



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 695 30 101 T2 2004.03.11**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 790 849 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **695 30 101.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB95/02489**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **95 934 715.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 96/012541**

(86) PCT-Anmeldetag: **20.10.1995**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **02.05.1996**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **27.08.1997**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **26.03.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.03.2004**

(51) Int Cl.7: **B01D 11/04**

**B01D 61/28, G01N 1/40**

(30) Unionspriorität:

**9421313 22.10.1994 GB**

**9511813 10.06.1995 GB**

**9511904 12.06.1995 GB**

(73) Patentinhaber:

**Central Research Laboratories Ltd., Hayes,  
Middlesex, GB**

(74) Vertreter:

**Freischem und Kollegen, 50667 Köln**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU,  
MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**HOLMES, George, Robert, Lancashire PR4 3DS,  
GB; BULL, James, Adrian, Manchester M28 2UR,  
GB; SIMPER, Mark, Adrian, Cambridge CB4 1HX,  
GB; SHAW, Edward, John, Hayes, Middlesex UB3  
1HH, GB; BRENNAN, Edward, David, Hayes,  
Middlesex UB3 1HH, GB; TURNER, Edward,  
Robert, Hayes, Middlesex UB3 1HH, GB;  
SIMPSON, Iain, Richard, Middlesex UB3 1HH, GB;  
WESTWOOD, Lyn, Preston PR1 0NL, GB**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG FÜR DIFFUSIONSAUSTAUSCH ZWISCHEN NICHT MISCHBARE FLÜSSIGKEITEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung eines Prozesses zwischen ersten und zweiten Fluiden, welche nicht miteinander vermischbar sind, beispielsweise Solvent-Extraktion von einem Fluid in ein anderes.

## Stand der Technik

[0002] In der chemischen Industrie ist eine gängige Technik zur Reinigung oder Analyse von Chemikalien ein Austauschprozeß. Solvent-Extraktion stützt sich auf die bevorzugte Übertragung einer oder mehrerer Komponenten von einer Phase (Fluid), in der die Komponente (gelöster Stoff) gelöst ist, in eine zweite unvermischbare Phase. Gewöhnlich wird dies durch physisches Mischen mit anschließender Trennung der beiden Phasen unter Einsatz der Schwerkraft erreicht. Es wurde festgestellt, daß je gründlicher die beiden Phasen vermischt werden, desto schneller läuft der Übertragungsprozeß ab aufgrund der größeren Oberfläche der kleineren Flüssigkeitskügelchen und der verringerten Diffusionsdistanzen innerhalb der Phasen. Die zur Trennung der Phasen benötigte Zeit steigt jedoch mit gründlicherer Durchmischung, und daher kann die für einen gewünschten Wirkungsgrad zur Übertragung eines gelösten Stoffes erforderliche Trennungszeit unzumutbar lang werden. Dies ist der hauptsächliche Nachteil dieses Prozesses.

[0003] US-A-3,758,404 offenbart die Übertragung einer Komponente einer Flüssigkeit in eine andere Flüssigkeit, indem eine Flüssigkeit dazu veranlaßt wird, als Film entlang der Oberfläche einer Faser zu strömen, während die andere Flüssigkeit dazu veranlaßt wird, mit Kontakt zu dem Film zu strömen. Während dieses Verfahren bis zu einem gewissen Grad das Problem der Trennung der beiden Flüssigkeiten verringert, strömen die Fluide zusammen aus, und es ist dann immer noch notwendig, eine nachfolgende Trennung unter Einsatz der Schwerkraft durchzuführen. Weitere Verbesserungen hinsichtlich der Geschwindigkeit und des Wirkungsgrades des Extraktionsprozesses und hinsichtlich des anschließenden Trennungsprozesses sind erwünscht.

[0004] FR-A-2196831 offenbart die Verwendung einer hydrophoben porösen Membran zur Trennung eines organischen Teils einer Emulsion aus organischen und wässrigen Lösungen. Druck wird aufgebracht, so daß der organische Teil der Emulsion durch die Poren der Membran strömt, wogegen die Membran eine Barriere für die wässrige Lösung bildet. Jedoch ist die Trennung einer Emulsion in zwei reine Komponente schon an sich schwierig, und das offenbarte Verfahren kann nur eine annähernde Trennung schaffen.

[0005] US-A-4,208,284 (Pretorius et al) beschreibt eine Vorrichtung, die geeignet ist, einen Prozeß zwischen ersten und zweiten unvermischbaren Fluiden durch Stoffaustausch durchzuführen. Die Vorrichtung umfaßt eine Serie von porösen offenen Strukturen, die aus schaumartigem Material gebildet sind, und ist zur Verwendung in Chromatographie-Kolonnen, Gegenstrom-Extraktoren und Destillations-Verarbeitungsanlagen geeignet.

[0006] Poröse Membranen werden bei einer Vielzahl von Situationen verwendet, z. B. bei der Blutdialyse, bei der Flüssig/Flüssig – Extraktion in Misch-Sedimentiergläsern, in Zentrifugal-Extraktoren (siehe hierzu zum Beispiel DE-A-323920, DE-A-2039051 und EP-A-246061). Allgemeine Probleme mit derartigen Systemen bestehen darin, daß die Flüssigkeiten im wesentlichen an der Grenzfläche mit den Poren der Membran ruhen, wodurch stagnierende Bereiche und Ineffizienzen in dem Solvent-Extraktionsprozeß geschaffen werden. Diese Nachteile sind insbesondere in der US-A-5,114,579 gezeigt, die eine Membran offenbart, die zwischen zwei Kanälen liegt, wobei ein Kanal eine wässrige Lösung und der andere Kanal ein Kohlenwasserstoff-Lösungsmittel trägt, welches die Membran durchdringt.

## Zusammenfassung der Erfindung

[0007] Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und Mittel zur Herbeiführung des gegenseitigen Kontakts zwischen ersten und zweiten nicht miteinander vermischbaren Fluiden zur Wechselwirkung bei Hemmung der physischen Vermischung der Fluide zu schaffen, um eine einfache Trennung der Fluide nach der Wechselwirkung zu erlauben.

[0008] Gemäß einem Aspekt schafft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines Diffusionsübertragungs-Verfahrens zwischen einem ersten und einem zweiten Fluid, welche nicht miteinander vermischbar sind, mit einem ersten und einem zweiten Strömungsweg zum Ermöglichen eines laminaren Hindurchströmens des ersten bzw. zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide, wobei Abschnitte der Strömungswege aneinander angrenzend angeordnet sind und in einem Bereich miteinander kommunizieren, der derart ausgebildet ist, daß die Fluide eine stabile offene Grenzfläche darin bilden, und wobei mindestens der erste Strömungsweg im Grenzflächenbereich eine Breite (rechtwinklig zur Grenzfläche) im Bereich von 10 bis 500 Mikrometern aufweist und wobei Abschnitte des ersten und zweiten Strömungswegs außerhalb dieses Grenzflächenbereiches voneinander getrennt sind, um die Strömung der beiden Fluide in den bzw. aus dem Grenzflächenbereich ohne Vermischen zu ermöglichen.

[0009] Für Fluid-Strömungswege in dem Grenzflächenbereich sind drei Maße von besonderer Relevanz, nämlich die Längenausdehnung in der Richtung der Fluidströmung, die Höhenausdehnung in der Ebene der Grenzfläche und rechtwinklig zu der

Längenausdehnung und die Breitenausdehnung rechtwinklig zur Grenzfläche. "Rechtwinklig" meint hier senkrecht oder orthogonal.

[0010] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Durchführung eines Diffusions-Übertragungsprozesses zwischen einem ersten und einem zweiten Fluid geschaffen, welche nicht miteinander vermischbar sind, wobei das Verfahren folgendes umfaßt:

- 1) Bereitstellung erster und zweiter Strömungswege, die aneinander angrenzende Abschnitte aufweisen und die in einem Bereich miteinander kommunizieren, in dem die Fluide einander kontaktieren können, wobei mindestens der erste Strömungsweg im Bereich der Grenzfläche eine zur Grenzfläche rechtwinklige Breite im Bereich von 10 bis 500 Mikrometern aufweist;
- 2) Durchströmung des ersten Strömungswegs mit dem ersten Fluid und des zweiten Strömungswegs mit dem zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide, so daß mindestens im genannten Bereich die Strömung beider Fluide im wesentlichen laminar ist und eine stabile, offene Grenzfläche zwischen den beiden Fluiden gebildet wird;
- 3) Ermöglichung der Übertragung von mindestens 1% der gesamten Menge mindestens einer diffundierenden Einheit an der genannten Grenzfläche zwischen den beiden Fluiden, und
- 4) Ein- und Ausströmung der Fluide durch ihre jeweiligen Strömungswege in den bzw. aus dem Grenzflächenbereich ohne Vermischen der Fluide.

[0011] Somit wird gemäß der Erfindung ein schnelles und sehr effizientes Verfahren und Mittel zur Durchführung erwünschter Prozesse geschaffen, da erste und zweite Fluide, welche nicht miteinander vermischbar sind, für die Durchführung des Prozesses unter genau kontrollierten Bedingungen miteinander in Kontakt gebracht werden, während die Bildung einer Vermischung der beiden Fluide vermieden wird, welche nachfolgend eine Trennung erforderlich machen würde.

[0012] In dem Grenzflächenbereich sind die Strömungswege nahe zueinander oder aneinander angrenzend angeordnet, so daß die Fluidströmung durch die Strömungswege kontinuierlich das Fluid an der Grenzfläche auffrischt. Eine Anordnung, in der an der Grenzfläche eine zu dieser parallele Strömung verhindert oder eingeschränkt wird, wie beispielsweise in den Poren einer konventionellen Membran, schafft weniger günstige Bedingungen für den Zwischenphasen-Transport, da das in den Membranporen gehaltene, nicht fließende Fluid die Distanz zur Diffusion der Übertragungseinheit ausdehnt. Zusätzlich können derartige Stagnationsbereiche Ablagerungen und unerwünschte Produkte sammeln, welche störend in den Zwischenphasen-Transport eingreifen können. Für eine optimale Fluidynamik soll-

ten die Fluide mit parallelen oder sich nicht schneidenden Strömungsrichtungen zusammen in Kontakt gebracht werden; die Strömungswege können so lange voneinander beabstandet sein, wie dort eine signifikante Komponente der Fluidströmung an der Grenzfläche verbleibt.

[0013] Jeder Typ eines Strömungsweges oder Kanals kann verwendet werden, so lange er dazu geeignet ist, Fluid oder Fluidströmung aufzunehmen, beispielsweise ein Kanal, ein Rohr, ein Schlauch, eine Furche, eine Rille, ein Schlitz, eine Bohrung oder jeder andere Typ eines Durchgangs oder Durchgangsweges.

[0014] Die beiden nicht miteinander vermischbaren Fluide werden üblicherweise Flüssigkeiten sein, beispielsweise eine wässrige Lösung und eine organische Lösung. Jedoch kann das eine oder andere der Fluide ein Gas oder ein superkritisches Fluid sein, solange die beiden Fluide nicht miteinander vermischbar sind.

[0015] Jeglicher Wechselwirkungstyp kann zwischen den beiden Fluiden beabsichtigt sein, und obwohl Solventextraktion erwähnt wurde, können andere Wechselwirkungen stattfinden, beispielsweise Wärmeübertragung, Übertragung von Lichtenergie und chemische Reaktionen jeglicher Art, einschließlich Titration und Vorkonzentrierung oder die für eine Vielzahl von Meßtechniken erforderliche Probenentnahme. Diese können Prozesse wie Elektrophorese und Chromatographie einschließen, welche innerhalb mikrotechnischer oder anderer Strukturen durchgeführt werden können, die in konventioneller Art und Weise mit der Vorrichtung verbunden oder mittels ähnlicher Mittel hergestellt sein können und möglicherweise das gleiche Substrat verwenden. Die Vorrichtung kann auch bei biologischen, biomedizinischen und biotechnischen Anwendungen verwendet werden, beispielsweise wo Ströme aus genetischem oder anderem biologischen Material in Fluiden mitgerissen werden und ein erwünschter Austausch, Zusatz oder Bindungsprozesse dazwischen stattfinden. Ein gemeinsames Merkmal in vielen derartigen Prozessen ist, daß die Rate der Grenzflächenübertragung im wesentlichen kontrolliert wird durch die Rate der Diffusionsübertragung einer Einheit innerhalb jeder Phase zu und von der Grenzfläche.

[0016] Somit basiert die vorliegende Erfindung auf dem Konzept der Bereitstellung eines Verfahrens und Mittels, mit denen (1) nicht miteinander vermischbare Fluide zusammengebracht werden und schnell getrennt werden, ohne daß sie ein physisches Gemisch gebildet haben, und (2) die Konzentration einer oder mehrerer Komponenten (Einheiten), die in einer oder beiden Phasen gelöst oder sonst wie enthalten sind, wesentlich durch einen Prozeß geändert wird, welcher die Übertragung zwischen Phasen und diffusiven Transport in einer oder mehreren der Phasen umfaßt.

[0017] Mit "Einheit" ist eine Substanz gemeint, die in einem Fluid gelöst ist, und ebenfalls Wärme, elektri-

sche Ladung und jede andere Komponente oder jeden anderen Parameter einschließt, die/der zur Übertragung zwischen den beiden Fluiden durch diffusive Transportmechanismen in den beiden Fluiden geeignet ist.

[0018] Bei der vorliegenden Erfindung wird eine Grenzfläche gebildet, an der die Fluide unter festgelegten Bedingungen einander kontaktieren, so daß die Grenzfläche trotz Bewegung der Fluide stabil bleibt. Eine Turbulenz in einem Maß, das ausreicht, die Grenzfläche zu zerreißen, sollte an der Grenzfläche nicht vorhanden sein.

[0019] Um von der Oberflächenspannung bestimmt zu werden, sind die Ausdehnungen der Grenzfläche und die charakteristische Eigenschaft des Grenzflächenkontakts mit der umgebenden Struktur in Betracht zu ziehen, wie hierin später verständlich werden wird.

[0020] Um des Wirkungsgrads willen sollten Teile der Fluide im Grenzflächenbereich für eine kurze Zeit in Kontakt miteinander bleiben, so daß der Durchsatz der Fluide maximiert werden kann. Die kontinuierliche Erneuerung der Fluide an der Grenzfläche hat die zusätzlichen Vorteile, daß Neben-Abbaureaktionen zwischen den Fluiden und ihren gelösten Komponenten wie die Hydrolyse von Extraktions-Chemikalien verringert werden sowie die Ansammlung unerwünschter Produkte an der Grenzfläche verringert wird. Gemäß der Erfindung sollten die Fluidabschnitte wünschenswerterweise für eine Zeitdauer in der Größenordnung zwischen 1 und 100 Sekunden oder allgemeiner zwischen 0,1 und 100 Sekunden miteinander in Kontakt bleiben.

[0021] Soweit es Prozesse betrifft, die die diffusive Übertragung über die Grenzfläche umfassen, erfordert eine wesentliche Änderung der Komponentenkonzentration zwischen den Fluiden, daß Teile der Fluide Positionen in dem Grenzflächenbereich hinreichend lang besetzen, damit eine Diffusion der erforderlichen Komponente über der Grenzfläche stattfinden kann. Da die erforderlichen Anstrengungen zur Bildung einer stabilen Grenzfläche die Bildung eines laminaren Strömungsbereichs angrenzend an die Grenzfläche erfordern, beruht der Transport rechtwinklig zur Strömungsrichtung normalerweise auf hauptsächlich diffusiven Migrationsprozessen. Damit wesentlicher diffusiver Transport innerhalb einer kurzen Kontaktzeit (in der Größenordnung von 1 – 100 Sekunden) stattfindet, ist das Ausmaß der Ausdehnung des ersten Fluids orthogonal zur Grenzfläche, durch die Transport stattfindet, begrenzt auf Distanzen in der Größenordnung derer, welche durch Diffusion der übertragenen Einheit innerhalb der Kontaktzeit überquert werden können. Andere Formen des Transports können ebenso stattfinden, beispielsweise die Bewegung geladener Spezies entlang eines elektrischen Feldgradienten über der Grenzfläche.

[0022] Somit sind prinzipielle Faktoren für die Bestimmung der Ausdehnungen der Querschnitte der Strömungswege die Diffusionskoeffizienten der über-

tragenen Einheit innerhalb des ersten und zweiten Fluids. Im allgemeinen hängt die Übertragungsrate einer Einheit über der Grenzfläche von den Diffusionskoeffizienten der übertragenen Einheit in beiden Fluiden ab. Diese Situation ist in etwa analog zum elektrischen Strom durch zwei serielle Widerstände, wobei der Summenwiderstand bei der Bestimmung des sich ergebenden Stroms in Betracht zu ziehen ist.

[0023] In einem extremen Fall, in dem der Diffusionskoeffizient für das zweite Fluid sehr hoch ist, zum Beispiel bei einem Gas, wird die Diffusionsrate in dem zweiten Fluid kein signifikanter Faktor mehr sein, und im wesentlichen ist nur der Diffusionskoeffizient des ersten Fluids in Betracht zu ziehen und daher nur die Breite des ersten Fluid-Strömungsweges. Im anderen Extremfall kann der Diffusionskoeffizient für das zweite Fluid sehr gering sein, so daß es effektiv eine Barriere für die Diffusion über der Grenzfläche bildet, wobei in diesem Fall ein langes Zeitintervall für eine signifikante Diffusion erforderlich sein wird, wobei die Breite des zweiten Fluid-Strömungsweges kein signifikanter Faktor ist.

[0024] Es wurde erkannt, daß erfindungsgemäß die Erfindung deutlicher durch Verwendung einer mathematischen Variable erklärt werden kann, die im allgemeinen bekannt ist. Für Systeme, die zu einer Gleichgewichtsverteilung des Materials durch Diffusion streben, ist der Fortgang eine Funktion des Diffusionskoeffizienten  $D$ , der Zeit  $t$  und der Geometrie und Ausdehnungen des Systems, welche durch eine charakteristische Länge  $l$  in die Richtung des diffusiven Transports repräsentiert werden können. Es kann gezeigt werden, daß die Entwicklung des Diffusionsprozesses durch eine dimensionslose Variable  $Dt/l^2$  beschrieben werden kann (siehe: The Mathematics of Diffusion - J. Crank - Second Edition 1975, Oxford University Press).

[0025] Damit erfindungsgemäß eine signifikante Diffusion stattfindet, sollte eine Übertragung von mindestens 1% und vorzugsweise 50% oder mehr der übertragbaren Einheit stattfinden, welche durch Kontakt der Fluide für sehr lange Zeitdauern in der Abwesenheit von degradierenden Nebenprozessen übertragen werden kann.

[0026] Gemäß der Erfindung, falls  $Dt/l^2 > 0,01$ , beträgt die Übertragung im allgemeinen 1% bis 10% des Maximums bei Gleichgewicht, während, falls  $Dt/l^2 > 0,1$ , die Übertragung in der Größenordnung von 50% oder mehr liegen wird. Somit ist es mittels der Diffusionskoeffizienten von übertragenen Komponenten und den gewünschten Übertragungszeiten möglich, die ungefähren Systemausdehnungen zu bestimmen. Die Diffusionskoeffizienten hängen von Spezies, Medium und Temperatur ab, jedoch strebt für kleine bis mittelgroße Moleküle in flüssigen Medien der Wert von  $D$  zu Werten in der Größenordnung von  $10^{-9}$  bis  $10^{-11} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ . Diffusionskoeffizienten in flüssigen Medien für hochmolekulargewichtige Spezies wie einige Polymere können wesentlichen tiefer lie-

gen, z. B. bei  $10^{-13} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , während Koeffizienten in Gasen im allgemeinen einige Größenordnungen höher sind. Zum Beispiel für eine schnelle ( $\sim 1 \text{ s}$ ), wesentliche Übertragung ( $\sim 50\%$ ) von Spezies mit Diffusionskoeffizienten von  $\sim 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  sollte sich die ungefähre Länge  $l$  für die Ausdehnung rechtwinklig zu der Zwischenfluid-Grenzfläche näherungsweise durch Einsetzen der relevanten Werte für  $D$  und  $t$  in  $Dt/l^2$  und Gleichsetzen des Ausdrucks mit  $0,1$  ergeben. Dieses Beispiel ergibt  $l=32\mu\text{m}$ , obgleich in der Praxis Ausdehnungen im Bereich von  $10$  bis  $100 \mu\text{m}$  angemessen sein können. Es ist ersichtlich, daß allgemeine Werte für ungefähre Ausdehnungen, die, wie für schnelle im wesentlichen diffusive Übertragung beschrieben, durch Verwendung des Ausdrucks  $Dt/l^2$  berechnet wurden, Durchschnittswerte im Bereich von  $10$  bis  $500 \mu\text{m}$  für die Breitenausdehnung in den Strukturen zur Durchführung einer Übertragung zwischen nicht miteinander vermischbaren Fluiden ergeben werden.

[0027] Der obige Ausdruck kann wie folgt umgeschrieben werden:  $1^2 < D t x^{-1}$  worin  $x$  eine numerische Konstante ist mit Werten  $0,1$ ,  $0,01$ , wie oben angegeben, oder  $0,005$  oder höher.

[0028] Somit schafft die Erfindung gemäß einem weiteren Aspekt eine Vorrichtung zur Durchführung eines Prozesses zur Diffusions-Übertragung einer Einheit von einem ersten Fluid zu einem zweiten Fluid, das mit dem ersten Fluid unvermischbar ist, wobei die Vorrichtung einen ersten und einen zweiten Strömungsweg aufweist, um ein laminares Hindurchströmen des ersten bzw. zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide zu ermöglichen, wobei Abschnitte der Kanäle aneinander angrenzend angeordnet sind und in einem Bereich miteinander kommunizieren, der derart ausgebildet ist, daß es den Fluiden möglich ist, eine stabile offene Grenzfläche darin bilden, wobei die an den Grenzflächenbereich angrenzende und zur Grenzfläche rechtwinklige Breite mindestens des ersten Strömungswegs, durch folgende Ungleichung bestimmt ist:  $1^2 < D t x^{-1}$  in der  $D$  der Diffusionskoeffizient der übertragenen Einheit innerhalb des ersten Fluids ist,  $t$  ein Zeitintervall zwischen  $0,1$  und  $100$  Sekunden ist, in dem Fluidanteile eine Position im Grenzflächenbereich einnehmen, und  $x$  eine numerische Konstante größer oder gleich  $0,005$  ist, und wobei Bereiche des genannten ersten und zweiten Strömungswegs außerhalb dieses Grenzflächenbereiches voneinander getrennt sind, um die Strömung der beiden Fluide in den bzw. aus dem Grenzflächenbereich ohne Vermischung zu ermöglichen.

[0029] Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein Verfahren zur Durchführung eines Prozesses für die Übertragung mindestens einer diffundierenden Einheit von einem ersten Fluid in ein zweites, mit dem ersten unvermisches Fluid, wobei das Verfahren folgendes umfasst:

1) Bereitstellung erster und zweiter Strömungsweg mit Abschnitten, die aneinander angrenzen

und in einem Bereich miteinander kommunizieren, in dem die Fluide einander kontaktieren können;

2) Durchströmung des ersten Strömungswegs mit dem ersten Fluid und des zweiten Strömungswegs mit dem zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide, so daß mindestens im genannten Bereich die Strömung beider Fluide im wesentlichen laminar ist und eine stabile, offene Grenzfläche zwischen den Fluiden gebildet wird;

3) wobei mindestens  $1\%$  der gesamten Menge einer diffundierenden Einheit, die von dem ersten Fluid über die Grenzfläche übertragbar ist, in das zweite Fluid übertragen wird und wobei folgende Ungleichung gilt:  $1^2 < D t x^{-1}$  in der  $D$  der Diffusionskoeffizient der diffundierenden Einheit innerhalb des ersten Fluids ist,  $t$  ein Zeitintervall zwischen  $0,1$  und  $100$  Sekunden ist, in dem ein Anteil des ersten Fluids eine Position im Grenzflächenbereich einnimmt,  $1$  die zur Grenzfläche rechtwinklige Breite des ersten Strömungswegs ist, wo dieser an den Grenzflächenbereich angrenzt, und  $x$  eine numerische Konstante größer oder gleich  $0,005$  ist, und

4) Ein- und Ausströmung der Fluide durch ihre jeweiligen Strömungsweg in den bzw. aus dem Grenzflächenbereich ohne Vermischen der Fluide.

[0030] Es ist zu verstehen, daß für die Zwecke der Erfindung die Auswahl eines Fluids als das erste Fluid und die des anderen als das zweite Fluid völlig willkürlich ist und die vorgenannten Aussagen gleichermaßen auf das zweite Fluid anzuwenden sind. Häufig wird es der Fall sein, daß diffusiver Transport in beiden Fluiden signifikant ist, wobei in diesem Fall die Auswahl der Breitenausdehnungen für beide, die ersten und zweiten Strömungen, Gegenstand der gleichen Ungleichung sein wird.

[0031] Es liegt innerhalb des Rahmens dieser Erfindung, daß ein Strömungsweg oder Kanal derartige Ausdehnungen aufweisen kann, daß er effektiv ein statisches Fluidreservoir für die Wechselwirkung mit dem Fluid, welches in dem anderen Kanal strömt, bildet. Jedoch, wo eine Strömung in einem oder beiden Kanälen erforderlich ist, sollten die eine Strömung aufweisenden Kanäle hinreichend klein dimensioniert sein, daß das Auftreten einer im wesentlichen laminaren Strömung in dem an die Grenzfläche angrenzenden Bereich erzwungen wird. Es liegt innerhalb des Rahmens dieser Erfindung, daß ein kontrolliertes Maß an Turbulenz in eine oder beide Flüssigkeiten eingeführt wird, vorausgesetzt, daß die Grenzfläche zwischen den Fluiden nicht übermäßig zerrissen wird. Ein Zerreißen der Grenzfläche zwischen den Fluiden durch turbulente Strömungen wird somit vermieden. Dort, wo eins der beiden Fluide ein Gas ist, ist es akzeptabel, daß innerhalb dieses Fluids nahe der Grenzfläche ein gemäßigtes Maß an Turbulenz vorhanden ist.

[0032] Der Grenzflächenbereich ermöglicht die Übertragung der Spezies, ohne die Vermischung zwischen den beiden Fluiden zu fördern. In den meisten Fällen ist es beabsichtigt, daß beide Phasen kontinuierlich strömen. Jedoch könnte es sich in einigen Situationen als vorteilhaft erweisen, eine oder beide der Phasen pulsieren zu lassen.

[0033] In Systemen mit zwei Fluid-Phasen ist die Stabilität der Grenzfläche durch Druckdifferenzen zwischen den zwei Phasen begrenzt. Derartige Druckdifferenzen entstehen durch nicht exakt zusammenpassende Druckgradienten in der Richtung der Strömung aufgrund von unterschiedlichen Ausdehnungen der Kanäle und unterschiedlichen Fluidviskositäten. Die Ausdehnungen, über welche die Grenzfläche eine Druckdifferenz ungleich Null stabil aushalten kann, sind begrenzt durch die Grenzflächenspannung zwischen den beiden Phasen und die Benetzbarkeit der Kanalwand-Materialien durch die zwei Phasen. Es ist möglich, die Grenzfläche durch Kontrolle der wirksamen Ausdehnungen und durch Kontrolle angrenzender fester Oberflächen zu stabilisieren.

[0034] Zur Stabilisierung einer offenen Grenzfläche zwischen Fluiden können die beiden Kanäle aus unterschiedlichen Materialien mit unterschiedlichen Benetzungseigenschaften gebildet sein (zum Beispiel Glas, Silizium, Stahl, Polypropylen, Nylon) oder deren Oberflächen können in dem Bereich der Grenzfläche profiliert sein und insbesondere kann die Grenzfläche eingeengt sein, um die seitlichen Ausdehnungen des Zwischenfluid-Kontakts einzuschränken, oder durch Verwendung einer Kombination dieser Faktoren.

[0035] Durch Anordnung einer Änderung des Oberflächentyps oder der Geometrie an oder innerhalb einer Öffnung zwischen Kanälen ist es möglich, den Kontakt der Zwischenfluid-Grenzfläche mit festen Oberflächen festzulegen oder seine Bewegung einzuschränken, so daß für ein festlegbares Intervall von Druckdifferenzen über der Grenzfläche keine oder nur sehr geringe Bewegung dieses Kontakts vorhanden ist. Wie dies praktisch erreicht werden kann, wird weiter unten ausführlicher beschrieben.

[0036] Es ist möglich, daß die Ausdehnungen der Grenzfläche viel kleiner sind als die der Kanäle, beispielsweise ein enger Schlitz oder Schlitze oder eine Anordnung von Öffnungen, die eine Wand zwischen zwei Seite an Seite laufenden Kanälen durchstoßen. Jedoch wird es gemäß der Erfindung vorzugsweise der Fall sein, daß die Breite der Grenzfläche gleich oder nicht weniger als sagen wir ein Zwanzigstel der entsprechenden Ausdehnung des Kanals ist, um sicherzustellen, daß in Bezug auf die Menge des vorhandenen Fluids eine möglichst große Grenzfläche verfügbar ist, um eine schnelle Wechselwirkung an der Grenzfläche sicherzustellen.

[0037] Verschiedene Konfigurationen von Grenzflächenbereichen sind denkbar. Beispielsweise können in einer bevorzugten Ausführungsform die Kanäle

oder Strömungswege über eine erhebliche Länge Seite an Seite verlaufen, wobei sich die Grenzfläche über die ganze oder einen wesentlichen Teil der Länge erstreckt. In einer anderen bevorzugten Ausführungsform können die beiden Kanäle in parallelen Ebenen angeordnet sein und jeder eine zickzackförmige oder verwundene Konfiguration aufweisen. An Stellen, wo die beiden Kanäle übereinander liegen, wird eine Grenzfläche gebildet, so daß die gewünschte Wechselwirkung zwischen den beiden Fluiden über eine Anzahl von Öffnungen stattfindet.

[0038] Solange ein Grenzflächenbereich zwischen den beiden Kanälen gebildet wird, können die beiden Kanäle in drei Dimensionen relativ zueinander in jede Richtung verlaufen. Somit kann man sich in einem Vielfach-Kanalsystem eine dreidimensionale gitterförmige Struktur mit Vielfachverbindungen von einem Kanal zu Kanälen in unterschiedlichen Ebenen vorstellen.

[0039] Die ersten und zweiten Kanäle oder Strömungswege können durch Zusammenbau oder Überlagerung von Substraten gebildet werden, in die Merkmale, welche Durchgangswege für Fluide definieren, geätzt, eingepreßt, geschnitten oder sonst wie als Ausnehmungen oder in Form anderer Strukturen ausgebildet sind, wie Furchen, seitenoffene Kanäle oder Rohre oder Schläuche, ausgedehnte Vertiefungen, Rinnen, Rillen oder Kratzer in der Oberfläche eines Substrats, oder als Schlitze oder Durchgänge durch Substratplättchen oder als Dichtungen, die von anderen Substratschichten eingeschlossen sind. Die Substrate können eine ebene schichtenartige Form aufweisen oder können komplexere, dreidimensionale Strukturen sein, einschließlich Stäbe oder andere prismatische Strukturen, welche in Löcher oder Bohrungen eingefügt oder eingefüllt sind, die in und möglicherweise durch Substratblöcke verlaufen oder welche auf der Oberfläche von Substratblöcken ausgebildet sind, einschließlich in derartige Löcher oder Bohrungen eingepaßte Gewindestäbe, wobei derartige Löcher und Bohrungen, falls gewünscht, entsprechende Gewinde aufweisen. Derartige Stäbe, Bohrungen und Strukturen mit Gewinde können derartige Ausnehmungen, Rillen, Furchen oder andere erforderliche Strukturen tragen, die erforderlich sind, um einen Zusammenbau der Untereinheiten, welche Kanäle mit Zwischenfluid-Kontaktbereichen bilden, zu ermöglichen.

[0040] Die Ausdehnungen der Kanäle sind vereinbar mit mikrotechnischen Verfahren; geeignete Verfahren umfassen chemisches Ätzen, Galvanisieren, Laserverarbeitung und die Verwendung phototechnisch verarbeitbarer Gläser; besondere Verfahren werden unten beschrieben.

[0041] Wo es gewünscht ist, mehr als zwei der nicht miteinander vermischbaren Fluide zu verarbeiten, sind unterschiedliche Konfigurationen vorstellbar, um die verschiedenen Kanäle miteinander zu koppeln. Bei einer Anordnung können zwei Kanäle einen Grenzflächenbereich für eine erste Wechselwirkung

zwischen ersten und zweiten Fluiden bilden, und stromab dieses Bereichs wird eine weitere Grenzfläche mit einem dritten Kanal gebildet, um eine Wechselwirkung eines dritten Fluids mit dem ersten oder zweiten Fluid zu ermöglichen. Bei einer anderen Anordnung können drei Kanäle Grenzflächen mit jedem anderen Kanal in einem gemeinsamen Bereich bilden, so daß eine gewünschte Komponente aufeinander folgende Transporte von einem ersten Fluid zu einem dritten Fluid über das zweite Fluid durchlaufen kann. Gemäß der Erfindung kann im Prinzip jede beliebige Anzahl von Fluiden verarbeitet werden. Bei einer derartigen Anordnung, in der ein zweiter Fluidweg, der ein zweites Fluid trägt, Fluidwege auf gegenüberliegenden Seiten aufweist, die getrennte Grenzflächen mit dem ersten Fluidweg bilden, kann die Breite des ersten Fluidweges breiter sein als die zuvor genannten Grenzwerte, tatsächlich zweimal so breit wie breit bei gleichzeitiger Bewahrung einer adäquaten Diffusion, da Diffusion in dem ersten Fluid in zwei gegenüberliegenden Richtungen zu den gegenüberliegenden Grenzflächen stattfinden kann. Im allgemeinen und wenn der zweite Fluidströmungsweg derart gebildet wird, daß in dem Grenzflächenbereich mehr als ein Grenzflächengebiet zwischen ersten und zweiten Fluiden vorhanden ist, ist der erste Fluidströmungsweg derart, daß kein Bereich des ersten Fluidströmungswegs weiter als (i) eine Distanz zwischen 10 und 500 Mikrometern oder (ii) eine Distanz (1) gemäß der Ungleichung  $l^2 > D t x^{-1}$  vom nächsten Grenzflächengebiet entfernt ist, wobei die Symbole die oben beschriebenen Bedeutungen aufweisen.

[0042] Falls es erforderlich ist, vergleichsweise große Mengen von Flüssigkeit zu verarbeiten oder in anderen Fällen des komplexen Verarbeitens, wie unten genauer beschrieben, ist es möglich, eine große Anzahl von Fluidströmungswegen zu verwenden, die eine große Anzahl von Grenzflächenbereichen bilden, wobei jeder Grenzflächenbereich hier als Prozeßelement bezeichnet wird, so daß eine große Anzahl von mikroskopischen Fluidmengen gleichzeitig verarbeitet werden kann. Eine große Anzahl der erfindungsgemäßen Vorrichtungen kann sehr kostengünstig hergestellt werden, und sie ist daher eine praktische Lösung, um große Flüssigkeitsmengen zu verarbeiten.

[0043] Demnach wird gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ein System zur Verarbeitung von Mengen erster und zweiter Fluide, welche nicht miteinander vermischbar sind, geschaffen, umfassend eine Vielzahl von Prozeßelementen, wobei jedes Prozeßelement Vorrichtungen aufweist, die erste und zweite Strömungswegen aufweisen, um ein Hindurchströmen des ersten bzw. zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide zu ermöglichen, wobei Abschnitte der Strömungswegen nahe zueinander oder aneinander angrenzend angeordnet sind und miteinander in einem Bereich kommunizieren, der derart gestaltet ist, daß es den Fluiden möglich ist, eine stabile offene Grenzfläche darin zu bilden, und wobei

mindestens der erste Strömungsweg in dem Grenzflächenbereich eine Breite rechtwinklig zu der Grenzfläche entweder (i) innerhalb des Bereichs von 10 bis 500 Mikrometern oder (ii) eine Entfernung (1), bestimmt aus der Ungleichung  $l^2 < D t x^{-1}$  aufweist, wobei die Symbole die oben beschriebenen Bedeutungen aufweisen.

[0044] Gemäß einem noch weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Durchführung eines Prozesses zwischen ersten und zweiten Fluiden, welche nicht miteinander vermischbar sind, geschaffen, wobei das Verfahren folgendes umfaßt:

- 1) Bereitstellung erster und zweiter Strömungswegen, die Abschnitte aufweisen, welche aneinander angrenzen und in einem Bereich miteinander kommunizieren, in dem die Fluide einander kontaktieren können;
- 2) Durchströmung des ersten Strömungswegs mit dem ersten Fluid und des zweiten Strömungswegs mit dem zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide, so daß mindestens im genannten Bereich die Strömung beider Fluide im wesentlichen laminar ist und eine stabile offene Grenzfläche zwischen den Fluiden gebildet wird;
- 3) Ermöglichung der signifikanten Übertragung einer gewünschten Einheit an der genannten Grenzfläche zwischen den beiden Fluiden;
- 4) Strömung der Fluide aus dem Grenzflächenbereich über ihre jeweiligen Strömungswegen ohne Vermischung der Fluide; und
- 5) wobei der genannte Grenzflächenbereich ein einzelnes Prozeßelement bildet, und Bereitstellung einer Vielzahl derartiger Prozeßelemente, welche die gleichzeitige Verarbeitung der Fluide innerhalb jedes Prozeßelementes ermöglicht.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0045] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nun unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0046] **Fig. 1 a** und **1 b** schematische Projektionsansichten einer ersten Ausführungsform sind, wobei **Fig. 1 b** Querschnittsansichten von Kanälen entlang der Linien A-A und B-B der **Fig. 1 a** zeigt;

[0047] **Fig. 2a** und **2b** schematische Projektionsansichten einer zweiten Ausführungsform der Erfindung sind, wobei **Fig. 2b** eine Querschnittsansicht von Kanälen entlang der Linien A-A und B-B aus **Fig. 2a** zeigt;

[0048] **Fig. 3a** und **3b** schematische Projektionsansichten einer dritten Ausführungsform der Erfindung sind, wobei **Fig. 3b** Querschnittsansichten der Kanäle entlang der Linien A-A und B-B aus **Fig. 3a** zeigt;

[0049] **Fig. 4 bis 6** schematische Ansichten von Anordnungen zur Fixierung der Position der Flüssigkeitsgrenzfläche an einer gewünschten Stelle zwischen den Kanälen sind;

[0050] **Fig. 7** ein Diagramm ist, welches das Verfahren zur Bildung der oben beschriebenen Ausführungsformen zeigt.

rungsformen zeigt;

[0051] **Fig. 8a** und **8b** schematische Perspektiv- und Schnittansichten einer vierten Ausführungsform der Erfindung sind;

[0052] **Fig. 9a** und **9b** schematische Projektionsansichten einer fünften Ausführungsform der Erfindung sind, wobei **Fig. 9b** Querschnittsansichten von Kanälen entlang der Linien A-A und B-B aus **Fig. 9a** zeigt;

[0053] **Fig. 1Q** eine schematische Ansicht einer sechsten Ausführungsform der Erfindung ist, in die Elektrodenstrukturen aufgenommen sind;

[0054] **Fig. 11 a** bis **11 f** schematische Ansichten von Ausführungsformen sind, die eine Vielzahl von Kanälen und Grenzflächenbereichen umfassen; **Fig. 12** eine weitere Ausführungsform der Erfindung zeigt, die zwei Kanäle mit einer Vielzahl von Grenzflächenbereichen umfaßt;

[0055] **Fig. 13** ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist, die eine Vielzahl von Prozeßelementen in einer seriellen/parallelen Konfiguration verwendet, wobei **Fig. 13a** Fluidströmungswege in voneinander getrennten Substraten und **Fig. 13b** die Substrate und Strömungswege überlagert zeigt, um Prozesselemente zu bilden; und

[0056] **Fig. 14** ein schematisches Diagramm einer auseinander gezogenen Perspektivansicht einer letzten Ausführungsform der Erfindung ist, die eine Vielzahl von Prozeßelementen in einer parallelen Strömungsanordnung verwendet.

#### Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0057] Nun bezugnehmend auf die in **Fig. 1** dargestellte erste bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist dort ein erster Kanal **11** und ein zweiter Kanal **12** dargestellt, die in einem Siliziumsubstrat **13** ausgebildet sind. Die obere Oberfläche der Kanäle ist durch eine Glasplatte **14** verschlossen, die mit dem Siliziumsubstrat **13** verbunden ist. Wie dargestellt, weisen die Kanäle gekrümmte konvergierende Einlaufbereiche **15** auf, erstrecken sich zueinander parallel und aneinander angrenzend in einem Kontaktbereich **16**, der eine Länge von ca. 500 Mikrometern aufweist, und weisen gekrümmte divergierende Ausflußbereiche **17** auf. In dem Kontaktbereich **16** ist die trennende Wand zwischen den Kanälen entfernt, so daß der Querschnitt, wie in **Fig. 1b** dargestellt, die Form eines einfachen Rechtecks mit einer Breite von 200 Mikrometern und einer Höhe von 100 Mikrometern aufweist, wogegen die Querschnitte der Kanäle in den konvergierenden und divergierenden Bereichen quadratisch sind mit einer Breite von 100 Mikrometern und einer Höhe von 100 Mikrometern.

[0058] Bei Verwendung wird eine erste unter laminaren Strömungsbedingungen durch den ersten Kanal **11** fließende Flüssigkeit in Kontakt mit einem hiermit nicht vermischbaren Fluid gebracht, das unter laminaren Strömungsbedingungen im zweiten Kanal **12** fließt. Eine im Kontaktbereich **16** geformte stabile

offene Grenzfläche zwischen den beiden Flüssigkeiten stellt ein Mittel dar, durch das ein diffusiver Prozeß, beispielsweise die Stoffübertragung (Solventextraktion) eines gelösten Stoffes von einer Flüssigkeit zur anderen, stattfindet. Die Bedingungen sind derart, daß mindestens 1% des in der einen Flüssigkeit vorhandenen gelösten Stoffes über die Grenzfläche zu der anderen Flüssigkeit diffundiert. Nachfolgend strömen die Flüssigkeiten ohne Vermischung aus dem Grenzflächenbereich in die Ausflußbereiche **17**. [0059] Nun bezugnehmend auf **Fig. 2** ist die zweite Ausführungsform ähnlich der aus **Fig. 1** und ähnliche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Jedoch sind die Querschnitte der Kanäle modifiziert um halbkreisförmige Ausnehmungen mit einer Breite von 100 Mikrometern und einer Tiefe von 50 Mikrometern zu approximieren. Der Kontaktbereich **16** ist dadurch modifiziert, daß er den in **Fig. 2b** gezeigten Querschnitt mit einem zentralen Steg **18** aufweist, wobei der Querschnitt gekrümmt ist und zwei Minima **19** bei einer Tiefe von 50 Mikrometern unter der Oberfläche des Substrates und einen Abstand von 50 Mikrometern von den Wänden des Kontaktbereichs sowie 25 Mikrometer oberhalb der Minima ein zentrales Maximum am dem Steg **18** aufweist. Mit dieser Variation des Querschnitts wird die Stabilität der Grenzfläche, wie unten genauer beschrieben, in dem Kontaktbereich verbessert, um sicherzustellen, daß Bedingungen für einen stabilen Kontakt zwischen den beiden Fluiden ohne physisches Vermischen der ersten und zweiten Fluide hergestellt werden können.

[0060] In den Ausführungsformen aus **Fig. 1** und **Fig. 2** beträgt die gezeigte Länge der Grenzfläche **500** Mikrometer. Jedoch kann sie größer sein, nämlich 1 mm oder sogar bis zu 2 cm, um eine angemessene Kontaktzeit zwischen den beiden Fluiden herzustellen.

[0061] Wenn miteinander nicht vermischbare Fluide miteinander in Kontakt gebracht werden und anschließend voneinander getrennt werden, ist es notwendig, daß die Geometrie der Fluide und der Grenzfläche beschränkt sind. Es ist eine allgemeine Beobachtung, daß dort, wo die Schichtdicken hinreichend groß sind, in der Größenordnung von Zentimetern, die Geometrien der Fluidphasen und die Grenzflächenposition im allgemeinen durch die Schwerkraft dominiert werden, wobei das Fluid mit der geringeren Dichte das dichtere überlagert, und die Ebene der Grenzfläche im wesentlichen im rechtem Winkel zur Richtung des Schwerkräftfeldes angeordnet ist. Für den Bereich von Dichte-Unterschieden und Grenzflächenanspannungen, welche normalerweise unvermischbaren Fluiden zugänglich sind, einschließlich Flüssigkeits-/Gassysteme, werden Oberflächenanspannungseffekte für Ausdehnungen unterhalb einiger Millimeter dominant und beeinflussen im wesentlichen die Schichtdicken im Bereich von 10 bis 500 Mikrometern, der für die Anwendung der vorliegenden Erfindung interessiert. Somit wird die Grenzflä-



chenposition zwischen den Fluiden für die Schichten- ausdehnungen, welche für den schnellen diffusiven Transport geeignet sind, hauptsächlich von Oberflächen- spannungseffekten wie Grenzflächenspannung und Kontaktwinkeln beeinflusst. Die Verwendung dieser Effekte, um gewünschte Grenzflächenpositionen zu erreichen, erfordert die Verwendung von ausge- wählten Strukturen und Dimensionen und von Mate- rialien mit ausgewählten Kontaktwinkelbereichen.

[0062] Festgelegte Grenzflächenpositionen können durch Bereitstellung von Einschnürungen, durch Än- derungen im Kontaktwinkel und durch Kombination dieser Faktoren erreicht werden.

[0063] Damit Fluide fließen, ist es notwendig, Druckgradienten entlang der Fluidwege bereitzustel- len, und es ist unvermeidbar, daß sich über der Grenzfläche einige Druckdifferenzen einstellen. Es ist wünschenswert, daß sich eine Grenzflächenkrüm- mung entwickelt, um derartige Druckdifferenzen zu unterstützen, die sich während ihrer Verwendung ohne übermäßige Okklusion des Durchgangs eines Fluids durch ein anderes und ohne Bildung von Tröpf- chen oder Blasen eines Fluids innerhalb eines ande- ren einstellen. Dies kann mittels Einschnürungen und/oder Änderungen der Materialoberflächen, wie unten beschrieben, erreicht werden.

[0064] Da die beiden verwendeten Lösungsmittel oft Wasser und Kohlenwasserstofflösungsmittel sind, ist es möglich, den Grenzflächenbereich durch Aus- bildung eines Kanals aus einem Material mit einer hy- drophoben Oberfläche und des anderen Kanals aus einem Material mit einer hydrophilen Oberfläche oder durch Beschichtung eines Kanals mit einer hydro- phoben Schicht und des anderen mit einer hydrophi- len Schicht zu stabilisieren. Die Strömung von Was- ser wird dann natürlicherweise dazu neigen, zu der hydrophilen Seite des Kontaktbereiches geleitet zu werden und die Strömung der Kohlenwasserstofflö- sung zu der hydrophoben Seite.

[0065] Nun Bezugnehmend auf **Fig. 3** ist die dritte Ausführungsform der ersten und zweiten Ausführ- ungsform in vielerlei Hinsicht ähnlich, und ähnliche Teile sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeich- net. Ein wesentlicher Unterschied ist, daß ein erster Kanal **31** in einem unteren Siliziumsubstrat **13** ausge- bildet ist und auf seiner inneren Oberfläche eine Be- schichtung **32** aus hydrophobem Material aufge- bracht ist. Ein zweiter Kanal **33** ist in einem oberen Glassubstrat **34** ausgebildet und seine Oberfläche ist natürlicherweise hydrophil. Wie in **Fig. 3b** zu sehen, liegen in dem Kontaktbereich **16** der erste und zweite Kanal übereinander, so daß der Grenzflächenbereich sich horizontal dazwischen erstreckt. Jeder Kanal ist als einfaches rechteckiges 50 Mikrometer-Quadrat dargestellt, jedoch kann er in einem anderen Beispiel auch halbkreisförmig sein.

[0066] Die in dem Grenzflächenbereich vorhande- nen Bedingungen in **Fig. 3** sind genauer in **Fig. 4** dargestellt, welche einen Querschnitt durch die Grenzfläche **40** zweier Fluide **42, 44** darstellt, die

senkrecht zur Papierebene strömen und von paralle- len Wänden **46, 48** eingeschlossen werden, die durch eine Distanz  $d$  voneinander getrennt sind, wel- che hinreichend kurz ist, so daß der Einfluß der Schwerkraft, wie oben dargelegt, vernachlässigt wer- den kann, wobei das Wandmaterial oder die Oberflä- che **47, 49** an jeder Seite der erwünschten Grenzflä- chenposition unterschiedlich ist. In **Fig. 4** weisen die beiden Flüssigkeiten Drücke  $P_1$  bzw.  $P_2$  auf, und die Grenzfläche **40** weist einen Radius mit einer Krüm- mung  $r$  auf. Der Druckunterschied  $\Delta P = (P_1 - P_2)$  ist umgekehrt proportional zu dem Krümmungsradius, und für eine Grenzfläche zwischen den beiden Flui- den, welche in Richtung der Strömung verlängert ist, kann er beschrieben werden wie folgt:  $\Delta P = \gamma/r$ , wobei  $\gamma$  die Grenzflächenspannung der beiden Fluide ist.

[0067] Zusätzlich kann gezeigt werden (wie oben dargelegt kann der Einfluß der Schwerkraft vernach- lässigt werden), daß die Bedingung für eine statische Grenzfläche zwischen den beiden Fluiden, die zwi- schen Wänden mit Abstand  $d$  eingeschlossen ist, und wobei der Gleichgewichts-Kontaktwinkel zwi- schen der Fluid-Grenzfläche und dem Wandmaterial  $\Theta$  ist, wie folgt gegeben ist:  $\Delta P = \gamma d / (2 \cos \Theta)$  Somit gibt es nur einen einzelnen Wert der Druckdifferenz  $\Delta P$ , für die die Grenzfläche unbeweglich sein wird, falls der Wandabstand  $d$  und der Kontaktwinkel  $\Theta$  feste einzelne Werte aufweisen. Unter derartigen Bedin- gungen wird es schwierig, die Grenzflächenposition an einer gewünschten Position zu fixieren. In der Pra- xis kann bei realen Systemen eine Hysterese des Kon- taktwinkelwerte dazu führen, die Grenzfläche zu ver- anlassen, in einer Position zu verbleiben; jedoch im allgemeinen nicht da, wo sie am meisten erwünscht ist.

[0068] In **Fig. 4** sind die Gleichgewichts-Kontakt- winkel für die beiden Fluide mit Oberflächen **47** und **49** durch  $\theta_A$  und  $\theta_B$  repräsentiert. Zwischen Oberflä- chen aus Material **46** (links der in **Fig. 4** gezeigten Grenzflächenposition) wird sich eine Grenzfläche bewegen, es sei denn, daß die Druckdifferenz  $\Delta P_A = \gamma d / (2 \cos \theta_A)$  ist. Ähnlich wird zwischen Oberflächen aus Material **49** eine Grenzfläche für alle Druckdiffe- renzen außer  $\Delta P_B = \gamma d / (2 \cos \theta_B)$  beweglich sein. Jedoch wird an der Verbindung zwischen den Materia- lien **47** und **49** eine Änderung im Kontaktwinkel vor- handen sein, so daß ein Intervall von Kontaktwinkeln und Druckdifferenzen existiert, für die sich die Kon- taktposition der Grenzfläche zur festen Oberfläche nicht ändern wird. Diese Festlegungsbedingung wird erfüllt, solange der Kontaktwinkel an, der Verbindung von Oberflächentypen  $\theta_j$  zwischen  $\theta_A$  und  $\theta_B$  liegt, was einem begrenzten Druckdifferenz-Intervall ent- spricht. Somit wird eine festgelegte Grenzfläche vor- handen sein, solange die Druckdifferenz über der Grenzfläche  $P_1 - P_2$  den folgenden Ausdruck erfüllt:  $\Delta P_A < (P_1 - P_2) < \Delta P_B$ .

[0069] In ähnlicher Weise beziehend auf **Fig. 5**, welche einen Querschnitt durch eine Verbin- dung zwischen zwei Kanälen **50, 52** von unterschied-

lichen Breiten  $d_A$ ,  $d_B$  darstellt, wobei für alle Wänden angenommen wird, daß sie aus dem gleichen Material bestehen und der Gleichgewichts-Kontaktwinkel  $\theta$  sich nicht ändert, bezeichnen die Druckdifferenzen  $\Delta P_A$  und  $\Delta P_B$  der Fluide **54**, **56** in den jeweiligen Kanälen **52**, **50** einzelne Werte der Unbeweglichkeit in den breiten und engen Abschnitten. Am Eingang **57** des engen Abschnitts ist ein Druckintervall zum Festlegen gegeben durch:  $\Delta P_A = \gamma d_A / (2 \cos \theta) < (P_1 - P_2) < \Delta P_B = \gamma d_B / (2 \cos \theta)$  Für Strukturen, die wie in **Fig. 2** gezeigt gebildet und in **Fig. 6** vergrößert dargestellt sind, wird Stabilität durch Einengung der Grenzfläche, wie gezeigt, erreicht. Da jedoch die Grenzflächeneinengung nicht so abrupt ist, wie in **Fig. 5**, wird eine kleine Bewegung der Grenzfläche mit Druckvariationen innerhalb der stabilen Grenzen vorhanden sein.

[0070] Bezugnehmend nun auf **Fig. 7** ist dort ein Verfahren zur Bildung der Kanalstrukturen, die in **Fig. 2** und **6** dargestellt sind, gezeigt. Bei einer ersten Stufe A wird ein 1 mm dickes Siliziumsubstrat **70** bereitgestellt. In Schritt B wird ein Silizium-Oxynitridfilm **72** auf beiden Seiten des Substrats gezüchtet. In Schritt C wird eine Photoresist-Schicht **74** auf die obere Oberfläche des Substrats mittels eines Schleuderverfahrens aufgebracht. In Schritt D wird ein gewünschtes Muster auf der Photoresist-Schicht **74** mittels eines photolithographischen Prozesses mit einem Positivresist entwickelt, um wie gezeigt die Ausgangskonfiguration der Kanäle durch 10 Mikrometer breite Kanäle mit einem Abstand von 50 Mikrometern zu schaffen.

[0071] In Schritt E wird der Silizium-Oxynitridfilm **72**, wie bei **77** durch Plasmaätzen geätzt, um die Kanalpositionen zu bilden, und in Schritt F wird die Photoresist-Schicht **74** entfernt, wodurch geätzte Ausnehmungen in dem Silizium-Oxynitridfilm von 10 Mikrometern Breite mit einem Abstand von 50 Mikrometern dazwischen verbleiben, wie in **Fig. 7a** dargestellt, die eine Draufsicht der Struktur von F ist.

[0072] Wie in Schritt G gezeigt, ätzt ein isotroper Ätzprozeß das Silizium in den Spalten **76** weg, um so immer verbreiternde Ausnehmungen in dem Siliziumsubstrat (wie durch die punktierten Linien dargestellt) zu schaffen, welche sich irgendwann an einem zentralen Punkt **78** treffen. Der Ätzprozeß schreitet fort bis, wie in Schritt H gezeigt, ein zentraler Treffpunkt **78** bei einer vorbestimmten Entfernung unterhalb der oberen Substratoberfläche erreicht wird. Diese Struktur ist dann so wie in **Fig. 2** und **Fig. 6** dargestellt.

[0073] In Schritt I ist eine glasförmige Abdeckplatte **80** aus Glas anodisch mit der Oberfläche des Substrats mittels eines bekannten Verfahrens umfassend Wärme, Druck und eine hohe Spannung verbunden.

[0074] Nun Bezugnehmend nun auf **Fig. 8** ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung dargestellt. Die Ausführungsform umfaßt einen Metallblock **100** mit einer röhrenförmigen Bohrung **101** darin, in die ein passender, röhrenförmiger Glasstab **102** eingeführt ist. Die Bohrung **101** weist eine sich axial erstre-

ckende Ausnehmung **103** in ihrer Peripherie auf, welche einen ersten Fluid-Strömungsweg bildet. Der Stab **102** weist eine ähnlich geformte Ausnehmung **104** in seiner Peripherie auf, welche einen zweiten Fluid-Strömungsweg bildet. Wie in **Fig. 8b** dargestellt, bilden die beiden Fluidströmungswege einen gemeinsamen Grenzflächenbereich **105**, wenn der Stab in die Bohrung eingeführt ist. Wie dargestellt, sind die beiden Strömungswege zueinander versetzt, so daß der Grenzflächenbereich sich nur über eine Hälfte der Breite der Fluidströmungswege erstreckt. Dieses Verfahren der Bildung eines Grenzflächenbereiches **105**, welcher enger ist als jeder der Kanäle, ist ein einfaches Verfahren zur Bildung des Grenzflächenbereiches, da es lediglich von einer geometrischen Verschiebung der Fluidströmungswege abhängt und nicht von einer Bearbeitung einer Einschnürung im Grenzflächenbereich.

[0075] Verschiedene Modifikationen der in **Fig. 8** dargestellten Ausführungsformen sind möglich. So können beispielsweise die Ausnehmungen **103**, **104** als Schraubengewinde ausgebildet sein, die sich um die Oberflächen des Stabes und der Bohrung erstrecken. Alternativ kann eine Vielzahl sich axial erstreckender Ausnehmungen sowohl in dem Stab als auch in der Bohrung ausgebildet sein, und der Stab und die Bohrung können andere Querschnitte als die in **Fig. 8** dargestellte kreisförmige Form aufweisen.

[0076] Nun bezugnehmend auf die in den **Fig. 9a** und **9b** dargestellte Ausführungsform, ist ein erster Fluidströmungsweg **111** in einem Siliziumsubstrat **112** ausgebildet und weist auf seiner inneren Oberfläche eine Beschichtung **113** aus einer hydrophoben Substanz auf. Ein oberes Glassubstrat **114** weist zweite und dritte Fluidströmungskanäle **115**, **116** auf, die darin als halbkreisförmige Ausnehmungen ausgebildet sind. Wie in **Fig. 9a** dargestellt, ist der Strömungsweg **111** eine gerade Linie, wohingegen die zweiten und dritten Strömungswege **115**, **116** konvergierende Einströmbereiche **117** und divergierende Ausströmbereiche **118** aufweisen. In einem zentralen Kontaktbereich **119** sind alle drei Strömungswege parallel zueinander und, wie in **Fig. 9b** dargestellt, überlappen die zweiten und dritten Strömungswege **115**, **116** teilweise den ersten Strömungsweg **113** und bilden erste und zweite Grenzflächenbereiche **120** und **121**. Zweite und dritte Wege **115**, **116** sind voneinander durch einen Stegbereich **122** getrennt, welcher auf seiner Oberfläche eine hydrophobe Beschichtung **123** aufweist.

[0077] Es ist daher verständlich, daß diese Ausführungsform ein Verfahren bereitstellt zur Herbeiführung des gegenseitigen Kontakts zwischen Fluiden, welche nicht miteinander vermischbar sind, für den diffusiven Transport zwischen den drei Fluiden in den beiden Grenzflächenbereichen **120**, **121**. Die zu Strömungsweg **111** versetzte Anordnung der Strömungswege **115**, **116** in dem zentralen Kontaktanordnungsbereich schafft ein einfaches Verfahren zur geometrischen Bestimmung der Breite des Grenzflächenbe-

reichs **120, 121**.

[0078] Ein spezielles Beispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung wird nun gegeben:

#### BEISPIEL

[0079] Geometrie der Vorrichtung: Eine Glasschicht ist mit der Oberfläche einer Siliziumlage verbunden. In die einander gegenüberliegenden Oberflächen geätzte Fluidströmungskanäle überdecken sich teilweise, um einen Grenzflächenbereich zu schaffen. Das Glas ist geätzt und ist  $88\mu\text{m} \times 37\mu\text{m}$  tief. Der Siliziumkanal ist  $60\mu\text{m}$  breit und  $53\mu\text{m}$  tief. Das Glas und das Silizium sind so angeordnet, daß eine Überdeckung von  $28\mu\text{m}$  zwischen den Kanälen vorhanden ist und die gesamte Länge der Grenzfläche 1 cm beträgt (dies tatsächlich in 4 Abschnitten).

[0080] Chemie: Eine organische Phase, enthaltend Fe (III) in einer Mischung von 5 Gew.-% Tributylphosphat und 95% Xylol strömt in einem Kanal der Kontaktanordnung und eine 3M-Chlorwasserstoffsäure strömt in dem zweiten Kanal. Flußraten wurden unter Zuhilfenahme der hydrostatischen Drücke an den Einläufen kontrolliert. Die Flußrate der organischen Phase lag bei circa 1 cc pro Tag und die der wässrigen Phase circa bei der Hälfte dieses Wertes. Keine Vermischung der beiden Phasen wurde beobachtet. Eine Analyse der wässrigen, aus dem Glaskanal fließenden Phase ergab eine FE (III)-Konzentration von 0,035M. Zum Vergleich die TBP/Xylol/Fe(III)-Phase wurde mit 3M-HCL in dem Verhältnis 2 : 1 gemischt. Eine Analyse der wässrigen Phase, nachdem sich die resultierende Emulsion abgesetzt hatte, ergab eine FE(III)-Konzentration von 0,16M. Der Wirkungsgrad des Prozesses in der Kontaktanordnung lag damit bei ca. 22%.

[0081] Nun bezugnehmend auf **Fig. 10**, ist eine weitere Ausführungsform der Erfindung dargestellt, in der Teile, die ähnlich zu denen aus **Fig. 1** sind, mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind. Kanäle **11, 12** weisen Einlauföffnungen **130, 131** bzw. Auslassöffnungen **132, 133** auf. Angrenzend an jede Öffnung sind drei Elektroden a, b, c angeordnet, die durch Leitungen **134** mit Anschlußelementen (Lötungen) **136** verbunden sind. Die Elektroden, Leitungen und Anschlußelemente werden durch Auftragung eines Metallfilms auf die Oberfläche des Substrats **13** gebildet, wobei die Elektroden a, b durch Auftragung von Platin und die Elektrode c durch Auftragung von Iridium gebildet werden. In dieser Geometrie ist die Leitfähigkeit der Lösung, bestimmt durch das Paar der Platinelektroden a, b, wohingegen die Iridiumelektroden c verwendet werden, um den lokalen pH durch Messung des Potentials relativ zur Referenzelektrode (nicht dargestellt) zu bestimmen. Die Platinelektroden a, b können verwendet werden, um das Potential der Lösung entweder relativ zu dem in einem anderen Arm der Kontaktanordnung oder relativ zu einer Referenzelektrode (nicht dargestellt) zu

messen. Die gleichen Elektroden können verwendet werden, um eine amperometrische Messung durchzuführen, bei der die zur Oxidation oder Reduktion einer besonderen Spezies erforderliche Ladung bestimmt wird.

[0082] Die Strukturen gemäß der Erfindung können elektrisch leitende, halbleitende oder ionisch leitende Elektrodenstrukturen oder Verbindungen aufweisen, welche die Fluidströmungen kontaktieren. Diese können für Mess- oder Überwachungszwecke oder für die Einwirkung auf oder die Einstellung von Parametern, welche die Funktion der Kontaktanordnung kontrollieren, vorhanden sein, z. B. Redox-Bedingungen, die auf Verteilungskoeffizienten einwirken. Eine Vielfalt von Prozessen unter Verwendung von Elektroden und/oder leitenden Verbindungen ist unten dargestellt.

[0083] Elektroden oder leitende Verbindungen können als Drähte, Filme oder Kanäle auf nicht-leitenden Materialien oder diese durchdringend ausgebildet oder definiert sein, welche die Kanalwände oder Substrate bilden, in denen die Strömungswege gebildet sind, oder können Teil des Substratmaterials sein, in dem die Strömungswege ausgebildet sind, oder können im wesentlichen kontinuierliche Beschichtungen auf derartigem Substratmaterial sein. Elektroden oder leitenden Verbindungen können entfernt von den Öffnungen, in denen Zwischen-Fluidkontakt hergestellt wird, gebildet werden und die Strömungswege kontaktieren, einschließlich der Verbindungen zu dem Fluid über derartige Eintrittsöffnungen von Verteilern, wie sie verwendet werden, um Fluid den Kontaktanordnungen zuzuführen oder von den Kontaktanordnungen abzuziehen, und innerhalb von Kanälen zwischen derartigen Öffnungen und den Grenzflächenbereichen. Ähnlich können Elektroden oder leitende Verbindungen ebenfalls in den Bereichen der Strömungswege angrenzend an die Zwischenfluid-Grenzfläche oder diese kontaktierend ausgebildet oder angeordnet werden.

[0084] Elektroden oder Gruppen von Elektroden oder leitenden Verbindungen zu den Strömungsweegen können zur Messung der Präsenz von Strömung und Flußraten mittels verschiedener Mittel verwendet werden, einschließlich die Leitfähigkeit von Lösungen zwischen Elektroden, Strömungspotentialen und Überwachung und/oder Erzeugung von Pulsen von Spezies innerhalb der Strömung, wie oxidierten oder reduzierten Ionen, Blasen oder Partikel, einschließlich biologische Zellen.

[0085] Elektroden oder Gruppen von Elektroden oder leitende Verbindungen zu den Strömungswegen können verwendet werden zur Messung und Überwachung der Präsenz verschiedener Spezies innerhalb der Strömung durch Messung der Leitfähigkeit der Lösung, des Redox-Potentials, des pH und anderer konzentrationsbezogener Potentiale oder durch Durchführung von amperometrischen Messungen mit oder ohne Potentialabtaster oder Stufen. Die Anzahl und Ausdehnungen der Inhomogenitäten, ein-

schließlich Partikel innerhalb der Strömung, können durch Messung von Änderungen in der Leitfähigkeit zwischen Elektroden mit der Zeit erhalten werden.

[0086] Elektroden oder Gruppen von Elektroden oder leitende Verbindungen zu den Strömungswegen können verwendet werden, um auf die Flußraten entlang den dünnen Strömungskanälen mittels elektro-osmotischer und ähnlicher elektrokinetischer Effekte einzuwirken. Flüsse oder Pulse von Ionen zu oder von dem Grenzflächenbereich können durch derartige Elektroden oder Verbindungen verwendende Elektrophorese erzeugt oder modifiziert werden.

[0087] Elektroden, die Fluide in den Strömungswegen kontaktieren, können verwendet werden, um die Redox-Bedingungen innerhalb der Strömungen durch Elektroreduktion oder Elektrooxidation von Spezies zu verändern, z. B. durch Konvertierung zwischen  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$ , wodurch die Konzentration der Spezies in den Fluiden und die Verteilung zwischen den nicht miteinander vermischbaren Fluiden verändert wird. Elektroden und leitende Verbindungen können verwendet werden, um das Anlegen elektrischer Feldern an und über einem Grenzflächenbereich zu ermöglichen, wodurch der Transport zu und von der Grenzfläche und der Transport über die Grenzfläche von ausgewählten Einheiten, insbesondere ionischen Spezies, gefördert oder gehemmt wird.

[0088] Die Eigenschaften von Fluiden und Feststoffen an der Grenzfläche, einschließlich Absorption einiger Spezies, Grenzflächenspannung und Kontaktwinkel zu festen Oberflächen können durch Anlegen von Feldern oder mittels Redox-Bedingungen modifiziert werden. Elektroden oder leitende Verbindungen können somit verwendet werden, um die Spannung an der Grenzfläche und Kontaktwinkel-Parameter zu modifizieren, und dadurch das Festlegen und die Position einer Grenzfläche und damit auch das Strömungsmuster zu verändern. Im Extremfall kann dieser Effekt dazu verwendet werden, ein Fluid dazu zu veranlassen, in den Kanal einzutreten, der normalerweise von einem anderen besetzt ist, und Mittel zum Schalten von Fluid und zur Erzeugung von segmentierten Strömungen zu schaffen.

[0089] Weitere elektrische Verbindungen zu leitenden Fluiden ermöglichen den Durchgang von Strom, welcher eine lokale Erwärmung erzeugt, die temperaturabhängige Parameter der Lösungen und der Oberflächen, die von den Lösungen kontaktiert werden, modifiziert. Alternativ können widerstandsbehaftete elektrische Verbindungen innerhalb der Struktur der Strömungswege oder diese berührend verwendet werden, wobei sie die Fluide nicht elektrisch kontaktieren, um Abschnitte der Vorrichtung zu erwärmen. Ähnlich kann die Intergration von Verbindungen zu geeigneten halbleitenden Verbindungen innerhalb des Körpers der Vorrichtung oder diesen berührend verwendet werden, um Abschnitte der Vorrichtung zu erwärmen oder abzukühlen.

[0090] Magnetische Felder können innerhalb einer Vorrichtung angewendet werden sowie Feldleitvor-

richtungen, die in der Vorrichtung integriert sind, und die Modifikation des Transports magnetischer Materialien oder Spezies, einschließlich Spezies in Verbindung mit magnetischen Mikropartikeln ermöglichen. Strömungen können durch Einsatz von Magneto-Hydrodynamischen Phänomenen induziert oder modifiziert werden.

[0091] Optische Zwischenverbindungen durch Leitvorrichtungen oder optische Fasern, können hergestellt werden, um sich mit Fluidströmungen, angrenzend an den Grenzflächebereich oder anderswo, zu schneiden. Diese können für Spezies-Identifizierung, Messung und Überwachung und für die Erzeugung von Spezies durch Photoanregung und photochemische Reaktionen verwendet werden. Die Erzeugung von kurzlebigen Spezies durch photochemische und/oder elektrochemische Mittel nahe dem Grenzflächenbereich kann ihre schnelle Übertragung in ein zweites Fluid für die nachfolgende Stabilisation oder Reaktion ermöglichen.

[0092] Nun bezugnehmend auf die **Fig. 11a** und **Fig. 11b** ist eine Ausführungsform der Erfindung dargestellt, in der zwei äußere Kanäle **138** ein erstes Fluid führen, wobei ein dritter Zwischenkanal **140** ein zweites, unvermisches Fluid führt. In einem zentralen Grenzflächenbereich **142** (in **Fig. 11 a** im Schnitt dargestellt), kommuniziert der dritte Kanal **140** auf jeder der beiden gegenüberliegenden Seiten des Kanals in zwei Grenzflächengebieten **144** mit ersten und dritten Kanälen **138**. Die Breite des dritten Kanals **140** in dem Grenzflächenbereich liegt bei 1000 Mikrometern, wohingegen die der Kanäle **138** bei 500 Mikrometern liegt. Kein Abschnitt des Kanals **140** liegt weiter als 500 Mikrometer von einem Grenzflächenbereich **144** entfernt.

[0093] **Fig. 11c** und **Fig. 11d** sind Drauf- und Seitenschnittansichten einer Ausführungsform, mit einer dreidimensionalen Gitterstruktur, die aus einem rechteckigen Block **150** gebildet ist, der eine Vielzahl von Substratschichten **152** umfaßt. Erste Strömungswege **154** erstrecken sich vertikal abwärts und jeder Weg weist eine Vielzahl von Grenzflächenbereichen **156** entlang seiner Länge auf. Zweite Strömungswege **158** erstrecken sich horizontal, wobei jeder zweite Strömungsweg eine Vielzahl von Grenzflächenbereichen **156** entlang seiner Länge aufweist. Das Ergebnis ist ein sehr kompaktes System zur Behandlung vergleichsweise großer Fluidmengen.

[0094] **Fig. 11e** und **Fig. 11f** zeigen eine weitere dreidimensionale gitterförmige Struktur. Die **Fig. 11e** ist eine schematische perspektivische Ansicht von zwei beabstandeten parallelen Platten **160**, **162**, die jeweils eine regelmäßige Anordnung **164**, **166** von darin gebildeten Öffnungen aufweist, wobei die Öffnungen in den gegenüberliegenden Platten jeweils zueinander ausgerichtet sind. **Fig. 11f** ist eine bruchstückartige Schnittansicht durch die Platten, welche die Platten mit profilierten Oberflächen zeigt. Bei Verwendung fließt ein erstes unvermisches Fluid in Schichten **172**, **174** über und unter den Platten **160**,

**162** und ein zweites nicht vermischbares Fluid fließt in einer Schicht **176** zwischen den Platten **160**, **162**. Durch das Ausrichten der Öffnungen **164**, **166** fließt die erste Flüssigkeit unter geeigneten Bedingungen kontinuierlich von der ersten Schicht **172** durch die ausgerichteten Öffnungen zur Schicht **174**, wobei eine blasenartige Formation **178** gebildet wird, welche stabil ist. Die äußere Oberfläche der Blase **178** bildet eine rohrähnliche Grenzfläche **180** mit der zweiten Flüssigkeit, um einen Prozeß der diffusiven Übertragung zwischen den beiden Flüssigkeiten zu ermöglichen. In bezug auf die Ausdehnungen liegt der Durchmesser der Öffnungen **164**, **166** bei 1000 Mikrometer oder weniger, und der Abstand zwischen den Platten **160**, **162** ist eine Ausdehnung, welche durch die Natur der Flüssigkeiten bestimmt wird, wobei das hauptsächliche Ziel ist, die Stabilität der Blasen **178** zu bewahren und gleichzeitig eine deutliche Menge der diffusiven Übertragung über den Grenzflächen **180** zu ermöglichen. Die röhrenförmige Grenzfläche **180** kann effektiv als aus einer Vielzahl von elementaren Grenzflächenbereichen bestehend betrachtet werden, und kein Abschnitt des ersten Fluidströmungswegs im Grenzflächenbereich ist weiter als 500 Mikrometer von einem Grenzflächenbereich entfernt.

[0095] Während **Fig. 11** Anordnungen zur Schaffung eines kompakten Systems mit einer sehr großen Anzahl Grenzflächenbereichen offenbart, um die Verarbeitung großer Flüssigkeitsmengen zu ermöglichen, kann es erwünscht sein, die Ausführungsformen, so wie in bezug auf **Fig. 1** beschrieben, anzupassen, so daß sie in einer regelmäßigen Anordnung verwendet werden können, in der jeder Grenzflächenbereich ein einzelnes Prozeßelement in der regelmäßigen Anordnung bildet. Es gibt zwei Basiskonfigurationen für eine derartige regelmäßige Anordnung:

1. Parallele Systeme: Die hauptsächliche Anwendung für diese Geometrie sind Situationen, in denen eine signifikante Produktionsmenge des Materials erforderlich ist. Da der Ertrag eines einzelnen Prozeßelementes wahrscheinlich nur in der Größenordnung von Milligramm oder nur Mikrogramm pro Stunde liegt, ist eine Anzahl von parallel angeordneten Vorrichtungen in nahezu allen Situationen außer Analyseanwendungen erforderlich. Neben der Erhöhung des chemischen Ertrags des Systems eröffnen parallele Systeme auch die Möglichkeit der Redundanz, welche in einer Vielzahl von Situationen erwünscht ist.

2. Serielle Systeme: Hier gibt es zwei wesentliche Anwendungen:

i) Als ein Verfahren zur Stabilisierung des Systems. Die Kontaktlänge zwischen den beiden Fluiden in einem Prozeßelement wird bestimmt von den Strömungseigenschaften der Fluide, den Transporteigenschaften der verschiedenen Spezies und der Kinetik der Stoffübertragungsreaktionen. In einigen Situationen kann es unmöglich sein, die erforderliche Länge

in einem einzelnen Prozeßelement zu erreichen, so daß es notwendig wird, die Grenzfläche in eine Vielzahl von Abschnitten zu unterteilen. In einigen Situationen kann dies am besten durch Verbindung einer Anzahl von Kontaktanordnungen in Serie erreicht werden. Ferner wird bei einigen Anwendungen eine deutliche Menge von chemischen Spezies übertragen werden, was zu großen Änderungen in der Dichte und der Viskosität der nicht miteinander vermischbaren Phasen führt und was umgekehrt die Strömungseigenschaften der Flüssigkeiten ändert. Es mag daher wünschenswert sein, den Prozeß in eine Anzahl von Stufen zu unterteilen, innerhalb derer die Fluideigenschaften nur mäßige Änderungen erfahren. Die für jede Stufe verwendete Mikro-Kontaktanordnung kann daher für einen begrenzten Bereich von Flüssigkeitseigenschaften optimiert werden.

ii) Sequentielle Verarbeitung. In einigen Situationen kann eine Anzahl von sequentiellen Prozessen erforderlich sein. Beispielsweise nach einer ersten Extraktion von der wässrigen zu der organischen Phase mag es wünschenswert sein, einige der übertragenen Spezies zurück in eine zweite wässrige Phase zu übertragen. Dies kann durch Verwendung einer Serie von Kontaktanordnungen realisiert werden. Bei einem anderen Beispiel kann es nach einer ersten Extraktion von einer wässrigen zu einer organischen Phase, welche unvollständig sein mag, wünschenswert sein, wieder von der wässrigen Phase in eine frische organische Phase zu extrahieren und diesen Prozeß möglicherweise mehrere Male zu wiederholen, um die Extraktion von der wässrigen Phase zu vervollständigen. Dies kann durch Verwendung einer Serie von Kontaktanordnungen erreicht werden. Andere Situationen können die Dosierung einer Serie von Reagenzien von einer Serie von Lösungsmitteln über unvermischbare Fluid-Grenzflächen umfassen, um beispielsweise die Stärke einer Säure zu ändern und Indikatoren in einem chemischen Titrationsprozeß hinzuzufügen.

[0096] Ein Beispiel eines seriellen Systems unter Bezugnahme auf 2(i) oben ist in **Fig. 12** dargestellt, worin ein erster Kanal **190** eine sinusförmige Konfiguration aufweist und einen geraden zweiten Kanal **192** an einer Anzahl von Schnittpunkten **1941**, **1942...194n** schneidet. Eine derartige Struktur wird durch Anordnung des ersten Kanals **30** in der oberen Oberfläche eines Substrats und des zweiten Kanals **192** in der unteren Oberfläche eines Substrats und Überlagern der beiden Substrate gebildet. Die Grenzfläche zwischen den beiden Kanälen ist somit als Serie von kleinen Grenzflächenbereichen ausgebildet, wobei jeder einen rechteckigen Querschnitt aufweist, der der Breite der Kanäle gleicht, die 50 Mikrometer beträgt. Jeder Grenzflächenbereich kann als Prozeßelement betrachtet werden. Eine derartige Struktur wird verwendet, wenn ein weniger viskoses Fluid in Kontakt mit einem viskoserem Fluid gebracht wird. Das viskosere Fluid wird durch den zweiten Ka-

nal **192** geführt, wohingegen das weniger viskose Fluid, das in dem sinusförmigen Kanal strömt, und die korrekte Druckdifferenzen an jeder Grenzfläche bewahren kann. Somit wird ein Druckverlust entlang der Länge eines jeden Kanals vorhanden sein, und der Druckverlust wird in dem viskoserem Fluid für eine gegebene Länge des Kanals größer sein. Somit können durch Anordnung einer größeren Kanallänge zwischen jedem Grenzflächenpunkt für das weniger viskose Fluid die Druckdifferenzen zueinander angepaßt werden, um somit die Stabilität in der gesamten Vorrichtung zu erhalten.

[0097] Nun bezugnehmend auf die in **Fig. 13** dargestellte Ausführungsform ist dies ein oben unter 2(ii) beschriebenes Beispiel sequentieller Verarbeitung, bei der eine Flüssigkeitsphase in Kontakt zu mehreren Strömungen der zweiten Phase kommt. Kanäle **202, 204** sind als Ausnehmungen in den jeweiligen Oberflächen der beiden Siliziumsubstrate **206, 208** ausgebildet, wie in **Fig. 13a** dargestellt. Wie in **Fig. 13b** dargestellt, sind die Substrate übereinander angeordnet, so daß die Kanäle **202, 204** überlagert werden, um einen Grenzflächenbereich bei **210** zu bilden, wobei jeder Grenzflächenbereich ein Prozeßelement bildet. Es ist daher ersichtlich, daß jeder Kanal **202, 204** eine Reihe von Serien mit einander verbundener Prozesselemente enthält, in denen der gewünschte diffusive Übertragungsprozeß mit getrennten Strömungen von Fluid in dem anderen Kanal **204** oder **202** durchgeführt werden kann.

[0098] Der hauptsächliche Nutzen dieser Geometrie ist es, eine große Kontaktfläche zwischen den beiden Phasen zu gewährleisten. In diesem Fall wird angenommen, daß die Zusammensetzung jeder der beiden Phasen die gleiche über alle Kanäle, die diese Phase enthalten, ist. Jedoch kann es in einigen Situationen vorteilhaft sein, die Eigenschaften einer Phase zu ändern, um beispielsweise Rückextraktion zu erlauben. Beispielsweise bei der Trennung des Eisen (III) von Eisen (II) kann Eisen (III) von der wässrigen zur organischen Lösung übertragen werden, wobei Eisen (II) in der wässrigen Lösung verbleibt, und dann kann Eisen (III) durch Rückextraktion in eine zweite wässrige Phase mit einer Änderung der Stärke der Säure oder des Oxidationsstatus zurückgewonnen werden. Dies könnte durch geeignete Auswahl der Fluide in den voneinander getrennten Kanälen durchgeführt werden.

[0099] Bezugnehmend auf die in **Fig. 14** dargestellte Ausführungsform ist dies ein Beispiel eines parallelen Systems, wie unter 1 oben beschrieben, und schafft ein effektives Mittel der parallelen Verbindung einer großen Anzahl von Kontaktanordnungen oder Prozesselementen **220**. Es ist erwünscht, die Prozesselemente in einer Weise zu verbinden, daß sie alle den gleichen Druckverlust erfahren und somit die gleichen Strömungsbedingungen aufweisen. Ferner besteht bei Verwendung von Fluiden, welche Partikel enthalten, ein gewisses Risiko, daß die engen Kanäle blockiert werden, so daß es wichtig ist, ein System zu

entwerfen, bei dem sich jegliche Blockade nur auf eine minimale Anzahl von Prozeßelementen auswirkt. Prozesselemente **220** werden aus einer Vielzahl von flachen Platten **222** hergestellt, welche aus Metall, Glas, Keramik, Polymer oder einem anderen Material hergestellt sind, welches kompatibel zu dem stattfindenden chemischen Prozeß ist. Jedes Prozesselement **220** umfaßt erste und zweite Fluidströmungswege **224, 226**, welche Einlässe **228, 230** und Auslässe **232, 234** aufweisen. In einem zentralen Grenzflächenbereich **236** kontaktieren die Strömungswege **224, 226** einander in einem Grenzflächenbereich, in dem eine stabile offene Grenzfläche zwischen den beiden Flüssigkeiten gebildet ist. Die Konfiguration ist ähnlich der in **Fig. 1** dargestellten. Die Einlässe **228, 230** und Auslässe **232, 234** der Kontaktanordnung sind als Öffnungen ausgebildet, welche direkt durch die Platte hindurch verlaufen. Bei Verwendung werden die Platten übereinander gestapelt (sie sind aus Gründen der Klarheit voneinander beabstandet), wobei die Öffnungen ausgerichtet sind, so daß sie breite Leitungen **240** bilden, welche ungefähr rechtwinklig zu den Ebenen, welche die Kontaktanordnungen enthalten, ausgerichtet sind. Die Ebenen werden dann durch Klemmen, adhäsives Binden, Schmelzen oder jedes andere geeignetes Verfahren zusammengehalten, welches eine fluiddichte Dichtung gewährleistet. Obwohl das Diagramm nur ein Prozesselement pro Platte zeigt, ist es beabsichtigt, daß eine Anzahl derartiger Prozesselemente auf jeder Platte hergestellt werden kann, entweder durch Erhöhen der Anzahl der Öffnungen in der Platte oder durch Verbindung von mehr als einem Prozesselement mit jeder Öffnung.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Durchführung eines Diffusionsübertragungs-Verfahrens zwischen einem ersten und einem zweiten Fluid, welche nicht miteinander vermischbar sind, mit einem ersten und einem zweiten Strömungsweg (**11, 12, 31, 33, 50, 52, 103, 104, 111, 115, 138, 140, 154, 158, 172, 174, 176, 190, 192, 202, 204, 224, 226**) zum Ermöglichen eines laminaren Hindurchströmens des ersten bzw. zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide, wobei Abschnitte der Strömungswege aneinander angrenzend angeordnet sind und in einem Bereich (**16, 105, 119, 120, 121, 142, 156, 1941, 1942, 194n, 210, 236**) miteinander kommunizieren, der derart ausgebildet, ist, daß die Fluide eine stabile offene Grenzfläche (**40, 57, 144, 180**) darin bilden, und wobei mindestens der erste Strömungsweg im Grenzflächenbereich eine Breite (rechtwinklig zur Grenzfläche) im Bereich von 10 bis 500 Mikrometern aufweist und wobei Abschnitte des ersten und zweiten Strömungswegs außerhalb dieses Grenzflächenbereiches voneinander getrennt sind (**15, 17, 117, 118**), um die Strömung der beiden Fluide in den bzw. aus dem Grenzflächenbereich ohne Vermischen zu ermöglichen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der zweite Fluidströmungsweg eine zur Grenzfläche rechtwinklige Breite im Bereich von 10 bis 500 Mikrometern aufweist.

3. Vorrichtung zur Durchführung eines Diffusions-Übertragungs-Verfahrens einer Einheit von einem ersten Fluid zu einem zweiten Fluid, das mit dem ersten Fluid unvermischbar ist, mit einem ersten und einem zweiten Strömungsweg (**11, 12, 31, 33, 50, 52, 103, 104, 111, 115, 138, 140, 154, 158, 172, 174, 176, 190, 192, 202, 204, 224, 226**) zur Ermöglichung eines laminaren Hindurchströmens des ersten bzw. zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide, wobei Abschnitte der Kanäle aneinander angrenzend angeordnet sind und in einem Bereich (**16, 105, 119, 120, 121, 142, 156, 1941, 1942, 194n, 210, 236**) miteinander kommunizieren, der derart ausgebildet ist, daß die Fluide eine stabile offene Grenzfläche (**40, 57, 144, 180**) darin bilden, und wobei die zur Grenzfläche rechtwinklige Breite (**1**) mindestens des ersten Strömungswegs, wo dieser an den Grenzflächenbereich angrenzt, von folgender Ungleichung bestimmt wird:  $1^2 < D t x^{-1}$  in der D der Diffusionskoeffizient der übertragenen Einheit innerhalb des ersten Fluids ist, t ein Zeitintervall zwischen 0,1 und 100 Sekunden ist, innerhalb dessen Fluidanteile eine Position im Grenzflächenbereich einnehmen, und x eine numerische Konstante größer oder gleich 0.005 ist, und wobei Abschnitte des ersten und zweiten Strömungswegs außerhalb dieses Grenzflächenbereiches voneinander getrennt sind (**15, 17, 117, 118**), um die Strömung der beiden Fluide in den bzw. aus dem Grenzflächenbereich ohne Vermischung zu ermöglichen.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die zur Grenzfläche rechtwinklige Breite (**1**) des zweiten Strömungswegs, wo dieser an den Grenzflächenbereich angrenzt, von folgender Ungleichung bestimmt wird:  $1^2 < D t x^{-1}$  in der D der Diffusionskoeffizient der übertragenen Einheit innerhalb des zweiten Fluids ist, t ein Zeitintervall zwischen 0,1 und 100 Sekunden ist, innerhalb dessen Fluidanteile eine Position im Grenzflächenbereich einnehmen, und x eine numerische Konstante größer oder gleich 0.005 ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, wobei x größer oder gleich 0,01 ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, wobei x größer oder gleich 0,1 ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei der Diffusionskoeffizient D einen Wert zwischen  $10^{13}$  und  $10^{-9} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei der Diffusionskoeffizient D einen Wert zwischen  $10^{-11}$  und  $10^{-11} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  aufweist.

9. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Höhe des Grenzflächenbereichs in einer zur Fluidströmung rechtwinkligen Richtung zwischen 5 und 200 Mikrometer beträgt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei die Höhe des Grenzflächenbereichs zwischen 5 und 30 Mikrometern beträgt.

11. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Höhe der Grenzfläche in einer zur Fluidströmung rechtwinkligen Richtung ein zwanzigstel oder nicht weniger als ein zwanzigstel der Höhenausdehnung der angrenzenden Strömungswege beträgt.

12. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Oberflächen der genannten ersten und zweiten Strömungswege aus unterschiedlichen Materialien (**32, 47, 49, 113, 123**) mit unterschiedlichen Benetzungseigenschaften bestehen, um die Grenzfläche für einen Bereich von Druckdifferenzen über die Grenzfläche zwischen dem genannten ersten und zweiten Fluid zu stabilisieren.

13. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Oberflächen der Strömungswege im Grenzflächenbereich, angrenzend an eine erwünschte Position der Grenzfläche, strukturiert (**18, 19**) sind, um die Grenzfläche für einen Bereich von Druckdifferenzen über die Grenzfläche zwischen den genannten beiden Fluiden zu stabilisieren.

14. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der genannte erste und zweite Strömungsweg geätzt oder auf anderem Wege als Ausnehmungen auf der Oberfläche eines gemeinsamen Substrats (**13,70**) ausgebildet sind und wobei ein Plattenelement (**14, 80**) an dem Substrat befestigt ist, um zusammen mit den Ausnehmungen den ersten und zweiten Strömungsweg zu bilden.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13 mit einem ersten und zweiten Substratelement (**13, 34, 100, 102, 112, 114, 162, 164**), welche einander gegenüberliegende Oberflächen aufweisen, in denen der erste und zweite Strömungsweg ausgebildet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, wobei der erste Strömungsweg (**103**) als Ausnehmung oder Vertiefung auf der Oberfläche des ersten Substratelements (**100**) ausgebildet ist und wobei der zweite Strömungsweg (**104**) als Ausnehmung oder Vertiefung auf der Oberfläche des zweiten Substratelementes (**102**) ausgebildet ist, wobei diese Oberflächen gegeneinander anliegend angeordnet sind und die Strömungswege zur Ausbildung des Grenzflächenbereichs zumindest teilweise übereinander liegen.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, wobei die Ausdehnungen oder Vertiefungen, die die ersten und zweiten Strömungswege bilden, teilweise zueinander versetzt sind, um einen Grenzflächenbereich mit kleineren Ausdehnungen, als denen der genannten Nuten oder Vertiefungen zu bilden.

18. Vorrichtung nach Anspruch 15, wobei das genannte erste und zweite Substratelement (**160**, **162**) mit einem vorbestimmten Abstand und parallel zueinander angeordnet sind und erste bzw. zweite Gruppierungen von Öffnungen (**164**, **166**) aufweisen, wobei die Öffnungen der Gruppierungen deckungsgleich zueinander sind, wodurch erste Fluidströmungswege (**172**, **174**) gebildet werden, die zwischen den deckungsgleichen Öffnungen verlaufen, und ein zweiter Fluidströmungsweg (**176**) gebildet wird, der zwischen den genannten Substratelementen und parallel hierzu verläuft.

19. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der zweite Fluidströmungsweg so gebildet ist, daß im Grenzflächenbereich mehr als ein Grenzflächengebiet zwischen dem genannten ersten und zweiten Fluid (**142**, **180**) vorhanden ist, und wobei die Breite des ersten Fluidströmungswegs im Grenzflächenbereich derart ist, daß kein Abschnitt des ersten Fluidströmungswegs weiter als (i) zwischen 10 und 500 Mikrometern, oder (ii) eine Distanz (l) gemäß der Ungleichung  $l^2 < D \cdot t \cdot x^{-1}$  von dem nächsten Grenzflächengebiet in einer zu diesem rechtwinkligen Richtung entfernt ist, wobei die Symbole die oben beschriebene Bedeutung haben.

20. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein dritter Strömungsweg (**140**) zur Aufnahme eines dritten Fluids bereitgestellt wird, und wobei ein oder mehr weitere Grenzflächenbereiche (**142**) zur Schaffung ausgewählter Grenzflächen zwischen dem ersten und/oder zweiten und/oder dritten Fluid vorgesehen sind. 21 Vorrichtung nach Anspruch 20, wobei der dritte Fluidströmungsweg hinsichtlich seiner Ausdehnung denselben Einschränkungen unterliegt, wie der erste und/oder der zweite Fluidströmungsweg.

21. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit Elektrodenmitteln (a, b, c), die in oder nahe der Strömungswege angeordnet sind, um ein auf ein oder mehrere Fluide wirkendes elektrisches, magnetisches, oder elektromagnetisches Feld zu messen und zu überwachen und/oder aufzuprägen.

22. System zur Verarbeitung von Mengen erster und zweiter nicht miteinander vermischbarer Fluide, das eine Vielzahl von Prozesselementen (**194n**, **210**, **220**) aufweist, wobei jedes Prozesselement eine Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche aufweist.

23. System nach Anspruch 23, mit Verteilermitteln (**240**) zur Förderung von Fluid zu den bzw. aus den Eingängen und Ausgängen jedes Prozesselements.

24. System nach Anspruch 24, bei dem die genannten Prozesselemente aus einer Anzahl übereinander geschichteter Substrate (**222**) hergestellt sind, wobei der erste und zweite Strömungsweg (**224**, **226**) eines jeden Prozesselementes mit Fluidöffnungen (**240**) kommunizieren, die sich durch den Substratstapel erstrecken.

25. System nach Anspruch 23, mit einem ersten Satz erster Fluidströmungswege (**202**) und einem zweiten Satz zweiter Fluidströmungswege (**204**), wobei die Strömungswege der Sätze derart miteinander kommunizieren, daß bei einem ersten Fluidströmungsweg entlang seiner Länge eine Reihe von beabstandeten Grenzflächenbereichen (**210**) mit den zweiten Fluidströmungswegen angeordnet ist und umgekehrt.

26. System nach Anspruch 26, mit ersten und zweiten übereinander angeordneten Substraten (**206**, **208**), wobei die erste Reihe von Fluidströmungswegen auf der Oberfläche des einen Substrats und die zweite Reihe von Fluidströmungswegen auf einer kontaktierenden Fläche des zweiten Substrats ausgebildet ist. 202, 204, 224, 226) mit Abschnitten, die aneinander angrenzen und in einem Bereich (**16**, **105**, **119**, **120**, **121**, **142**, **156**, **1941**, **1942**, **194n**, **210**, **236**) miteinander kommunizieren, in dem die Fluide einander kontaktieren können;

27. 2) Durchströmung des ersten Strömungswegs mit dem ersten Fluid und des zweiten Strömungswegs mit dem zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide, so daß mindestens im genannten Bereich die Strömung beider Fluide im wesentlichen laminar ist und eine stabile, offene Grenzfläche (**40**, **57**, **144**, **180**) zwischen den Fluiden gebildet wird;

28. 3) wobei mindestens 1% der gesamten Menge einer diffundierenden Einheit, die von dem ersten Fluid über die Grenzfläche übertragbar ist, in das zweite Fluid übertragen wird und wobei folgende Ungleichung gilt:  $l^2 < D \cdot t \cdot x^{-1}$  in der D der Diffusionskoeffizient der diffundierenden Einheit innerhalb des ersten Fluids ist, t ein Zeitintervall zwischen 0,1 und 100 Sekunden ist, innerhalb dessen ein Anteil des ersten Fluids eine Position im Grenzflächenbereich einnimmt, l die zur Grenzfläche rechtwinklige Breite des ersten Strömungswegs ist, wo dieser an den Grenzflächenbereich angrenzt, und x eine numerische Konstante größer oder gleich 0.005 ist, und

29. 4) Ein- und Ausströmung der Fluide durch ihre jeweiligen Strömungswege in den bzw. aus dem



(**15, 17, 117, 118**) Grenzflächenbereich ohne Vermischen der Fluide.

30. Verfahren nach Anspruch 30, wobei für das zweite Fluid und den zweiten Fluidströmungsweg die folgende Ungleichung gilt:  $1^2 < D t x^{-1}$  in der D der Diffusionskoeffizient der diffundierenden Einheit im zweiten Fluid ist und 1 die zur Grenzfläche rechtwinklige Breite des zweiten Strömungswegs ist, wo dieser an den Grenzflächenbereich angrenzt.

31. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, wobei x gleich 0,01 oder größer ist.

32. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, wobei x gleich 0,1 oder größer ist.

33. System nach Anspruch 23, bei dem der zweite Fluidströmungsweg eine zickzackförmige, eine sinusförmige oder eine gebogene Struktur (**190**) aufweist, um somit mit dem ersten Fluidströmungsweg (**192**) eine Serie von Grenzflächenbereichen (**1941, 1942, 194n**) entlang des ersten Fluidströmungswegs auszubilden

34. Verfahren zur Durchführung eines Diffusionsübertragungs-Prozesses zwischen einem ersten und einem zweiten Fluid, welche nicht miteinander vermischbar sind, welches Verfahren folgendes umfaßt:

35. 1) Bereitstellung erster und zweiter Strömungswege (**11, 12, 31, 33; 50, 52, 103, 104, 111, 115, 138, 140, 154, 158, 172, 174, 176, 190, 192, 202, 204, 224, 226**) mit Abschnitten, die aneinander angrenzen und in einem Bereich (**16, 105, 119, 120, 121, 142, 156, 1941, 1942, 194n, 210, 236**) miteinander kommunizieren, in dem die Fluide einander kontaktieren können, wobei mindestens der erste Strömungsweg im Bereich der Grenzfläche eine zur Grenzfläche rechtwinklige Breite zwischen 10 und 500 Mikrometern aufweist;

36. 2) Durchströmung des ersten Strömungswegs mit dem ersten Fluid und des zweiten Strömungswegs mit dem zweiten der nicht miteinander vermischbaren Fluide, so daß mindestens im genannten Bereich die Strömung beider Fluide im wesentlichen laminar ist und eine stabile, offene Grenzfläche (**40, 57, 144, 180**) zwischen den Fluiden gebildet wird;

37. 3) Ermöglichung der Übertragung von mindestens 1% der gesamten Menge mindestens einer diffundierenden Einheit an der genannten Grenzfläche zwischen den beiden Fluiden, und

38. 4) Ein- und Ausströmung der Fluide durch ihre jeweiligen Strömungswege in den bzw. aus dem (**15, 17, 117, 118**) Grenzflächenbereich ohne Vermischen der Fluide.

39. Verfahren zur Durchführung eines Prozesses für die Übertragung mindestens einer diffundierenden Einheit von einem ersten Fluid in ein zweites, mit dem ersten unvermischbares Fluid, welches Verfahren folgendes umfasst:

40. 1) Bereitstellung erster und zweiter Strömungswege (**11, 12, 31, 33, 50, 52, 103, 104, 111, 115, 138, 140, 154, 158, 172, 174, 176, 190, 192,**

41. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 33, wobei der Diffusionskoeffizient D einen Wert zwischen  $10^{-13}$  und  $10^{-9}$   $m^2s^{-1}$  aufweist.

42. Verfahren nach Anspruch 34, wobei der Diffusionskoeffizient einen Wert zwischen  $10^{-11}$  und  $10^{-10}$   $m^2s^{-1}$  aufweist.

43. Verfahren nach Anspruch 29, wobei der zweite Strömungsweg so ausgebildet ist, daß er im Grenzflächenbereich eine zur Grenzfläche rechtwinklige Breite zwischen 10 und 500 Mikrometern aufweist.

44. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 36, wobei der zweite Strömungsweg derart ausgebildet ist, daß im Grenzflächenbereich mit dem ersten Fluidströmungsweg mehr als ein Grenzflächengebiet (**142, 180**) ausgebildet wird, und wobei die Breite des ersten Fluidströmungswegs im Grenzflächenbereich so gestaltet ist, daß kein Abschnitt des ersten Fluidströmungswegs weiter als (i) eine Distanz zwischen 10 und 500 Mikrometern, oder (ii) eine Distanz (**1**) gemäß der obigen Ungleichung von einem Grenzflächengebiet entfernt ist.

45. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 37, umfassend einen dritten Fluidströmungsweg (**140**) und die Bereitstellung ausgewählter Grenzflächenbereiche (**142**) zwischen dem ersten, zweiten und/oder dritten Fluidströmungsweg und Durchströmung des dritten Fluidströmungswegs mit einem dritten Fluid, um ausgewählte Grenzflächen zwischen dem ersten, zweiten und dritten Fluid auszubilden, um die Diffusion von mindestens einer ausgewählten Einheit über diese Grenzflächen zu ermöglichen.

46. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 38, wobei die Fluide Gase, superkritische Fluide und Flüssigkeiten sein können, wobei die ausgewählten Fluide miteinander unvermischbar sind.

47. Verfahren nach Anspruch 39, wobei das erste, zweite und dritte Fluid jeweils eine Flüssigkeit ist.

48. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 40, wobei das erste Fluid eine wässrige Flüssigkeitslösung ist und das zweite Fluid eine organische Flüssigkeit ist, oder umgekehrt.

49. Verfahren nach Anspruch 41, wobei der Prozess eine Solvent-Extraktion mindestens eines gelösten Stoffes aus der wässrigen Lösung in die organische Lösung oder umgekehrt ist.

50. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 42, wobei eins oder mehrere Fluide mittels Elektrodenmitteln in oder nahe der Strömungswege gemessen oder überwacht werden.

51. Verfahren nach einem der Ansprüche 30 bis 45, welches das Aufprägen elektrischer, magnetischer oder elektromagnetischer Felder auf eines oder mehrere Fluide umfasst.

52. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 44, wobei der genannte Grenzflächenbereich mit einer Höhe zwischen 5 und 200 Mikrometern in einer Richtung senkrecht zur Fluidströmung gebildet wird.

53. Verfahren nach Anspruch 45, wobei der Grenzflächenbereich eine Höhe zwischen 5 und 30 Mikrometern aufweist.

54. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 46, wobei die genannte Grenzfläche mit einer Höhe in einer zur Fluidströmung rechtwinkligen Richtung gebildet wird, die gleich oder nicht weniger als ein zwanzigstel der Höhenausdehnung der angrenzenden Strömungswege ist.

55. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 47, wobei Oberflächen der genannten ersten und zweiten Strömungswege bereitgestellt werden, welche unterschiedliche Materialien (**32, 47, 49, 113, 123**) mit unterschiedlichen Benetzungseigenschaften aufweisen, um die Grenzfläche für einen Bereich von Druckdifferenzen über die Grenzfläche zwischen den genannten ersten und zweiten Fluiden zu stabilisieren.

56. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 48, wobei Strömungswegoberflächen in dem genannten Grenzflächenbereich geschaffen werden, welche Oberflächen nahe einer gewünschten Position der Grenzfläche strukturiert (**18, 19**) sind, um die Grenzfläche für einen Bereich von Druckdifferenzen über die Grenzfläche zwischen den beiden genannten Fluiden zu stabilisieren.

57. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 49, wobei eine Vielzahl von Prozesselementen (**194n, 210, 220**) bereit gestellt wird, wobei jedes Prozesselement einen Grenzflächenbereich aufweist und wobei das genannte Verfahren die simultane Verarbeitung der Fluide innerhalb jedes Prozesselementes erleichtert.

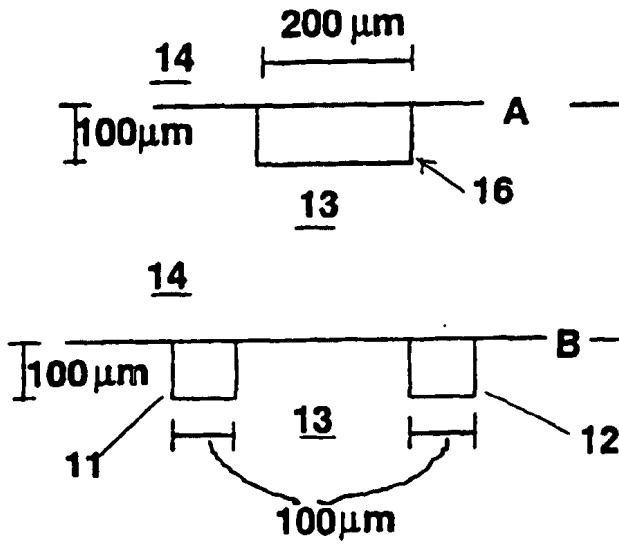
58. Verfahren nach Anspruch 50, umfassend das Bereitstellen eines ersten Satzes erster Fluidströ-

mungswege (**202**) und eines zweiten Satzes zweiter Fluidströmungswege (**204**), wobei die Strömungswege der Sätze derart miteinander kommunizieren, daß bei einem ersten Fluidströmungsweg entlang seiner Länge eine Reihe von beabstandeten Grenzflächenbereichen (**210**) mit den zweiten Fluidströmungswegen angeordnet ist und umgekehrt.

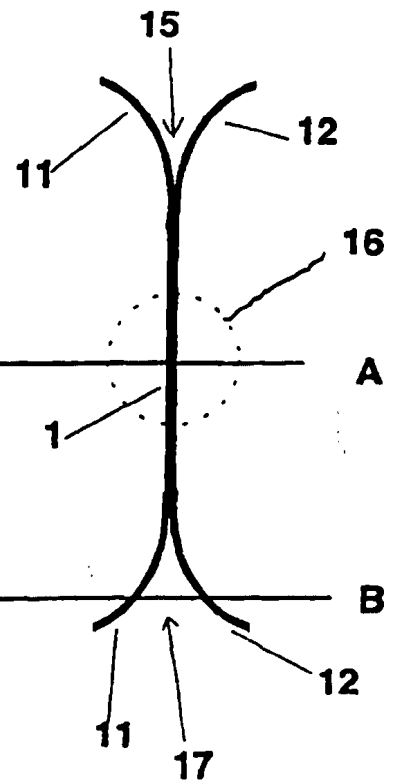
59. Verfahren nach Anspruch 50, umfassend das Bereitstellen des ersten und zweiten Fluidströmungswegs derart, daß der genannte zweite Fluidströmungsweg eine zickzackförmige, eine sinusförmige oder eine wellenförmige Struktur (**190**) aufweist, um mit dem genannten ersten Fluidströmungsweg (**192**) eine Reihe von Grenzflächenbereichen (**1941, 1942, 194n**) entlang der ersten Fluidströmungswege zu bilden.

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

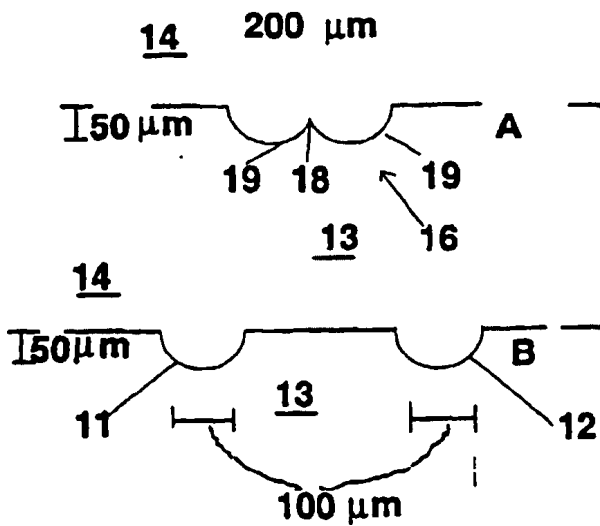
Figur 1b



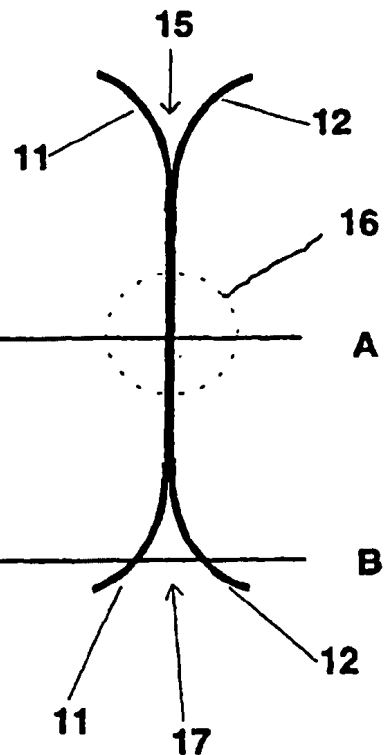
Figur 1a

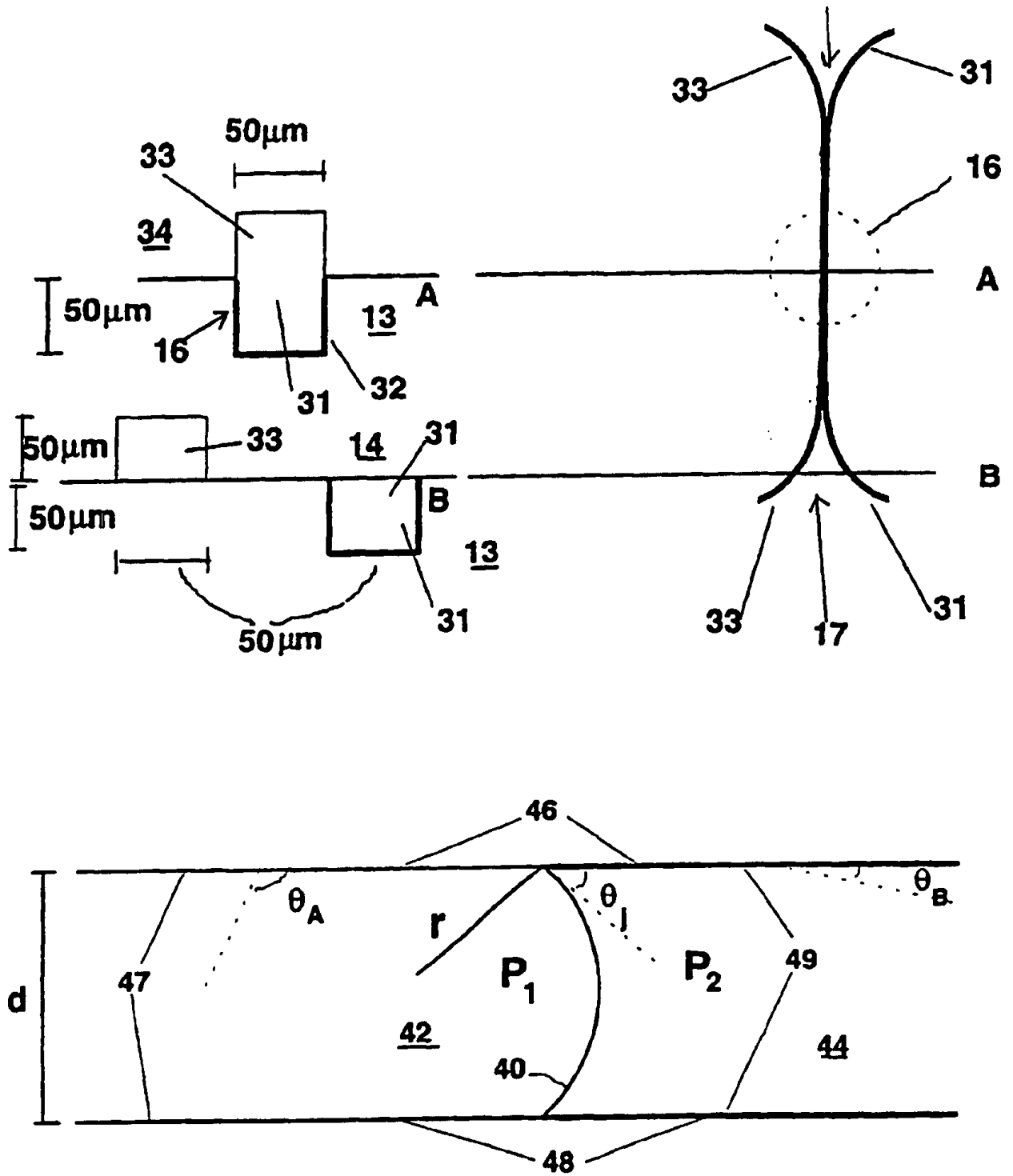


Figur 2b

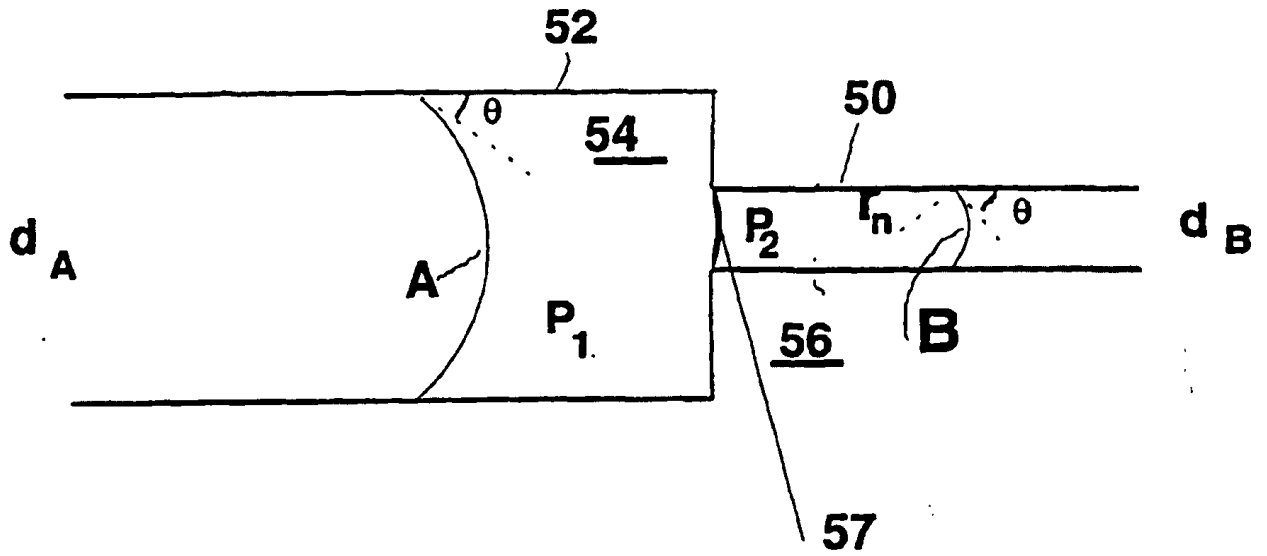


Figur 2a

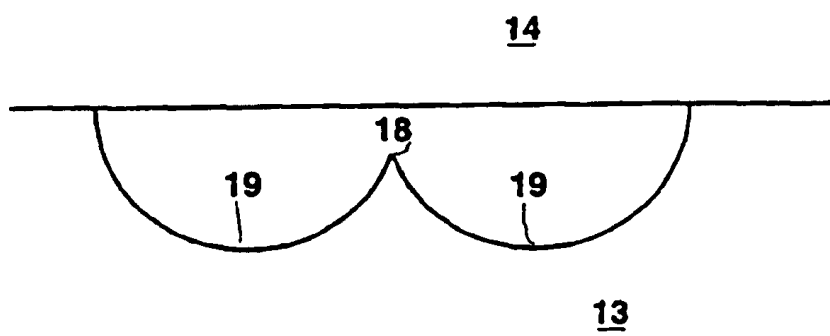




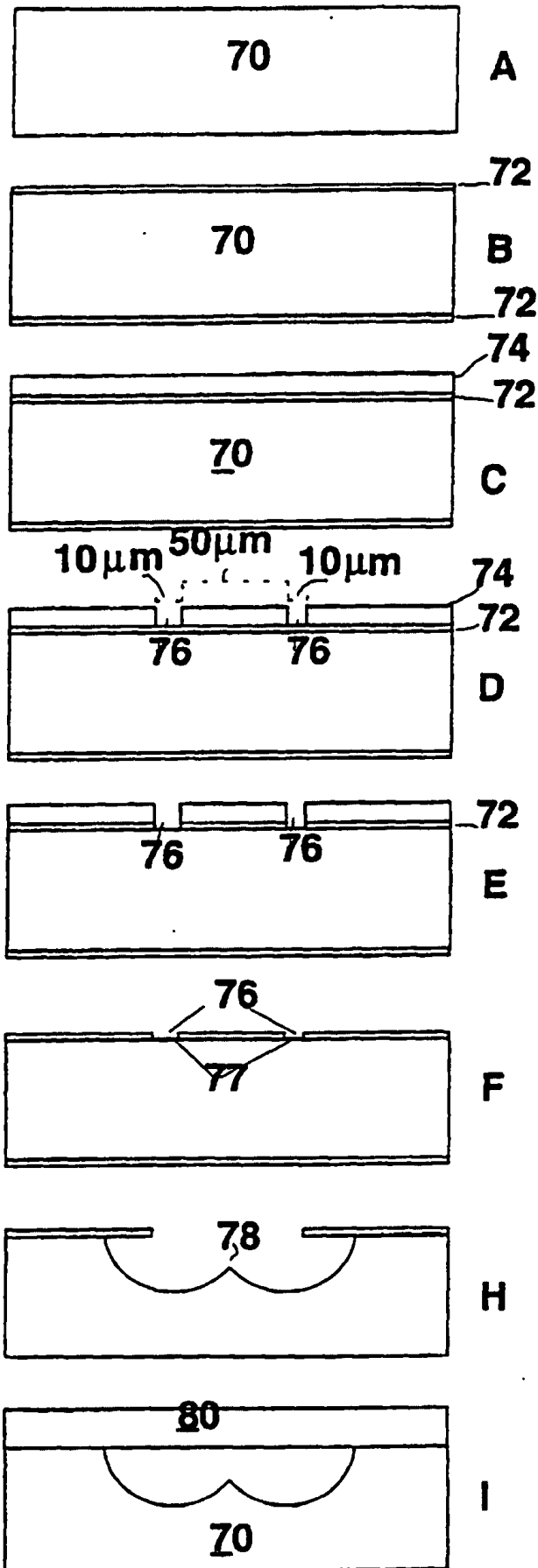
Figur 4



Figur 5

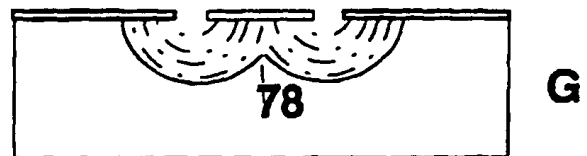
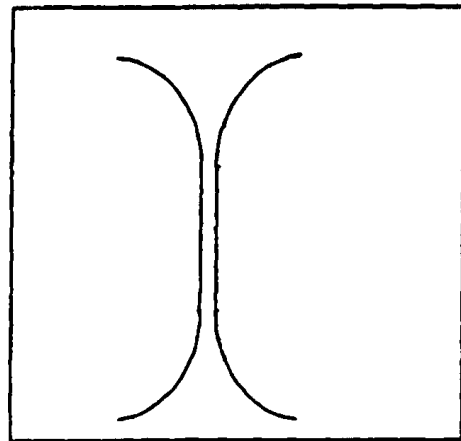


Figur 6

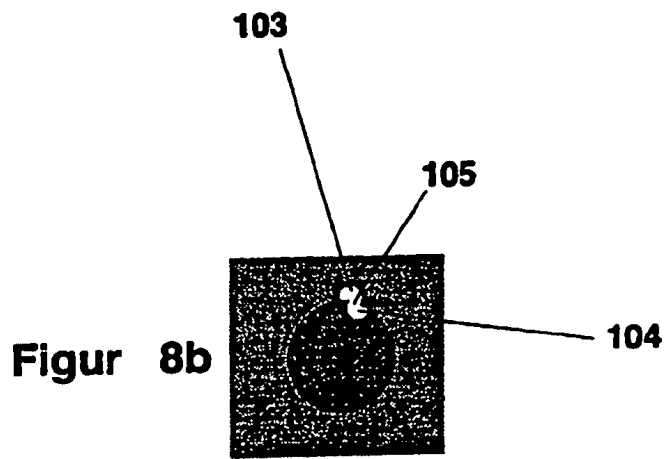
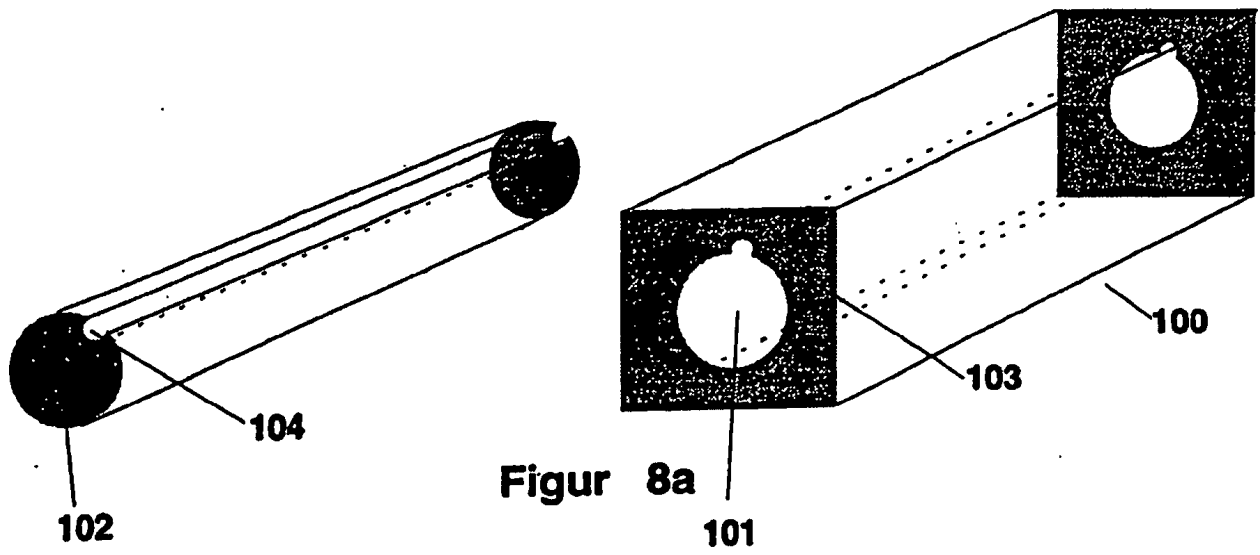


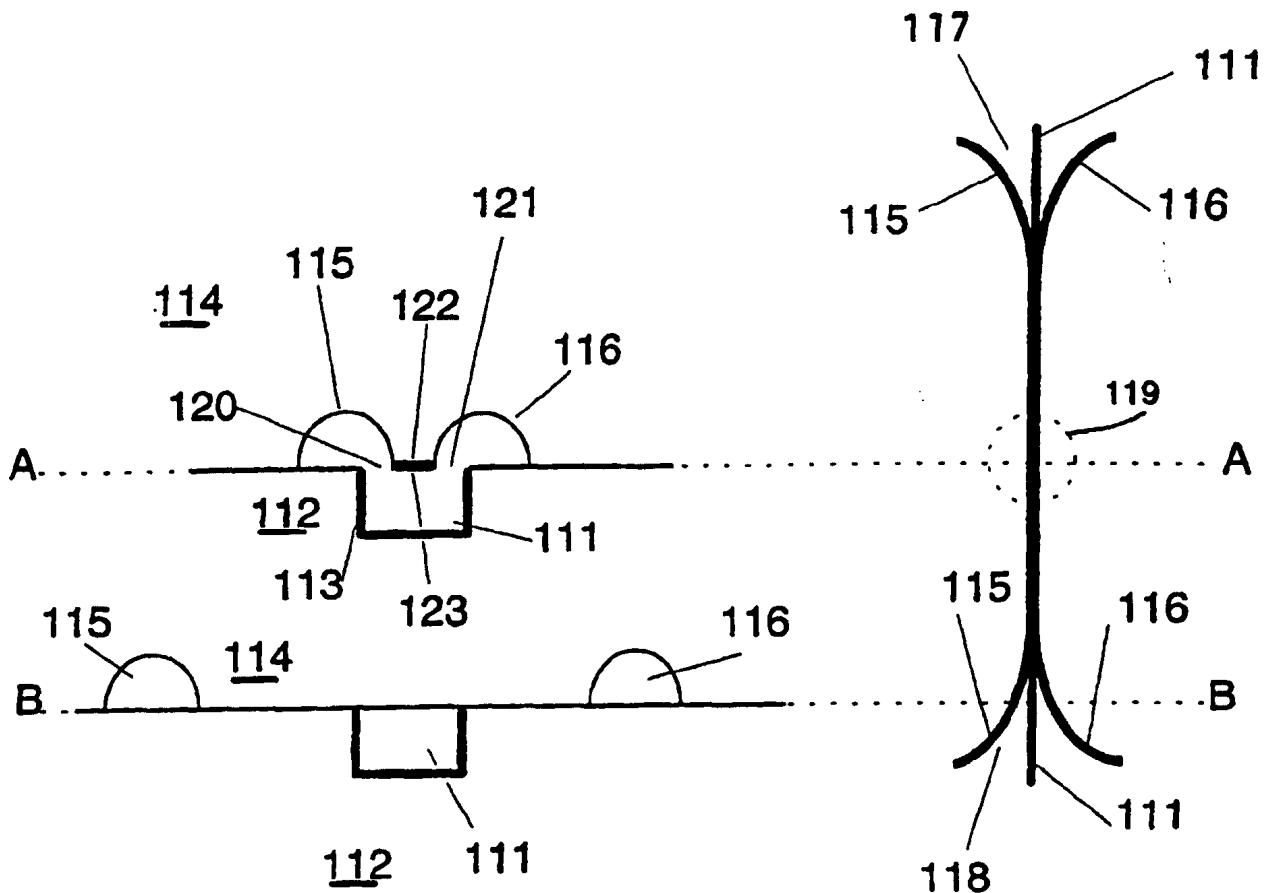
Figur 7

Figur 7a



**Figur 8**



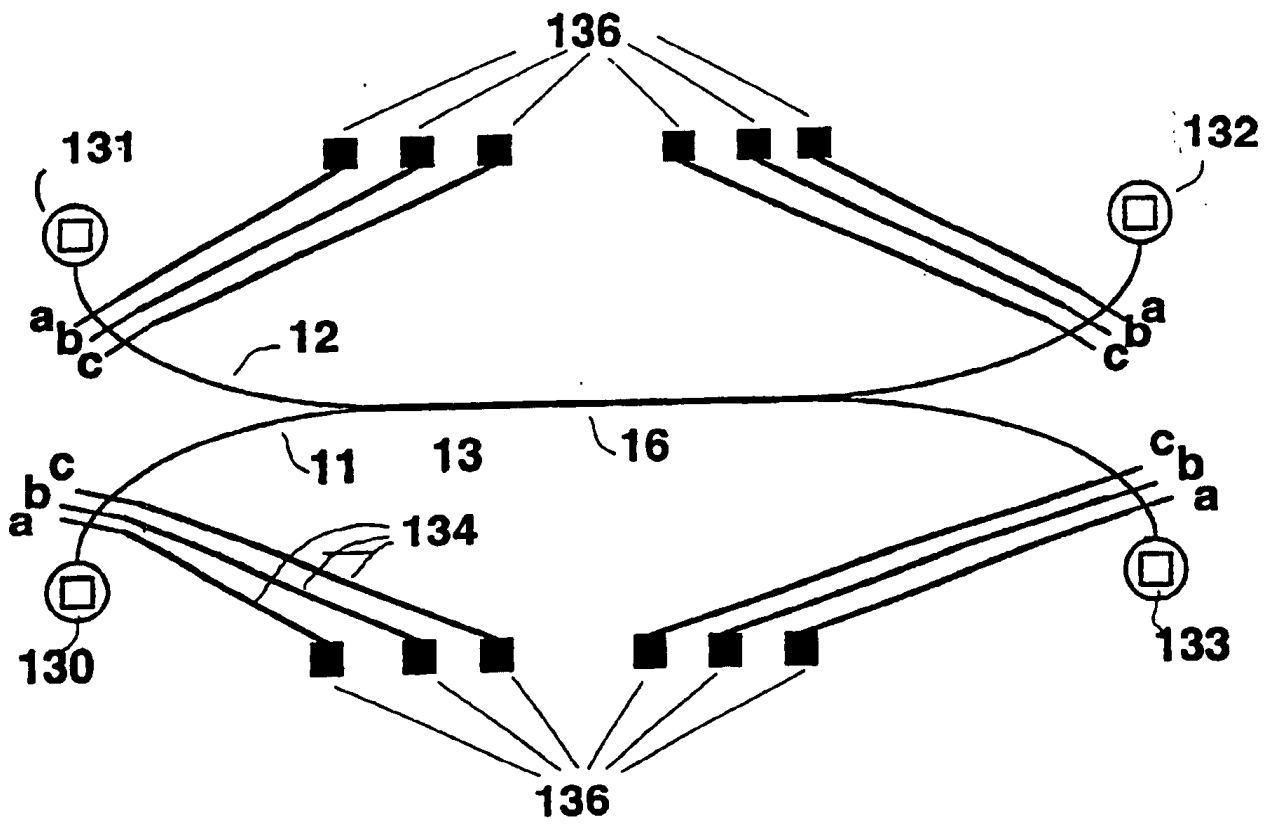


Figur 9b

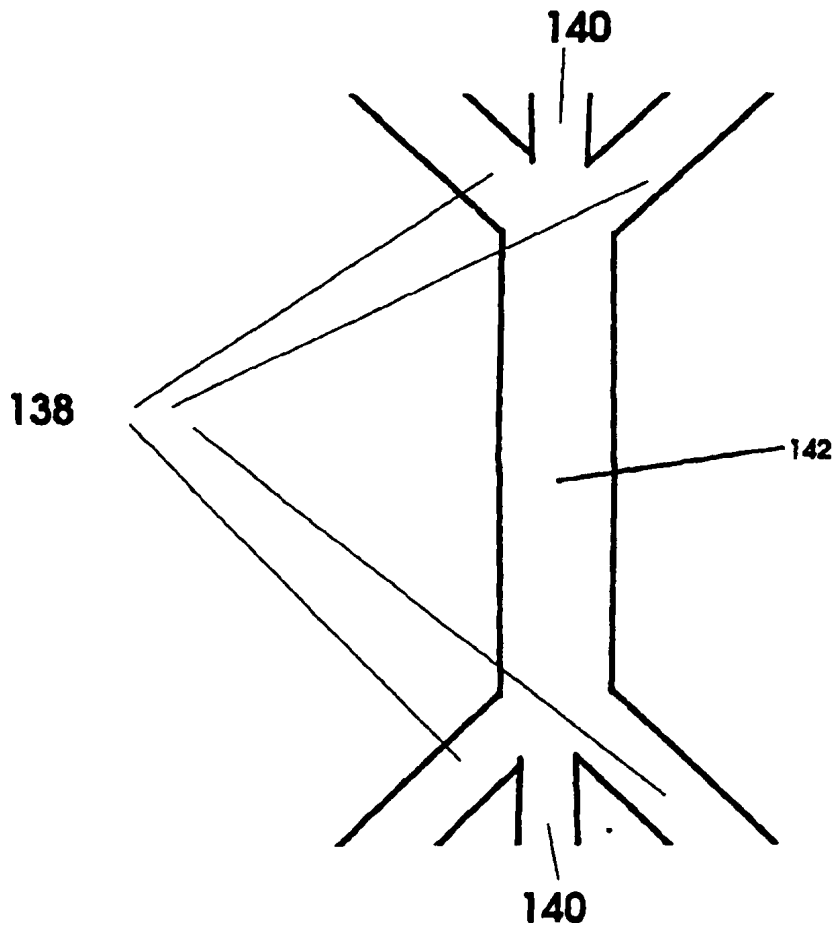
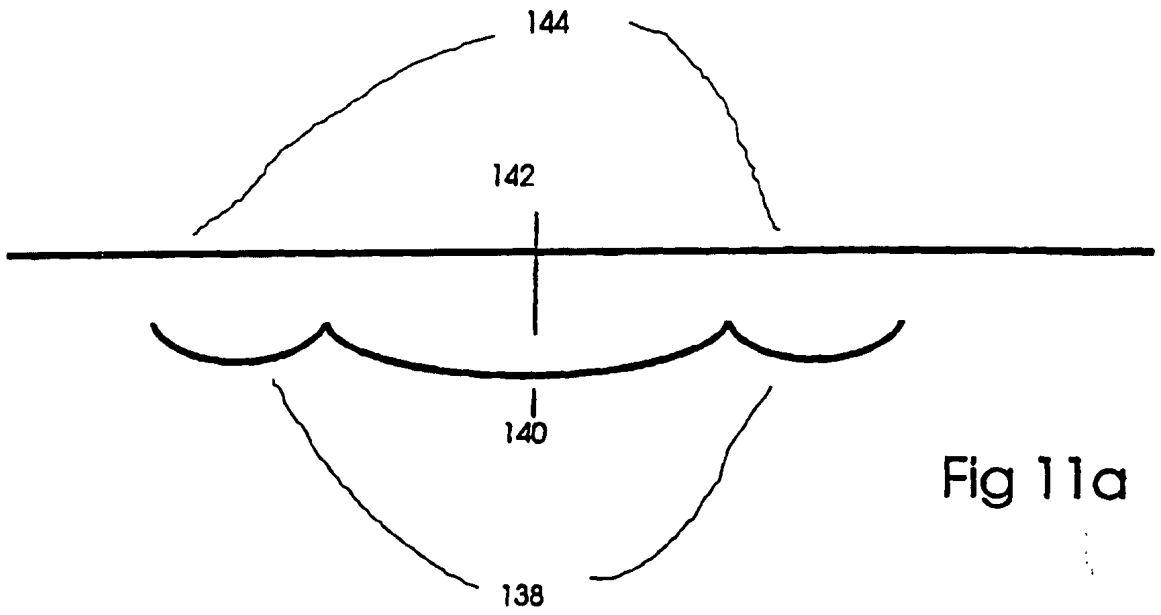
Figur 9a

Figur 9

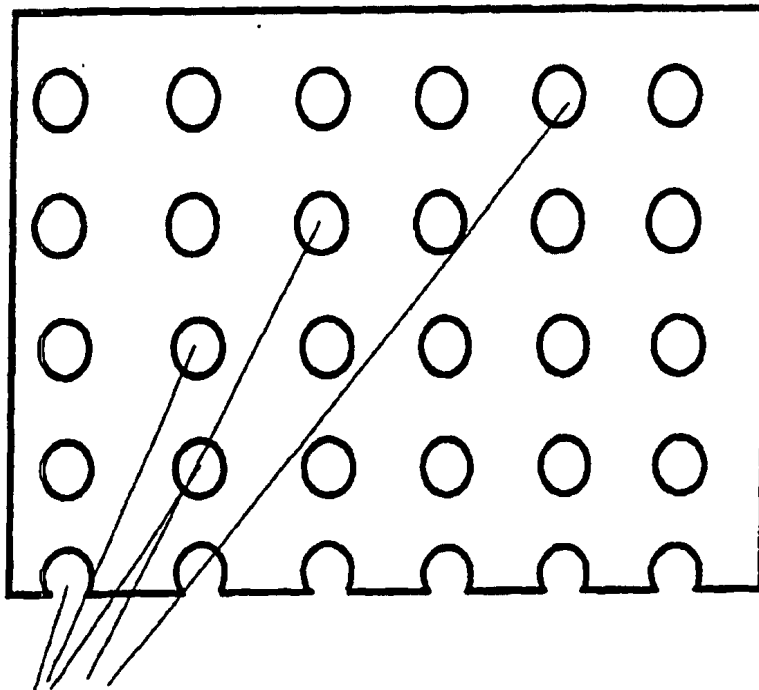




Figur 10



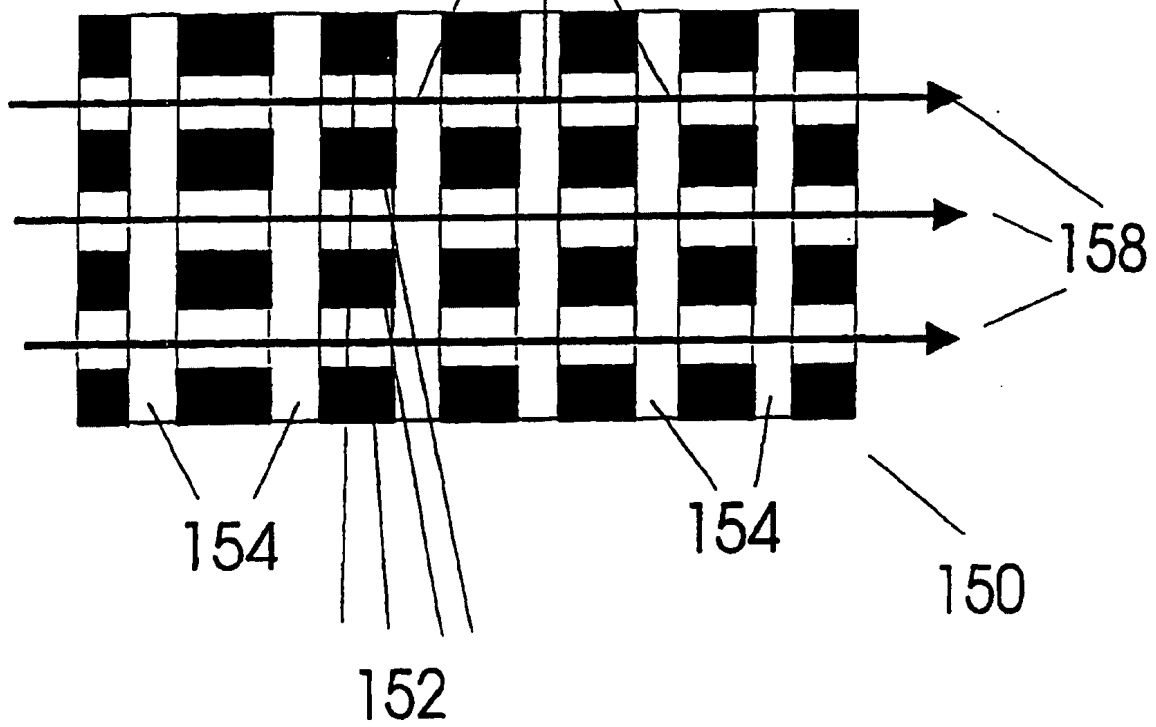
Figur 11c



154

156

Figur 11d



154

154

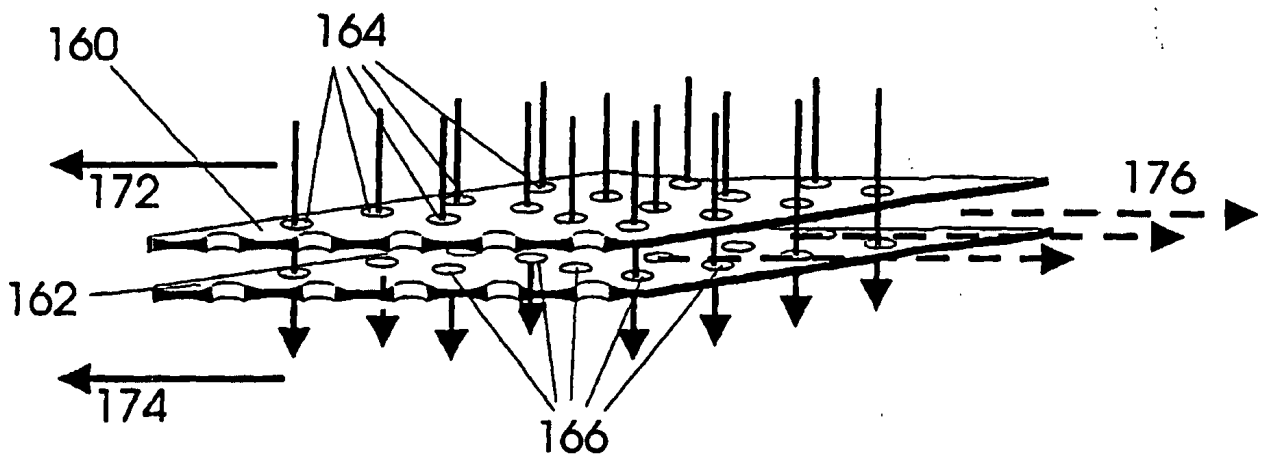
150

158

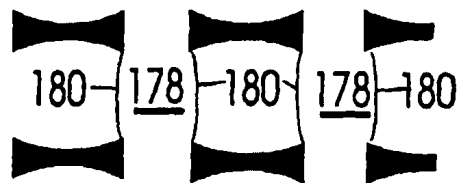
152

Figur 11

Figur 11e

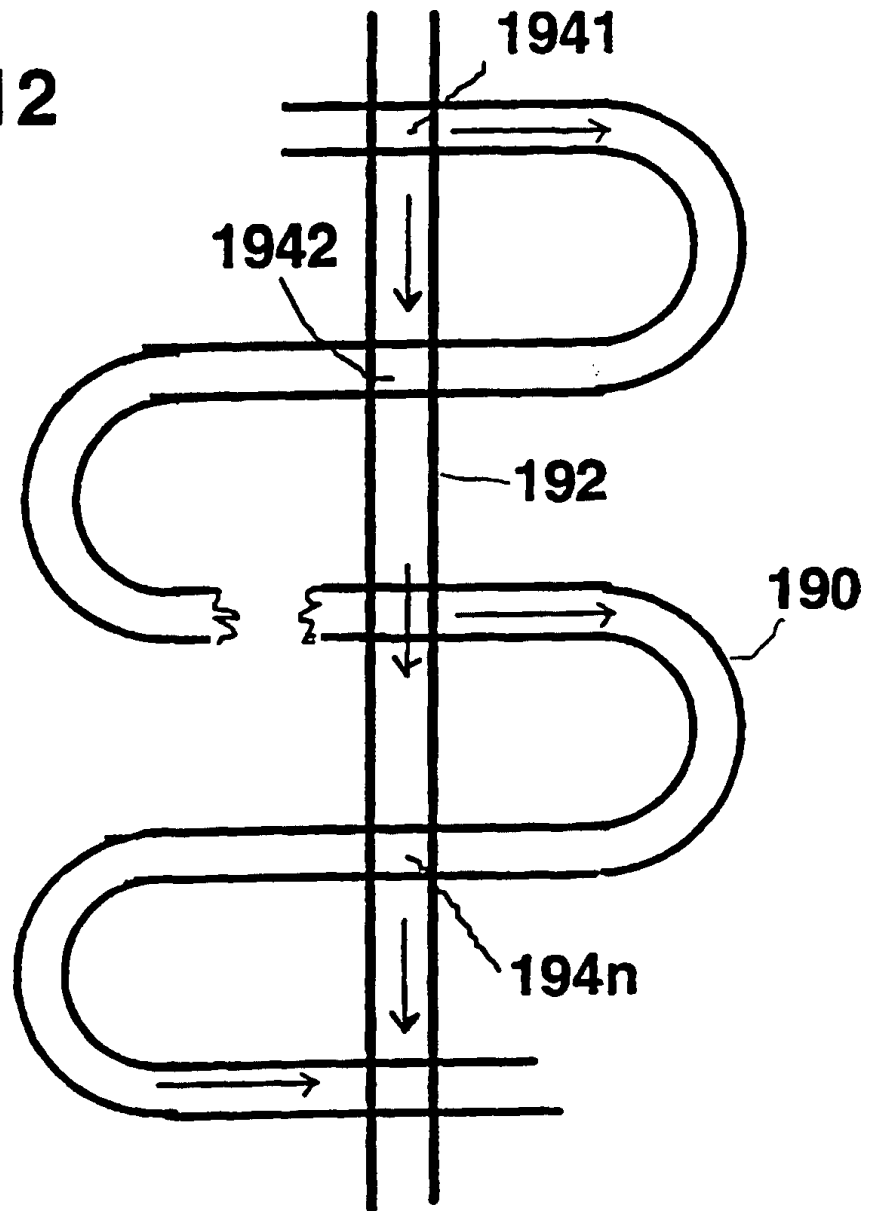


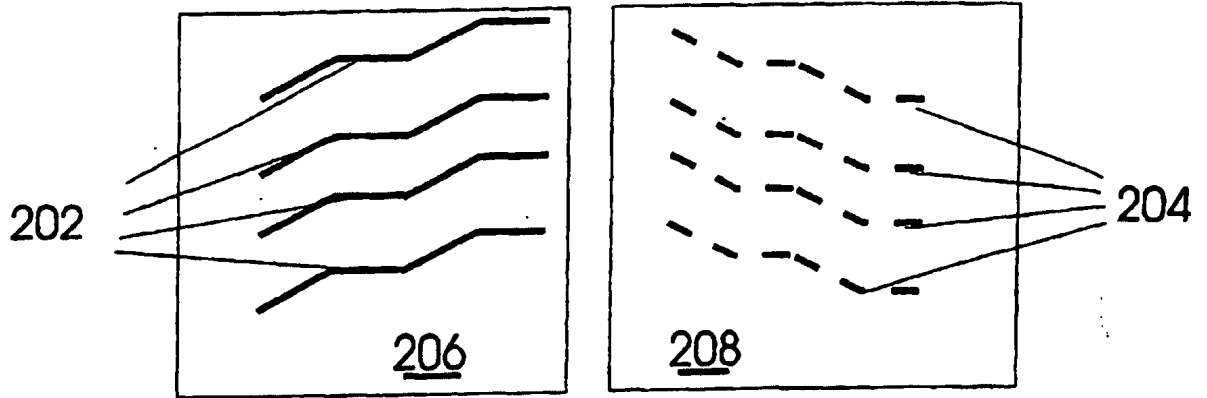
Figur 11f



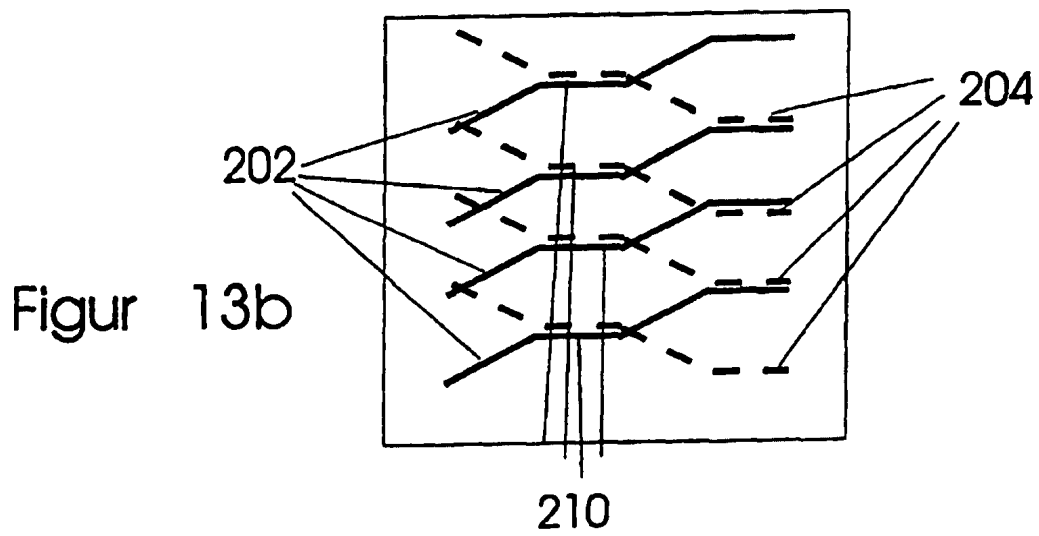
Figur 11

**Figur 12**



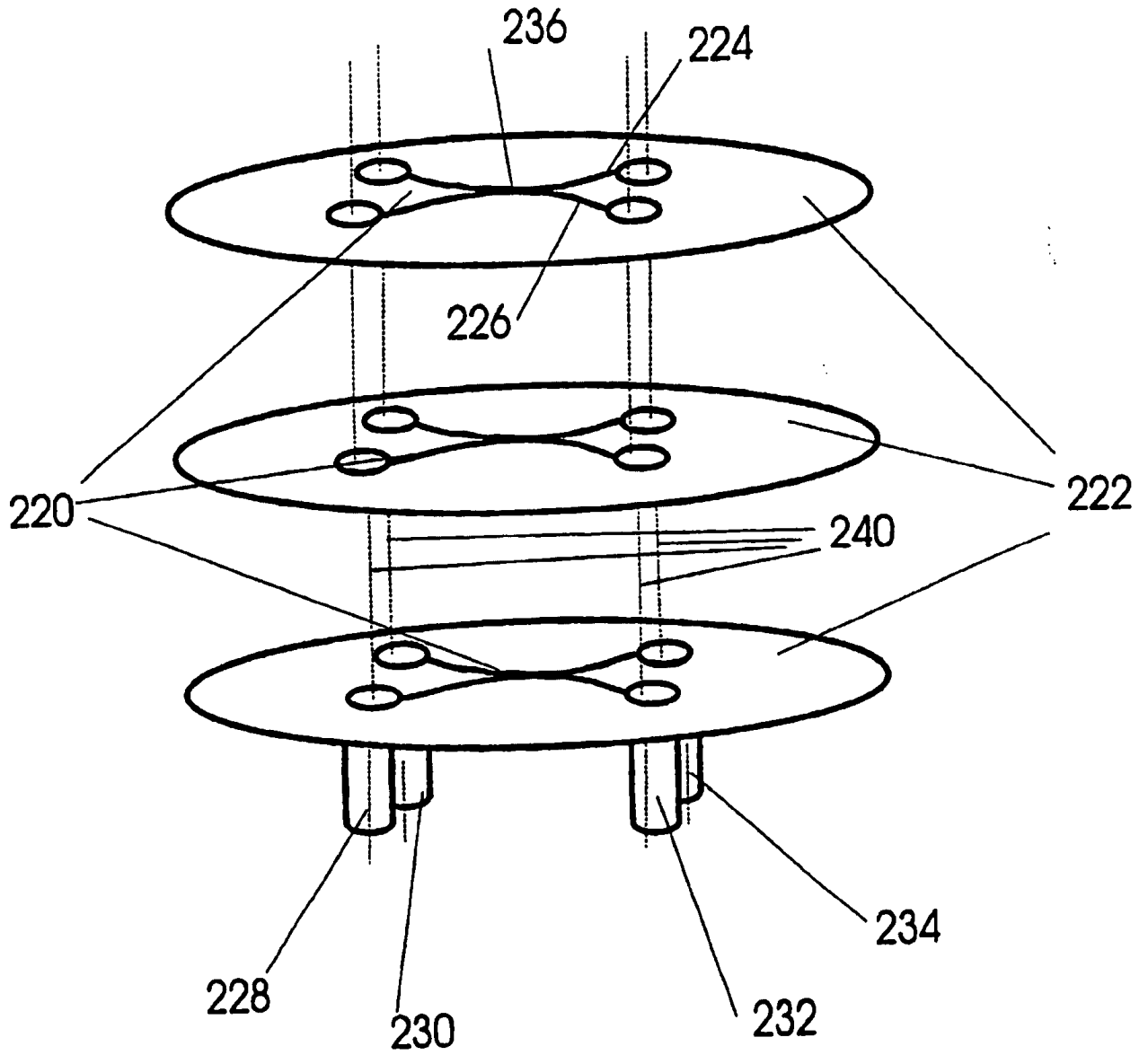


Figur 13a



Figur 13b

Figur 13



Figur 14