

(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
29. Juni 2006 (29.06.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/066541 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F04B 43/04 (2006.01) **F04B 19/00** (2006.01)
F04B 19/24 (2006.01) **B01L 3/00** (2006.01)
F04B 43/06 (2006.01) **B01J 4/04** (2006.01)

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN**
[DE/DE]; Helmholtzstrasse 10, 01069 Dresden (DE).

(72) Erfinder; und

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2005/002216

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RICHTER, Andreas**
[DE/DE]; Schöberstrasse 8, 01279 Dresden (DE). **PICH,**
Andrij [UA/DE]; Nöthnitzer Str. 10, 01187 Dresden (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

9. Dezember 2005 (09.12.2005)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(74) Anwalt: **ILBERG, Roland**; Ilberg - Weissfloh, Am Weis-
siger Bach 93, 01328 Dresden (DE).

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2004 062 893.9

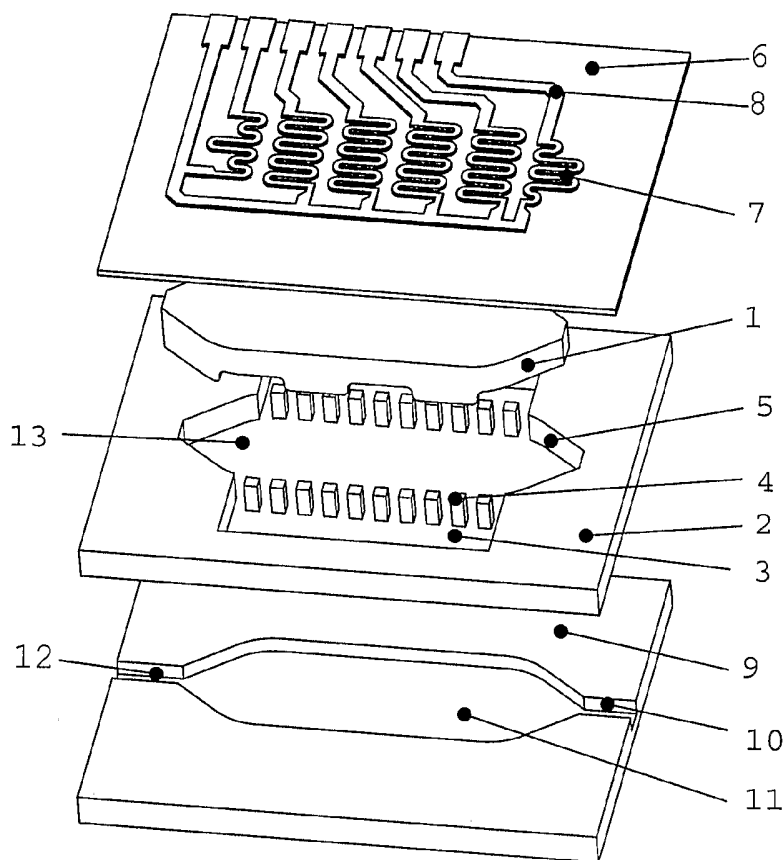
20. Dezember 2004 (20.12.2004) DE

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTRONICALLY CONTROLLABLE MICROPUMP BASED ON HYDROGEL

(54) Bezeichnung: ELEKTRONISCH STEUERBARE MIKROPUMPE AUF HYDROGELBASIS



(57) Abstract: The invention relates to electronically controllable micropumps comprising actuators (1) based on smart hydrogels. Said pumps are provided with, preferably, cascadedly connected electric or electronically compatible interfaces (heating elements 7), via which the actuators (1) can be influenced in relation to the deflection thereof and/or the swelling behaviour thereof such that either a flexible and/or elastic membrane (13) is deflected in a pump chamber (11) and as a result the oriented guiding of a medium is triggered, or a flexible and/or elastic membrane (13) acting as a driven and/or displacing element can be controlled in relation to the drive and/or displacing properties thereof.

(57) Zusammenfassung: Es werden elektronisch steuerbarer Mikropumpen mit Aktoren (1) auf Basis smarter Hydrogele beschrieben. Sie verfügen über vorzugsweise kaskadisch geschaltete elektrische oder elektronikkompatible Schnittstellen (Heizelemente 7), über welche die Aktoren (1) hinsichtlich ihrer Auslenkung bzw. ihres Quellverhaltens so beeinflusst werden können, dass entweder eine

flexible bzw.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/066541 A1



GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

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.

elastische Membran (13) in eine Pumpenkammer (11) ausgelenkt und dadurch die gerichtete Förderung eines Mediums ausgelöst wird, oder eine als antreibendes bzw. verdrängendes Element dienende flexible bzw. elastische Membran (13) hinsichtlich ihrer Antriebs- bzw. Verdrängungseigenschaften gesteuert werden kann.

Elektronisch steuerbare Mikropumpe auf Hydrogelbasis

Technisches Gebiet

5 Die Erfindung betrifft Einrichtungen und Methoden zum Fördern
bzw. Pumpen von Medien, die aus mehreren in Reihe geschalte-
ten mikro- oder millimeterskalierten hydrogelbasierten Aktor-
segmenten bestehen und welche über eine entsprechende kaska-
dierte Schnittstelle elektrisch bzw. elektronisch steuerbar
10 sind.

Stand der Technik

Elektronisch steuerbare Mikropumpen auf Basis piezoelektri-
15 scher Aktoren sind kommerziell erhältlich. Eine Reihe von
Patenten offenbaren derartige Einrichtungen. Stellvertretend
seien US 5,224,843 und US 2003/0143122 A1 genannt. Bei piezo-
elektrischen Pumpen wird eine piezoelektrische Membran durch
Ansteuern mit einer Wechselspannung in Schwingung versetzt.
20 In Kombination mit einer Rückflusssperre wird ein gerichteter
Fluss erzeugt.

US 5.659,171 offenbart eine Mikropumpe für Gase, bei der eine
flexible Membran entweder aus einem bimorphen Material mit
25 jeweils unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten oder
aus einer Formgedächtnislegierung besteht. Auch bei diesen
Einrichtungen wird ein Volumenstrom durch Auslenkung der
Membran erreicht.

30 In DE 19637928 A1 wird stellvertretend für weitere Erfindun-
gen eine elektrostatisch betriebene Mikropumpe beschrieben.
Hier wird die Auslenkung der Membran durch elektrostatische
Kräfte generiert.

35 Eine blasenbasierte Mikropumpe wird unter anderem in US
6,283,718 B1 vorgestellt. Durch wiederholtes Ausbilden und

Kollabieren einer Gasblase kommt es infolge der Flüssigkeitsverdrängung zu einer Medienförderung.

5 Einen interessanten Antriebsmechanismus von Fördereinrichtungen bieten osmotische Pumpen. Bei ihnen verrichtet ein quellfähiges Material die zur Medienförderung notwendige Verdrängungsarbeit (F. Theeuwes, Elementary
osmotic pump, J. Pharm. Sci. **64** (1975), 1987-1991). Dieses Prinzip wird mittlerweile vielfach in Medikamentiersystemen
10 genutzt. So beschreiben z.B. DE 103 00 896 A1, US 2004/0149780 A1, DE 38 21 424 A1 Einrichtungen, mit denen nach dem osmotischen Prinzip Wirkstoffe gefördert werden können.
Aufgrund ihrer Fähigkeit, ihr Volumen um mehr als das Einhundertfache durch Quellmittelaufnahme zu ändern, werden meist
15 Hydrogele genutzt.

Einen Überblick über Mikropumpenprinzipien und deren Anwendungen bieten u.a. N.-T. Nguyen, X. Huang, T.K. Chuan, MEMS-miropumps: a review, J. Fluids Eng. **124** (2002), 384-392 und
20 D.J. Laser, J.G. Santiago, A review of micropumps, J. Micro-mech. Microeng. **14** (2004), R35-R64.

Hydrogele sind Polymernetzwerke, die bei Einwirkung des Quellmittels Wasser ihr Volumen ändern. Eine besondere Klasse
25 der Hydrogele sind smarte Hydrogele. Dies sind Polymernetzwerke, welche einen reversiblen diskontinuierlichen Volumenphasenübergang bei Einwirkung bestimmter Umgebungsgrößen vollführen. Die Umgebungsgrößen können elektrische Feldgrößen, Strahlung, Temperatur, Ionen- und Stoffkonzentrationen
30 sein.

Die integrierten Aktor-Sensor-Eigenschaften smarter Hydrogele werden z.B. in DE 198 12 436 A1 zur Realisierung selbsttätig regelnder Ventile genutzt. Für derartige Ventile wurden in
35 K.-F. Arndt, D. Kuckling, A. Richter, Application of sensitive hydrogels in flow control, Polym. Adv. Technol. **11** (2000), 496 - 505 automatische Ventilfunktionen gegenüber dem pH-

Wert, der Temperatur und Alkoholkonzentrationen nachgewiesen.
In D.J. Beebe et al., Functional hydrogel structures for
autonomous flow control inside microfluidic channels, Nature
404 (2000), 588-590 wurde die hervorragende Miniaturisierbar-
5 keit von automatischen Hydrogelventilen demonstriert.

Unter Nutzung der sensorischen Eigenschaften smarter Hydroge-
le lassen sich z.B. nach DE 198 28 093 und DE 198 48 878 A1
Flüssigkeitssensoren entwickeln.

10 DE 198 12 436 A1 offenbart weiterhin eine automatische För-
dereinrichtung, wobei das smarte Hydrogel in Abhängigkeit
bestimmter Umgebungsgrößen eine Förderrate realisiert. Eine
miniaturisierte automatische Fördereinrichtung ist in D. T.
15 Eddington, D.J. Beebe, A valved responsive hydrogel micro-
dispensing device with integrated pressure source, J. Microe-
lectromech. Syst. 13 (2004) 4, 586 -593 beschrieben.

Nachteilig an den automatischen Fördereinrichtungen ist ihre
Gebundenheit an bestimmte Prozessgrößen, die als Regelparamete-
20 ter dienen. Dadurch sind sie nicht universell, sondern nur in
speziellen Fällen einsetzbar.

Funktionselemente auf Basis smarter Hydrogele können nach DE
101 57 317 A1 auch elektrisch angesteuert werden. Die dort
vorgestellten Mikroventile verfügen über eine elektrisch-
25 thermische Schnittstelle, mit denen der Quellungsgrad tempe-
raturesensitiver Hydrogele und damit eine Ventilfunktion ge-
steuert werden kann.

Auf vergleichbare Weise wird in EP 1442887 A1 ein smartes,
30 stimulussensitives Hydrogel zum Zwecke des Tröpfchen-
Ausstoßens insbesondere für den Einsatz in Ink-Jet-
Druckköpfen angesteuert. Der Hydrogelaktor stößt die Drucker-
flüssigkeit durch eine Düse aus.

35 Darstellung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, elektronisch steuerbare Mikropumpen zu entwickeln, welche on-chip-fähig und damit einfach in komplexe Systeme integrierbar, simpel aufgebaut, hinsichtlich ihrer Förderrate steuerbar sind und geringe Leistungsaufnahmen besitzen.

Erfindungsgemäß wird dies gemäß Anspruch 1 erreicht, indem ein oder mehrere Aktoren auf Basis von quellfähigen Polymernetzwerken mit Volumenphasenübergangsverhalten, den smarten Hydrogelen, durch elektrische bzw. elektronisch kompatible Schnittstellenelemente, die kaskadisch angeordnet sein können, als Fördereinrichtung eingesetzt werden. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Ansprüchen 2 bis 16 angegeben.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Die Erfindung soll an einigen Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau einer elektronisch steuerbaren Mikropumpe auf Basis temperatursensitiver smarter Hydrogele in Explosionsansicht,

Figur 1a die Konfiguration nach Figur 1 in Schnittdarstellung,

Fig. 2 das Volumenphasenübergangsverhalten temperatursensitiver smarter Hydrogele in Abhängigkeit von der Temperatur,

Figur 3 die prinzipielle Funktionsweise einer elektronisch steuerbaren Mikropumpe auf Basis temperatursensitiver smarter Hydrogele,

Fig. 3a die Konfiguration der Pumpe in der Startphase der Medienförderung aus der Pumpenkammer,

Fig. 3b die Konfiguration der Pumpe in der Endphase der Medienförderung aus der Pumpenkammer,

Fig. 3c die Konfiguration der Pumpe in der Startphase der Medienbeladung der Pumpenkammer,

5

Fig. 3d die Konfiguration der Pumpe in der Endphase der Medienbeladung der Pumpenkammer,

Fig. 4 die Konfiguration einer Pumpe mit hydrogelbasierten Ventilen am Ein- und Ausgang der Pumpenkammer.

10

Anhand von Figur 1 sollen zunächst der prinzipielle Aufbau und ein mögliches Fertigungsverfahren der erfindungsgemäßen Mikropumpen vorgestellt werden.

15

Eine in Figur 1 dargestellte Pumpe besteht aus drei Funktionsebenen 9, 2 und 2. Ein Kanalstrukturträger 9 enthält einen Förderkreis mit einer Pumpenkammer 11 sowie ihren Eingang 12 und Ausgang 10. Ein Aktorstrukturträger 2 ist vom Förderkreis durch eine flexible bzw. elastische Membran 13 getrennt. Er umfasst eine Aktorkammer 5 mit einem Hydrogelaktor 1 und Quellmittelreservoir 3, welche von der Aktorkammer 5 mit quellmitteldurchlässigen Aktorkammern 4 getrennt sein können. Abgedeckt wird die Funktionsebene des Aktorstrukturträgers 2 durch einen Strukturträger der elektrischen Ansteuerung 6, der wiederum Strukturen von Heizelementen 7 und entsprechende elektrische Leiterzüge 8 umschließt.

20

25

Der Strukturträger für die elektrische Ansteuerung 6 besteht aus Weichglas D263 (550 μm Dicke, Berliner Glas AG). Die Heizelemente 7 (100nm Dicke, Widerstand ca. 50 Ω , Haftvermittlerschicht 10nm Titan) und die Leiterzüge 8 wurden mit einer Platin-Dünnschicht-Lift-Off-Technologie (Malz & Schmidt MSBA-400SP) erzeugt und anschließend mit Siliziumdioxid passiviert (800nm Dicke, PECVD-Verfahren mit Plasmalab 80+ CVD, Oxford Technologies). Die elektrische Verbindung mit der Ansteuerelektronik kann durch Bonden realisiert werden.

30

35

Die Strukturen des Aktorstrukturträgers 2 inklusive der flexiblen bzw. elastischen Membran 13 sowie der Kanalstrukturträger 9 wurden aus Polydimethylsiloxan (PDMS) (Sylgard 184, Dow Chemicals) gefertigt. Zur Strukturierung des Aktorstrukturträgers 2 und des Kanalstrukturträgers 9 kam eine Masterabformtechnologie zum Einsatz. Dazu wurden Negativstrukturen der erforderlichen Geometrien photolithographisch in 4"-Siliziumwafern erzeugt (n-Si, <100> orientiert, 525µm dick, einseitig poliert, nasschemisch geätzt in KOH) und diese anschließend mit ca. 10nm dickem Teflon durch Sputtern (Plasmalab 80+, Oxford Technologies) beschichtet. Die Abformung der PDMS-Strukturen erfolgte durch Nutzung einer aus Teflon bestehenden Abformeinrichtung. Diese besteht aus zwei Teilen. Das untere Teil positioniert die Substrate, auf die das PDMS aufgebracht werden soll. Der obere Teil enthält den Abformmaster. Beide sind durch Führungen passgenau aufeinander abgestimmt. Das PDMS wird auf das zu beschichtende Substrat aufgebracht, welches im Falle des Aktorstrukturträgers 2 der Ansteuerstrukturträger 6 und beim Kanalstrukturträger 9 eine einfache Weichglas-Platte ist, dann wird das Abformmaster aufgesetzt und die ganze Anordnung ca. eine Stunde bei 100 °C temperiert. Nach Entfernung der Master liegen die PDMS-Positivstrukturen vor. Die flexible bzw. elastische Membran 13 aus PDMS wurde durch Spincoating hergestellt. Das PDMS wird auf einen Silizium-Wafer aufgebracht und anschließend bei etwa 3000 bis 4000 U/min für 20 bis 40s rotationsbeschichtet. Die erreichten Schichtdicken liegen bei 15 bis 50 µm. Alternativ kann die flexible bzw. elastische Membran 13 auch direkt bei der Herstellung des Aktorstrukturträger 2 mit erzeugt werden. Der Kanalstrukturträger 9 und der Aktorstrukturträger 2 können nach jeweiligem Aktivieren der PDMS-Strukturoberflächen durch eine Sauerstoff-Plasmabehandlung oder ähnliches unter Druckeinwirkung gefügt werden.

Die Hydrogelaktoren 1 sind mit verschiedenen Methoden herstellbar. In einem einfachen Fall wird die Prepolymerlösung

in die Räume der Aktorkammer 5 und Quellmittelreservoirs 3 gefüllt. Dazu können Anschlussstutzen genutzt werden, welche auf dem Strukturträger 6 platziert sein können. Dann wird ein Überdruck in der Aktorkammer 5 und den Quellmittelreservoirs 3 erzeugt, der die flexible bzw. elastische Membran 13 vollständig in die Pumpenkammer 11 auslenkt. Nach Fixierung der Anordnung wird das Hydrogel unter Nutzung von Belichtungsmasken in der Aktorkammer 5 polymerisiert. Als Resultat liegt die gequollene Positivstruktur des Hydrogelaktors 1 vor.

Unvernetzte Polymerbestandteile werden anschließend in einem Waschgang mit einer Wasser-Alkohol-Mixtur entfernt. Alternativ kann zum Auslenken der flexiblen bzw. elastischen Membran 13 auch ein Unterdruck in der Pumpenkammer 11 erzeugt werden.

Statt Photostrukturierung ist auch eine Gießtechnik nutzbar, indem die Verbindungen der Aktorkammer 5 zu den Quellmittelreservoirs 3 vorübergehend mit Wachs oder ähnlichen Materialien geschlossen werden. Nach Einfüllen der Prepolymerlösung in die Aktorkammer 5 läuft in diesem Fall dessen Polymerisation zum Hydrogel spontan ab, da auch die Vernetzer in der Polymerlösung enthalten sind. Danach ist das Verschlussmaterial zu entfernen.

In einem anderen Fall ist getrocknetes Hydrogelgranulat in die Aktorkammer 5 verfüllbar. Bei diesem Verfahren ist allerdings die exakte Befüllung der Aktorkammer 5 mit dem Hydrogelmaterial schwierig.

Anhand der Figuren 1a, 2 und 3 werden prinzipielle Verhaltensweisen temperatursensitiver smarter Hydrogele, typische Vertreter, mögliche Synthese- und Strukturierungsverfahren sowie die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Mikropumpen erklärt.

Temperatursensitive smarte Hydrogele können zwei Verhaltensweisen beim Volumenphasenübergang aufweisen, die für einige Hydrogelbeispiele in Figur 2 dargestellt sind. Die meisten

temperatursensitiven smarten Hydrogele besitzen eine Lower Critical Solution Temperature (LCST) - Charakteristik, d.h., sie sind bei niedrigen Temperaturen gequollen und entquellen bei Überschreiten der Phasenübergangstemperatur. Für das bekannteste Hydrogel mit LCST-Charakteristik, das Homopolymer Poly(*N*-Isopropylacrylamid) (PNIPAAm), beträgt die Phasenübergangstemperatur 32,8 °C. Die Lage der Phasenübergangs- bzw. Schalttemperatur von NIPAAm-basierten Hydrogelen kann aber durch Copolymerisation und Variation der Syntheseparameter in einem Bereich von +5 °C und etwa 60 °C eingestellt werden. Mögliche Synthese- und Strukturierungsverfahren von PNIPAAm-basierten Hydrogelen sind z.B. in A. Richter et al., Electronically controllable microvalves based on smart hydrogels: magnitudes and potential applications, J. Microelectromech. Syst. 12 (2003) 5, 748 - 753 beschrieben.

Ähnlich gute Phasenübergangs-Eigenschaften mit LCST-Charakteristik besitzt z.B. das ebenfalls in Figur 2 gezeigte Poly(Methylvinylether) (PVME). Die Lage der Phasenübergangstemperatur dieses Hydrogels liegt bei etwa 37 °C. PVME wird mit hoch-energetischer Strahlung (Elektronenbestrahlung, Gamma-Bestrahlung) vernetzt (K.-F. Arndt, T. Schmidt, H. Menge, Poly (vinyl methyl ether) Hydrogel Formed by High Energy Radiation, Macromol. Symp. 164 (2001) 313-322).

Weitere Vertreter mit LCST-Charakteristik basieren z.B. auf Hydroxypropylcellulose (B. Kabra, S.H. Gehrke, R. Spontak, Microporous Responsive HPC Gels 1. Synthesis and Microstructure, Macromolecules 31(1998), 2166-2173).

Temperatursensitive Hydrogele mit einer Upper Critical Solution Temperature (UCST)-Charakteristik sind bei geringen Temperaturen entquollen und quellen bei Überschreiten der Phasenübergangstemperatur. Praktisch nutzbare UCST-Gele sind allerdings sehr selten.

Figur 2 zeigt das UCST-Verhalten eines durch Copolymerisation von Hydroxyethyl Methacrylat (HEMA) und Acetoacetoxyethyl Methacrylat (AAEM) hergestellten Hydrogels HEMA/AAEM, dessen Synthese in V. Boyko et al., Preparation and characterization of acetoacetoxyethyl methacrylate-based gels, Macromol. Chem. Phys. 204 (2003), 2031 - 2039 beschrieben ist. In einer 60wt% : 40wt% Ethanol/Wasser-Mischung liegt dessen Phasenübergangstemperatur bei 31,5°C.

Hinsichtlich des Energieverbrauchs eignen sich für die erfindungsgemäßen Mikropumpen nach Figur 1, 3 und 4 besonders Aktoren auf Basis von Hydrogelen mit UCST-Charakteristik, da diese nur zum Quellen beheizt werden müssen. Aktoren auf Basis von Hydrogelen mit LCST-charakteristik müssen dagegen beheizt werden, um den entquollenen Zustand zu halten.

Ein Aktor auf Basis von HEMA/AAEM und einer 60wt% : 40wt% Ethanol/Wasser-Mischung als Quellmittel ist bei Raumtemperatur entquollen (Figur 1a). Zum Aktivieren der Pumpe ist die gewünschte Anzahl von Heizelementen 7 zu aktivieren, so dass der Aktor 1 an den entsprechenden Abschnitten über die Phasenübergangstemperatur von ca. 31,5 °C beheizt wird. Dadurch quillt der Aktor 1 an den beheizten Abschnitten unter Quellmittelaufnahme aus den Quellmittelreservoirs 3. Wie in Figur 3a schematisch dargestellt ist, lenkt der gequollene Hydrogelabschnitt 1a die flexible bzw. elastische Membran 13 in die Pumpenkammer 11 aus. Nun wird zunächst ein Teil der Pumpenkammer-Flüssigkeit in den Eingang 12 zurückgedrängt, ein anderer in die gewünschte Richtung gefördert. Nach Erreichen des Pumpenkammerbodens 9 ist der Eingang 12 verschlossen. Werden weitere Aktorsegmente durch Beheizen mit den Heizelementen 7 aktiviert, findet nun eine gerichtete Entleerung der Pumpenkammer 11 über den Ausgang 10 statt (Figur 3b). Zum Auffüllen der Pumpenkammer 11 mit neuer Flüssigkeit sind die Heizelement 7 der Reihe nach und von der Eingangsseite beginnend abzuschalten (Figur 3c). Nach Unterschreiten der Phasenübergangstemperatur entquellen die Aktorabschnitte 1b unter

Quellmittelabgabe in die Quellmittelreservoirs 3 und die flexible bzw. elastische Membran 13 kehrt in ihre undefor- mierte Ausgangslage zurück. Infolge des entstehenden Unter- drucks füllt sich die Pumpenkammer 11 über den Eingang 12 mit Flüssigkeit (Figur 3d).

Wird ein Aktor mit LCST-Charakteristik verwendet, z.B. auf Basis von PNIPAAm, so entspricht die Konfiguration nach Figur 1a einem vollständig beheizten Aktor 1. Zum Fördern eines Mediums aus der Pumpenkammer 11 ist zunächst das eingangssei- tig liegende Heizelement 7 abzuschalten, so dass der PNIPAAm- Aktor 1 nach Unterschreiten der Phasenübergangstemperatur quillt und den Eingang verschließt (Figur 3a). Durch das Abschalten weiterer Segmente quellen weitere Aktorsegmente, so dass der Pumpenkammerinhalt durch den Ausgang 10 ausge- schüttet wird (Figur 3b). Der Beladevorgang der Pumpe nach Figur 3c erfolgt durch sequentiell Beheizen des Aktors 1 von der Eingangsseite her. Auch hier füllt sich die Pumpen- kammer 11 infolge des entstandenen Unterdruckes.

Eine Trennung des Aktorkreislaufes mit Aktorkammer 5 und Quellmittelreservoir 3 vom Prozesskreislauf ist nicht zwangs- läufig notwendig und sollte nur realisiert werden, wenn eine Ausführung des Aktorkreislaufes als geschlossenes System erforderlich ist. Dies ist z.B. der Fall, wenn das Prozessme- dium nicht als Aktorquellmittel nutzbar ist. Kann das Pro- zessmedium als Quellmittel des Aktors 1 genutzt werden, be- steht kein Bedarf mehr an dieser Trennung und die Quellmit- telreservoirs 3 können entfallen.

Die Anordnungen nach Figur 1 und 3 besitzen den Nachteil, dass die jeweils äußeren Aktorsegmente des Aktors 1 eine Ventilfunktion erfüllen und deshalb kaum pumpend tätig sind. Deshalb ist es empfehlenswert, zusätzlich Ventilelemente vorzusehen. In das Design von Figur 1 können solche Ventile integriert werden, indem die Aktoreinheit um Segmente erwei- tert wird, welche in den Eingang 12 und Ausgang 10 hineinra-

gen und diese bei Bedarf durch Auslenken der flexiblen bzw. elastischen Membran 13 verschließen.

Für Ventilfunktionen sind jedoch hydrogelbasierte Ventile, deren Aktor direkt im durchströmbaren Querschnitt platziert ist, besser als membranbasierte Aufbauten geeignet (siehe DE 101 57 317 A1 und A. Richter et al., J. Microelectromech. Syst. 12 (2003) 5, 748 - 753). Figur 4 zeigt einen möglichen Aufbau einer Mikropumpe mit derartigen Ventilen. Möglichst nahe an Ein- und Ausgang 10, 12 der Pumpenkammer 11 werden durch eine entsprechende Layoutänderung des PDMS-Teils des Kanalstrukturträgers 9 im Strömungsquerschnitt befindliche Aktorkammern, welche durch Wälle 15 begrenzt werden, realisiert. In diese Kammern kann ein temperatursensitives Hydrogel, z.B. Partikel auf Basis von PNIPAAm, eingebracht werden. Ihr Quellungs- und damit der Ventilzustand wird über mäanderartig ausgebildete Heizelemente 7 gesteuert. Die Ventile können auch als passive Richtungsventile, wie z.B. Klappen- oder Kugelventile, ausgeführt sein. Damit ist aber kein Pumpen-Betrieb in beiden Richtungen möglich.

Eine Konstruktion mit geringem Energiebedarf für LCST-Hydrogele ist in den Figuren 5 und 6 gezeigt. Im Gegensatz zu den bisherigen Aufbauten nach Figur 1, 3 und 4 wird hier der Aktor 1 direkt im durchströmbaren Querschnitt bzw. in der Pumpenkammer 11 platziert. Durch Aufnahme des Prozessmediums quillt der Aktor 1, beispielsweise PNIPAAm und lenkt die flexible bzw. elastische Membran 13 aus (Figur 5). Zum Erzeugen eines Flüssigkeitsstromes in Richtung Ausgang 10 werden die Heizelemente 7, welche sich auf dem Kanalstrukturträger 16 befinden, ausgangsseitig beginnend der Reihe nach beheizt. Dadurch entquillt der Hydrogelabschnitt 1b im Aktor 1 und setzt das Prozessmedium frei. Die flexible bzw. elastische Membran 13 erzeugt nun infolge ihrer elastischen Rückstellkräfte ein Austreiben des Mediums (siehe Figur 5a), welches zum Ausgang 10 hin fließt, da der Eingang 12 durch den gequollenen Hydrogelabschnitt 1a des Aktors 1 verschlossen ist

(Figur 5b). Zum Beladen der Pumpe muss nach Figur 5c zunächst der Pumpenausgang 10 durch Ausschalten des ausgangsseitigen Heizelementes 7 verschlossen werden. Dann werden die anderen Heizelemente 7 vom Ausgang 10 zum Eingang 12 hin deaktiviert (Figur 5d). Nach Unterschreiten der Phasenübergangstemperatur quellen die Hydrogel-abschnitte 1a unter Prozessmedienaufnahme und spannen die flexible bzw. elastische Membran 13 infolge der Auslenkung wieder vor (Figur 5).

Auch bei diesem Prinzip können die notwendigen Ventilfunktionen durch passive Richtungsventile oder, wie in Figur 6 gezeigt, durch aktive Ventile realisiert werden. Die Ventile in Figur 6 können nach dem gleichen Prinzip wie die in Figur 4 funktionieren.

Ein besonderer Vorteil des Funktionsprinzips der Pumpen nach Figur 5 und 6 sind der einfache Pumpenaufbau und die vielfältige Gestaltbarkeit der Pumpe infolge der Aktorintegration in den Arbeitskreis. Die flexible bzw. elastische Membran 13 dient hier als antreibendes Funktionselement, der Aktor 1 als Rückstellelement der flexiblen bzw. elastischen Membran 13. Solche Pumpen lassen sich ohne große Layoutänderungen in mikrofluidische Schaltungen integrieren. Sie können z.B. auch in Schläuche integriert werden. Dabei kann die elastische Schlauchhülle als antreibendes Element bzw. Äquivalent zur flexiblen bzw. elastischen Membran 13 genutzt werden.

Vorteile der Erfindung

Die vorgestellten Pumpen auf Hydrogelbasis besitzen drei wesentliche Vorteile gegenüber anderen Mikropumpenprinzipien. Erstens sind sie on-chip-fähig und können in nahezu jedes mikrofluidische Layout integriert werden. Dadurch können sie sehr nahe an den Ort des Medienverbrauchs, beispielsweise einen Reaktor, platziert werden, was das Totvolumen der Anordnung reduziert.

Zweitens können durch Variation der konstruktiven Parameter Förderrate und Fördervolumen optimal an den Prozess angepasst werden.

- 5 Drittens können die Pumpen ohne Ventile und bei Einsatz aktiver Ventile in beliebiger Richtung betrieben werden. Es ist sogar möglich, dass die Pumpen mehr als einen Ein- und Ausgang haben, indem die nicht benötigten Ein- und Ausgänge z.B. durch aktive Ventile verschlossen werden.

10

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung

- 15 In den vorangegangenen Beschreibungen der erfindungsgemäßen Mikropumpen wurde die Steuerung des Quellungsgrades der Hydrogelaktoren durch Beheizen mit resistiven Heizwiderständen geschildert, wobei die über dem Widerstand abfallende Verlustleistung die Heizleistung ist. Eine Erwärmung der Hydrogelaktoren ist aber auch durch energiereiche Strahlung, insbesondere Licht, möglich, indem diese durch Absorption im
20 oder am Hydrogel in Wärme umgesetzt wird. Als Lichtquellen eignen sich z.B. besonders solche mit einem Spektrum im infraroten Bereich und Laser.

- 25 Tatsächlich sind temperatursensitive Hydrogele zur Zeit zur Zeit die smarten Hydrogele, welche die geeignetsten steuerbaren aktorischen Eigenschaften besitzen. Sie lassen sich schnell, reversibel und reproduzierbar in ihrem Quellverhalten beeinflussen.

- 30 Zum elektronikkompatiblen Steuern des Quellungsgrades smarter Hydrogele über Umgebungsgrößen können aber auch andere physikalische Größen, die einfach durch elektronische bzw. elektrische Mittel erzeugt werden können und Volumenphasenübergänge in quellfähigen Polymernetzwerken auslösen, genutzt werden.
35 Sehr einfach elektrisch erzeugbare Steuergrößen sind elektrische und magnetische Feldgrößen, Licht und Temperatur. Elektrische und magnetische Feldgrößen sowie Licht sind der-

zeit relativ schwierig zum Steuern des Quellungsgrades smarter Hydrogele verwendbar, da die Hydrogel-Effekte zum Teil nur eingeschränkt reversibel und langsam sind.

- 5 Das zeitliche Verhalten der Pumpen wird von Materialeigenschaften, konstruktiven Parametern und Betriebsparametern bestimmt.

10 Das hydrogelspezifische Zeitverhalten hängt unter anderem von der Art des Hydrogels, vom Anteil der das Volumenphasenübergangsverhalten verursachenden Gruppen innerhalb des Hydrogels und in geringerem Maße von den Vernetzungseigenschaften des eingesetzten Hydrogels ab.

- 15 Konstruktive Parameter mit erheblichem Einfluss auf die Pumpendynamik sind insbesondere die Dicke der Membran 13 bzw. die elastische Rückstellkraft des antreibenden Elementes. Prinzipiell gilt: Je größer eine dem Quellvorgang entgegenwirkende Kraft ist, umso langsamer quillt das Hydrogel, wobei
20 sich bei großen Gegenkräften auch der erreichbare Hub des Hydrogelaktors vermindert. Eine Schlussfolgerung daraus ist, dass Pumpen nach Figur 1, 3 und 4 beim Entleeren der Pumpenkammer 11 infolge Membranauslenkung langsamer sein werden als beim Beladen der Pumpenkammer 11. Das in Figur 5 und 6 dargestellte Pumpenprinzip wird hingegen beim Beladen der Pumpen-
25 kammer 11 mehr Zeit benötigen als beim Entleeren.

- Eine weitere wesentliche konstruktive Größe ist die Wärmekapazität der zu beheizenden Anordnung. Je größer diese bzw.
30 das aufzuheizende Volumen ist, umso geringer ist die Pumpendynamik. Bei dem Pumpenprinzip mit Quellmittelreservoir kann insbesondere der Strömungswiderstand der quellmitteldurchlässigen Aktorkammerwand 4 das zeitliche Aktorverhalten beeinflussen.

- 35 Der wichtigste zeitlich wirksame Betriebsparameter ist die

Heizleistung der Heizelemente. Je größer die applizierte Heizleistung ist, umso schneller entquillt der Hydrogelaktor. Zur Regulation der applizierten Temperatur können in das Pumpenlayout Temperatursensoren integriert werden.

5

Das maximale Fördervolumen pro Vollhub des Hydrogelaktors ist jeweils mit dem Aktorhub identisch. Beim Pumpenprinzip nach Figur 1, 3 und 4 entspricht dies in etwa der Größe der Pumpenkammer 11. Bei dem in Figur 5 und 6 gezeigten Prinzip ist ein Aktorhub die Differenz zwischen voll ausgelenkter flexibler bzw. elastischer Membran 13 infolge vollständiger Aktorquellung und relaxierter flexiblen bzw. elastischen Membran 13 bei vollständiger Aktorentquellung. Die Größe der möglichen Teilhübe wird von der Größe der einzelnen Heizelemente 7 bzw. der daraus resultierenden Unterteilung des Aktors 1 in Aktorsegmente bestimmt. Durch Regulation der Heiztemperatur können allerdings auch Zustände der Aktoren 1 zwischen vollständig entquollen und gequollen realisiert werden.

20

Anwendungsgebiete der Erfindung

Die Anwendungsmöglichkeiten der erfindungsgemäßen Pumpen sind sehr vielfältig. Sie können in integrierten und nichtintegrierten fluidischen Schaltungen Anwendung finden. Prinzipiell lassen sich die Anwendungen von Mikropumpen in vier Kategorien einteilen: Fluidische Regulationssysteme, Gas- und Flüssigkeitsmessgeräte, Medizinische Geräte, und andere Einrichtungen. Besonderen Bedarf besitzt die Biotechnologie, z.B. bei der DNA- und Protein-Analyse sowie der Wirkstoffhandhabung. Insbesondere Lab-on-Chip-Aufbauten, Analysegeräte, biologische, biochemische und chemische Reaktoraufbauten, Abgabesysteme, Mischer und Separatoreinrichtungen der Biotechnologie, Medizintechnik, Verfahrenstechnik und Pharmazie erscheinen als besonders geeignete Einsatzgebiete der erfindungsgemäßen Pumpen. Ein besonderes Anwendungsgebiet sind

extrakorporale und implantierbare Medikamentenpumpen, die beispielsweise zur Insulinabgabe genutzt werden können.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind u.a. in N.-T. Nguyen, X. Huang, T.K. Chuan, MEMS-miropumps: a review, J. Fluids Eng.

5 124 (2002), 384-392 und D.J. Laser, J.G. Santiago, A review of micropumps, J. Micromech. Microeng. 14 (2004), R35-R64 genannt.

Bezugszeichenliste

	1	Aktor aus Hydrogel
	1a	gequollener Aktor
5	1b	entquollener Aktor
	2	Aktorstrukturträger
	3	Quellmittelreservoir
	4	Quellmitteldurchlässige Aktorkammerwand
	5	Aktorkammer
10	6	Strukturträger der elektrischen Ansteuerung
	7	Heizelemente
	8	Leiterzug
	9	Kanalstrukturträger
	10	Ausgang
15	11	Pumpenkammer
	12	Eingang
	13	Flexible bzw. elastische Membran
	14	Hydrogelaktor des Ventils
	15	Aktorkammerwand des Ventils
20	16	Strukturträger der elektrischen Ansteuerung und zugleich Kanalstrukturträger

Patentansprüche

1. Elektronisch steuerbare Mikropumpe auf Hydrogelbasis zum Fördern von Fluiden, insbesondere Flüssigkeiten, **dadurch**

5 **gekennzeichnet**, dass

- die Mikropumpe über einen oder mehrere Aktoren (1, 1a, 1b) auf Basis quellfähiger Polymernetzwerke mit Volumenphasenübergangsverhalten (smarte Hydrogele) verfügt
- die Auslenkung bzw. der Volumenquellungsgrad der Aktoren
10 (1, 1a, 1b) durch eine elektrisch bzw. elektronisch kompatible Schnittstellengröße steuerbar ist
- die Mikropumpe über ein oder mehrere kaskadisch oder anderweitig räumlich getrennt angeordnete Schnittstellenelemente verfügt
- 15 - die Mikropumpe eine vom Aktor (1, 1a, 1b) auslenkbare flexible bzw. elastische Membran (13) besitzt, die
 - a) als Trennung zwischen einer Aktorkammer (5) und einer Pumpenkammer (11) dient, oder
 - b) als antreibendes bzw. verdrängendes Element des zu fördernden Mediums dient, wobei
- 20 b1) Aktorkammer (5) und Pumpenkammer (11) identisch sind und der Aktor (1, 1a, 1b) direkt im durchströmbaren Querschnitt angeordnet ist
- b2) der Aktor (1, 1a, 1b) die Auslenkung der Membran (13)
25 und damit ihre Verdrängungseigenschaft bzw. den Pumpenhub steuert.

2. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schnittstellengröße die Temperatur ist.

30

3. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Temperatur der thermisch-elektrisch bzw. thermisch-elektronischen Schnittstelle durch resistive Heizelemente (7) oder durch Licht- bzw. Strahlungseinwirkung
35 erzeugt wird.

4. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Regelung der Steuergröße Temperatur für den Aktor (1, 1a, 1b) ein Temperatursensor in unmittelbarer Nähe des Aktors (1, 1a, 1b) integriert ist.

5

5. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schnittstellengröße Licht ist.

6. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schnittstellengröße eine elektrische und/oder magnetische Feldgröße ist.

7. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktor (1, 1a, 1b) aus einem temperatursensitiven Hydrogel mit Lower Critical Solution Temperature - Charakteristik hergestellt ist, insbesondere auf Basis von N-Isopropylacrylamid oder Poly(Vinylmethylether).

8. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktor (1, 1a, 1b) aus einem temperatursensitiven Hydrogel mit Upper Critical Solution Temperature - Charakteristik hergestellt ist, insbesondere auf Basis von Hydroxyethyl Methacrylat und Acetoacetoxyethyl Methacrylat.

9. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Wärmeentkopplung der Heizelemente (7) untereinander der Ansteuerstrukturträger (6, 16) mit Wärmewiderständen versehen ist, wobei die Wärmewiderstände

- Materialverdünnungen,
- Materialien bzw. Materialkombinationen mit einem hohen Wärmewiderstand
- Luftschlitze oder andere Hohlräume

sein können.

10. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die flexible bzw. elastische Membran (13) aus

elastischen Materialien wie Polydimethylsiloxan (PDMS) und / oder Polyurethan (PUR) besteht.

11. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktorkreislauf, bestehend aus einer Aktorkammer (5), dem Aktor (1, 1a, 1b), einem Quellmittel für den Aktor (1) und einer oder mehreren quellmitteldurchlässigen Aktorkammerwänden (4), vom Prozesskreislauf, bestehend aus Eingang (12), Pumpenkammer (11) und Ausgang (13), vollständig durch die flexible bzw. elastische Membran (13) getrennt ist.

12. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Aktorkreislauf über eine Verbindung zum Prozesskreislauf verfügt, so dass der Aktor (1, 1a, 1b) das Prozessmedium als Quellmittel nutzen kann.

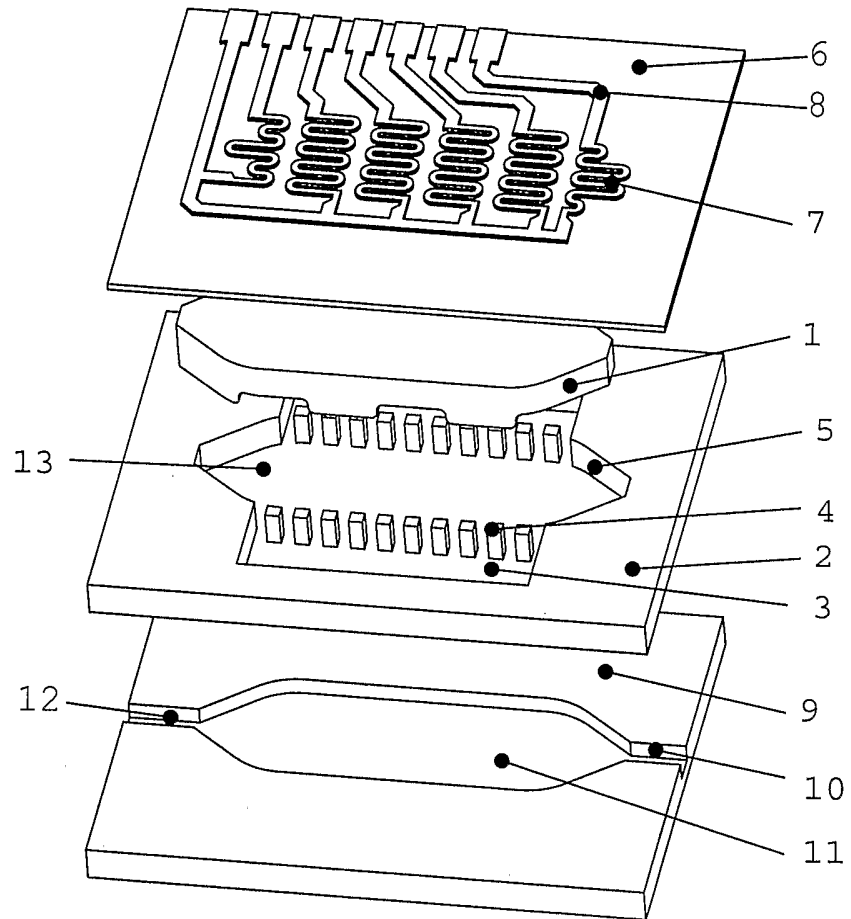
13. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Nähe des Eingangs (12) und / oder in der Nähe des Ausganges (10) passive eindirektionale Richtungsventile, z.B. Klappenventile oder Kugelventile, zum Zwecke des Erzeugens eines eindirektionalen Flusses angeordnet sind.

14. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Nähe des Eingangs (12) und / oder in der Nähe des Ausganges (10) aktive und elektronisch steuerbare Ventile (14, 15) angeordnet sind, die einen Fluss in jede gewünschte Richtung in die bzw. aus der Pumpenkammer (11) ermöglichen.

15. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Pumpenkammer (11) über mehrere Eingänge (12) und / oder mehrere Ausgänge (10) verfügt.

16. Steuerbare Mikropumpe nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingänge (12) und / oder Ausgänge (10) über passive und / oder aktive Ventile verfügen.

Fig. 1



2/4

Fig. 1a

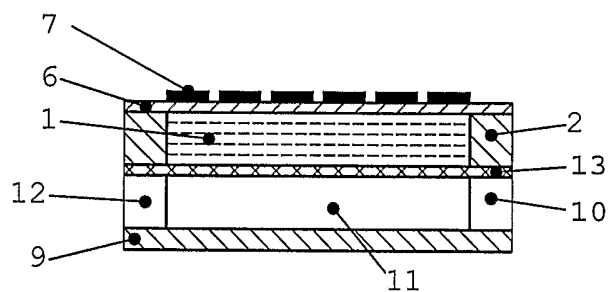


Fig. 2

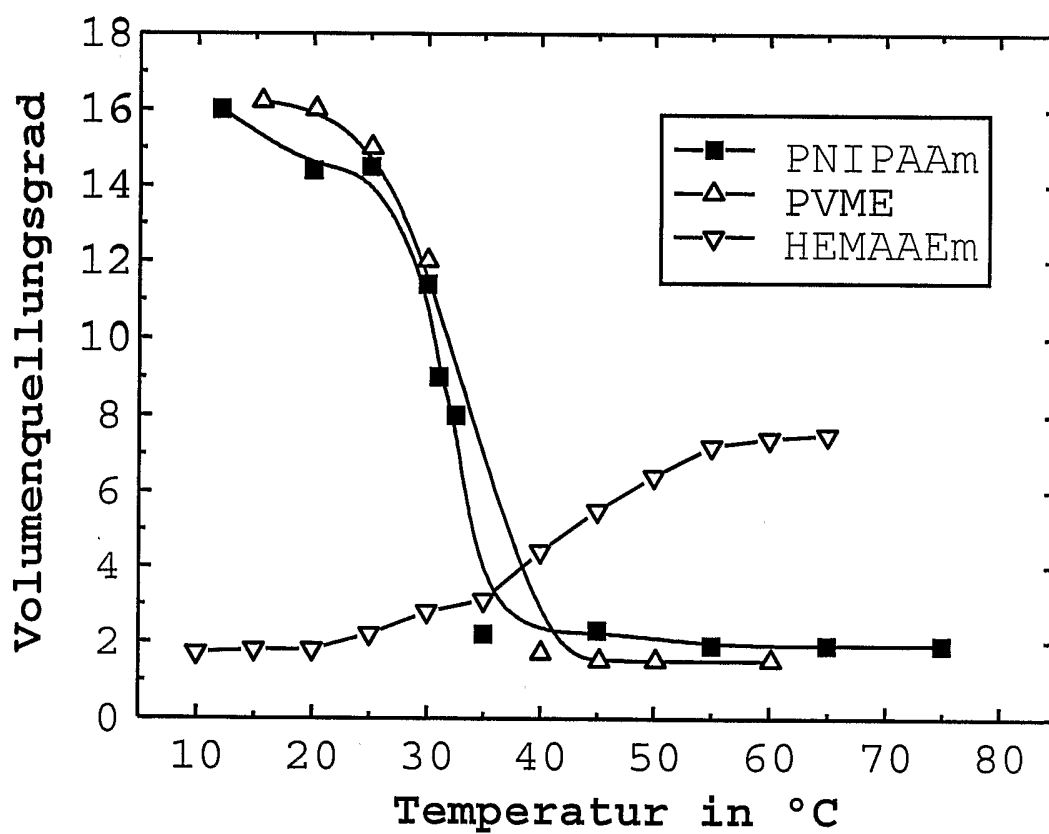


Fig. 3b

Fig. 3a

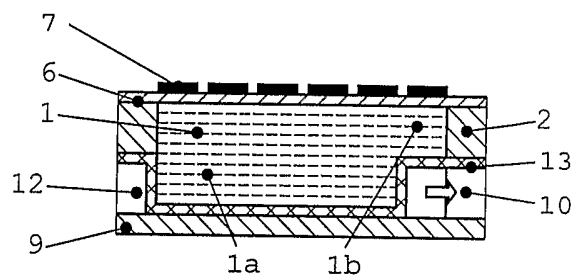
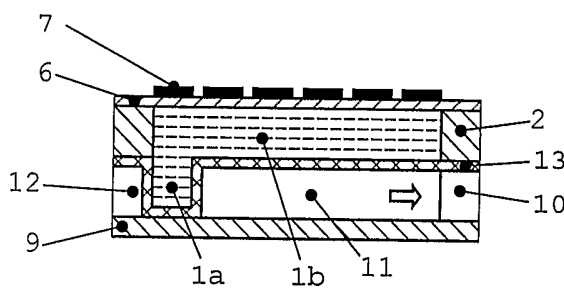


Fig. 3c

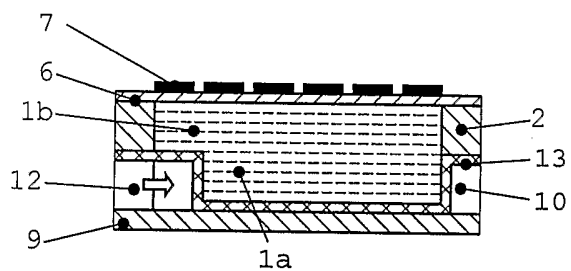


Fig. 3d

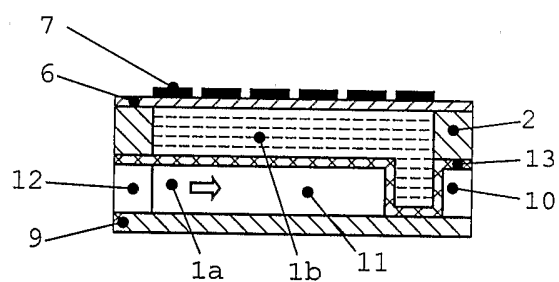
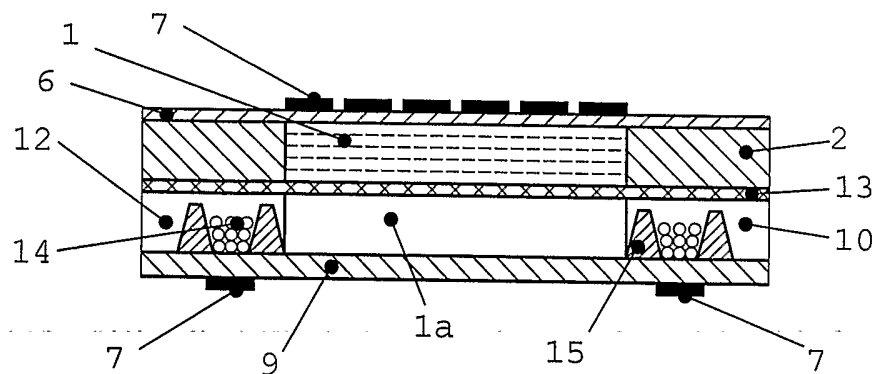


Fig. 4



4/4

Fig. 5

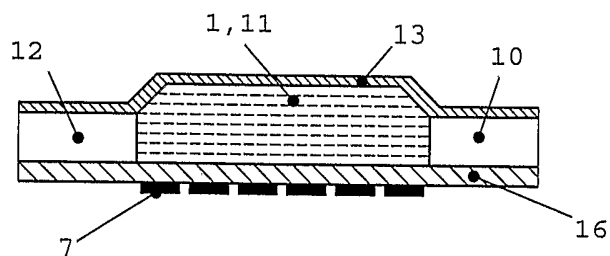


Fig. 5a

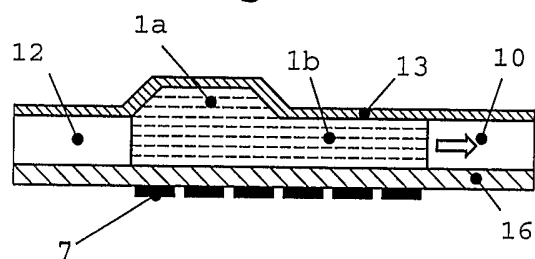


Fig. 5b

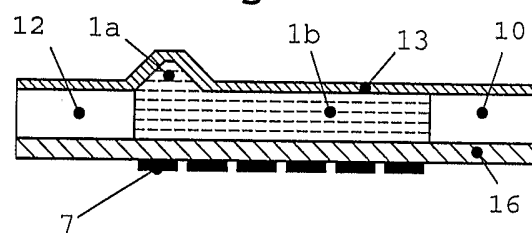


Fig. 5c

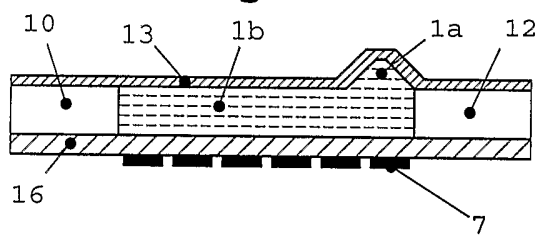


Fig. 5d

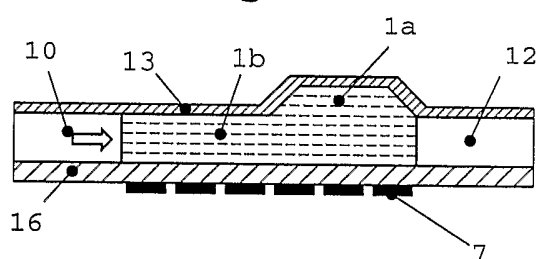
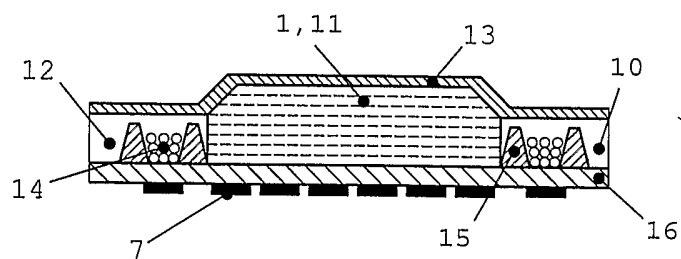


Fig. 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2005/002216

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER F04B43/04 F04B19/24 F04B43/06 F04B19/00 B01L3/00 B01J4/04		
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) F04B B01L B01J		
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. .
X	US 2003/196900 A1 (CHUANG, S.; LIANG, M.; FAN, F.; CHEN, W.-H.) 23 October 2003 (2003-10-23) paragraph [0007] - paragraph [0012] paragraph [0018]	1,6,10, 11,13, 14,16
Y	paragraph [0022] - paragraph [0030] figures 1a,1b	2-5,7-9, 15
Y	DE 101 57 317 A1 (GESIM GESELLSCHAFT FUER SILIZIUM-MIKROSYSTEME MBH) 5 June 2003 (2003-06-05) cited in the application paragraph [0012] - paragraph [0013] paragraph [0023] - paragraph [0025] paragraph [0029] - paragraph [0032] paragraph [0058] - paragraph [0064] figures 4,5	2-5,7-9, 15
-/--		
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents :		
* A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance * E* earlier document but published on or after the international filing date * L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) * O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means * P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed * T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention * X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone * Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. * &* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 15 March 2006		Date of mailing of the international search report 23/03/2006
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 Gnächterl, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2005/002216

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 869 078 A (MEDTRONIC INC.) 9 February 1999 (1999-02-09) column 1, line 60 - column 3, line 9 figure 1	1,6,10
A	----- US 2004/182704 A1 (DAUNERT SYLVIA ET AL) 23 September 2004 (2004-09-23) paragraph [0026] paragraph [0027] - paragraph [0033] paragraph [0061] figure 12	1
A	----- DE 198 12 436 A1 (TECHNISCHE UNIVERSITAET DRESDEN) 30 September 1999 (1999-09-30) cited in the application column 4, line 21 - line 34 figures 11,12 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2005/002216

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003196900	A1	23-10-2003	TW 551387 Y	01-09-2003
DE 10157317	A1	05-06-2003	NONE	
US 5869078	A	09-02-1999	NONE	
US 2004182704	A1	23-09-2004	NONE	
DE 19812436	A1	30-09-1999	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2005/002216

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES F04B43/04 F04B19/24 F04B43/06 F04B19/00 B01L3/00 B01J4/04		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F04B B01L B01J		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/196900 A1 (CHUANG, S.; LIANG, M.; FAN, F.; CHEN, W.-H.) 23. Oktober 2003 (2003-10-23) Absatz [0007] - Absatz [0012] Absatz [0018] Absatz [0022] - Absatz [0030]	1,6,10, 11,13, 14,16
Y	Abbildungen 1a,1b	2-5,7-9, 15
Y	DE 101 57 317 A1 (GESIM GESELLSCHAFT FUER SILIZIUM-MIKROSYSTEME MBH) 5. Juni 2003 (2003-06-05) in der Anmeldung erwähnt Absatz [0012] - Absatz [0013] Absatz [0023] - Absatz [0025] Absatz [0029] - Absatz [0032] Absatz [0058] - Absatz [0064] Abbildungen 4,5	2-5,7-9, 15
-/-		
☒ 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 allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 15. März 2006		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 23/03/2006
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 Gnüchtel, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2005/002216

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 869 078 A (MEDTRONIC INC.) 9. Februar 1999 (1999-02-09) Spalte 1, Zeile 60 - Spalte 3, Zeile 9 Abbildung 1	1,6,10
A	----- US 2004/182704 A1 (DAUNERT SYLVIA ET AL) 23. September 2004 (2004-09-23) Absatz [0026] Absatz [0027] - Absatz [0033] Absatz [0061] Abbildung 12	1
A	----- DE 198 12 436 A1 (TECHNISCHE UNIVERSITAET DRESDEN) 30. September 1999 (1999-09-30) in der Anmeldung erwähnt Spalte 4, Zeile 21 - Zeile 34 Abbildungen 11,12 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/002216

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2003196900	A1	23-10-2003	TW	551387 Y	01-09-2003
DE 10157317	A1	05-06-2003	KEINE		
US 5869078	A	09-02-1999	KEINE		
US 2004182704	A1	23-09-2004	KEINE		
DE 19812436	A1	30-09-1999	KEINE		