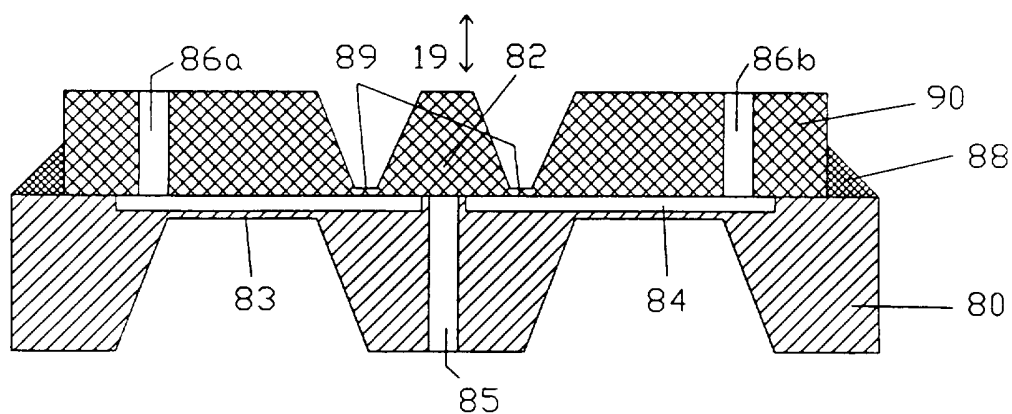


Fig. 9

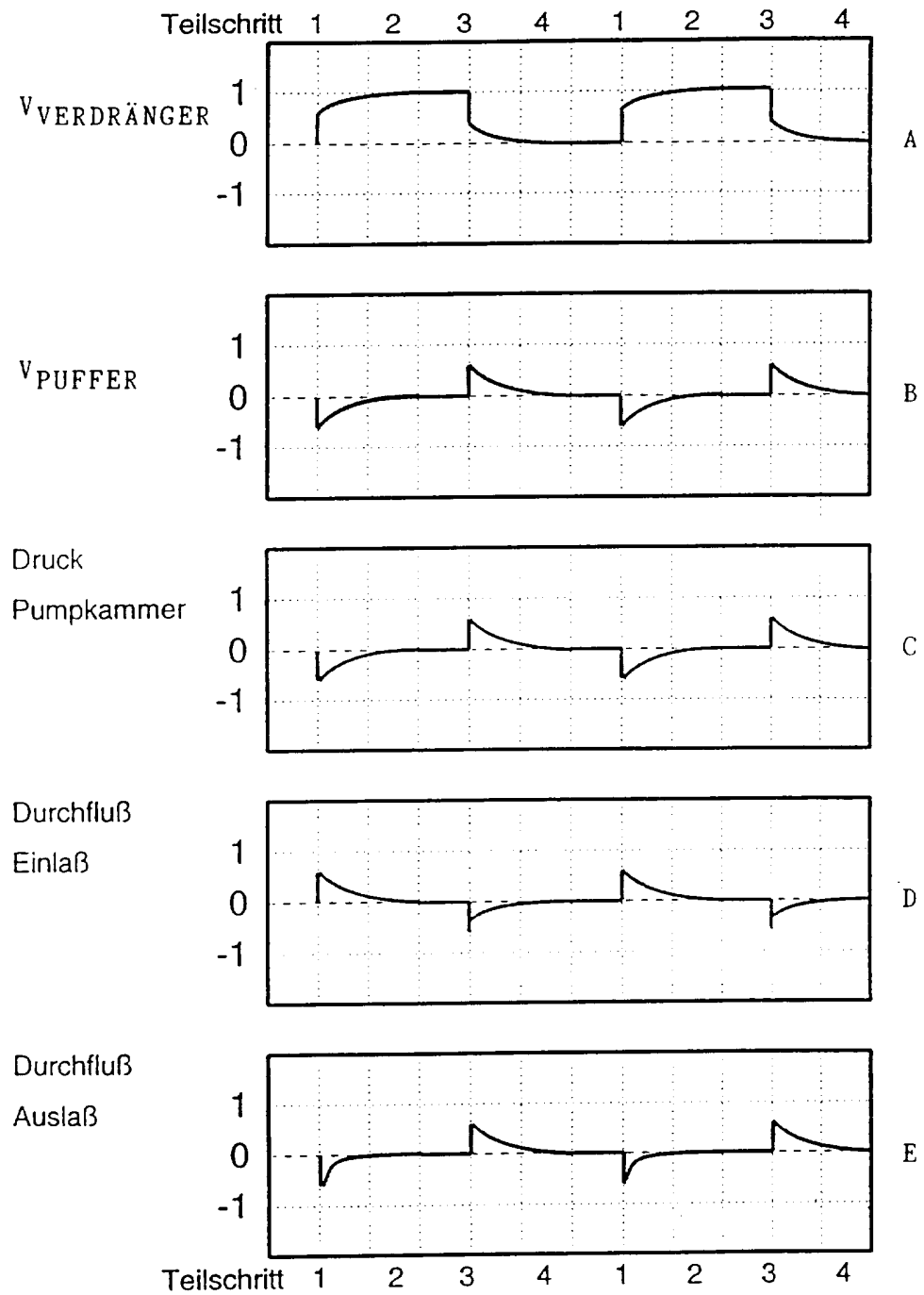


FIG. 8

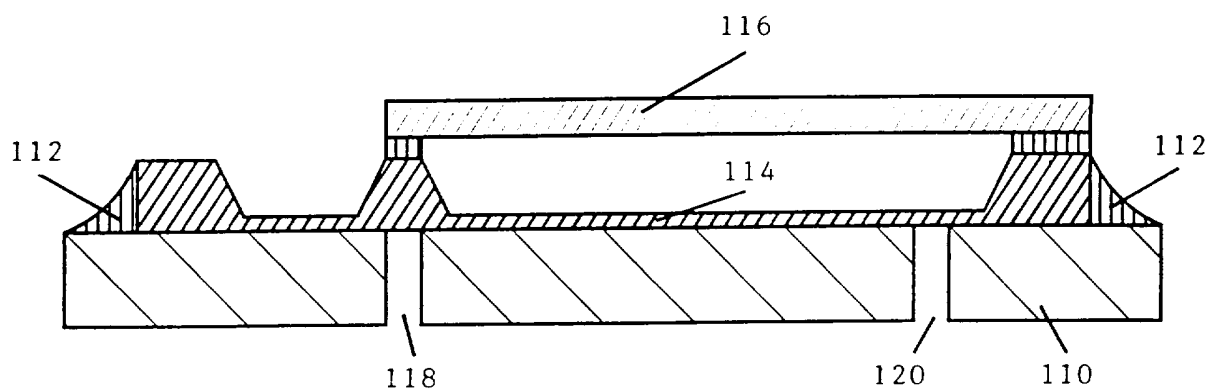


FIG. 11

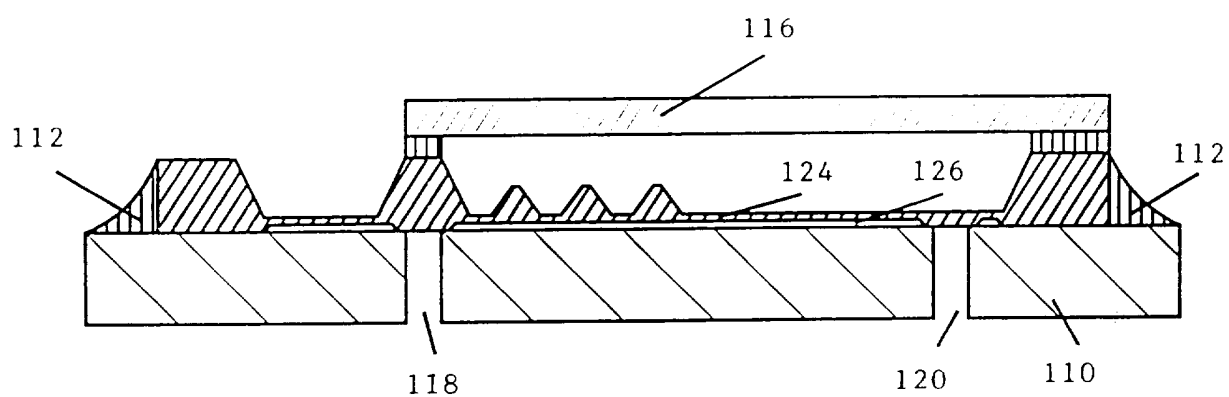


FIG. 12

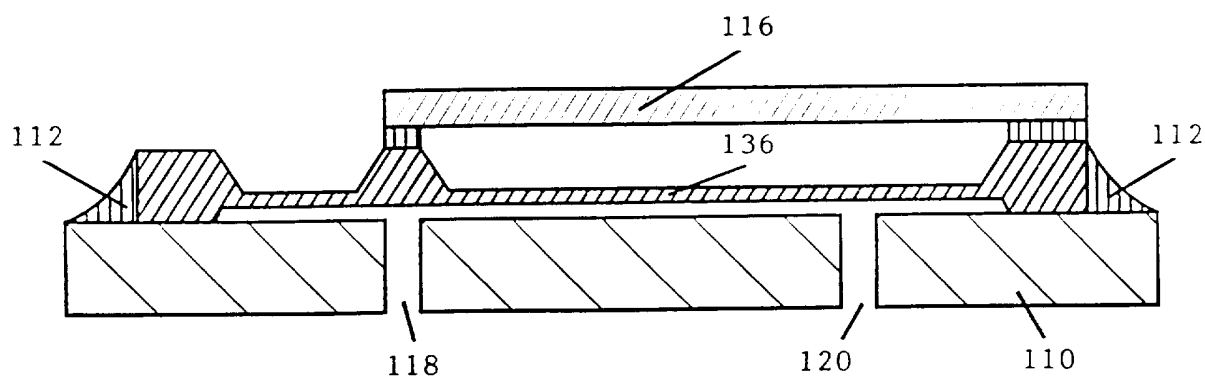


FIG. 13

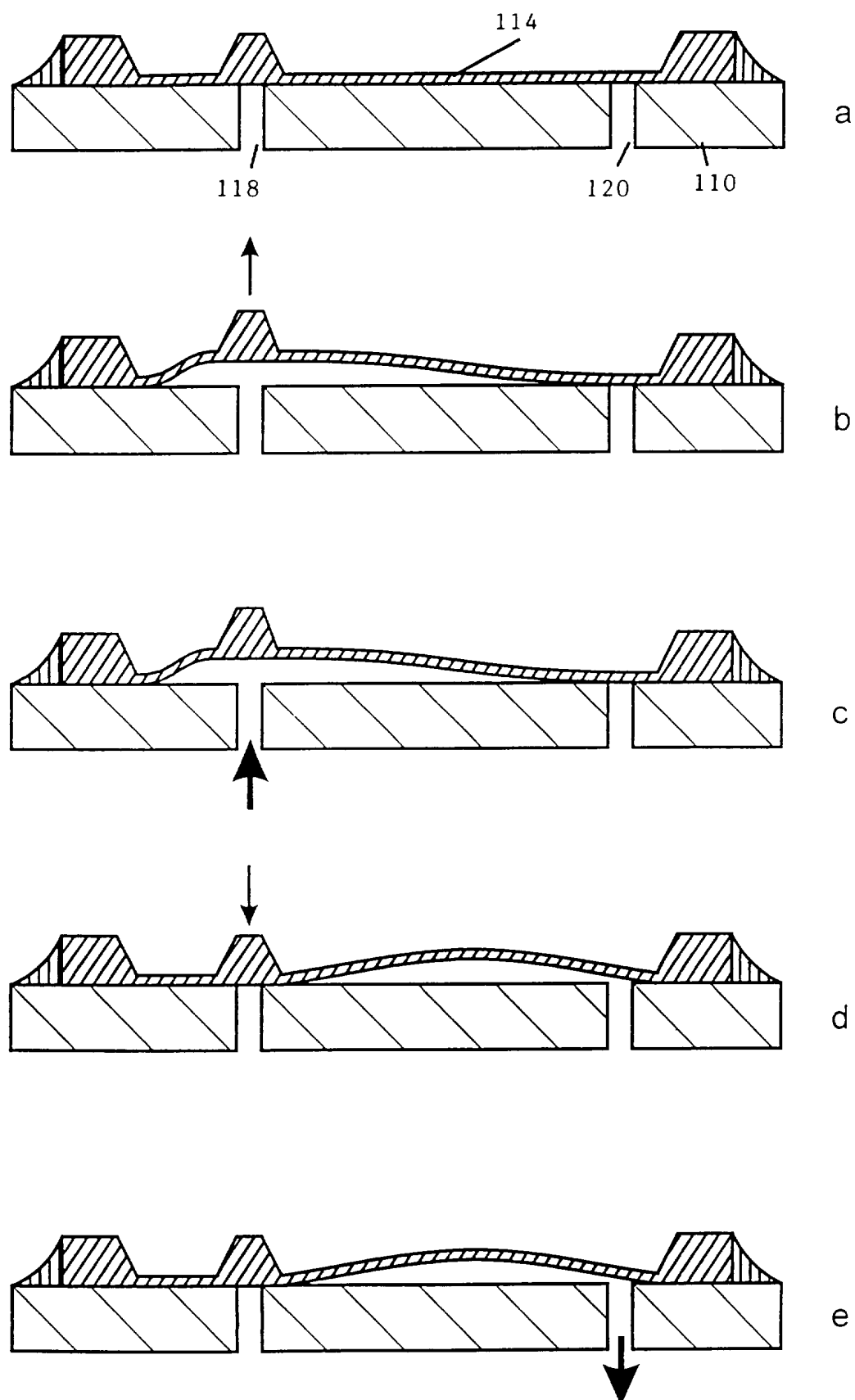


FIG. 14

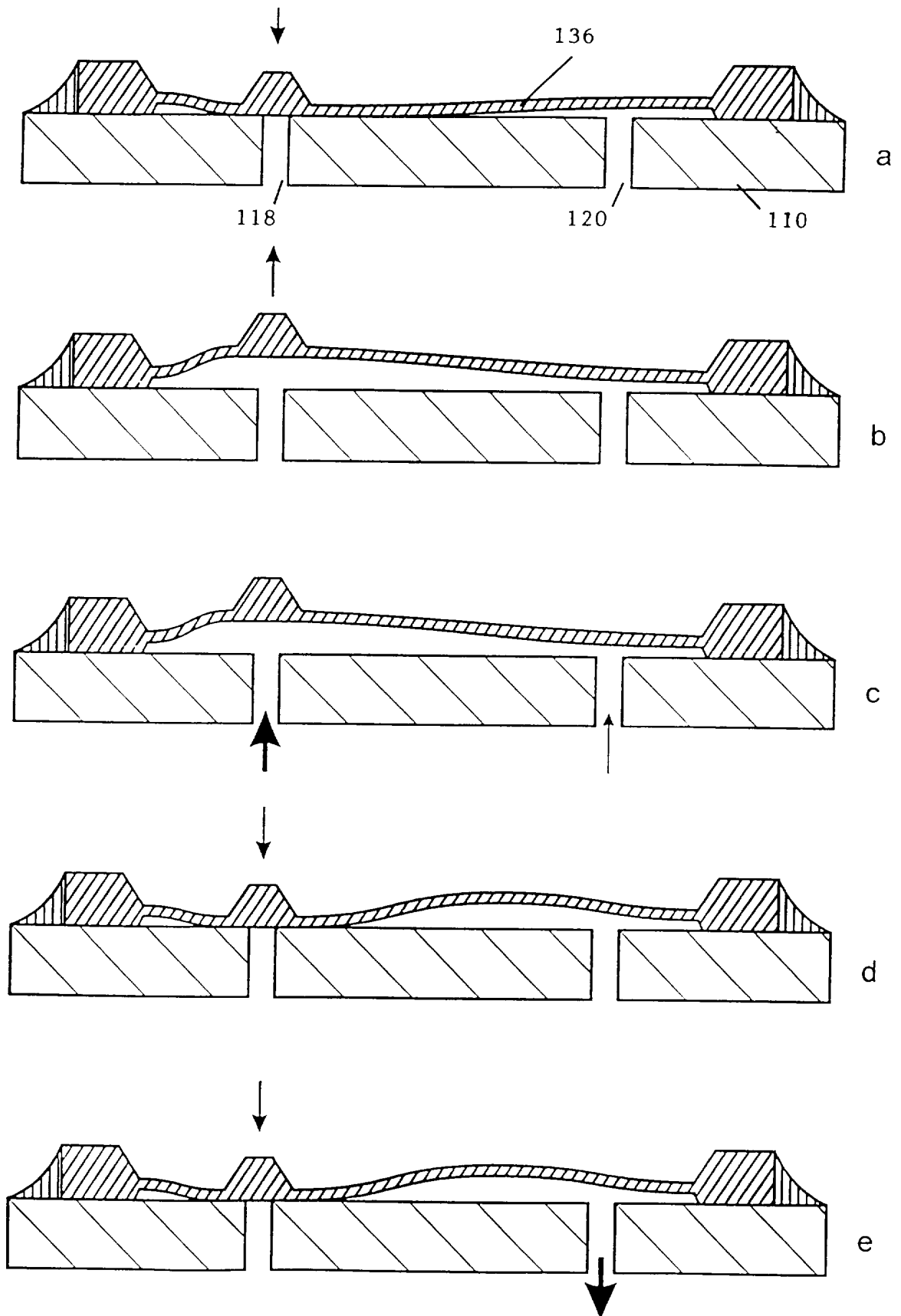


FIG. 15