



(10) DE 10 2011 051 140 A1 2012.08.30

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2011 051 140.7

(22) Anmeldetag: 17.06.2011

(43) Offenlegungstag: 30.08.2012

(51) Int Cl.: **F16K 7/00** (2011.01)

A61M 5/168 (2011.01)

G05D 7/00 (2011.01)

(66) Innere Priorität:
10 2011 000 938.8 25.02.2011

(71) Anmelder:
Embedded Microsystems Bremen GmbH (EMB)
Applikationszentrum für Mikrosystemtechnik,
28359, Bremen, DE; RM te me na GmbH, 34587,
Felsberg, DE; Universität Bremen, 28359, Bremen,
DE

(74) Vertreter:
Stoffregen, Hans-Herbert, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.,
63450, Hanau, DE

(72) Erfinder:
Lang, Walter, Prof. Dr., 28357, Bremen, DE;
Burdorf, Kai, Dipl.-Phys., 28857, Syke, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	196 50 115	C1
DE	102 54 312	A1
DE	198 10 657	A1
DE	199 13 143	A1
DE	10 2008 054 220	A1
DE	690 14 759	T2
US	2003 / 0 010 948	A1
JP	9 330 132	A

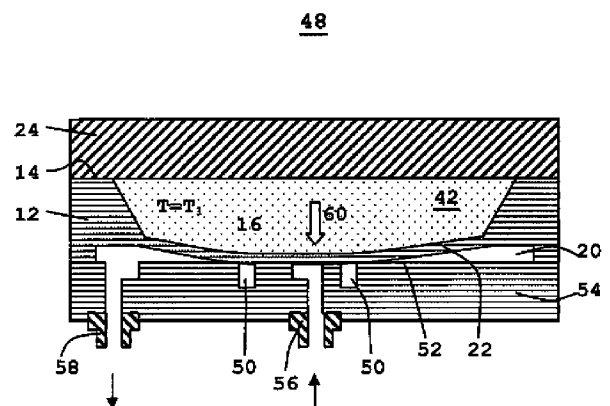
P. Cousseau, R. Hirschi, B. Frehner, S.
Gamper, D. Maillefer: **IMPROVED MICRO-FLOW
REGULATOR FOR DRUG DELIVERY SYSTEMS.**
In: IEEE, 2001, 527 - 530.

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Strömungswiderstand**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf einen Strömungswiderstand (10, 48), umfassend einen Strömungskanal (32, 50) mit einer Einlassöffnung (34, 56) und einer Auslassöffnung (38, 58) sowie eine zumindest bereichsweise Wandung des Strömungskanals (32, 50) bildende Membran (22), wobei ein Strömungsquerschnitt und/oder eine Länge des Strömungskanals (32, 50) durch Ausübung von Druck auf die Membran (22) variierbar ist. Um einen Strömungswiderstand mit temperaturstabilisierter Flussrate zur Verfügung zu stellen ist vorgesehen, dass der Strömungswiderstand (10, 48) eine Kavität (16) zur Aufnahme eines Mediums mit positivem Temperaturkoeffizienten aufweist, wobei die Membran (22) gleichzeitig Wandung der Kavität (16) sowie zumindest bereichsweise Wandung des Strömungskanals (32, 50) ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen Strömungswiderstand, umfassend einen Strömungskanal mit einer Einlassöffnung und einer Auslassöffnung sowie eine zumindest bereichsweise Wandung des Strömungskanals bildende Membran, wobei ein Strömungsquerschnitt und/oder eine Länge des Strömungskanals durch Ausübung von Druck auf die Membran variierbar ist.

[0002] Ein Strömungswiderstand bzw. ein variabler Flusswiderstand ist aus der DE-A-102 54 312 bekannt. Der aus DE-A-102 54 312 bekannte Flusswiderstand umfasst eine Fluidleitung fester Länge, die einen Fluideinlass mit einem Fluidauslass verbindet. Ferner ist eine Einrichtung zum Variieren des Strömungsquerschnitts der Fluidleitung über eine vorbestimmte Länge derselben zum Einstellen des durch die Fluidleitung definierten Flusswiderstandes vorgesehen, wobei das Verhältnis von vorbestimmter Länge der Fluidleitung zu charakteristischem Durchmesser derselben > 500 ist. Die Einrichtung zum Variieren des Strömungsquerschnitts ist derart ausgebildet, um von außen auf Wandabschnitte der Fluidableitung einen Druck auszuüben, der unabhängig von Druck eines Mediums in der Fluidleitung ist. Die Fluidleitung wird durch einen in der Oberfläche eines Substrats gebildeten Kanal und eine den Kanal abdeckende Membran gebildet. Die Einrichtung zum Variieren des Strömungsquerschnitts der Fluidleitung ist eine Einrichtung zum Auslenken der Membran, insbesondere eine Einrichtung zum Beaufschlagen der Membran mit einem Druck.

[0003] In dem Aufsatz von P. Cousseau u. a., „IMPROVED MICRO-FLOW REGULATOR FOR DRUG DELIVERY SYSTEMS“, 2001 IEEE, S. 527–530, ist ein Flussregler offenbart, der innerhalb eines vorbestimmten Betriebsdruckbereichs eine konstante Flussrate trotz Druckdifferenz liefern soll. Der Flussregler umfasst eine in einem ersten Substrat gebildete Membran, durch die mittig eine Einlassöffnung vorgesehen ist. In einem zweiten Substrat ist eine Fluidkammer gebildet, die eine Auslassöffnung besitzt. In der Unterseite der Fluidkammer ist ein spiralförmiger, nach oben offener, kapillarer Kanal gebildet. Die beiden Substrate sind derart miteinander verbunden, dass die Membran die in dem zweiten Substrat gebildete Fluidkammer nach oben abschließt. Wird ein Druck auf die Membran ausgeübt, so wird diese zunächst mittig abgelenkt, bis diese mittig auf den Boden der Fluidkammer trifft. In diesem Zustand überlappt die Einlassöffnung durch die Membran mit dem Inneneren Ende des in dem Boden gebildeten Kanals, so dass die Einlassöffnung und der Kanal fluidmäßig verbunden sind. Bei zunehmender Auslenkung der Membran bildet diese zusammen mit dem Kanal einen Flusswiderstand, dessen Länge mit zunehmender Auslenkung der Membran zunimmt. So-

mit soll trotz Druckdifferenzunterschieden aufgrund des zunehmenden Flusswiderstandes eine gleichmäßige Flussrate beibehalten werden.

[0004] Die DE-A-196 50 115 offenbart eine Medikamenten-Dosiervorrichtung, die eine auswechselbare Einheit sowie eine dauerhafte Einheit umfasst. Die auswechselbare Einheit weist ein Fluidreservoir zur Aufnahme eines unter Druck setzbaren, flüssigen Medikaments, einen Temperatursensor zum Erfassen der Temperatur des flüssigen Medikaments, einen mit einem Flusswiderstand versehenen, fluidmäßig mit dem Fluidreservoir verbundenen Fluidkanal und eine mit dem Fluidkanal verbundene Schlaucheinrichtung auf. Die dauerhafte Einrichtung weist eine Quetschventilvorrichtung zum Zusammenquetschen der Schlaucheinrichtung und eine Steuereinrichtung auf, die mit dem Temperatursensor und der Quetschventilvorrichtung gekoppelt sind, um eine Flussrate des flüssigen Medikaments durch ein getaktetes Betätigen der Quetschventilvorrichtung abhängig von der erfassten Temperatur zu steuern.

[0005] Ferner sind aus dem Stand der Technik Perfusionspumpen, auch Spritzenpumpe oder Perfusor genannt, bekannt, die der kontinuierlichen, intravenösen Verabreichung von Medikamenten über einen längeren Zeitraum dienen. Es werden zwei Varianten von Perfusionspumpen unterschieden. Bei einer ersten Variante wird ein Kolben einer aufgezogenen Standardpritze mit einem Elektromotor so verschoben, dass eine bestimmte Flüssigkeitsmenge in einem vordefinierten Zeitraum abgegeben wird. Ein Arzt gibt die Dosis und den Zeitraum für eine Elektronik vor, die dann den Motor bzw. den Kolben steuert. Das Medikament wird dem Patienten über einen Schlauch mit einer Kanüle zugeführt.

[0006] Eine zweite Variante ist wesentlich einfacher konstruiert und benötigt eine Elektronik sowie einen elektrischen Antrieb nicht. Die zu verabreichende Medikamentenlösung wird mit einer Spritze in einen elastischen Ballon oder Schlauch gedrückt, so dass sich dieser ausdehnt. Ein Rückschlagventil verschließt den Ballon danach eingangsseitig, während die rückstellenden elastischen Kräfte das Medikament über einen Schlauch mit einer Kanüle in den Patienten abgeben.

[0007] Bei einer derartigen Vorrichtung wird die Dosis bzw. die Flussrate über einen Strömungswiderstand (Restriktionsstrecke) vorgegeben, welcher im Verlauf des Schlauchs vorzugsweise in Form einer sehr dünnen Glaskapillare integriert ist. Eine derartige Ausführungsform zeichnet sich durch ihre passive Arbeitsweise und Einfachheit aus und ist kostengünstig und jederzeit flexibel einsetzbar.

[0008] Bedingt durch Fertigungstoleranzen kann es bei den oben beschriebenen Ausführungsformen

von Strömungswiderständen zu inakzeptablen Abweichungen von der Sollflussrate kommen.

[0009] Da es sich bei den zu verabreichenden Medikamenten in der Regel um wässrige Lösungen handelt, deren Viskosität vergleichsweise stark temperaturabhängig ist, ist die Sollflussrate auch stark temperaturabhängig. Für reines Wasser liegt die Viskosität bei einer Temperatur von 5 °C beispielsweise bei 1,5 mPas, während diese bei einer Temperatur von 25 °C auf 0,9 mPas sinkt. Dies bedeutet, dass eine Flüssigkeitsmenge, die bei einer Temperatur von 25 °C in 3 Stunden verabreicht wird, bei einer Temperatur von 5 °C ca. 5 Stunden zum Durchlaufen benötigen würde.

[0010] Oben beschriebene Nachteile führen dazu, dass passive Perfusionspumpen, insbesondere für große Medikamentenvolumen sich am Markt nicht durchsetzen können bzw. konnten.

[0011] Davon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, einen Strömungswiderstand der eingangs genannten Art, insbesondere zur Verwendung in Perfusionspumpen, derart weiterzubilden, dass ein Strömungswiderstand mit temperaturstabilisierter Flussrate bereitgestellt wird.

[0012] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Strömungswiderstand eine Kavität zur Aufnahme eines Mediums mit positivem Temperaturkoeffizienten aufweist, wobei die Membran gleichzeitig Wandung der Kavität sowie zumindest bereichsweise Wandung des Strömungskanals ist.

[0013] Der Erfindung liegt die Idee zu Grunde, ein sich bei steigender Temperatur ausdehnendes Medium in einer Kavität einzuschließen, wobei die Membran als eine Wand dieser Kavität ausgebildet ist, die gleichzeitig Wandung des Strömungskanals ist.

[0014] Erwärmt sich das in der Kavität eingeschlossene Medium, so lenkt die Membran aus, wölbt sich beispielsweise nach außen, und verengt den Querschnitt des Strömungskanals. Folglich erhöht sich der Strömungswiderstand und die Flussrate reduziert sich. Bei entsprechend ausgelegten Geometrien wird die Flussratenerhöhung durch die temperaturbedingte Abnahme der Viskosität des Fluids kompensiert.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist die Kavität in einer oberen Oberfläche eines Substrats, wie Si-Substrats, und die Strömungskammer in einer unteren Oberfläche des Substrats gebildet, wobei die zwischen der Kavität und der Strömungskammer verlaufende Membran als integraler Bestandteil des Substrats ausgebildet ist, wobei die Kavität durch eine obere Abdeckung verschlossen und die Strömungskammer durch eine untere Abdeckung verschlossen ist, welche randseitig die Ein- und Aus-

lassöffnung aufweist. Die Strömungskammer bildet in bevorzugter Ausführungsform den Strömungskanal.

[0016] Eine alternative Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass der Strömungskanal als eine zur Membran hin offene Ausnehmung in einer Oberfläche der die Strömungskammer verschließenden unteren Abdeckung gebildet ist.

[0017] Bei dieser Ausführungsform berührt die Membran bei thermischer Ausdehnung des eingeschlossenen Mediums die ihr gegenüber liegende Fläche der unteren Abdeckung. Dehnt sich das Medium bei Temperaturerhöhung weiter aus, so vergrößert sich die Kontaktfläche. Die Membran ist zumindest bereichsweise Wandung des Strömungskanals, der zur Membran hin offen ist.

[0018] Der Strömungskanal kann linear, mäandertförmig oder spiralförmig ausgebildet sein. Bei linearer und mäandertförmiger Ausbildung sind Einlass- und Auslassöffnung randseitig angeordnet.

[0019] Bei spiralförmiger Ausführung des Strömungskanals ist die Zuflussöffnung im Zentrum der von dem Strömungskanal aufgespannten Fläche angeordnet, während die Abflussöffnung randseitig angeordnet ist.

[0020] Dort, wo die Membran auf dem Strömungskanal aufliegt, ist der Strömungskanal geschlossen. Folglich entsteht in Abhängigkeit der Membranwölbung bzw. der Größe der Kontaktfläche ein unterschiedlich langer Strömungskanal, der sodann als Strömungswiderstand wirkt.

[0021] Somit variiert der Strömungswiderstand mit der Membrandurchbiegung, also in Abhängigkeit von der Temperatur. Auch in diesem Fall kann bei entsprechender Dimensionierung der Komponenten die Flussrate temperaturstabilisiert werden.

[0022] Vorzugsweise erstreckt sich der Strömungskanal über eine Fläche, die der Flächenerstreckung des druckbeaufschlagten Bereichs der Membran entspricht.

[0023] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Abdeckung für die Kavität als Glas-Abdeckung und die Abdeckung des Strömungsraums bzw. die den Strömungskanal aufnehmende Abdeckung aus Kunststoff ausgebildet ist und Ein- und Auslassöffnung aufweist.

[0024] Vorzugsweise ist das Substrat als Silicium-Substrat bzw. Silicium-Wafer oder aus Kunststoff ausgebildet.

[0025] Bei Verwendung eines Silicium-Substrats ist die Membran unter Verwendung von nass- oder tro-

ckenchemischen Verfahren hergestellt. Vorzugsweise wird das Silicium-Substrat thermisch oxidiert, um weitgehende chemische Inaktivität und Biokompatibilität zu erreichen.

[0026] In weiterer bevorzugter Ausführungsform ist die Glas-Abdeckung ein Glas-Wafer, welcher mittels Anodic Bonding mit dem Si-Substrat verbunden ist. Die Kavität nimmt vorzugsweise als Medium ein Gas oder eine Flüssigkeit auf. Im Falle einer Gasfüllung wird der Glas-Wafer vorzugsweise in einer entsprechenden Gas-Atmosphäre aufgebondet. Bei Verwendung einer Flüssigkeit als Medium wird die Kavität nach dem Bonden durch Kanäle befüllt, die anschließend wieder verschlossen werden.

[0027] Vorzugsweise wird die untere Abdeckung des Strömungsraums zusammen mit Schlauchflanschen für die Medikamentenzu- und -abfuhr als Spritzgussteil aus Kunststoff oder aus Siliziumsubstrat, insbesondere oxidiertem Silicium hergestellt.

[0028] Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen – für sich und/oder in Kombination –, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispielen.

[0029] Es zeigen:

[0030] [Fig. 1a](#), [Fig. 1b](#) eine schematische Schnittdarstellung einer ersten Ausführungsform eines temperaturkompensierten Strömungswiderstands bei unterschiedlichen Temperaturen,

[0031] [Fig. 2a–Fig. 2h](#) eine schematische Schnittdarstellung der ersten Ausführungsform eines temperaturkompensierten Strömungswiderstandes in verschiedenen Herstellungsschritten,

[0032] [Fig. 3](#) eine schematische Schnittdarstellung einer zweiten Ausführungsform eines temperaturkompensierten Strömungswiderstandes,

[0033] [Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#) eine Draufsicht auf einen von einer Membran abgedeckten Strömungskanal bei unterschiedlichen Temperaturen und

[0034] [Fig. 5a–Fig. 5h](#) eine schematische Schnittdarstellung der zweiten Ausführungsform eines temperaturkompensierten Strömungswiderstandes in verschiedenen Herstellungsschritten.

[0035] Die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) zeigen rein schematisch einen Querschnitt einer ersten Ausführungsform eines temperaturkompensierten Strömungswiderstandes **10**. Der Strömungswiderstand **10** umfasst ein Substrat **12** wie Si-Substrat, in dessen obere Oberfläche **14** eine Kavität **16** und in dessen untere

Oberfläche **18** ein Strömungsraum **20** eingebracht ist. Zwischen der Kavität **16** und dem Strömungsraum **20** verläuft eine Membran **22**, wobei die Membran **22** integraler Bestandteil des Si-Substrats **12** ist.

[0036] Die Kavität **16** ist mittels einer Abdeckung **24** wie Glas-Abdeckung verschlossen, beispielsweise mittels Anodic Bonding.

[0037] Der Strömungsraum **20** ist mittels einer unteren Abdeckung **26** verschlossen, wobei zwischen einer Unterseite **28** der Membran **22** und einer Oberseite **30** der Abdeckung **26** ein Strömungskanal **32** gebildet ist. In der unteren Abdeckung **26** ist eine Einlassöffnung **34** mit Schlauchanschluss **36** sowie eine Auslassöffnung **38** mit Schlauchanschluss **40** vorgesehen. Einlass- und Auslassöffnung **34**, **38** sind randseitig angeordnet, so dass der Strömungskanal **32** eine definierte Länge aufweist.

[0038] In der Kavität **16** ist ein Medium **42** wie Gas oder eine Flüssigkeit eingeschlossen.

[0039] Wie den [Fig. 1a](#), [Fig. 1b](#) zu entnehmen ist, bildet die Membran **22** eine Wandung der Kavität **16**. Erwärmt sich das eingeschlossene Medium **42**, so lenkt die Membran **22** aus, wie dies in [Fig. 1b](#) dargestellt ist.

[0040] Die Membran **22** ist gleichzeitig auch eine Begrenzung des Strömungskanals **32**. Durch einen durch die Temperaturexpansion des Mediums **42** auf die Membran **22** ausgeübten Druck in Richtung des Pfeils **44** wird die Membran **22** gebogen, so dass ein Querschnitt **46** des Strömungskanals **32** verengt wird. Folglich erhöht sich der Strömungswiderstand und die Flussrate wird reduziert.

[0041] Die [Fig. 2a](#) bis [Fig. 2h](#) zeigen jeweils einen Querschnitt durch einen einzelnen Chip eines Wafers in verschiedenen Herstellungsschritten.

[0042] [Fig. 2a](#) zeigt als Ausgangsmaterial einen Siliziumwafer **12**, der vorzugsweise doppelseitig poliert ist.

[0043] Nach einer photolithografischen Maskierung eines Bereichs der unteren Oberfläche erfolgt ein Ätzen des Strömungsraums **20** z.B. durch DRIE-Ätzen.

[0044] In einem weiteren Verfahrensschritt gemäß [Fig. 2c](#) erfolgt eine thermische Oxidation der oberen und unteren Oberfläche **14**, **18** des Substrats **12** mit vorzugsweise einer SiO₂-Schicht **15**, **17** sowie anschließend einer Abscheidung von beispielsweise LPCVD-Nitrit (Si₃N₄) **17**, **19**.

[0045] [Fig. 2d](#) zeigt den Verfahrensschritt der photographischen Maskierung sowie des Ätzens der SiO₂-Schicht **13** sowie der Si₃N₄-Schicht **17** durch z.B.

RIE-Ätzen. Nach dem Ätzen wird die Photolithografie-Maske entfernt.

[0046] Anschließend wird die Kavität **16** gemäß Fig. 2e geätzt. Das Ätzen der Kavität **16** erfolgt vorzugsweise mittels anisotropem KOH-Ätzen. Alternativ kann die Kavität **16** auch durch DRIE-Ätzen eingeformt werden.

[0047] Nach Entfernen der SiO₂-Schichten **13**, **15** sowie der Si₃N₄-Schichten **17**, **19** erfolgt ein Verschließen der Kavität **16** mittels einer Abdeckung **24** durch z.B. einen Glaswafer mit einer vorzugsweise Ultraschall gebohrten Einfüllöffnung **25**. Vorzugsweise wird der Glaswafer **24** mit dem Silizium **12** durch anodisches Bonden verbunden.

[0048] In einem weiteren Verfahrensschritt gemäß Fig. 2g erfolgt die Abdeckung der Strömungskammer **20** mit der unteren Abdeckung **26**. Diese kann als glatte Grundplatte mit Schlauchanschlüssen **36**, **40** z.B. durch Kunststoffspritzgussteil ausgebildet sein. Die Grundplatte **26** wird mit dem Siliziumwafer **12** verbunden wie verklebt.

[0049] Alternativ kann auch ein zweiter, strukturierter Glaswafer oder Siliziumwafer mit aufgeklebten Schlauchflanschen verwendet werden

[0050] In einem nächsten Verfahrensschritt gemäß Fig. 2h wird die Kavität **16** mit dem Medium **42** beispielsweise in einem Exsikkator gefüllt. Die Einfüllöffnung **25** wird anschließend mit einem Verschluss **27** verschlossen, der z.B. durch eine Vergussmasse oder durch Klebstoff ausgebildet ist.

[0051] Für die Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Reinstoffen gilt die Andrade-Gleichung [1]

$$\eta = A \cdot e^{\frac{b}{T}}$$

mit

- a = ln(A)
- η Viskosität
- A, b empirische Konstanten
- T absolute Temperatur

[0052] Für Wasser gilt im Bereich von 1°C bis 99°C: a = -6,944 und b = 2036.

[0053] Für die Viskosität von Wasser bei 5°C bzw. 35°C ergeben sich die Werte:

$$\eta_{\text{H}_2\text{O},5^\circ\text{C}} = 1,46 \text{ mPa}\cdot\text{s} \text{ und } \eta_{\text{H}_2\text{O},35^\circ\text{C}} = 0,72 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

[0054] Die Viskosität reduziert sich in diesem Fall also um etwa die Hälfte. Da η linear in die Berechnung der Flussrate eingeht, bedeutet dies eine Verdopp-

lung der Durchflussmenge bei der Temperaturerhöhung von 5°C auf 35°C.

[0055] Die Grundeinstellung des Flusses erfolgt bei der ersten Ausführungsform des Strömungswiderstandes **10** durch Querschnittsveränderung des Strömungskanals **32**. Der Fluss durch z.B. einen rohrförmigen Strömungskanal **32** berechnet sich nach der Hagen-Poiseuille-Gleichung:

$$\Phi = \frac{dV}{dt} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta} \cdot \frac{\Delta p}{L}$$

- Φ Fluss
- t Zeit
- r, L Radius und Länge der Kapillare
- Δp Druckdifferenz (generiert den Fluss)

[0056] Anhand der Gleichung wird deutlich, dass eine sinkende Viskosität bei steigender Temperatur durch eine Verlängerung des Kanals oder durch eine Reduzierung des Kanalquerschnitts bzw. Durchmessers erreicht werden kann.

[0057] Bei entsprechend ausgelegten Geometrien wird die Flussratenerhöhung durch die temperaturbedingte Abnahme der Viskosität kompensiert.

Kompensation durch Veränderung des Kanalquerschnitts **46**:

[0058] Eine Verallgemeinerung der Hagen-Poiseuille-Gleichung ist nach [2] gegeben durch:

$$\Phi = \frac{1}{C_R} \cdot \frac{A^2}{\eta \cdot L} \cdot \Delta p$$

- C_R Geometrieabhängiger Koeffizient
- A Querschnittsfläche der Kapillare oder des Strömungskanals (C_R = 8π und A = πr² ⇒ Hagen-Poiseuille)

[0059] Für Strömungskanäle mit rechteckigem Querschnitt gilt nach [3]

$$C_R = \frac{2}{a \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a}{\alpha_i^5} \left(\frac{\alpha_i}{a} - \tanh\left(\frac{\alpha_i}{a}\right) \right)}$$

mit a = $\frac{h}{b}$ und $\alpha_i = \frac{\pi \cdot (2i-1)}{2}$

[0060] Dabei stellen b und h die Breite und Höhe (Tiefe) des Strömungskanals dar.

[0061] Geht man bei den beschriebene temperaturkompensierten Strömungswiderständen von typischen Größenordnungen der MEMS-Technologie aus, so ergibt sich für den rechteckigen Strömungs-

kanal **32** mit einer Länge von 3mm, einer Breite von 150 µm und einer Tiefe (Höhe) von 15 µm ein C_R von ca. 126.

[0062] Ein Kanal mit diesen Abmessungen ist beispielsweise durch DRIE-Ätzung eines Siliziumwafers realisierbar.

[0063] Mit diesem C_R , einem Δp von 300mbar und einer Kanallänge von 3 mm ergibt sich aus der Hagen-Poiseuille-Gleichung bei 5 °C ein Fluss von etwa 1 ml / Stunde für Wasser. Es handelt sich hierbei um eine typische Dosierung für Medikament auf Basis von wässrigen Lösungen, die mit Perfusionspumpen verabreicht werden. Die Viskosität wird in diesen Lösungen überwiegend durch das Wasser bestimmt.

[0064] Eine analoge Rechnung mit der Viskosität von Wasser bei 35°C liefert einen Fluss von 1 ml / Stunde bei einer Kanaltiefe von 12 µm bei ansonsten gleichen Parametern. Dementsprechend muss zur Kompensation der Temperaturänderung von 5 auf 35°C der Kanal etwa 3 µm flacher sein.

[0065] Für die Abschätzung wird vereinfachend angenommen, dass sich die Membrane **22** nicht durchbiegt, sondern, sich mit der Volumenzunahme planparallel zur Kanaloberfläche verschiebt. Die Verschiebung der Membran **22** durch die Ausdehnung entspricht dann der Verminderung der Höhe des Strömungskanals **32**. Dabei können die mechanischen Eigenschaften der Membran **22** außer acht gelassen werden, solange es sich bei dem Medium **42** um eine Flüssigkeit handelt, da diese inkompressibel ist und die restlichen Wandungen der Kavität **16** als starr angesehen werden können.

[0066] Für die Ausdehnung des Mediums **42** gilt:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

ΔV	Volumenzunahme (Wärmeausdehnung)
V_0	Volumen der Kavität
ΔT	Temperaturänderung
γ	Thermischer Ausdehnungskoeffizient

[0067] Mit $\Delta V = b \cdot L \cdot \Delta h$ (Δh = Verschiebung der Membrane, bzw. Änderung der Kanalhöhe) gilt:

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{b \cdot L} = \frac{V_0 \cdot \gamma}{b \cdot L} \cdot \Delta T$$

[0068] Wird dabei sinnvoller Weise für die Kavität **16** die gleiche Grundfläche ($b \cdot L$) wie für die Membran **22** verwendet und für die Höhe der Kavität 480µm angenommen, so ergibt sich bei $\Delta T = 30^\circ\text{C}$ und $\gamma = 0,21 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$ (Wasser) ein Δh von 3µm.

[0069] Dies entspricht der notwendigen Veränderung zur Kompensation der temperaturbedingten Änderung der Viskosität.

[0070] Die Membranverschiebung kann über die Höhe der Kavität angepasst werden, dabei gilt je höher die Kavität ist, desto größer ist die Verschiebung. Ein zweiter Ansatz ist die Verwendung eines anderen Mediums als Wasser in der Kavität. Eine Alternative ist beispielsweise Ethanol, das mit $\gamma = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$ einen deutlich höheren Ausdehnungskoeffizient aufweist und somit eine größere Verschiebung hervorruft.

[0071] Die Fig. 3 zeigt eine zweite Ausführungsform eines temperaturkompensierten Strömungswiderstandes **48** in schematischer Schnittdarstellung, wobei in Bezug auf den Strömungswiderstand gleiche Elemente mit gleichen Bezugsziffern bezeichnet sind.

[0072] Der Strömungswiderstand **48** unterscheidet sich von dem Strömungswiderstand **10** dadurch, dass ein Strömungskanal **50** in einer der Membran **22** gegenüber liegenden Oberfläche **52** einer unteren Abdeckplatte **54** gebildet ist. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Strömungskanal **50** gemäß Fig. 4a, Fig. 4b spiralförmig ausgebildet, wobei im Zentrum eine Einlassöffnung **56** und randseitig eine Auslassöffnung **58** vorgesehen ist.

[0073] Bei thermischer Ausdehnung des eingeschlossenen Mediums **42** innerhalb der Kavität **16** wird ein Druck in Richtung des Pfeils **60** auf die Membran **22** ausgeübt, so dass diese gegen die Oberfläche **52** der Abdeckplatte **54** drückt und folglich einen Wandabschnitt des Strömungskanals **50** bildet und die Länge des Strömungskanals bestimmt.

[0074] Eine bei einer Temperatur $T = T_1$ durch die Membran **22** abgedeckte Kontaktfläche F_1 ist in Fig. 4a schraffiert dargestellt. Erhöht sich die Temperatur auf einen Wert $T_2 > T_1$, dehnt sich das Medium **42** weiter aus, so dass sich auch die Kontaktfläche F_1 zwischen Membran **22** und der Oberfläche **52** vergrößert. Eine vergrößerte Kontaktfläche F_2 bei der Temperatur T_2 ist in Fig. 4b schraffiert dargestellt und hat eine Verlängerung des effektiven Strömungskanals **50** zur Folge.

[0075] Der zur Membran hin offene Strömungskanal **50** wird durch die Unterseite der Membran **22** bereichsweise geschlossen, so dass die Länge des Strömungskanals **50** von dem Druck des Mediums **42** und somit von der Temperatur abhängig ist. Somit entsteht in Abhängigkeit der Wölbung der Membran **22** bzw. der Größe der Kontaktfläche F_1 , F_2 ein unterschiedlich langer Strömungskanal **50**, und somit ein unterschiedlich großer Strömungswiderstand.

[0076] Der Strömungswiderstand variiert somit mit der Membrandurchbiegung, also mit der Temperatur. Auch in diesem Fall kann bei entsprechender Dimensionierung der Komponenten die Flussrate temperaturkompensiert werden.

[0077] Die Fig. 5a bis Fig. 5h zeigen einen Querschnitt des Strömungswiderstandes 48 in verschiedenen Herstellungsschritten.

[0078] In einem ersten Herstellungsschritt wird als Ausgangsmaterial ein Siliziumwafer 12 doppelseitig poliert.

[0079] Nach einer photolithografischen Maskierung erfolgt ein Ätzen der Strömungskammer 20 vorzugsweise mittels DRIE-Ätzen. Anschließend wird die Photolithografie-Maske entfernt.

[0080] Fig. 5c zeigt den Siliziumwafer 12 nach thermischer Oxidation, wobei auf einer oberen Oberfläche 14 und einer unteren Oberfläche 18 jeweils SiO₂-Schichten 13, 15 aufgebracht sind.

[0081] Nach photolithografischer Maskierung erfolgt ein Ätzen der SiO₂-Schicht 13 vorzugsweise mittels RIE-Ätzen und sodann eine Entfernung der Photolithografie-Maske, wie in Fig. 5d dargestellt. Anschließend wird die Kavität 16 vorzugsweise mittels DRIE-Ätzen hergestellt, wie in Fig. 5e dargestellt ist.

[0082] Zur Abdeckung der Strömungskammer 20 wird die Grundplatte 54 verwendet, die vorzugsweise aus Silizium hergestellt ist. In die Oberfläche 52 der Grundplatte 54 wird der Strömungskanal 50 durch vorzugsweise DRIE-Ätzen eingelassen.

[0083] In bevorzugter Ausführungsform ist der Strömungskanal 50 im Querschnitt rechteckförmig und spiralförmig in die Oberfläche 52 eingeztzt.

[0084] Die beiden Siliziumwafer 12, 54 werden verbunden, vorzugsweise durch Eutectic-Bonding oder durch Silicon-Fusion-Bonding.

[0085] Fig. 5c zeigt eine Draufsicht auf die Oberfläche 52 der Abdeckplatte 54 mit Strömungskanal 50 und abgedeckter schraffierter Membranfläche F2.

[0086] Gemäß Fig. 5h wird die Kavität 16 durch anodisches Bonden der als Glaswafer ausgebildeten oberen Abdeckung 24 mit dem Siliziumwafer 12 unter erhöhtem Gasdruck z.B. Stickstoff N₂ verschlossen. Schließlich werden die Schlauchflansche 58, 56 mit der unteren Abdeckung 54 verbunden wie verklebt.

[0087] Die Erfindung unterscheidet sich von dem Stand der Technik dadurch, dass sowohl der Strömungswiderstand (Restriktionsstrecke) als auch eine

Temperaturkompensation in bzw. auf einem Substrat bzw. Chip integriert werden können.

[0088] Somit ist der Strömungswiderstand 10, 48 als mikrosystemtechnisches Element realisiert, welches Dimensionen in vertikaler Richtung im Mikrometer-Bereich und in horizontaler Richtung im Mikro- oder Millimeter-Bereich aufweist. Die Membranen 22, die Kavitäten 16 sowie die Strömungskammern 20 werden aus Siliziumwafern unter Verwendung von nass- oder trockenchemischen Tiefenätzverfahren wie anisotropes Ätzen oder DRIE-Ätzen hergestellt.

[0089] Um eine Biokompatibilität und eine weitestgehende chemische Inaktivität zu gewährleisten, wird das Si-Substrat 12 thermisch oxidiert. Nach Fertigstellung der Membranen 22 werden die Kavitäten 16 mit der Abdeckung 24 verschlossen, die als Glaswafer ausgebildet ist und über beispielsweise Anodic-Bonding mit der Oberfläche 14 des Substrats verbunden ist.

[0090] Sofern als Medium 42 ein Gas verwendet wird, wird die obere Abdeckung 24 als Glaswafer in einer entsprechenden Atmosphäre aufgebondet.

[0091] Sofern als Medium 42 eine Flüssigkeit Verwendung findet, wird die Flüssigkeit nach dem Bonden durch zumindest einen Kanal 25 befüllt, der anschließend mittels z.B. Klebstoff oder Vergussmasse wieder verschlossen wird.

[0092] Die untere Abdeckung 26 für die Strömungskammer 20 des Strömungswiderstandes 10 ist als Kunststoff-Teil vorzugsweise Spritzgussteil hergestellt und umfasst die Schlauchflansche 36, 40.

[0093] Die untere Abdeckung 54 des Strömungswiderstandes 48 ist aus oxidiertem Silizium hergestellt, wobei der Strömungskanal 50 in die Oberfläche 52 der Abdeckung 54 eingelassen ist. Dabei werden unterschiedliche Ätzverfahren wie anisotropes Ätzen mit KOH oder TMAH und DRIE-Ätzen eingesetzt.

[0094] Nach dem Deckeln der die Kavitäten 16 bzw. Strömungskammer 20 aufweisenden Si-Wafer 12 mit vorzugsweise Glas erfolgt eine Vereinzelung in Chips und das Anbringen von Schlauchanschlüssen 36, 40, 56, 58 beispielsweise mittels Kleben.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 10254312 A [0002, 0002]
- DE 19650115 A [0004]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- P. Cousseau u. a., „IMPROVED MICRO-FLOW REGULATOR FOR DRUG DELIVERY SYSTEMS“, 2001 IEEE, S. 527–530 [0003]

Patentansprüche

1. Strömungswiderstand (10, 48), umfassend einen Strömungskanal (32, 50) mit einer Einlassöffnung (34, 56) und einer Auslassöffnung (38, 58) sowie eine zumindest bereichsweise Wandung des Strömungskanals (32, 50) bildende Membran (22), wobei ein Strömungsquerschnitt und/oder eine Länge des Strömungskanals (32, 50) durch Ausübung von Druck auf die Membran (22) variierbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungswiderstand (10, 48) eine Kavität (16) zur Aufnahme eines Mediums mit positivem Temperaturkoeffizienten aufweist, wobei die Membran (22) gleichzeitig Wandung der Kavität (16) sowie zumindest bereichsweise Wandung des Strömungskanals (32, 50) ist.

2. Strömungswiderstand nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kavität (16) in einer oberen Oberfläche (14) eines Substrats (12) wie Si-Substrats und eine Strömungskammer (20) in einer unteren Oberfläche (18) des Substrats ausgebildet ist, dass die zwischen der Kavität (16) und der Strömungskammer (20) verlaufende Membran als integraler Bestandteil des Substrats (12) ausgebildet ist und dass die Kavität (16) durch eine obere Abdeckung (24) und Strömungskammer (20) durch eine untere Abdeckung (26, 54) verschlossen ist.

3. Strömungswiderstand nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungskanal (32) durch die Strömungskammer (20) gebildet ist.

4. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungskanal (50) als eine zur Membran (22) hin offene Ausnehmung in einer Oberfläche (52) der die Strömungskammer (20) verschließenden unteren Abdeckung (54) gebildet ist.

5. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungskanal (50) linear, mäanderförmig oder spiralförmig ausgebildet ist.

6. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei spiralförmiger Ausführung des Strömungskanals (50) eine Zuflussöffnung (56) im Zentrum des von dem Strömungskanal (50) aufgespannten Fläche und eine Abflussöffnung (58) randseitig angeordnet ist.

7. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Strömungskanal (50) einen rechteckigen oder halbkreisförmigen Querschnitt aufweist.

8. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-

zeichnet, dass die von dem Strömungskanal (32, 50) aufgespannte Fläche im Wesentlichen der Fläche der Membran (22) entspricht.

9. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Abdeckung (24) eine Glas-Abdeckung ist, vorzugsweise als Teil eines Glas-Wafers, welcher mittels Anodic Bonding mit dem Si-Substrat verbunden ist.

10. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (12) ein Si-Substrat oder ein Kunststoff-Formteil ist.

11. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (22) integraler Bestandteil des Si-Substrates (12) ist und unter Verwendung von nass- oder trockenchemischem Verfahren hergestellt ist.

12. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Si-Substrat (12) thermisch oxidiert ist.

13. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Medium (42) ein Gas oder eine Flüssigkeit ist.

14. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die untere Abdeckung (26, 54) ein Kunststoff-Formteil wie Spritzgussteil ist.

15. Strömungswiderstand nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die untere Abdeckung (26, 54) aus einem Si-Substrat hergestellt ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

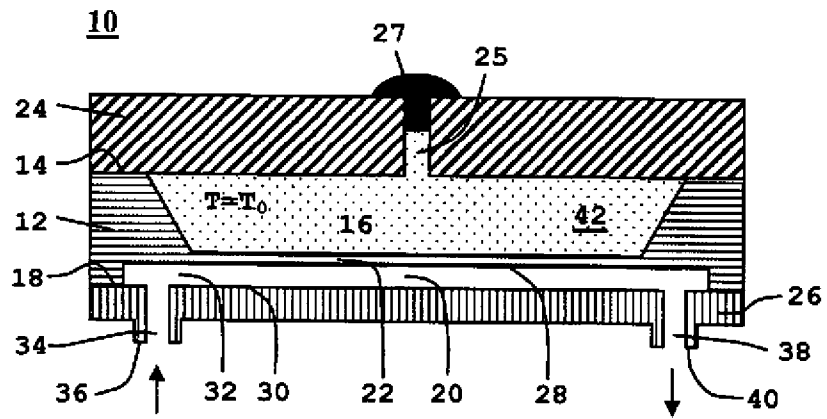


Fig. 1a

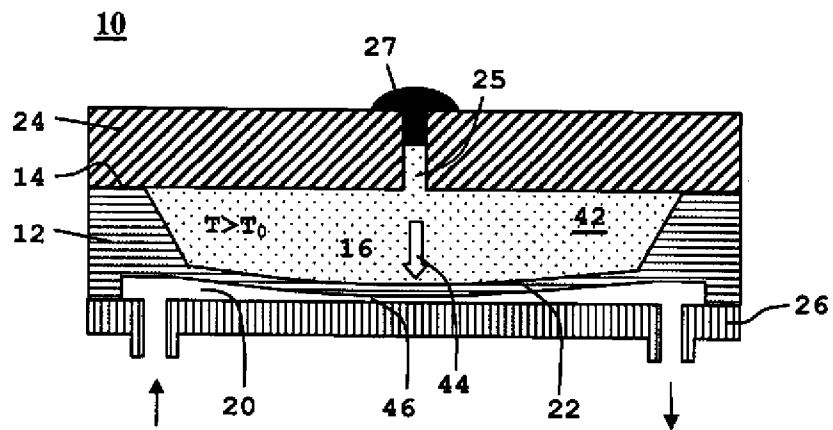


Fig. 1b



Fig. 2a

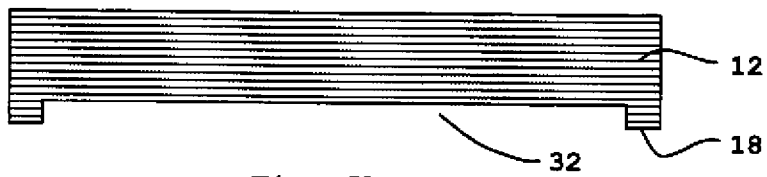


Fig. 2b

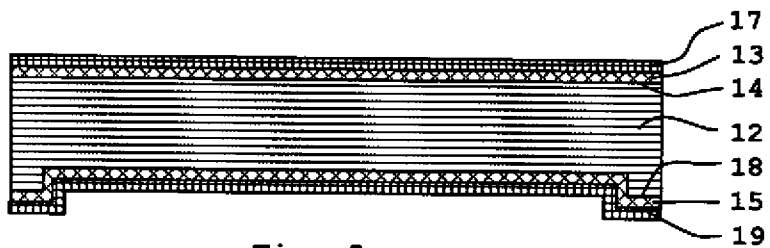


Fig. 2c

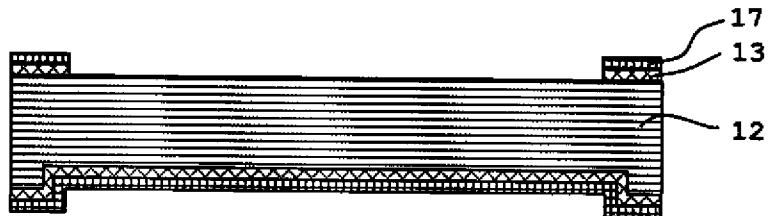


Fig. 2d

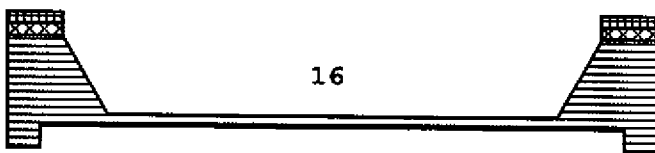


Fig. 2e

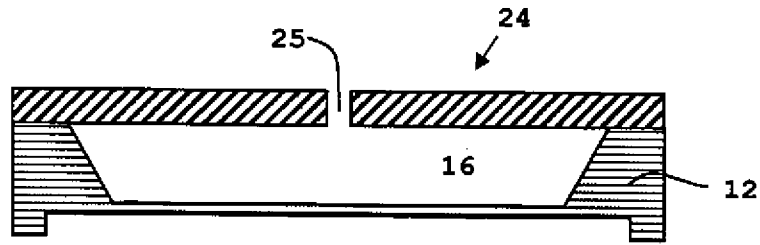


Fig. 2f

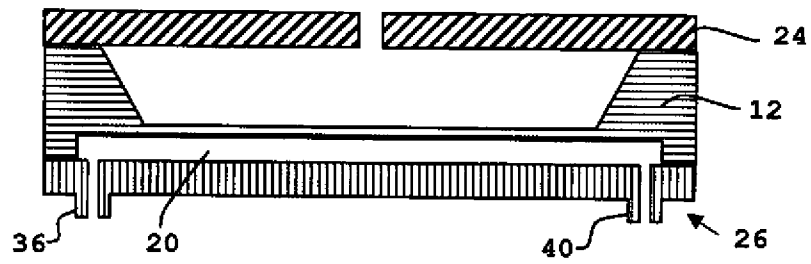


Fig. 2g

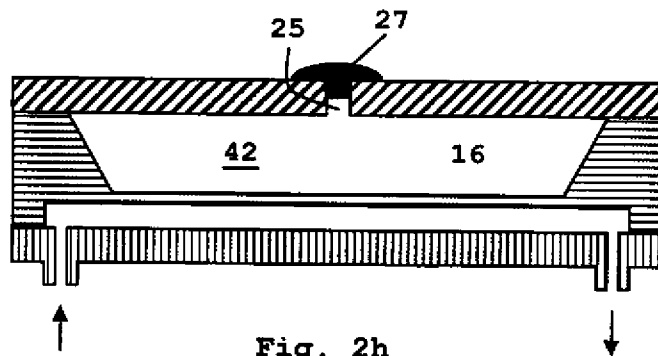


Fig. 2h

48

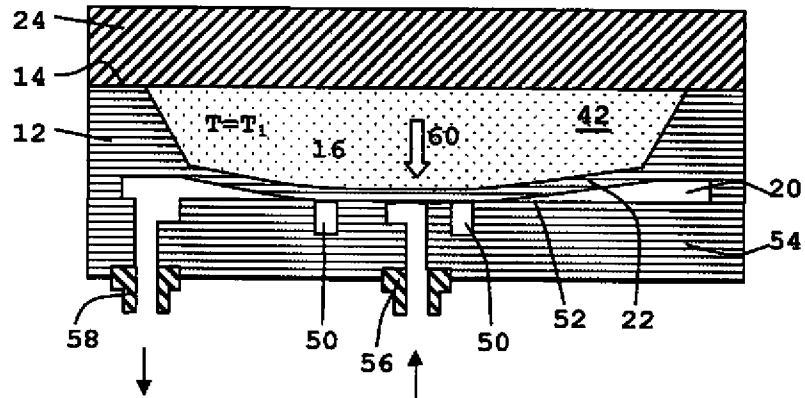
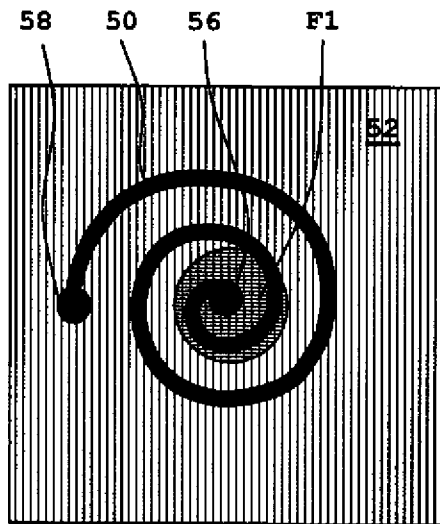
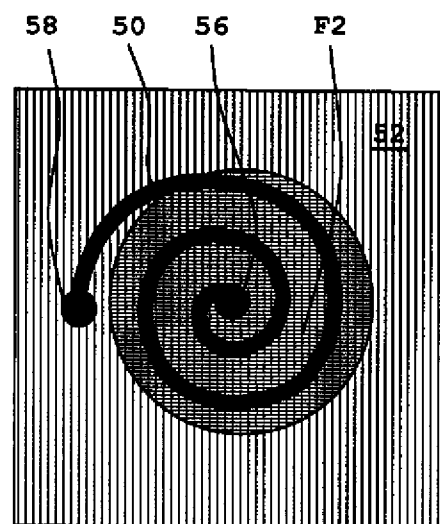


Fig. 3



$T = T_1$

Fig. 4a



$T = T_2 > T_1$

Fig. 4b



Fig. 5a

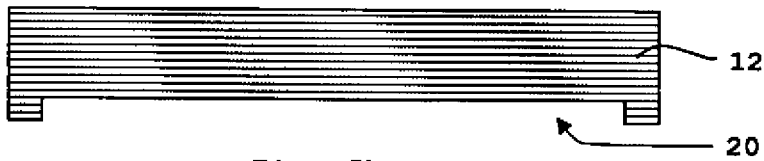


Fig. 5b

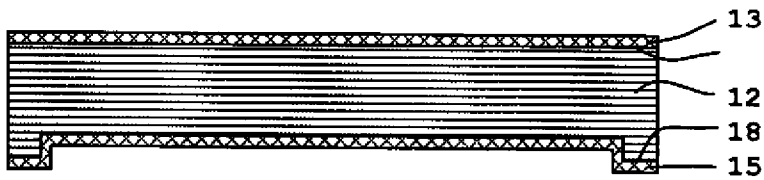


Fig. 5c

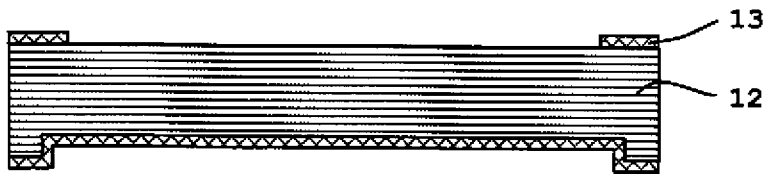


Fig. 5d

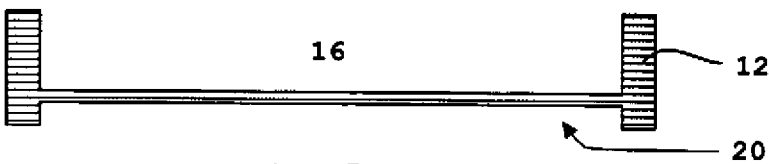


Fig. 5e

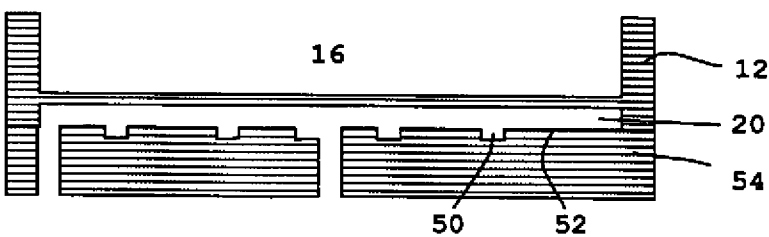


Fig. 5f

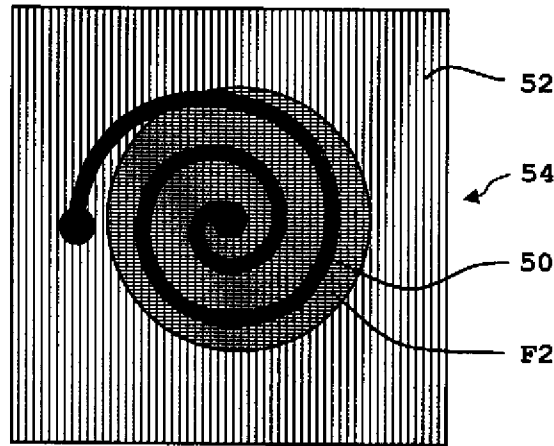


Fig. 5g

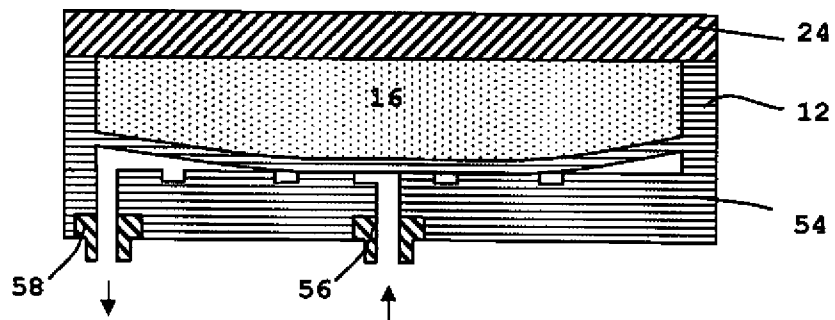


Fig. 5h