



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2006 035 925 B3 2008.02.21**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 035 925.9**

(22) Anmeldetag: **31.07.2006**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **21.02.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B81B 1/00 (2006.01)**

**C12M 1/42 (2006.01)**

**C12M 1/34 (2006.01)**

**B01J 19/14 (2006.01)**

**B01J 19/00 (2006.01)**

**B01L 3/00 (2006.01)**

**G01N 33/483 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 79098  
 Freiburg, DE**

(72) Erfinder:

**Krogmann, Florian, 79106 Freiburg, DE; Mönch,  
 Wolfgang, 87719 Mindelheim, DE; Zappe, Hans,  
 Zürich, CH**

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

**DE10 2004 018971 A1**

**DE 602 03 340 T2**

**DE 600 16 738 T2**

**US 65 45 815 B2**

**US 65 38 823 B2**

**US 63 69 941 B2**

**US 67 78 328 B1**

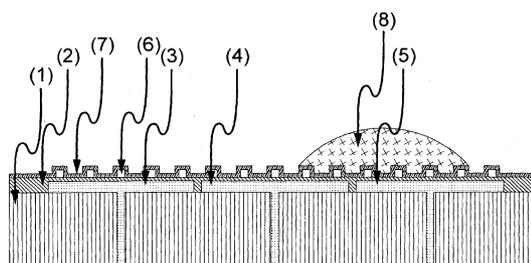
**US 65 65 727 B1**

**WO 00/58 763 A1**

**VELEV, O.D., et al., "On-Chip manipulation of  
 free droplets". In: Nature, Vol. 426, 4. Dez.  
 2003, S. 515/516;**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur elektrischen Bewegung von Flüssigkeitstropfen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung dient zur Positionierung von Flüssigkeitstropfen mit hoher Ortsauflösung auf der Basis der Elektrobenetzung. Kernelement ist ein komplex strukturiertes Substrat mit einer unter einer Isolierschicht vergrabenen Elektrodenanordnung und einer feinen Haltestruktur an der Oberfläche, für die zahlreiche Ausführungsvarianten möglich sind, in Verbindung mit einer elektrischen Spannungsversorgung, welche die Versorgung jeder einzelnen Elektrode der Elektrodenanordnung mit einer Steuerspannung gestattet. Die Steuerspannung zeichnet sich durch definierte Spitzenpegel aus, die es dem Tropfen gestattet, eine Barriere der Haltestruktur zu überschreiten und die nächste Masche zu benetzen. Die Oberfläche kann mit optionalen funktionalen Schichten versehen werden, um die Benetzungseigenschaften des Tropfens genau einzustellen. Die Erfindung kann auch gekapselt mit einer über dem Substrat positionierten Fluidik-Kammer oder in Sandwich-Bauweise mit zwei Substraten eingesetzt werden. Anwendungsgebiete sind die beispielsweise Mikrofluidik, die Mikrooptik und die Mikroreaktionstechnik. Mit der Erfindung können Flüssigkeitstropfen lateral bewegt, ausgebreitet, zusammengefügt und getrennt werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein System, welches sich zum Bewegen und Positionieren von einem oder mehreren Flüssigkeitstropfen nutzen lässt. Ein solches System besteht aus einem Substrat, einer Elektrodenstruktur, einer dielektrischen Schicht, einer Haltestruktur und einem Flüssigkeitstropfen, der auf der Haltestruktur sitzt und durch so genanntes Pinning in seiner Position festgehalten wird. Solche Systeme können beispielsweise in der Mikrofluidik, Mikro-Optik, Mikroreaktionstechnik und Mikro-Biotechnologie genutzt werden.

### Einführung und Stand der Technik

**[0002]** Aktorik-Prinzipien für die Bewegung von flüssigen Tropfen sind für zahlreiche Anwendungen in der Mikrooptik, (beispielsweise für steuerbare Mikrolinsen-Anordnungen [1], der Mikrofluidik, Mikroreaktionstechnik und Mikro-Biotechnologie, bei der zumeist nur geringe Probenmengen vorhanden sind, von herausragendem Interesse. Die Elektrobenetzung [2],[3], [4] (electro-wetting) ist ein solches vielseitig einsetzbares Aktorik-Prinzip, das gegenwärtig auf großes Interesse in der Grundlagenforschung und in den angewandten Wissenschaften stößt.

**[0003]** Der grundlegende experimentelle Aufbau der Elektrobenetzung auf dielektrischen Oberflächen (electrowetting an dielectrics, EWOD, [5]) besteht aus einer Elektrode, die mit einer isolierenden Schicht (mit Dicke  $d$  und Dielektrizitätszahl  $\epsilon$ ) versehen ist. Auf der isolierenden Schicht ruht ein Flüssigkeitstropfen, bestehend aus einer leitfähigen oder polaren Flüssigkeit und schließt mit dem Substrat, d.h. der isolierenden Schicht, einen Kontaktwinkel  $\Theta_0$  ein. Wird nun eine elektrische Spannung  $V$  zwischen den Tropfen und die Elektrode angelegt, so nimmt der Kontaktwinkel einen neuen, kleineren Wert  $\Theta(V)$  an; dieser Effekt wird beschrieben durch die Young-Lippmann-Gleichung:

$$\cos\Theta(V) = \cos\Theta_0 + \frac{\epsilon\epsilon_0}{2\gamma d} V^2$$

$\gamma$  ist die Oberflächenspannung der Flüssigkeit. Die physikalische Situation ist vergleichbar mit einem Plattenkondensator, bei dem allerdings eine Plattenfläche, nämlich die Kontaktfläche des Flüssigkeitstropfens auf dem Substrat, veränderlich vorzustellen ist. Der 2. Summand auf der rechten Seite der Young-Lippmann-Gleichung beschreibt die im Kondensator gespeicherte elektrostatische Energie pro Flächeneinheit, die beim Anlegen der Spannung in die Bilanz der Oberflächenkräfte zusätzlich mit eingeht, und den Kontaktwinkel verringert.

**[0004]** Über die angelegte Spannung  $V$  kann also der Kontaktwinkel des Flüssigkeitstropfens auf dem Substrat eingestellt werden. Der Effekt ist reversibel

und funktioniert sowohl mit Gleich- als auch mit Wechselspannung. Durch Oberflächendefekte, an denen der Tropfen bei der Bewegung festgehalten wird (Pinning oder Sticking), wird der Effekt beeinträchtigt.

**[0005]** Ein kleinerer Kontaktwinkel bedeutet eine bessere Benetzung des Substrates und damit eine energetisch günstigere Konfiguration für den Flüssigkeitstropfen auf der Oberfläche des Substrats. Auf Oberflächen mit lokal variierender Benetzbarkeit positionieren sich Flüssigkeiten daher immer auf die Bereiche mit der besseren Benetzbarkeit, d.h. auf die Oberflächenbereiche, auf denen sie einen geringeren Kontaktwinkel annehmen können.

**[0006]** Daher kann mittels EWOD auch eine Bewegung von Flüssigkeitstropfen auf der Oberfläche des Substrats erzielt werden, indem die Elektrode in verschiedene, einzeln adressierbare Elektroden aufgeteilt wird [6], [7]. Liegt der Tropfen über einer Elektrode und wird nun an die benachbarte Elektrode eine Spannung angelegt, breitet sich der Tropfen über diese Nachbarelektrode aus und kommt über dieser zu liegen. Durch sukzessive elektrische Adressierung einer jeweils benachbarten Elektrode mit einer Spannung gegenüber dem Tropfen – wobei das Potential der jeweils ursprünglich adressierten Elektrode wieder auf gleiches Potential mit dem Tropfen zurückgesetzt wird – kann daher der Flüssigkeitstropfen über ein Substrat mit einzeln adressierbaren Elektroden hinweg bewegt werden. Dieser bekannte Effekt liegt auch der vorliegenden Erfindung zugrunde.

**[0007]** Zum Stand der Technik auf dem Gebiet der Elektrobenetzung vgl. die Patente [8]–[14].

### Kritik am Stand der Technik

**[0008]** Der beschriebene Effekt wird gegenwärtig bereits für die Bewegung von Flüssigkeitstropfen genutzt. Allerdings haben alle solche Systeme den Nachteil, dass ihre Positioniergenauigkeit durch die Anzahl und Größe der Elektroden festgelegt ist. Die Positioniergenauigkeit des Tropfens stimmt mit der Größe der Elektroden überein. Für eine hochgenaue Positionierbarkeit braucht man also sehr kleine Elektroden. Die Elektroden müssen, wie erläutert, individuell in der anliegenden Spannung angesteuert werden können. Daher ist eine große Anzahl an Gegen Elektroden erforderlich.

**[0009]** Stand der Technik für die Beschattung eines  $N$  mal  $N$ -Elektroden-Arrays ist dabei die Nutzung von Matrix-Schaltungen unter Verwendung von Transistoren, um  $N$  mal  $N$  Elektroden mit nur  $2N$  Kanälen anzusprechen. Dies ist aber nicht in allen Fällen möglich und außerdem mit sehr aufwendigen Prozessen verbunden. Weiterhin scheiden bei einigen Anwendungen (z.B. Mikrooptik) solche bewährten Konzepte

mit einer Matrixschaltung und Transistoren, wie sie bei LCD-Displays eingesetzt werden, aus, weil man ein transparentes Substrat ohne undurchsichtige Strukturen haben möchte. In diesem Falle ist dann die Anzahl ansteuerbarer Gegenelektroden begrenzt, weil entsprechende elektronische Vielkanal-Verstärker (100 und mehr Kanäle) nicht erhältlich sind. Das Problem verschärft sich, wenn die Gegenelektroden sehr klein sein müssen, weil die zu bewegendes Flüssigkeitstropfen klein sind, wie z.B. in der Biotechnologie, wo oftmals nur geringe Materialmengen verfügbar sind.

**[0010]** Aus der Patentschrift [14] ist eine Vorrichtung zur fein steuerbaren Bewegung und/oder Positionierung von mindestens einem Flüssigkeitstropfen durch eine Reihe von einander angenäherten Flächenpaaren mittels Anlegen eines elektrischen Feldes zwischen den Flächenpaaren bekannt. Für diese Vorrichtung werden auch eine kontrollierte Benetzbarkeit durch Oberflächenbehandlungen aufgeführt sowie eine Struktur der Elektroden in Tafelform zur Annäherung der Elektrodenflächen in Bezug auf die jeweiligen Substrate und darüber hinaus die Anordnung der beiden Flächen eines Flächenpaares unter einem kleinen Winkel und/oder eine Anordnung derart, dass mindestens eins der angenäherten Flächenpaare eine Vielzahl von Ebenen umfasst, um durch Kapillarität den Flüssigkeitstropfen zu der Zone mit größerer Annäherung zu treiben.

**[0011]** Allerdings fehlt der in der Patentschrift [14] beschriebenen und anderen bekannten EWOD-basierten Tropfen-Bewegungs-Strukturen ein Mechanismus, um den Tropfen auch bei Erschütterungen und Vibrationen an seinem Ort fixiert zu halten.

#### Erfinderische Problemlösung

**[0012]** Für eine Positionierung eines oder mehrerer Tropfen mit hoher Ortsauflösung muss in bisher üblichen Systemen die Elektrodengröße deutlich kleiner sein als die minimale Ausdehnung der Tropfen auf dem Substrat. Die hier beschriebene Erfindung gestattet es, dieses Problem zu beheben. Durch die beschriebene Erfindung darf die Elektrodengröße des beschriebenen Systems nach Anspruch 1 ff. auch gleich groß oder sogar größer als die Abmessung eines Tropfens sein, und dies ohne Beeinträchtigung der Positioniergenauigkeit. Dies wird bewerkstelligt durch das Aufbringen einer zum Beispiel netzartigen Struktur, mit deren Hilfe der Flüssigkeitstropfen durch den Pinning-Effekt an seiner Position gehalten wird.

**[0013]** Erst bei sehr großen Stößen kann sich ein solcher von Pinning festgehaltener Tropfen von seiner Position lösen. Um den einen oder mehrere Tropfen nun zu bewegen, wird ein zeitlich gesteuertes Spannungssignal an eine oder mehrere Elektroden angelegt, welches sich dadurch auszeichnet, dass es

zunächst eine hohe Spannungsspitze annimmt, welche dann nach kurzer Zeit wieder reduziert wird, und zwar auf einen höheren Wert als dem Ausgangswert. Dadurch wird erreicht, dass sich im ersten Moment der Kontaktwinkel des Flüssigkeitstropfens oberhalb dieser Elektrode kurzzeitig so verringert, dass sich der Tropfen über das durch die Haltestruktur vorgegebene Hindernis hinwegbewegen kann. Durch den Spannungswert nach der anschließenden Absenkung bewegt sich der Tropfen nun bis zum nächsten Hindernis der Haltestruktur, wo er wiederum festgehalten wird. Dies kann mit ein und derselben Elektrode mehrmals erfolgen, und man erreicht somit eine Positioniergenauigkeit, die weit höher ist, als von der Elektrodengröße und -anzahl vorgegeben.

**[0014]** Fertigt man ein solches System vollständig aus transparenten Materialien, ist es möglich, eine flüssige Linse zu bauen, welche sich dadurch auszeichnet, dass sie sowohl in ihrer Brennweite verändert werden kann, als auch in ihrer Position auf dem Substrat. Durch Nutzung mehrerer Flüssigkeitstropfen ist es außerdem möglich, Linsenfelder, sogenannte Linsenarrays zu konstruieren, bei denen die Positionen und Brennweiten der einzelnen flüssigen Linsen individuell einstellbar sind. Durch Integration eines Linsenflüssigkeitsreservoirs ist es darüber hinaus möglich, die Anzahl und Größe der Linsen zu steuern.

**[0015]** Ein höchstmögliches Maß an Positioniergenauigkeit kann durch die Nutzung von mikrotechnischen Herstellungsverfahren erreicht werden. Gerade bei der Herstellung der Haltestruktur ist es dadurch möglich, Genauigkeiten im Mikrometerbereich zu erzielen.

**[0016]** Eine weitere Reduzierung der Elektrodenanzahl kann erreicht werden, indem man mehrere jeweils von einander entfernte Elektroden zusammenschaltet, zum Beispiel in Zeilen.

#### Detaillierte Beschreibung

**[0017]** Die Erfindung wird im Folgend mit Bezug auf die Figuren näher erläutert.

**[0018]** Die Erfindung besteht, siehe **Fig. 1**, aus einem Trägersubstrat **(1)** (z.B. aus Glas), auf das die einzeln adressierbaren Elektroden **(3)**, **(4)**, **(5)** aufgebracht sind, die wiederum vollständig mit einer isolierenden, dielektrischen Schicht **(2)** bedeckt werden. Darüber befindet sich eine – optional leitfähige – Haltestruktur **(6)**, die vorteilhaft netzförmig ausgeführt wird, wobei die Maschenweite der Haltestruktur **(6)** kleiner ist als das Rastermaß der Elektroden **(3)**, **(4)**, **(5)**. Zuletzt kann die Haltestruktur **(6)** und die dielektrische Schicht **(2)** noch mit optionalen funktionalen Deckschichten **(7)** versehen werden, um z.B. die Benetzungseigenschaften exakt einzustellen. Die Kon-

taktlinie der Flüssigkeit (8) ist wegen des Pinning-Effektes an der Haltestruktur (6) verankert und passt sich deren Verlauf an. Die Haltestruktur (6) stellt eine gezielt eingesetzte Pinning-Barriere für den Tropfen dar.

**[0019]** [Fig. 2](#) zeigt eine Draufsicht des Systems, wobei der Übersichtlichkeit halber nur das Trägersubstrat (1), die Elektroden (3), (4), (5) und die Haltestruktur (6) gezeigt sind. Die Elektroden (3), (4), (5) und die Haltestruktur (6) müssen dabei nicht, wie in der Abbildung, quadratisch sein. Die Elektroden können vorteilhaft eine ineinandergreifende Zahnstruktur aufweisen. Diese ermöglicht es, einen Flüssigkeitstropfen, dessen Kontaktlinie direkt über der Grenze zweier Elektroden liegt (z.B. zwischen (4) und (5)), über diese Grenze hinweg zu bewegen. Der Grund hierfür ist, dass der Tropfen in dieser Position mit beiden beteiligten Elektroden bewegt werden kann.

**[0020]** Die Lösung des oben beschriebenen Problems der geringen Ortsauflösung besteht in der Verwendung einer Haltestruktur (6) mit einem Rastermaß, das kleiner ist als das der Elektroden (3), (4), (5), in Verbindung mit einer zeitlich modulierten elektrischen Spannung, deren typischer Verlauf in [Fig. 3](#) gezeigt wird und die mittels einer geeigneten Steuereinheit bzw. Spannungsversorgung an jede einzelne der Elektroden (3), (4), (5) angelegt werden kann.

**[0021]** Die fein aufgelöste Bewegung der Flüssigkeit findet damit folgendermaßen statt: An der Haltestruktur (6) wird die Kontaktlinie des Tropfens zunächst so festgehalten, wie in [Fig. 1a](#) gezeigt. Durch eine Spannungsspitze (zwischen den Zeitpunkten 1 und 2, mit Maximalpegel B, s. [Fig. 3](#)), die zwischen dem Flüssigkeitstropfen (8) und der Elektrode (4) angelegt wird, kann der Tropfen die Pinning-Energiebarriere der Haltestruktur (6) überwinden. Danach wird die Spannung auf einen Pegel (Pegel B, s. [Fig. 3](#), zwischen den Zeitpunkten 2 und 3) abgesenkt, der gewährleistet, daß sich der Tropfen über der Elektrode (4) innerhalb der benetzten Masche der Haltestruktur (6) weiter ausbreiten kann, und zwar gerade bis zur nächsten Barriere der Haltestruktur (6). Dieser Spannungspegel reicht aber nicht aus, um diese Barriere zu überschreiten, so daß sich der Flüssigkeitstropfen nun weiter ausgebreitet hat, s. [Fig. 1b](#). Durch einen weiteren Spannungspuls (zwischen den Zeitpunkten 3 und 4 in [Fig. 3](#)) kann die Flüssigkeit auch diese Stufe überschreiten, so daß der Tropfen sich nochmals weiter ausbreitet und nun eine Position wie in [Fig. 1c](#) gezeichnet einnimmt.

**[0022]** Durch solche wiederholten Spannungspulse kann also der Flüssigkeitstropfen (8) über der Elektrode (4) sehr fein, nämlich entsprechend der Maschenweite der Haltestruktur (6) positioniert werden. Ist die Grenze zur Elektrode (5) erreicht, wird eine Spannung, wie sie in [Fig. 3](#) gezeigt ist, an Elektrode

(5) angelegt.

**[0023]** Wird die Elektrode (4) zurückgesetzt, d.h. auf das selbe Potential wie der Flüssigkeitstropfen gelegt, kann der Tropfen von Elektrode (4) zu Elektrode (5) übergeben werden. Mit dem gleichen Mechanismus kann der Tropfen sehr fein über die gesamte zur Verfügung stehende Substratfläche bewegt und zwischen den Elektroden übergeben werden.

**[0024]** Bleibt jedoch eine Spannung zwischen dem Tropfen und der Elektrode (4) bestehen, und wird der Tropfen mittels Elektrode (5) zusätzlich über dieser Elektrode ausgebreitet, so kann der Tropfen – wenn man ihn als flüssige Mikrolinse verwendet – in seiner Brennweite sehr fein eingestellt werden.

**[0025]** In der Summe ergibt sich also eine Möglichkeit, sowohl die Position als auch die Brennweite einer oder mehrerer flüssiger Tropfen, die beispielsweise als Mikrolinsen dienen, auf dem Substrat individuell einzustellen, und zwar mit sehr feiner Ortsauflösung – auch bei beschränkter Anzahl der Elektroden.

**[0026]** Ausführungsvarianten des Systems sind vollständig gekapselte Versionen mit einer einfachen Kapselung, s. [Fig. 4](#), oder unter Verwendung eines zweiten funktionellen Trägersubstrats, s. [Fig. 5](#).

**[0027]** [Fig. 4](#) zeigt ein gekapseltes System, das zusätzlich zum offenen System, s. [Fig. 1a–Fig. 1c](#), Abstandsstücke (18), (19) aufweist, sowie Ein- und Auslasskanäle (16) und (17) für das den oder die Tropfen umgebende Fluid (20). Geschlossen wird das System durch ein zweites Trägersubstrat (21), das optional mit einer Elektrode (22) und optional mit einer oder mehreren isolierenden oder funktionellen Deckschicht (23) beschichtet ist.

**[0028]** [Fig. 5](#) zeigt ein ebenfalls gekapseltes System, bei dem aber zusätzlich das abschließende, obere Substrat eine komplexe Elektrodenanordnung ähnlich oder – wie hier gezeichnet – gleich dem unteren Substrat. Dieses obere Substrat besteht aus einem Träger (9), der wiederum mit einer Elektrodenanordnung aus mehreren Elektroden (11), (12), (13) versehen ist, die ihrerseits von einer Isolierschicht (10) bedeckt werden; ferner einer hier optionalen Haltestruktur (14) und einer optionalen Deckschicht (15).

**[0029]** Bei den gekapselten Ausführungen, s. [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#), benetzt der Flüssigkeitstropfen (8) sowohl das obere wie das untere Substrat und ist von einem äußeren Fluid (20) umgeben.

#### Literatur

[1] B. Berge and J. Peseux: Variable focal lens controlled by an external voltage: An application of electrowetting. Eur. Phys. J. E, 3 (2000) 159–163

- [2] Gabriel Lippmann: Relations entre les Phénomènes Électriques et Capillaires. Ann. Chim. Phys., 5 (1875) 494–549
- [3] C. Quilliet, B. Berge: Electrowetting: a recent outbreak. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 6 (2001) 34–39
- [4] Frieder Mugele and Jean-Christophe Baret: Electrowetting: from basics to applications. Journal of Physics: Condensed Matter, 17 (2005) R705-R774
- [5] Bruno Berge: Électrocapillarité et moillage de films isolants par l'eau. C. R. Acad. Sci. Paris, 317, Série II, (1993) 157–163
- [6] M.G. Pollack, A.D. Shenderow, and R.B. Fair: Electrowetting-based actuation of droplets for integrated microfluidics. Lab Chip, 2 (2002) 96–101
- [7] T. Krupenkin, S. Yang and P. Mach: Tunable liquid microlens. Applied Physics Letters, 82(3) (2003) 316–318

#### Patentliteratur

- [8] US 6,369,941 B1, Bruno Berge: Lens with variable focus.
- [9] US 6,538,823, Kroupenkine et al.: Tunable liquid micro/lens.
- [10] US 6,545,815 B2, Kroupenkine et al.: Tunable liquid micro/lens with lubrication assisted electrowetting.
- [11] WO 00/58763, PCT/FR00/00751, Bruno Berge: Drop centering Device.
- [12] US 6,565,727 B1, Alexander Shenderov: Actuators for microfluidics without moving parts.
- [13] US 6,778,328: Tunable field of view liquid microlens.
- [14] DE 600 16 738 T2

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur fein steuerbaren Bewegung und/oder Positionierung von mindestens einem Flüssigkeitstropfen (**8**) auf der Oberfläche eines ersten Substrats (**1**) oder zwischen zwei planparallel zueinander angeordneten Substraten (**1**) und (**9, 21**), die folgendes aufweist:

- eine Elektrodenanordnung aus einzelnen Elektroden (**3**), (**4**), (**5**) auf dem ersten Substrat (**1**) und/oder auf dem zweiten Substrat (**9**),
- eine Isolierschicht (**2**), welche die Elektrodenanordnung vollflächig abdeckt,
- eine Spannungssteuerungseinheit mit Spannungsquelle, welche ein zeitlich veränderbares elektrisches Feld zwischen mindestens einer Elektrode der Elektrodenanordnung und mindestens einem Flüssigkeitstropfen erzeugt, und
- eine Haltestruktur (**6**), die feiner als die Elektrodenanordnung strukturiert ist.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Deckschicht (**7**).

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Haltestruktur (**6**) realisiert ist durch

- eine netzartig durchbrochene Schicht,
- oder eine netzartig durchbrochene und elektrisch leitfähige Schicht,
- und/oder eine räumliche Variation des Abstands zwischen Elektrodenoberfläche und Substratoberfläche innerhalb einer Elektrode bei den Elektroden der Elektrodenanordnung,
- und/oder die Variation der Dicke innerhalb einer Elektrode bei den Elektroden der Elektrodenanordnung,
- und/oder durch eine periodische räumliche Variation der Dicke der Isolationschicht auf einer Substratoberfläche,
- und/oder eine periodische räumliche Strukturierung der Substratoberflächen des einen oder der beiden Substrate,
- und/oder eine räumliche Strukturierung mindestens einer Substratoberfläche, wobei die Struktur gleichzeitig als Elektrode genützt wird,
- und/oder eine periodische Struktur der Benetzbarkeit auf mindestens einer der beiden Substratoberflächen.

4. Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden durch Transistoren über eine übliche Matrixschaltung ansteuerbar sind.

5. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie ausschließlich aus transparenten Materialien besteht.

6. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie ausschließlich aus für den gewünschten Wellenlängenbereich transparenten Materialien besteht.

7. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Tropfen von einer nicht mit dem mindestens einem Tropfen mischbaren Flüssigkeit umgeben ist.

8. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet dass diese vollständig gekapselt ist.

9. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Flüssigkeitstropfenreservoir aufweist.

10. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie in Mikrostrukturierungsprozessen hergestellt ist.

11. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen

nen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Haltestruktur nicht eine auf dem Substrat aufgebraachte Erhöhung ist, sondern eine Variation der Dicke der dielektrischen Schicht ist, wobei die Oberfläche ansonsten eben ist.

12. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Haltestruktur nicht eine auf dem Substrat aufgebraachte Erhöhung ist, sondern eine Variation der Dicke der isolierenden Schicht ist, wobei die Oberfläche nicht eben ist, sondern beispielsweise gekrümmt.

13. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat nicht eben ist, sondern Krümmungen oder Verformungen aufweist oder auf einer biegsamen Folie aufgebracht ist.

14. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rand der Elektroden der Elektrodenstruktur **(3)**, **(4)**, **(5)** und **(11)**, **(12)**, **(13)** eine ineinandergreifende Zahnstruktur aufweist.

15. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rand der Elektroden der Elektrodenstruktur **(3)**, **(4)**, **(5)** und **(11)**, **(12)**, **(13)** eine Form aufweist, welche die Fläche vollständig erfüllt, beispielsweise für die zweidimensionale Ebene eine hexagonale oder quadratische Form (sogenannte „tiling patterns“).

16. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rand der Elektroden der Elektrodenstruktur **(3)**, **(4)**, **(5)** und ggf. auch **(11)**, **(12)**, **(13)** sowohl flächenerfüllend als auch ineinandergreifend ist.

17. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Flüssigkeitstropfen **(8)** und die umgebende Flüssigkeit **(20)** die gleiche Massendichte haben.

18. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich eine Vorrichtung zur Temperaturkontrolle und Temperaturstabilisierung integriert ist.

19. Vorrichtung gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einem Flüssigkeitstropfen sich biologische Zellen oder künstliche Vesikel oder in einer Membranhülle eingeschlossene chemische Wirkstoffe befinden.

20. Verwendung der Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche zur individuellen oder kollektiven Bewegung von Flüssigkeitstropfen in

der Verfahrenstechnik, Mikro-Verfahrenstechnik, Biologie, Biotechnologie, Gentechnologie, Biochemie oder Molekularbiologie.

21. Verwendung der Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 19 zum Zusammenführen mehrerer Tropfen und zur Durchführung chemischer Reaktionen.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

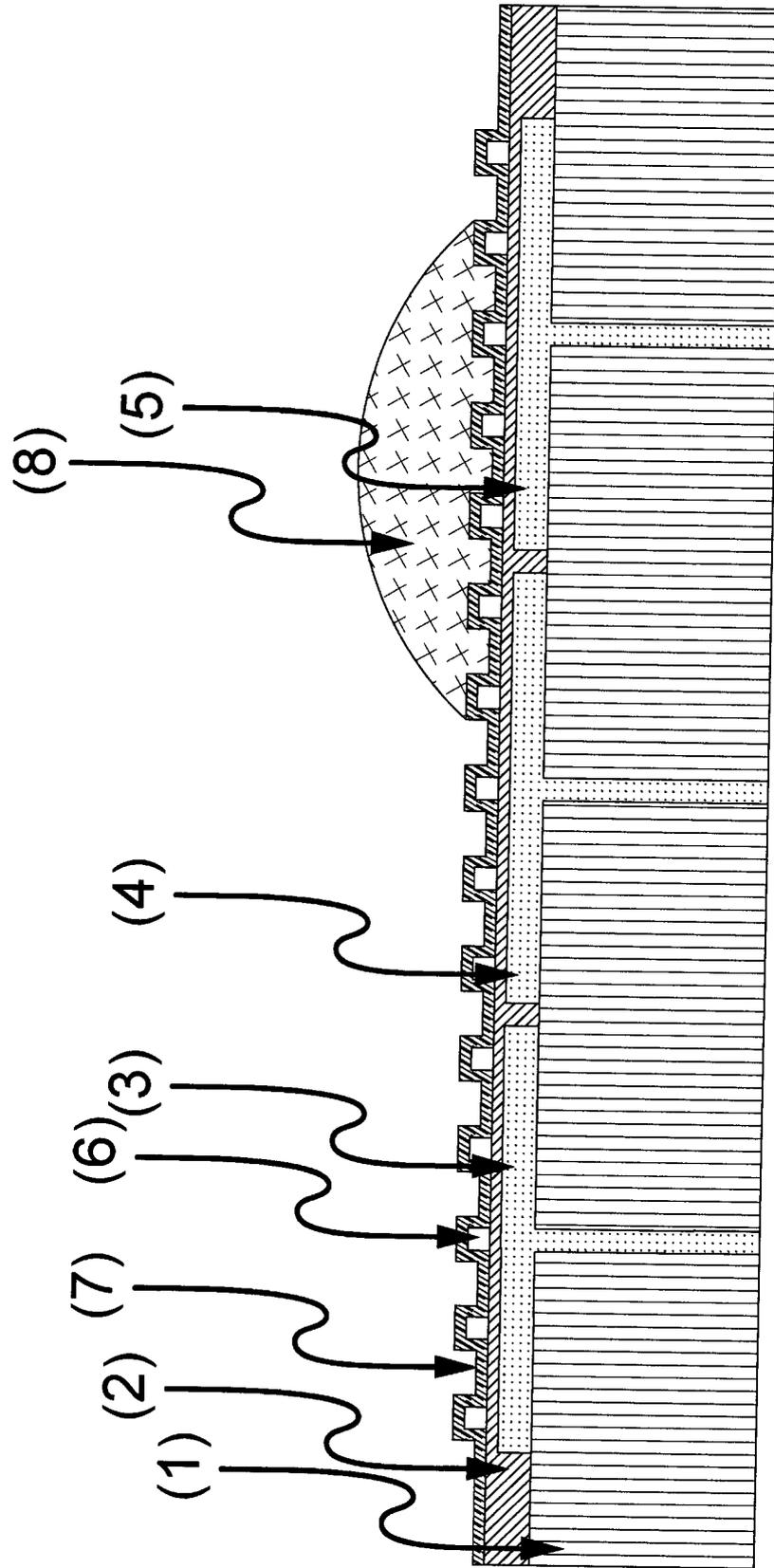


Fig. 1a:

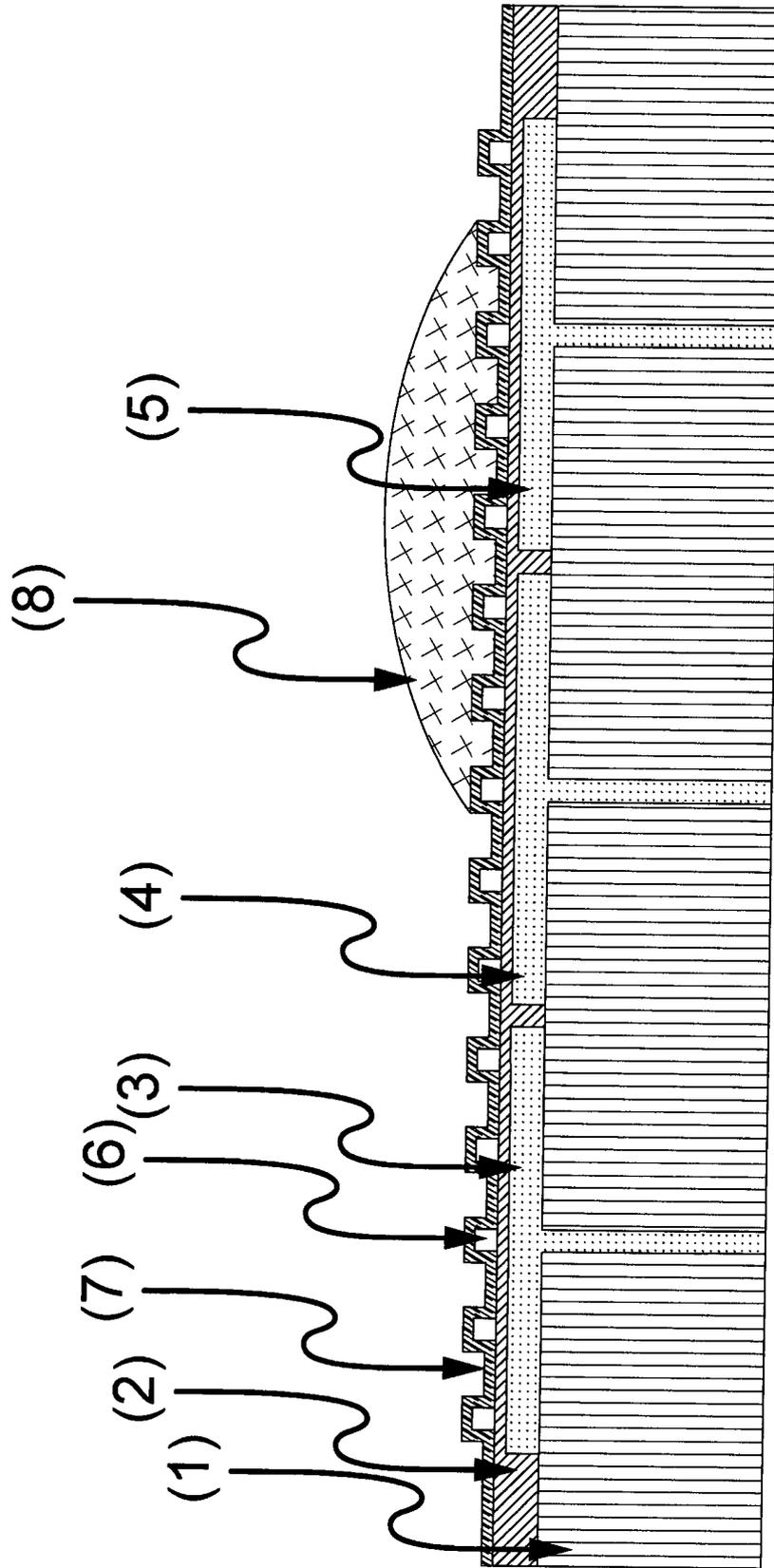
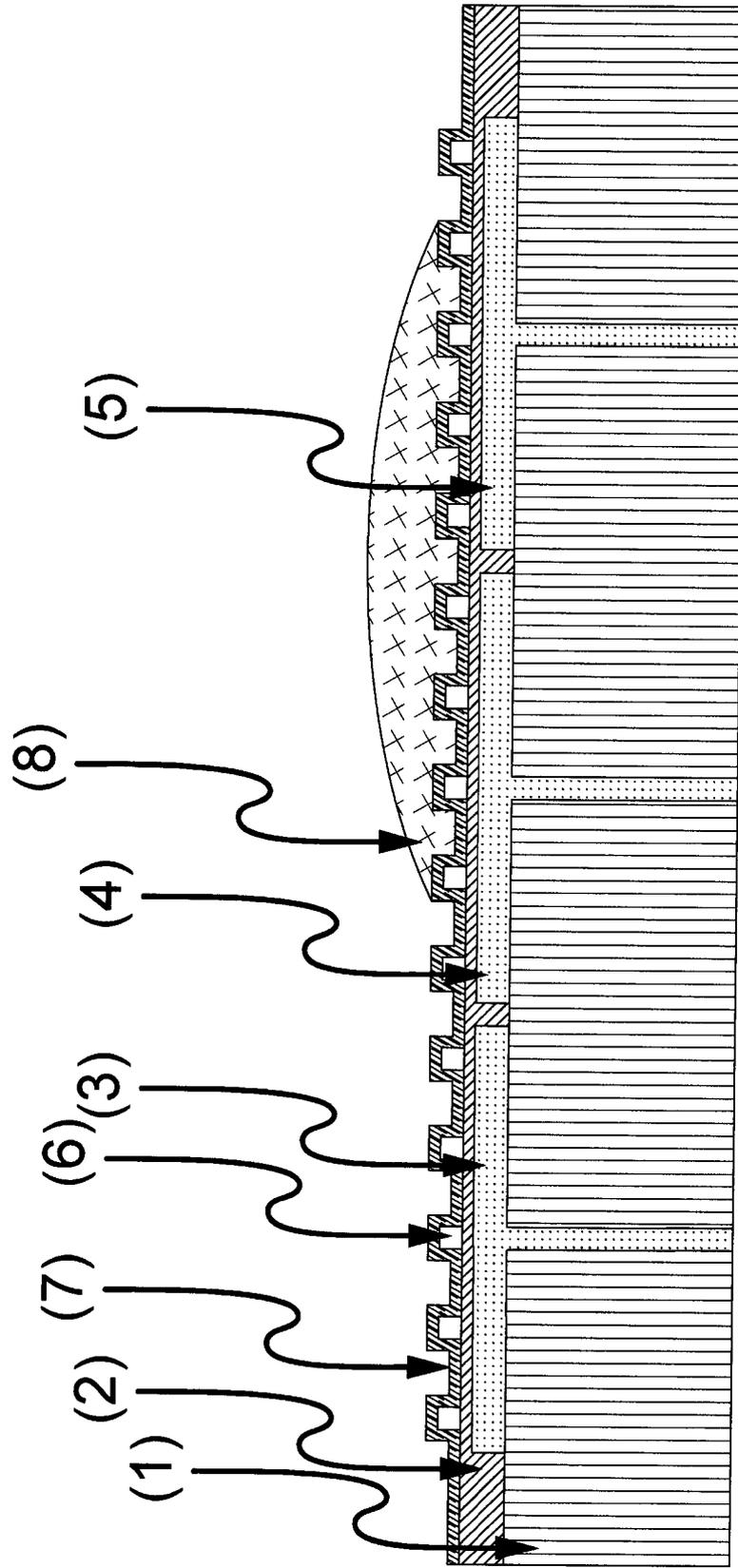


Fig. 1b:

Fig. 1c:



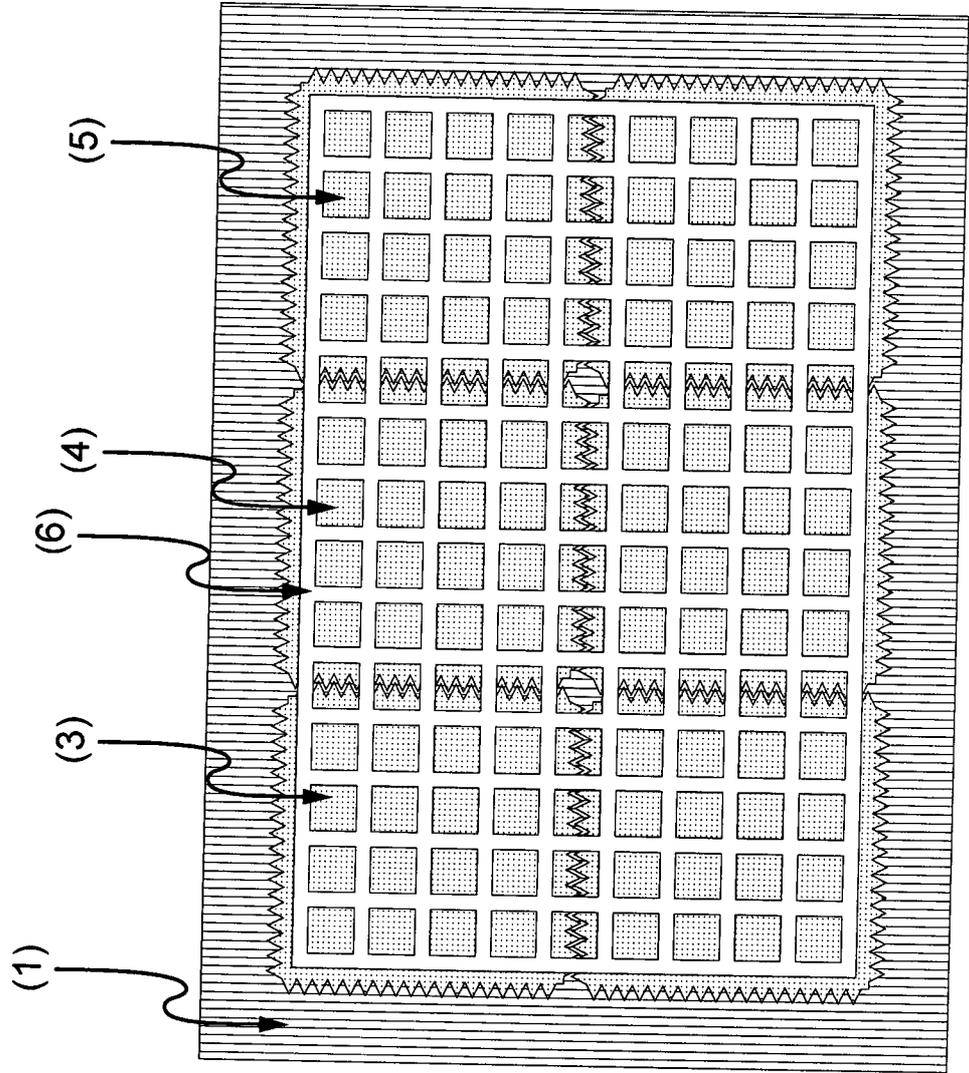


Fig. 2:

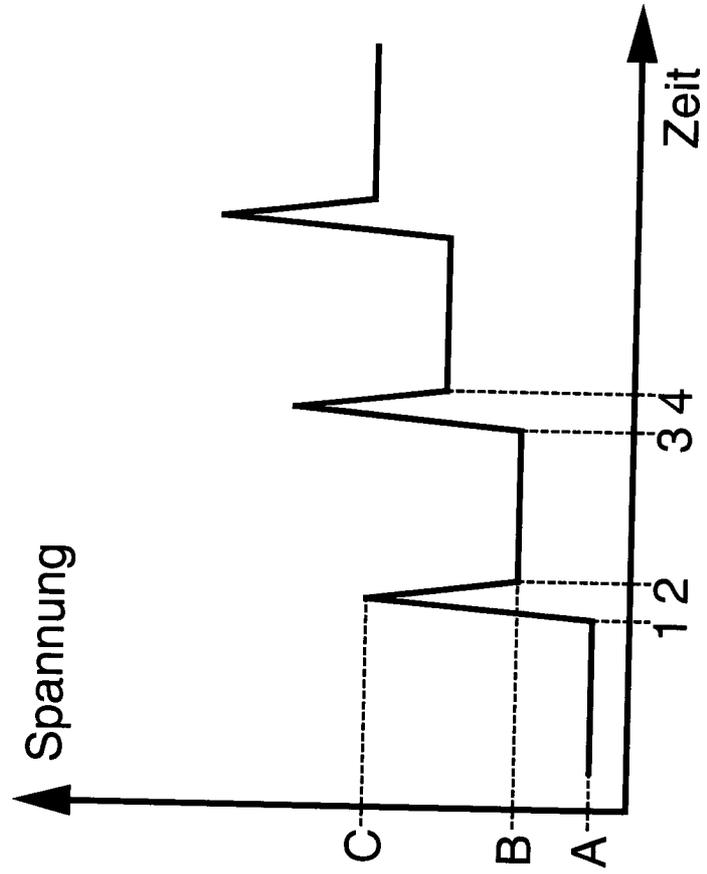


Fig. 3:

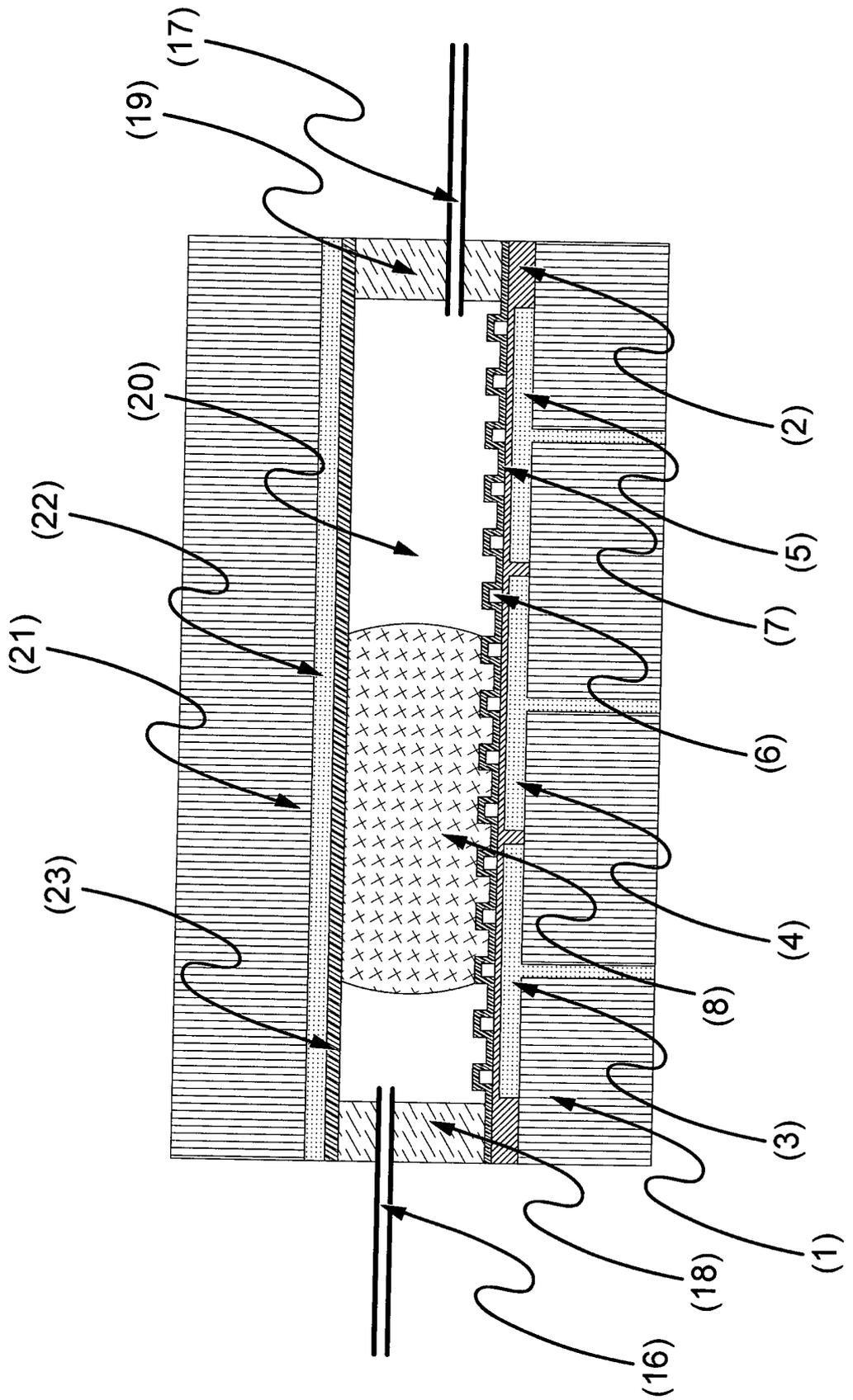


Fig. 4:

Fig. 5:

