



(11) **EP 2 148 738 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
14.03.2012 Patentblatt 2012/11

(51) Int Cl.:
B01F 5/02 ^(2006.01) **B01F 11/02** ^(2006.01)
B01F 13/00 ^(2006.01) **F04F 7/00** ^(2006.01)
B01L 3/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **08736425.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/054809

(22) Anmeldetag: **21.04.2008**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/129036 (30.10.2008 Gazette 2008/44)

(54) **VERFAHREN ZUM MISCHEN UND/ODER FÖRDERN, MISCH- UND/ODER FÖRDERVORRICHTUNG UND PROBENAUFBEREITUNGSSCHIP MIT EINER SOLCHEN**

METHOD FOR MIXING AND/OR CONVEYING, MIXING AND/OR CONVEYANCE DEVICE, AND SAMPLE PROCESSING CHIP COMPRISING SUCH A DEVICE

PROCÉDÉ DE MÉLANGE ET/OU DE TRANSPORT, DISPOSITIF DE MÉLANGE ET/OU DE TRANSPORT ET PUCE DE PRÉPARATION D'ÉCHANTILLONS PRÉSENTANT CE DISPOSITIF

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(56) Entgegenhaltungen:
GB-A- 2 333 047

(30) Priorität: **24.04.2007 DE 102007020243**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.02.2010 Patentblatt 2010/05

(73) Patentinhaber: **Institut Für Mikrotechnik Mainz GmbH**
55129 Mainz (DE)

(72) Erfinder:
• **SCHÖNFELD, Friedhelm, Prof. Dr.**
55131 Mainz (DE)
• **WENIGER, Malte**
55120 Mainz (DE)

- **DIJKINK R J ET AL:** "The 'acoustic scallop': a bubble-powered actuator; The acoustic scallop': a bubble-powered actuator" **JOURNAL OF MICROMECHANICS & MICROENGINEERING, INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, BRISTOL, GB, Bd. 16, Nr. 8, 1. August 2006 (2006-08-01), Seiten 1653-1659, XP020105104 ISSN: 0960-1317 in der Anmeldung erwähnt**
- **LIU R H ET AL:** "Bubble-induced acoustic micromixing" **LAB ON A CHIP, ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, CAMBRIDGE, GB, Bd. 2, 1. Januar 2002 (2002-01-01), Seiten 151-157, XP009103055 ISSN: 1473-0197 in der Anmeldung erwähnt**
- **JR-HUNG TSAI ET AL:** "A thermal bubble actuated micro nozzle-diffuser pump" **PROCEEDINGS OF THE IEEE 14TH. ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS. MEMS 2001. INTERLAKEN, SWITZERLAND, JAN. 21 - 25, 2001; [IEEE INTERNATIONAL MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS CONFERENCE], NEW YORK, NY : IEEE, US, Bd. CONF. 14, 21. Januar 2001 (2001-01-21), Seiten 409-412, XP010534635 ISBN: 978-0-7803-5998-7**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 148 738 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Misch- und/oder Förderverfahren und eine Misch- und/oder Fördervorrichtung für eine fließfähige Substanz oder Flüssigkeit mit einer Probenkammer, einer mit der Probenkammer kommunizierenden Kavität, die zur Aufnahme eines kompressiblen Mediums bestimmten Volumens eingerichtet ist, und einer an das kompressible Medium ankoppelnden Schallquelle zur Erzeugung einer Druckschwingung in dem kompressiblen Medium. Die Erfindung betrifft des Weiteren einen Probenaufbereitungschip ("lab on a chip") mit einer solchen Misch- und/oder Fördervorrichtung.

[0002] Während zum Mischen makroskopischer Flüssigkeitsmengen unterschiedliche Verfahren und Vorrichtungen, wie beispielsweise Magnetrührer, Vortex-Mischer und dergleichen zum Einsatz kommen, sind diese meist für mikroskopische Flüssigkeitsmengen ungeeignet. Insbesondere lassen sich solche Mischprinzipien nicht in bestehende Probenaufbereitungssysteme integrieren.

[0003] In der Mikrofluidik kommen daher meist passive Mischverfahren und Vorrichtungen zum Einsatz. Solche zudem meist kontinuierlich betriebenen Mischverfahren und Mischer, wie sie in der chemischen Prozess- oder Verfahrenstechnik eingesetzt werden, sind beispielsweise aus der EP 1311341 B1 oder der EP 1390131 B1 bekannt. Diese Verfahren und Mischer sind meistens ungeeignet für die Vermischung kleiner Flüssigkeitsmengen.

[0004] Ein neues Verfahren wird in der US 2003/0175947 A1 sowie in dem Aufsatz "Bubble-induced acoustic micromixing" von Robin H. Liu et al., LAB Chip, 2002, 2, 151-157, beschrieben. Darin ist eine Vorrichtung zum Mischen kleinster Flüssigkeitsmengen (22 µl) vorgestellt, welche eine Kammer, befüllt mit den zu mischenden Flüssigkeiten, und peripher angeordnete und mit der Kammer verbundene Kavitäten aufweist. Im Bereich der Kavitäten sind Luftblasen gefangen, welche durch akustische Erregung in resonante Schwingung versetzt werden und dabei die umgebende Flüssigkeit ebenfalls in Bewegung versetzen, was zu einer schnelleren Durchmischung im Vergleich mit der Diffusionsmischung führt. Bei dem entsprechenden Modell wird von den Autoren angenommen, dass der so erzeugten Mikroströmung die Reibungskräfte an der Grenzfläche zwischen der Flüssigkeit und der Gasblase zugrunde liegen.

[0005] Von dem gleichen Mischprinzip gehen auch die Druckschriften WO 2006/105616 A1 und WO 2004/030800 A2 aus.

[0006] Der Aufsatz "The 'acoustic scallop': a bubble-powered actuator" von Dijkink, R. et al., Journal of Micromechanics and Microengineering, Institute of Physics Publishing, Bristol, GB; Bd. 16, Nr. 8, offenbart eine Misch- und/oder Fördervorrichtung gemäß dem oberbegriff des Anspruchs 1.

[0007] Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Misch- und Pumpwirkung zu erzielen.

[0008] Die Aufgabe wird durch eine Misch- und/oder Fördervorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Mischen und/oder Fördern einer fließfähigen Substanz in einer Probenkammer, insbesondere zum mikrofluidischen Mischen und/oder Fördern, sieht dem entsprechend vor, dass ein kompressibles Medium in einer in die Probenkammer mündenden Kavität mittels Schalleinkopplung zu einer Druckschwingung angeregt wird, wobei ein Teil der fließfähigen Substanz in den Mündungsbereich der Kavität eindringt und in Folge einer Volumenausdehnung des kompressiblen Mediums in einem gerichteten Fluidstrom durch die Mündung aus der Kavität austritt.

[0010] Mit Probenkammer oder Kammer ist im Sinne der Erfindung ganz allgemein ein beliebig geformtes Volumen mit einer oder mehreren Öffnungen, in dem die fließfähigen Substanz eingeschlossen ist oder das von der fließfähigen Substanz - auch während des Mischens - durchströmt wird, gemeint.

[0011] Der Begriff Kavität wird hierin, soweit nicht näher spezifiziert, allgemein als Hohlraum beliebiger Gestalt verstanden. Die nachfolgend verwendete Bezeichnung Öffnung beschreibt den Austrittsquerschnitt der Kavität in Projektion auf die Körperoberfläche an der Austrittsstelle. Als Mündung wird der öffnungsnahe Endabschnitt oder Austrittskanal der Kavität bezeichnet.

[0012] Wie zuvor beschrieben werden die in den Kavitäten gefangenen "Blasen" des kompressiblen Mediums durch akustische Erregung Druckschwankungen ausgesetzt. Die aus dem Druckabfall resultierende Volumenausdehnung des kompressiblen Mediums wird erfindungsgemäß aber dazu genutzt einen gerichteten Fluidstrom der fließfähigen Substanz durch die Mündung aus der Kavität zu bilden. Die Kavität muss daher im Mündungsbereich so ausgebildet sein, dass ein gerichteter Strahl (oder Jet) aus dieser austritt, der einen Impulsübertrag auf die in der Kammer befindliche fließfähige Substanz sicherstellt. Die Strömungsrichtung des austretenden Fluidjets kann einerseits durch die Ausrichtung der Kavität bzw. deren Mündung, andererseits durch die Anordnung oder Form der Öffnung oder durch eine Kombination beider Merkmale eingestellt werden.

[0013] Vorzugsweise weist die Kavität wenigstens eine kanalförmige Mündung in die Probenkammer auf.

[0014] In einer einfachen Gestalt weist die Kavität zumindest im Mündungsbereich einen beispielsweise rohrförmigen Abschnitt mit konstantem Querschnitt auf, in komplizierter Ausgestaltung eine besondere Düsengeometrie, um beispielsweise die Effizienz des Antriebs zu steigern.

[0015] Die Erfindung macht sich somit ein anderes Prinzip zu nutze, nämlich jenes, dass bei hinreichend großer Reynoldszahl, $Re \geq$ etwa 50, ein Fluid, welches aus einem Kanal austritt, dies in Form eines gerichteten

Jets verlässt, während ein in den Kanal eingesaugtes Fluid aus dem gesamten zur Verfügung stehenden Raumwinkelbereich gleichermaßen in den Kanal eintritt. Das Prinzip ist in dem Aufsatz "The ,acoustic scallop': a bubble-powered actuator" von Dijkink et al., Journal of Micromechanics and Microengineering, 16, 2006, 1653-1659, beschrieben. Dort wird vorgeschlagen, das Prinzip als Antrieb für eine "akustische Windmühle" einzusetzen. Ein einseitig verschlossenes Teflonröhrchen wird demnach in einen mit Wasser gefüllten Behälter eingetaucht, wonach in dessen Kapillare eine Luftblase eingeschlossen wird. Schall wird mittels eines Piezoaktors durch das Wasser in die Luftblase eingekoppelt, welche dadurch zu einer Schwingung angeregt wird. Die alternierende Volumenausdehnung und Kontraktion saugt abwechselnd Flüssigkeit in das Röhrchen ein und stößt sie wieder aus. Durch die geschilderte Asymmetrie zwischen dem gerichteten Ausstoß und dem ungerichteten Einsaugen resultiert über eine volle Schwingung ein Gesamtimpulsübertrag auf das Röhrchen, der zu dessen Antrieb in Richtung seiner Längsachse genutzt wird.

[0016] Anders als in dem Aufsatz wird vorliegend das Prinzip nicht zum Antrieb sondern dazu genutzt, einen Nettoimpulseintrag in die stehende oder fließende Flüssigkeit einzubringen und dadurch im Zusammenwirken mit der Geometrie der Probenkammer und der Anordnung der Kavitäten eine erhöhte Verwirbelung und damit eine verbesserte Mischung der Flüssigkeiten einerseits und/oder einen (verbesserten) Transport der Flüssigkeiten in eine bestimmte Richtung zu erzielen.

[0017] Bevorzugt ist die Oberfläche der Kavität eingerichtet, zumindest teilweise nicht zu benetzen.

[0018] Auf diese Weise wird sichergestellt, dass eine in der Kavität eingeschlossene Luftblase aufgrund der Oberflächenspannung der fließfähigen Substanz dort gefangen bleibt.

[0019] Die Oberfläche der Kavität ist im Mündungsbereich eingerichtet zu benetzen.

[0020] Dies stellt sicher, dass ein Teil der fließfähigen Substanz oder Flüssigkeit aufgrund des Kapillareffektes zumindest in den Mündungsbereich eintritt und dort als Flüssigkeitssäule zur Bildung des Fluidstroms bereitsteht.

[0021] Eine lokale Benetzbarkeit bzw. Nicht-Benetzbarkeit der Oberflächen kann durch Oberflächenmodifikation erzielt werden.

[0022] Beim Einsatz für eine wässrige Lösung ist die Misch- und/oder Fördervorrichtung beispielsweise entweder aus einem hydrophoben Material gebildet und im Bereich der Mündung und soweit erforderlich in übrigen Oberflächenbereichen außerhalb der Kavität hydrophilisiert oder sie ist aus einem hydrophilen Material gebildet und im Bereich der Kavität(en) gegebenenfalls außer der Mündung(en) hydrophobisiert.

[0023] Das Hydrophilisieren bzw. Hydrophobisieren kann in bekannter Weise durch ein Tauchverfahren, wie in der DE 100133111 C2 beschrieben, oder durch eine

Beschichtung erfolgen. Polycarbonat kann beispielsweise als schwach hydrophobes Material durch eine O₂-Plasmabehandlung an der Oberfläche hydrophilisiert werden.

[0024] Beim Einsatz der Misch- und/oder Fördervorrichtung für unpolare organische Flüssigkeiten können entsprechend lipophile Oberflächen im Bereich der Mündung und soweit erforderlich in übrigen Oberflächenbereichen sowie lipophobe Oberflächen im Bereich der Kavität(en) gegebenenfalls außer der Mündung(en) zum Einsatz kommen. Dies geschieht vorzugsweise, indem die Misch- und/oder Fördervorrichtung aus einem lipophilen Material gebildet und im Bereich der Kavität gegebenenfalls außer der Mündung lipophobisiert ist oder indem sie aus einem lipophoben Material gebildet und im Bereich der Mündung und soweit erforderlich in weiteren Oberflächenbereichen außerhalb der Kavität lipophilisiert ist.

[0025] In einer vorteilhaften Weiterbildung weist die Misch- und/oder Fördervorrichtung ein mit der Probenkammer in Verbindung stehendes Druckerhöhungsmittel auf, das eingerichtet ist, die fließfähige Substanz oder Flüssigkeit mit einem Druck zu beaufschlagen, so dass unter Kompression des kompressiblen Mediums ein Teil der fließfähigen Substanz in den Mündungsbereich der Kavität eindringt.

[0026] Alternativ oder zusätzlich zu dem benetzungsfähigen Mündungsbereich wird auch auf diese Weise sichergestellt, dass genügend fließfähige Substanz als Flüssigkeitssäule zur Bildung des Fluidstroms im Mündungsbereich der Kavität bereitsteht.

[0027] In der Ausführungsform des Verfahrens tritt das kompressible Medium durch die Mündung oder Mündungen relativ zur Probenkammer dergestalt aus, dass ein Netto-Drehimpuls in die fließfähige Substanz in der Probenkammer eingebracht wird. Die entsprechende Misch- und/oder Fördervorrichtung weist Kavitäten mit Mündungen in die Probenkammer auf, die relativ zur Probenkammer so angeordnet und eingerichtet sind, dass mittels der bei Volumenausdehnung des kompressiblen Mediums durch die Mündungen aus den Kavitäten austretenden gerichteten Fluidströme ein Summen-Drehimpuls in die fließfähige Substanz innerhalb der Probenkammer eingebracht wird.

[0028] Auf diese Weise wird die gesamte in der Probenkammer befindliche Flüssigkeit in eine Rotationsbewegung versetzt. Dies sorgt für eine insgesamt stärkere Verwirbelung in der gesamten Probenkammer. Die Gefahr dass in "toten Ecken" keine ausreichende Durchmischung stattfindet wird verringert.

[0029] In einer alternativen bevorzugten Ausführungsform tritt das kompressible Medium durch die Mündung oder Mündungen relativ zur Probenkammer dergestalt aus, dass ein Netto-Linearimpuls in die fließfähige Substanz in der Probenkammer eingebracht wird. Die entsprechende Misch- und/oder Fördervorrichtung weist Kavitäten mit Mündungen in die Probenkammer auf, die relativ zur Probenkammer so angeordnet und eingerich-

tet sind, dass mittels der bei Volumenausdehnung des kompressiblen Mediums durch die Mündungen aus den Kavitäten austretenden, gerichteten Fluidströme ein Summen-Linearimpuls in die fließfähige Substanz innerhalb der Probenkammer eingebracht wird.

[0030] Auf diese Weise wird ein Pumpeffekt erzielt, der das Fluid in der Probenkammer in einer Richtung, beispielsweise von einer Einlassöffnung in Richtung einer Auslassöffnung, befördert.

[0031] Die Kavität ist im einfachsten und daher kostengünstigsten Fall in Form einer Todbohrung oder eines einseitig verschlossenen Kanals in eine Wand der Probenkammer eingebracht.

[0032] Bevorzugt ist die Schallquelle unmittelbar an eine Probenkammerwand angekoppelt.

[0033] Ist die Schallquelle in einem Bereich der Probenkammerwand mit der Misch- und/oder Fördervorrichtung verbunden, der bei Betrieb gegenüberliegend in Kontakt mit der fließfähigen Substanz steht, so wird die Druckschwingung unmittelbar über die fließfähige Substanz ausgekoppelt und an das kompressible Medium weitergeleitet. Auf diese Weise werden Verluste durch größere Impedanzunterschiede bei der Schallübertragung beispielsweise durch ein auf der Innenseite der Behälterwand angrenzendes Luft-/Gaspolster vermieden.

[0034] In einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung ist die Kavität in Form eines Verbindungskanals ausgebildet, der einerseits über die Mündung mit der Probenkammer und andererseits mit einer mit einem Koppelmedium befüllten Druckkammer verbunden ist, an die die Schallquelle angekoppelt ist.

[0035] Die Druckschwingung wird somit nicht über die zu mischende Substanz sondern gewissermaßen von der gegenüberliegenden Seite über das in der Druckkammer befindliche Koppelmedium in das kompressible Medium einkoppelt. Über ein entsprechendes Kanalsystem für das Koppelmedium können von einer zentralen Druckkammer aus mehrere/alle Kavitäten versorgt werden. Vorteilhaft ist hierbei, dass durch eine Ventilsteuerung die Kavitäten einzeln oder Gruppenweise in gewünschter Anordnung angesteuert werden können.

[0036] Das kompressible Medium ist bevorzugt Gas, besonders bevorzugt Luft.

[0037] Weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen mit Hilfe der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Querschnitt durch die erfindungsgemäße Mischvorrichtung in einem Probenaufbereitungschip gemäß einer ersten Ausführungsform von der Seite betrachtet;

Figur 2 die erfindungsgemäße Mischvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform im Schnitt von oben;

Figur 3 einen Querschnitt durch die erfindungsgemä-

ße Fördervorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform;

Figur 4 einen Probenaufbereitungschip mit zwei hintereinander geschalteten Mischvorrichtungen und externer Druckkammer im Schnitt von oben;

Figur 5 einen Querschnitt durch die erfindungsgemäße Mischvorrichtung in einem Probenaufbereitungschip gemäß einer weiteren Ausführungsform von oben und.

Figur 6 einen Querschnitt durch den düsenförmigen Mündungsbereich einer Kavität.

[0038] In Figur 1 ist die einfachste Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Mischvorrichtung gezeigt. Eine Probenkammer 100 ist in Form eines Kanals mit konstantem Querschnitt oder einer sich quer zur Schnittebene aufweitenden Probenkammer in einen Probenaufbereitungschip 110 eingebracht. Ein Flüssigkeitstropfen 112 der zu mischenden Substanz (nachfolgend auch "Plug" genannt), zu erkennen an den Grenzflächen 113 und 114 zu der diesen umgebenden Luft/Gas, wird beispielsweise durch eine Pumpe (nicht dargestellt) durch den Kanal 100 hindurchgefördert.

[0039] Quer zu dem Kanal 100 befindet sich eine in diesem Fall von unten in den Kanal 100 mündende Kavität 116, die in Form eines kleinen, nicht entlüfteten Kanals bzw. einer Todbohrung ausgebildet ist. Erreicht der Flüssigkeitstropfen 112 den Bereich um die Kavität 116, wie in Fig. 1 dargestellt, wird in der Kavität 116 darin eine Luft- oder Gasblase 118 als kompressibles Medium eingeschlossen.

[0040] Entscheidend für das erfindungsgemäße Wirkprinzip ist, dass die zu mischende Flüssigkeit dabei zumindest teilweise in den Mündungsbereich der Kavität 116 eindringt und dort eine Flüssigkeitssäule bereitstellt, angedeutet durch die Grenzfläche 120 zwischen der Luftblase 118 und dem Flüssigkeitsplug 112. Für das Ausbilden dieser Flüssigkeitssäule können zwei verschiedene Mechanismen wahlweise oder gleichzeitig eingesetzt werden. Zum einen wird dafür gesorgt werden, dass die Kavität 116 in ihrem Mündungsbereich benetzt. Dies kann durch eine entsprechende Wahl des Materials der Kavität im Mündungsbereich, d.h. gegebenenfalls durch eine Oberflächenmodifikation erzielt werden, wenn die Kavität beispielsweise aus einem ansonsten nicht benetzbaren Material gebildet ist. Alternativ oder zusätzlich kann der Flüssigkeitsplug 112 durch die an den Kanal 100 angeschlossene Pumpe mit Druck beaufschlagt werden, wodurch die in der Kavität 116 eingeschlossene Luftblase 118 komprimiert wird. Dabei muss durch eine geeignete Maßnahme dafür Sorge getragen werden, dass der Flüssigkeitsplug 112 bei Erreichen des Solldruckes sich genau über der Kavität 116 befindet. Dies kann dadurch geschehen, dass der Flüssigkeitsplug 112 beid-

seitig mit Druck beaufschlagt wird.

[0041] Auf der Oberseite des Probenaufbereitungschips 110 ist eine Schallquelle in Form eines Piezoaktors 122 montiert. Der Piezoaktor 122 ist an eine Wechselspannungsquelle 124 angeschlossen, die ihn zu einer Schwingung anregt. Beim Einsatz eines Piezoaktors ist darauf zu achten, dass dieser vorgespannt ist. Bei dem Probenaufbereitungschip gemäß Figur 1 kann er zu diesem Zweck auf eine geeignete Wand 111 über Probenkammer 100, welche in der Praxis auf der Oberseite durch eine Deckelfolie gebildet wird, aufgedrückt werden. Die Schwingung wird über die Wand 111 des Probenaufbereitungschips 110 gegenüber der Kavität 116 in den Flüssigkeitsplug 112 eingekoppelt und von diesem weitergeleitet. Dadurch, dass die Ankopplung in einem Bereich stattfindet, der unmittelbar mit dem Flüssigkeitsplug 112 in Berührung steht, wird der Schall unmittelbar in die fließfähige Substanz eingekoppelt und es treten keine größeren Verluste durch Impedanzunterschiede, beispielsweise durch eine dazwischenliegende Luftschicht auf. Durch Einstellung einer entsprechenden Frequenz kann der eingekoppelte Schall auf die Resonanzfrequenz der in der Kavität 116 eingeschlossenen Luftblase 118 angepasst werden. Dies sorgt für eine Amplitudenerhöhung der Schwingung in der Kavität und somit zu einer effizienten Ausnutzung des eingekoppelten Schalls.

[0042] Durch Schwingung der Luftblase 118 wird die in dem Mündungsbereich der Kavität 116 stehende Flüssigkeitssäule eingesogen bzw. ausgestoßen. Das Ausstoßen der Flüssigkeitssäule erfolgt, wie durch den Pfeil 126 gekennzeichnet, gerichtet, während das Einsaugen der Flüssigkeit aus der Probenkammer 100 aus sämtlichen zur Verfügung stehenden Richtungen mit nahezu gleicher Geschwindigkeit erfolgt. Hieraus resultiert, über eine volle Schwingung betrachtet, ein Nettoimpulseintrag in den Flüssigkeitsplug 112 in Richtung des Pfeils. Die Flüssigkeit in dem Plug 112 wird dadurch verwirbelt und die Vermischung beschleunigt.

[0043] Der Querschnitt der Kavität 116 ist typischerweise kleiner als der des Kanals bzw. der Probenaufbereitungskammer 100, damit die Flüssigkeitsmenge, welche eingesogen und ausgestoßen wird, nicht bereits einen Großteil der Flüssigkeitsmenge des gesamten Plugs 112 umfasst. Während der Kanalquerschnitt oder die Höhe der Probenkammer 100 typischerweise mehrere Zehntel Millimeter bis wenige Zentimeter beträgt, ist der Durchmesser der Kavität 116 nur mehrere Mikrometer bis wenige Millimeter, bevorzugt wenige Zehntel Millimeter groß. Die Länge der Kavität 116 kann 0,5 mm bis 50 mm betragen, was sicherstellt, dass eine ausreichend große Luftmenge in der Kavität 116 zur Kompression bereitsteht.

[0044] In Figur 2 ist eine Probenkammer 200 in einem Probenaufbereitungschip 210 von oben dargestellt. Die Probenkammer 200 ist in der lateralen Erstreckungsrichtung bauchig und von etwa kreisförmigem Querschnitt. Die Kammer kann in vertikaler Richtung senkrecht zu der

Darstellungsebene eine konstante Höhe, eine Aufweitung oder eine Einschnürung aufweisen.

[0045] Die Probenkammer 200 ist eingangsseitig mit einer Zuführung 202 für die zu mischende fließfähige Substanz und ausgangsseitig mit einer Abführung 204 verbunden. In der Probenkammer 200 befindet sich ein Flüssigkeitstropfen oder -plug 212, zu erkennen an den Grenzflächen 213, 214. Um die Probenkammer 200 herum sind vier Kavitäten 216 angeordnet, welche tangential in diese münden.

[0046] Wird mittels einer Schallquelle (nicht dargestellt) Schall in die Flüssigkeit eingekoppelt, so werden in den Kavitäten 216 eingeschlossene Luftblasen, wie im Zusammenhang mit dem Beispiel aus Figur 1 beschrieben, in Schwingung versetzt. Hierdurch resultiert aus jeder Kavität 216 ein tangentialer Netto-Impulseintrag in die in der Kammer 200 befindliche Flüssigkeit. Die Impulse addieren sich aufgrund der Anordnung der vier Kavitäten 216 dergestalt, dass die Flüssigkeit in dem Plug 212 in Drehung versetzt wird. Diese Anordnung ist zur Durchmischung größerer Flüssigkeitsmengen vorteilhaft.

[0047] Ein gleichmäßiger Impulseintrag aus allen vier Kavitäten 216 ist nur dann sichergestellt, wenn die darin eingeschlossenen Luftblasen dieselben Abmessungen aufweisen, da nur dann alle vier gleichermaßen durch dieselbe Frequenz in resonante Schwingung versetzt werden. Man kann sich Resonanzunterschiede aber auch bewusst zunutze machen. Beispielsweise können zwei der vier Kavitäten in gegenläufig tangentialer Richtung in die Probenkammer münden. Haben die jeweils gleichgerichteten Kavitäten gleiche Abmessungen aber die gegenläufigen Kavitäten unterschiedliche, sind auch deren Resonanzfrequenz verschieden. So kann durch Abstimmung der eingekoppelten Schallfrequenz abwechselnd eine Drehung in der einen Richtung und danach in die andere Richtung angeregt werden. Dieser Wechsel wird für ein chaotisches Strömungsmuster und damit eine noch bessere Durchmischung der Flüssigkeit sorgen.

[0048] In Figur 3 ist ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Fördervorrichtung im Querschnitt dargestellt, welche wiederum eine Probenkammer 300 in Form eines Kanals in einem Probenaufbereitungschip 310 umfasst. Ferner weist die Fördervorrichtung mehrere Kavitäten 316 auf, welche unter spitzem Winkel zu der Längsachse des Kanals 300 in selbigen münden. In dem Kanal 300 befindet sich eine Flüssigkeit, die in der zuvor beschriebenen Weise in die Mündungen der Kavitäten 316 eindringt und darin jeweils eine Luftblase einschließt. Wird diese durch eine Schallquelle in Druckschwingung versetzt, dann wird in der zuvor beschriebenen Weise die Flüssigkeitssäule aus dem Mündungsbereich jeder Kavität (synchron) herausgefordert. Die Impulseinträge in die in dem Kanal befindliche Flüssigkeit addieren sich zu einem Netto-Linearimpuls in Richtung der Kanalachse, gekennzeichnet durch den Pfeil 326. Auf diese Weise wird eine Mikro-Pumpvorrichtung geschaffen.

[0049] In Figur 4 ist ein Ausschnitt eines Probenaufbereitungschips 410 mit zwei Probenkammern 400, 401 gezeigt, in welche jeweils zwei Zuführungen 402, 403 bzw. 404, 405 münden. Die Probenkammern sind unmittelbar hintereinander geschaltet, so dass die Abführung 406 der ersten Probenkammer 400 unmittelbar in eine der Zuführungen 404 der zweiten Probenkammer 401 mündet. Während also in der Probenkammer 400 die durch die Zuführung 402 und 403 eingeleiteten Substanzen A und B zu einer Mischsubstanz A+B gemischt werden, wird in der zweiten Probenkammer 401 die Mischsubstanz A+B mit einer weiteren Substanz C zu der Mischsubstanz A+B+C vermischt.

[0050] Das Mischen erfolgt aufgrund des zuvor beschriebenen Prinzips. In beide Probenkammern mündet jeweils eine Kavität 416 bzw. 417. Befindet sich der Flüssigkeitsplug aus den beiden zunächst unvermischten Substanzen A und B in der ersten Probenkammer 400, so ist in der Kavität 416 eine Luft- oder Gasblase 418 eingeschlossen. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen handelt es sich jedoch bei der Kavität 416 nicht um eine einseitig verschlossene Todbohrung, sondern um eine Verbindungsleitung, die rückseitig mit einer Druckkammer 430 verbunden ist, welche mit einem Koppelmedium befüllt ist. Die Luftblase 418 ist zwischen der zu mischenden Substanz einerseits und dem Koppelmedium andererseits eingeschlossen. Ein Schallfeld wird in der zuvor beschriebenen Weise bevorzugt durch Ankopplung einer Schallquelle im Bereich der Druckkammer 430 in das Koppelmedium eingekoppelt. Dieses gibt die Schwingung an die Luft- oder Gasblase ab, die aufgrund Ihrer Kompressibilität pulsiert und die Strömung der fließfähigen Substanz in der Mündung der Kavität verursacht.

[0051] Sind die beiden Substanzen A und B ausreichend vermischt, wird der Flüssigkeitsplug der Mischsubstanz A+B in Richtung der zweiten Probenkammer 401 transportiert, dort mit der Substanz C zusammengeführt.

[0052] Die Druckkammer ist durch ein verzweigtes Leitungssystem sowohl mit der in die erste Probenkammer 400 mündenden Kavität 416 als auch mit der in die zweite Probenkammer 401 mündenden Kavität 417 verbindbar. Deshalb benötigt man zur Mischung in beiden Probenkammern 400, 401 nur eine Schallquelle, die mit der gemeinsamen Druckkammer 430 verbunden ist.

[0053] Ein in die Leitung des Koppelmediums eingeschaltetes Ventil 432 wird nach dem Mischvorgang in der ersten Probenkammer 400 umgeschaltet, so dass anschließend ausschließlich die in die zweite Probenkammer 401 mündende Kavität 417 mit der Druckkammer 430 verbunden ist. Nunmehr kann eine in die Kavität 417 eingeschlossene Luftblase (nicht dargestellt) über das Koppelmedium in Schwingung versetzt und die Substanzen A, B und C vermischt werden.

[0054] Die Zu- und Abführung der Substanzen A, B und C erfolgt durch ein geeignetes, hier nicht näher dargestelltes Ventilsystem, damit sichergestellt ist, dass die

Substanzen den richtigen Weg nehmen und während des Mischens in den jeweiligen Mischkammern verbleiben.

[0055] In Figur 5 ist noch mal eine einfache Ausführungsform der erfindungsgemäßen Mischvorrichtung in einem Probenaufbereitungschip 510 gezeigt. Eine Probenkammer 500 ist in Form eines in der lateralen Erstreckungsrichtung bauchigen Volumens gebildet. Die Kammer 500 kann in vertikaler Richtung senkrecht zu der Darstellungsebene eine konstante Höhe, eine Aufweitung oder eine Einschnürung aufweisen.

[0056] Die Probenkammer 500 ist eingangsseitig mit einer Zuführung 502 für die zu mischende fließfähige Substanz und ausgangsseitig mit einer Abführung 504 verbunden. Im Unterschied zu der Probenkammer gemäß Figur 2 weisen die Zuführung und die Abführung jeweils Engstellen oder Einschnürungen 506 bzw. 508 auf. In der Probenkammer 500 befindet sich ein Flüssigkeitstropfen oder -plug 512, zu erkennen an den Grenzflächen 513, 514. Das Volumen des Flüssigkeitstropfens 512 ist so auf das Volumen der Kammer abgestimmt, dass die Grenzflächen 513, 514 im Bereich der Engstellen 506, 508 zu liegen kommen. Dies hat zwei Vorteile: Der Flüssigkeitstropfen 512 kann leichter in der Probenkammer gehalten werden und der eingekoppelte Schall kann aufgrund der kleinen an die Umgebung angrenzenden Flächen 513, 514 effizienter genutzt werden - es wird weniger Schallenergie ausgekoppelt. Leichter gehalten bzw. positioniert wird der Flüssigkeitstropfen 512 dadurch, dass die Oberfläche der Kammer 500 und der Zu- und Abführung 502, 504 vorzugsweise benetzbar ausgestaltet sind. Die fließfähige Substanz dringt dadurch in die Engstellen ein und stoppt an deren Übergang zu dem in Strömungsrichtung anschließenden weiteren Abschnitt der Abführung 504. Um die Flüssigkeit aus der Kammer 500 weiterzubewegen, muss Energie aufgewendet werden, da eine Oberflächenvergrößerung erfolgt. Die Flüssigkeit wird daher sicher in der Kammer gehalten, solange keine ausreichende Energie zum Weitertransport aufgebracht wird.

[0057] Die Kavität 516 befindet sich in diesem Fall zentral und quer zur durch die Zuführung und die Abführung gebildeten Achse. Sie ist, wie im Beispiel der Figur 1 in Form eines kleinen, nicht entlüfteten Kanals bzw. einer Todbohrung ausgebildet. Das Funktionsprinzip ist daselbe.

[0058] Die gezeigten Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Mischvorrichtung sind insbesondere für den kontinuierlichen oder quasikontinuierlichen Betrieb geeignet. Unter quasi-kontinuierlich ist in diesem Zusammenhang eine sequentiell arbeitende Mischvorrichtung zu verstehen, in der einzelne Volumina der Flüssigkeit nacheinander durch die Probenkammer geführt und gemischt werden.

[0059] Die Probenkammer ist - unabhängig von der sonstigen Gestalt - bevorzugt ohne scharfe Ecken oder Kanten und mit einer möglichst strömungsgünstigen Form ausgebildet, damit an Stellen geringer Strömung

bzw. in den Ecken und Kanten keine Flüssigkeitsreste zurückbleiben und die Kammer möglichst vollständig befüllt und entleert werden kann.

[0060] Dies betrifft vorzugsweise auch die Kavität 616 der erfindungsgemäßen Misch- und/oder Fördervorrichtung, welche eine Mündung 634 in Form einer Düse mit einem sich in Richtung der Öffnung 636 strömungsgünstig verjüngenden Mündungsquerschnitt und einer scharfen Abrisskante in der Öffnungsebene aufweist, wie in Figur 6 schematisch dargestellt ist.

Bezugszeichenliste

[0061]

100 Probenkammer / Kanal
110 Probenaufbereitungschip
111 Wand
112 Flüssigkeitstropfen / -plug
113 Grenzfläche
114 Grenzfläche
116 Kavität
118 Luftblase
120 Grenzfläche
122 Piezoaktor
124 Wechselspannungsquelle
126 Impuls
200 Probenkammer
202 Zuführung
204 Abführung
210 Probenaufbereitungschip
212 Flüssigkeitstropfen / -plug
213 Grenzfläche
214 Grenzfläche
216 Kavität
226 Drehimpuls
300 Probenkammer

310 Probenaufbereitungschip
316 Kavität
5 326 Netto-Impuls
400 Probenkammer
401 Probenkammer
10 402 Zuführung
403 Zuführung
15 404 Zuführung
405 Zuführung
406 Abführung
20 407 Abführung
410 Probenaufbereitungschip
25 416 Kavität
417 Kavität
418 Luftblase
30 430 Druckkammer
432 Ventil
35 500 Probenkammer
502 Zuführung
504 Abführung
40 506 Engstelle
508 Engstelle
45 510 Probenaufbereitungschip
512 Flüssigkeitstropfen / -plug
513 Grenzfläche
50 514 Grenzfläche
516 Kavität
55 616 Kavität
634 Mündungsbereich

636 Öffnung

Patentansprüche

1. Misch- und/oder Fördervorrichtung für eine fließfähige Substanz mit einer Probenkammer (100), einer in die Probenkammer (100) mündenden Kavität (116), die zur Aufnahme eines kompressiblen Mediums bestimmten Volumens eingerichtet ist und im Mündungsbereich so ausgebildet ist, dass bei Volumenausdehnung des kompressiblen Mediums in der Kavität ein gerichteter Fluidstrom der fließfähigen Substanz durch die Mündung aus der Kavität (116) austritt, und einer an das kompressible Medium ankoppelnden Schallquelle zur Erzeugung einer Druckschwingung in dem kompressiblen Medium, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche der Kavität (116) im Mündungsbereich eingerichtet ist, zu benetzen.
2. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche der Kavität (116) eingerichtet ist, zumindest teilweise nicht zu benetzen.
3. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** ein mit der Probenkammer (100) in Verbindung stehendes Druckerhöhungsmittel, das eingerichtet ist, die fließfähige Substanz mit einem Druck zu beaufschlagen, so dass unter Kompression des kompressiblen Mediums ein Teil der fließfähigen Substanz in den Mündungsbereich der Kavität (116) eindringt.
4. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Kavitäten (116) Mündungen in die Probenkammer (100) aufweisen, die relativ zur Probenkammer (100) so angeordnet und eingerichtet sind, dass die durch die Mündungen aus den Kavitäten (116) austretenden, gerichteten Fluidströme einen Summen-Drehimpuls in die fließfähige Substanz innerhalb der Probenkammer (100) einbringen.
5. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Kavitäten (116) Mündungen in die Probenkammer (100) aufweisen, die relativ zur Probenkammer (100) so angeordnet und eingerichtet sind, dass die durch die Mündungen aus den Kavitäten (116) austretenden, gerichteten Fluidströme einen Summen-Linearimpuls in die fließfähige Substanz innerhalb der Probenkammer (100) einbringen.
6. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kavität (116) in Form einer Todbo-

hrung in eine Wand der Probenkammer (100) eingebracht ist.

7. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schallquelle unmittelbar an die Probenkammerwand angekoppelt ist.
8. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kavität (116) in Form eines Verbindungskanals ausgebildet ist, der einerseits über die Mündung mit der Probenkammer (100) und andererseits mit einer mit einem Koppelmedium befüllten Druckkammer verbunden ist, an die die Schallquelle angekoppelt ist.
9. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kompressible Medium ein Gas ist.
10. Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kompressible Medium Luft ist.
11. Probenaufbereitungsschiff (110) mit einer Misch- und/oder Fördereinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche.
12. Verfahren zum Mischen und/oder Fördern einer fließfähigen Substanz in einer Probenkammer (100) in einer Misch- und/oder Fördervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10 bei dem ein kompressibles Medium in einer in die Probenkammer (100) mündenden Kavität (116) mittels Schalleinkopplung zu einer Druckschwingung angeregt wird, wobei ein Teil der fließfähigen Substanz in den Mündungsbereich der Kavität (116) eindringt und in Folge einer Volumenausdehnung des kompressiblen Mediums in einem gerichteten Fluidstrom durch die Mündung aus der Kavität (116) dergestalt austritt, dass ein Netto-Drehimpuls in die fließfähige Substanz in der Probenkammer (100) eingebracht wird.

Claims

1. Mixing and/or conveyance device for a flowable substance, comprising a sample chamber (100), a cavity (116), which opens out into the sample chamber (100), is designed to receive a compressible medium of a specific volume and is formed in the orifice region in such a way that, if the volume of the compressible medium in the cavity expands, a directed fluid stream of the flowable substance escapes from the cavity (116) through the orifice, and a sound source, which couples to the compressible medium, for generating a pressure oscillation in the compressible medium,

characterized in that the surface of the cavity (116) is designed to be wetted in the orifice region.

2. Mixing and/or conveyance device according to Claim 1, **characterized in that** the surface of the cavity (116) is designed at least partially not to be wetted.
3. Mixing and/or conveyance device according to either of the preceding claims, **characterized by** a pressure-increasing means, which is connected to the sample chamber (100) and is designed to pressurize the flowable substance, such that some of the flowable substance passes into the orifice region of the cavity (116) under compression of the compressible medium.
4. Mixing and/or conveyance device according to one of the preceding claims, **characterized in that** cavities (116) have orifices into the sample chamber (100) which are arranged and designed in relation to the sample chamber (100) in such a way that the directed fluid streams escaping from the cavities (116) through the orifices introduce a sum angular momentum into the flowable substance within the sample chamber (100).
5. Mixing and/or conveyance device according to one of the preceding claims, **characterized in that** cavities (116) have orifices into the sample chamber (100) which are arranged and designed in relation to the sample chamber (100) in such a way that the directed fluid streams escaping from the cavities (116) through the orifices introduce a sum linear momentum into the flowable substance within the sample chamber (100).
6. Mixing and/or conveyance device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the cavity (116) is introduced into a wall of the sample chamber (100) in the form of a dead hole.
7. Mixing and/or conveyance device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the sound source is coupled directly to the sample chamber wall.
8. Mixing and/or conveyance device according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** the cavity (116) is in the form of a connection channel, which is connected on the one hand to the sample chamber (100) via the orifice and on the other hand to a pressure chamber, which is filled with a coupling medium and to which the sound source is coupled.
9. Mixing and/or conveyance device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the compressible medium is a gas.

10. Mixing and/or conveyance device according to one of the preceding claims, **characterized in that** the compressible medium is air.

- 5 11. Sample processing chip (110) comprising a mixing and/or conveyance device according to one of the preceding claims.
- 10 12. Method for mixing and/or conveying a flowable substance in a sample chamber (100) in a mixing and/or conveyance device according to one of Claims 1 to 10, in which method a compressible medium is made to perform a pressure oscillation by means of the injection of sound in a cavity (116) which opens out into the sample chamber (100), wherein some of the flowable substance passes into the orifice region of the cavity (116) and, as a result of an expansion in the volume of the compressible medium, escapes from the cavity (116) through the orifice in a directed fluid stream in such a manner that a net angular momentum is introduced into the flowable substance in the sample chamber (100).

25 Revendications

1. Dispositif de mélange et/ou de transport pour une substance pouvant s'écouler, comprenant une chambre d'échantillon (100), une cavité (116) débouchant dans la chambre d'échantillon (100), laquelle est agencée pour recevoir un agent compressible de volume défini et est formée dans la zone d'embouchure de telle sorte qu'en cas de dilatation volumique de l'agent compressible dans la cavité, un courant fluide dirigé de la substance pouvant s'écouler sorte de la cavité (116) par l'embouchure, et une source sonore se couplant à l'agent compressible pour produire une oscillation de pression dans l'agent compressible, **caractérisé en ce que** la surface de la cavité (116) est agencée dans la zone d'embouchure, pour humidifier.
2. Dispositif de mélange et/ou de transport selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la surface de la cavité (116) est agencée, au moins partiellement, pour ne pas humidifier.
3. Dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé par** un moyen d'augmentation de la pression en liaison avec la chambre d'échantillon (100), lequel est agencé pour alimenter en pression la substance pouvant s'écouler, de façon à ce que sous la compression de l'agent compressible, une partie de la substance pouvant s'écouler pénètre dans la zone d'embouchure de la cavité (116).
4. Dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une

des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** des cavités (116) présentent des embouchures dans la chambre d'échantillon (100) qui sont disposées et agencées par rapport à la chambre d'échantillon (100) de telle sorte que les courants fluidiques dirigés, sortant des cavités (116) par les embouchures, apportent un moment cinétique cumulé dans la substance pouvant s'écouler à l'intérieur de la chambre d'échantillon (100).

5

10

5. Dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** des cavités (116) présentent des embouchures dans la chambre d'échantillon (100) qui sont disposées et agencées par rapport à la chambre d'échantillon (100) de telle sorte que les courants fluidiques dirigés, sortant des cavités (116) par les embouchures, apportent une impulsion linéaire cumulée dans la substance pouvant s'écouler à l'intérieur de la chambre d'échantillon (100).

15

20

6. Dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la cavité (116) en forme d'alésage borgne est intégrée dans une paroi de la chambre d'échantillon (100).

25

7. Dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la source sonore est couplée directement à la paroi de la chambre d'échantillon.

30

8. Dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** la cavité (116) est en forme de canal de liaison qui est relié d'un côté à la chambre d'échantillon (100) par l'embouchure et d'un autre côté à une chambre de pression remplie d'un agent de couplage, à laquelle la source sonore est couplée.

35

40

9. Dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'agent compressible est un gaz.

10. Dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'agent compressible est de l'air.

45

11. Puce de préparation d'échantillon (110) comprenant un dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications précédentes.

50

12. Procédé de mélange et/ou de transport d'une substance pouvant s'écouler dans une chambre d'échantillon (100) dans un dispositif de mélange et/ou de transport selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel un agent compressible dans une cavité (116) débouchant dans la chambre d'échantillon (100) est

55

excité au moyen d'un couplage acoustique à une oscillation de pression, une partie de la substance pouvant s'écouler pénétrant dans la zone d'embouchure de la cavité (116) et, à la suite d'une dilatation volumique de l'agent compressible dans un courant fluidique dirigé, sortant de la cavité (116) par l'embouchure, de telle sorte qu'un moment cinétique net est apporté dans la substance pouvant s'écouler dans la chambre d'échantillon (100).

Fig. 1

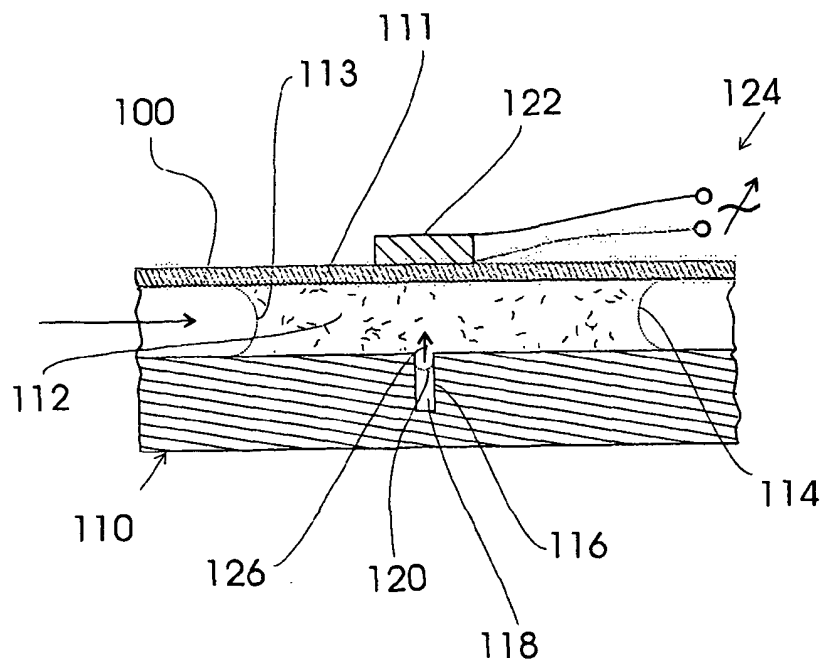


Fig. 2

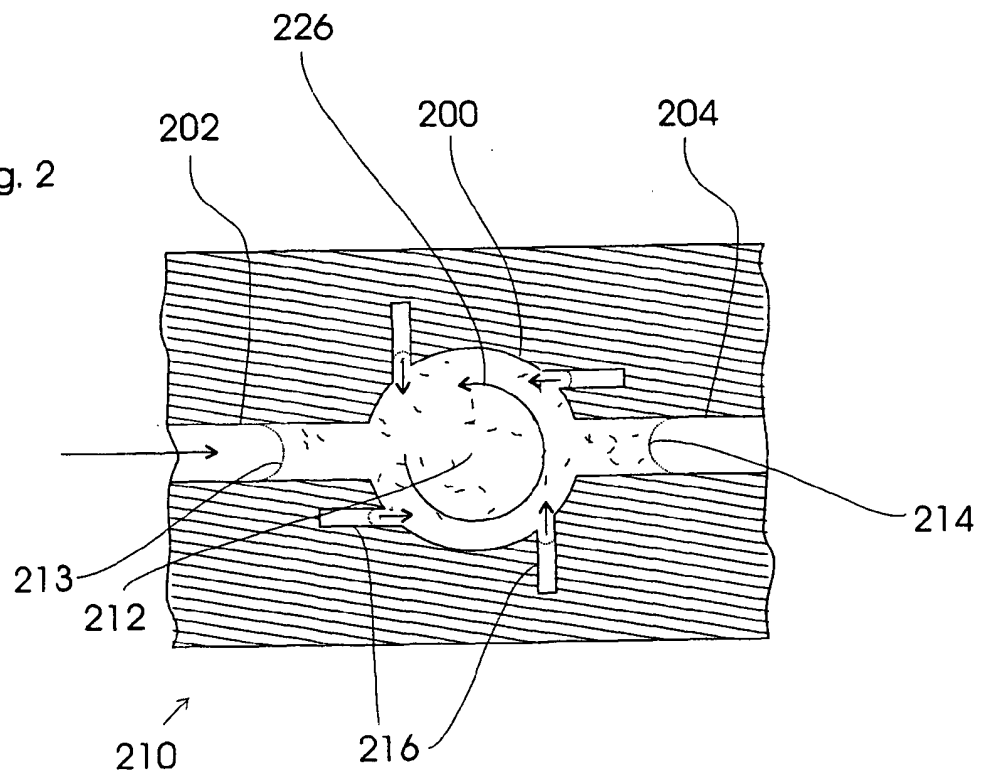


Fig. 3

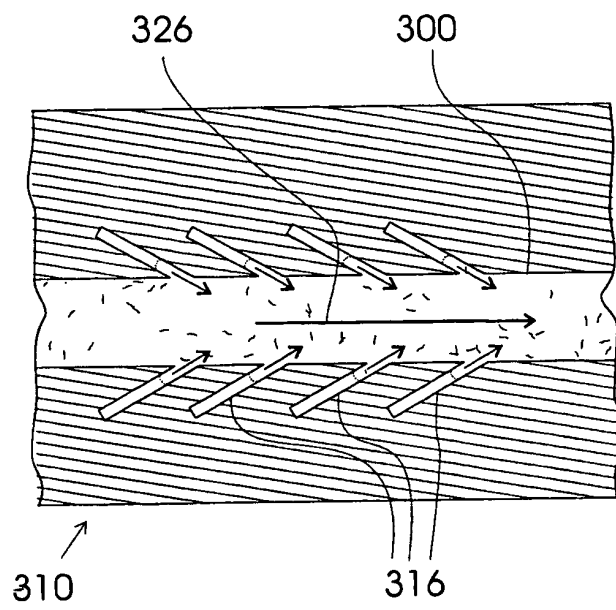


Fig. 4

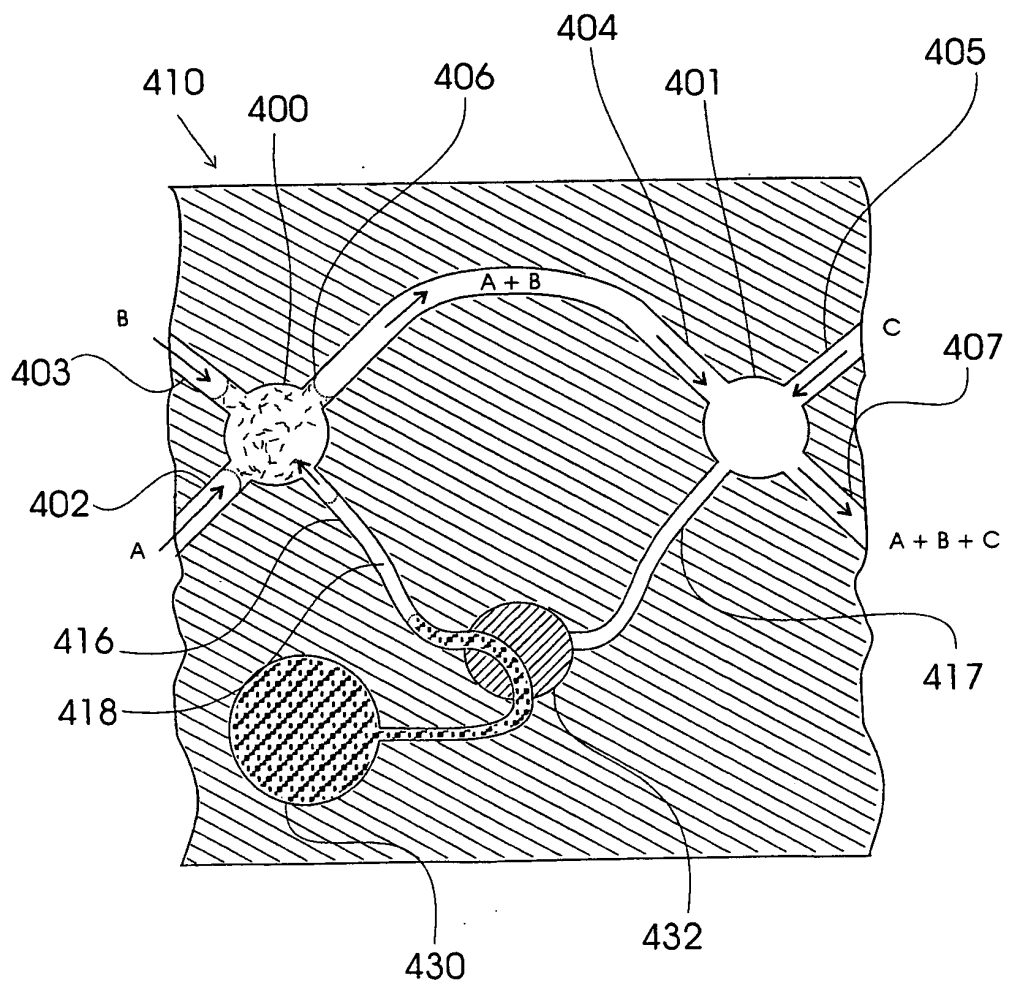


Fig. 5

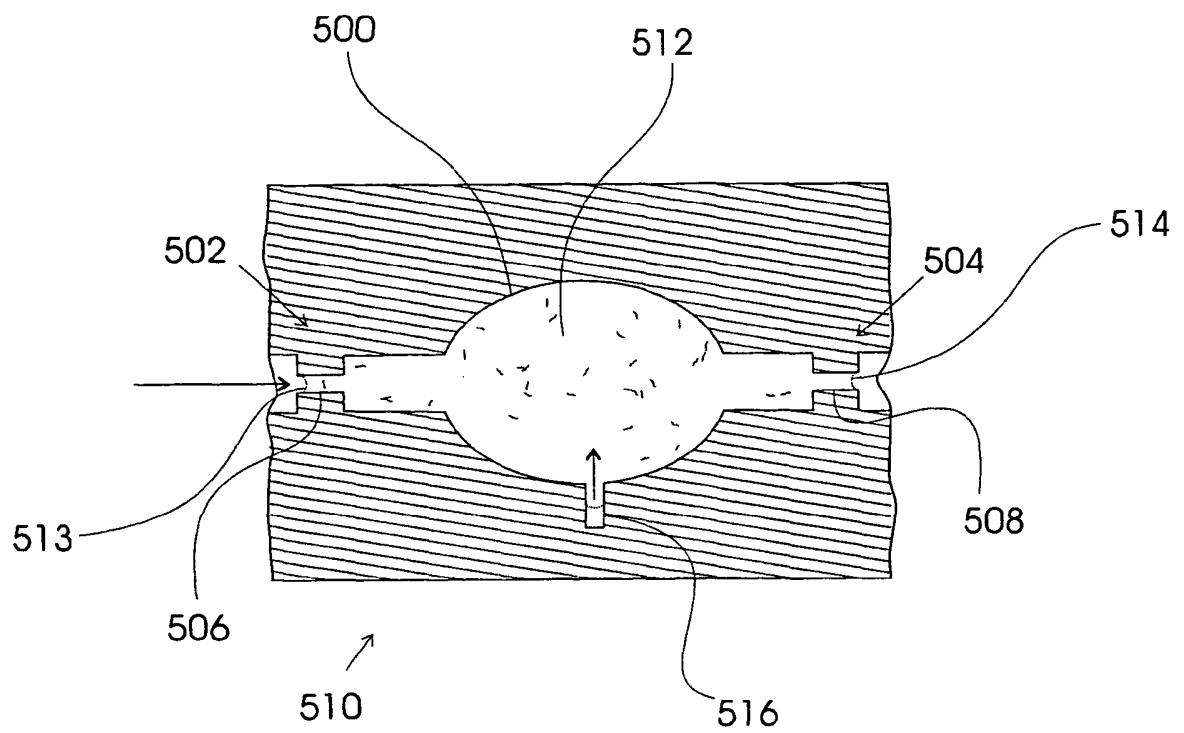
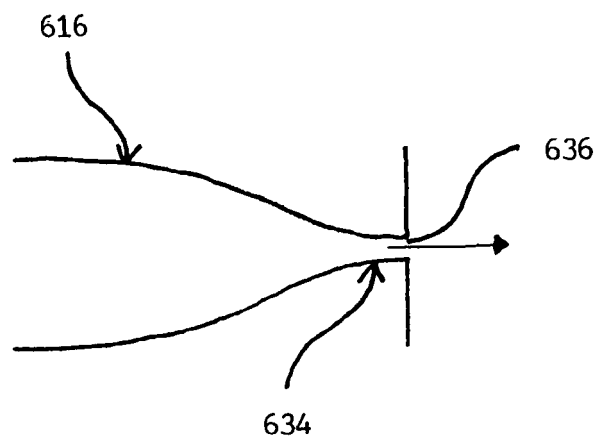


Fig. 6



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1311341 B1 [0003]
- EP 1390131 B1 [0003]
- US 20030175947 A1 [0004]
- WO 2006105616 A1 [0005]
- WO 2004030800 A2 [0005]
- DE 100133111 C2 [0023]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **ROBIN H. LIU et al.** Bubble-induced acoustic micro-mixing. *LAB Chip*, 2002, vol. 2, 151-157 [0004]
- **DIJKINK, R. et al.** *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 16 (8 [0006]
- **DIJKINK et al.** The 'acoustic scallop': a bubble-powered actuator. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 2006, vol. 16, 1653-1659 [0015]