

(19)



(11)

EP 1 596 972 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
09.01.2008 Patentblatt 2008/02

(51) Int Cl.:
B01F 13/00 (2006.01) **B01F 11/02** (2006.01)
B01L 3/00 (2006.01) **B01J 19/00** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **04705396.2**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2004/000688

(22) Anmeldetag: **27.01.2004**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/076047 (10.09.2004 Gazette 2004/37)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG VON BEWEGUNG IN EINEM DÜNNEN FLÜSSIGKEITSFILM**

METHOD AND DEVICE FOR GENERATING MOVEMENT IN A THIN LIQUID FILM

PROCEDE ET DISPOSITIF PERMETTANT DE GENERER UN MOUVEMENT DANS UNE PELLICULE LIQUIDE DE FAIBLE EPAISSEUR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DK EE ES FI FR GB GR HU
IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(72) Erfinder:
• **RATHGEBER, Andreas**
81827 München (DE)
• **WASSERMEIER, Matthias**
81677 München (DE)

(30) Priorität: **27.02.2003 DE 10308622**
03.03.2003 DE 10309183
04.06.2003 DE 10325313

(74) Vertreter: **Manitz, Finsterwald & Partner GbR**
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
23.11.2005 Patentblatt 2005/47

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-02/28523 **WO-A-97/25531**

(73) Patentinhaber: **Advalytix AG**
85649 Brunnthal (DE)

EP 1 596 972 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] In der chemischen, biologischen oder mikrobiologischen Analyse ist es oft notwendig, in Flüssigkeitsfilmen Bewegung zu erzeugen, um diese zu durchmischen. Auf diese Weise können z. B. Reaktionen gefördert werden oder die Flüssigkeit homogenisiert werden.

[0003] Solche Flüssigkeitsfilme können z. B. bei Microarray-Experimenten zur Untersuchung von Makromolekülen wie Proteinen, Nukleinsäuren, Antigenen oder Antikörpern Verwendung finden. Eine schnelle Methode zur Analyse von Makromolekülen setzt Microarrays ein, in denen bekannte erste, ggf. verschiedenartige Makromoleküle an verschiedenen Stellen z. B. in einer Matrixform auf einem Substrat angeordnet sind. Diese Makromoleküle werden auch als Sondenmoleküle bezeichnet. Eine Flüssigkeit mit zweiten Makromolekülen (Probenmolekülen) wird über das Microarray gespült, die mit mindestens einer Art von Sondenmolekülen auf dem Microarray eine spezifische Bindung eingehen können (Hybridisierung). Wird dann die Flüssigkeit wieder von der Oberfläche entfernt, verbleiben vornehmlich nur an den Stellen der spezifischen Bindung die zu untersuchenden Probenmoleküle zurück. Mit Hilfe einer orts aufgelösten Messung, z. B. einer Fluoreszenzmessung, läßt sich feststellen, an welchen Stellen Probenmoleküle vorhanden sind. Aus der bekannten Lage der einzelnen Sondenmoleküle in der Matrixform des Microarrays kann also festgestellt werden, mit welcher Art von Makromolekülen die zu untersuchenden Makromoleküle eine spezifische Bindung eingegangen sind.

[0004] Die Dauer eines entsprechenden Analyseexperimentes ist zu einem wesentlichen Teil durch die Diffusion der Probenmoleküle zu den Sondenmolekülen bestimmt und kann daher einige Zeit in Anspruch nehmen. Ist z. B. die Konzentration des zu untersuchenden Makromoleküles in der Flüssigkeit nur gering, so kann es sehr lange dauern, bis es seine spezifischen Bindungspartner auf dem Array gefunden hat. Wünschenswert wäre also eine Vorrichtung, mit der die Flüssigkeit durchmischt werden kann, um zu jedem Zeitpunkt eine homogene Verteilung der Makromoleküle auf dem Microarray zu erreichen.

[0005] Die Durchmischung in Flüssigkeitstropfen auf einer Oberfläche ist in DE-A-101 17 772 beschrieben. Der piezoelektrische Schallwandler, mit dessen Hilfe Oberflächenschallwellen erzeugt werden, umfaßt z. B. einen Interdigitaltransducer. Derartige Interdigitaltransducer sind kammartig ausgebildete metallische Elektroden, deren doppelter Fingerabstand die Wellenlänge der Oberflächenschallwelle definiert und die durch optische Fotolithographieverfahren z. B. im Bereich um die 10 µm Fingerabstand hergestellt werden können. Solche Interdigitaltransducer werden z. B. auf piezoelektrischen Kristallen vorgesehen, um darauf Oberflächenschallwellen in an sich bekannter Weise anzuregen.

[0006] Bei einem solchen bekannten Verfahren besteht die Gefahr der Korrosion des Interdigitaltransducers durch die Flüssigkeit oder der Beeinflussung der Flüssigkeit und darin ggf. befindlicher Reaktanden durch den Kontakt mit dem Interdigitaltransducer. Um derartige Nachteile zu vermeiden, kann die Oberfläche des piezoelektrischen Kristalles, auf dem sich der Interdigitaltransducer befindet und auf der die Oberflächenschallwelle erzeugt wird, mit einer Passivierungsschicht versehen werden. Diese Beschichtung muß an den elektrischen Kontaktflächen der Interdigitaltransducer wieder entfernt werden, was einen Lithographie- und Ätzprozessor erforderlich macht

[0007] Die Erzeugung einer Strömung in Flüssigkeiten mit Hilfe von Schallwellen ist in Wesley Le Mars Nyborg "Acoustic Streaming" in Physical Acoustics 2B; ed.W.P.Mason; Academic Press 265 (1965) beschrieben.

[0008] Die Bewegung von Flüssigkeiten mit Hilfe von Oberflächenschallwellen ist in S. Shiokawa et al., IEEE Proceedings of the Ultrasonics Symposium 1989, Seiten 643ff. dargestellt.

[0009] Schließlich wäre es wünschenswert, wenn ein Mischverfahren nicht nur für Flüssigkeitstropfen, sondern auch für Flüssigkeitsfilme zur Verfügung stünde und das z. B. auch für Flüssigkeitsfilme in einem Kapillarspalt einsetzbar ist.

[0010] WO 97/25531 A beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einer Flüssigkeit in einem Kanal. Mit Hilfe von Ultraschallenergie werden Membranschwingungen in einer Festkörpermembran erzeugt, die in Kontakt mit der Flüssigkeit ist.

[0011] WO 02/28523 A2 beschreibt Vorrichtungen zur Erzeugung von Kräften auf einem Substrat, wobei diese Vorrichtungen auf der einer Flüssigkeit zugewandten Seite des Substrats angeordnet sind.

[0012] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren und eine verbesserte Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm, insbesondere in einem Kapillarspalt, bereitzustellen, die zudem einfach und kostengünstig herstellbar und einsetzbar sind.

[0013] Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 und einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 13 gelöst.

[0014] Der Flüssigkeitsfilm ist von der zumindest einen Ultraschallerzeugungseinrichtung durch das Substrat getrennt. Eine gesonderte Passivierung oder Schutzschicht, die die Ultraschallerzeugungseinrichtung von dem Flüssigkeitsfilm trennen würde, ist nicht notwendig. Das Verfahren ist einfach und kostengünstig durchzuführen. Besonders vorteilhaft ist die Anwendung für Flüssigkeitsfilme, die von einem Kapillarspalt begrenzt sind.

[0015] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann also ein Flüssigkeitsfilm von einer Dicke einiger Mikrometer bis 5 Millimeter von der Ultraschallerzeugungseinrichtung, z. B. einem piezoelektrischen Schallwandler, der Schallwellen in einem

Frequenzbereich von einigen MHz bis einigen 100 MHz erzeugt, durch das Substrat getrennt werden. Der piezoelektrische Schallwandler kann eine Größe von einigen Quadratmillimetern bis einigen Quadratzentimetern und eine Dicke von einigen 10 Mikrometern bis einigen Millimetern haben.

[0016] Vorteilhafterweise ist das Substrat dünner als einige Zentimeter, jedoch dicker als $\frac{1}{4}$ der Ultraschallwellenlänge. So kann wirksam verhindert werden, daß sich im Substrat sogenannte "flexural plate wave modes" oder Lamb-modes ausbilden. Es kann eine Fläche von einigen Quadratmillimetern bis einige 10 Quadratzentimeter haben.

[0017] Im speziellen ist für das erfindungsgemäße Verfahren keine Beschichtung einer piezoelektrischen Kristalloberfläche mit nachfolgender Lithographie oder Ätzprozedur notwendig. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht Anwendungen mit Flüssigkeitsfilmen auf metallisierten Oberflächen, die bei bekannten Verfahren zu Kurzschlüssen z. B. des Interdigitaltransducers führen können.

[0018] Die der Flüssigkeit zugewandte Oberfläche ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eine planare Substratoberfläche. Fluidische Probleme, die sich aufgrund lateral unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheiten des Substrates ergeben, können entfallen. Insbesondere läßt sich eine glatte Substratoberfläche leichter reinigen als eine heterogene Oberfläche.

[0019] Die in die Flüssigkeit eingekoppelte Schallwelle ruft eine Strömung längs geschlossener Stromlinien hervor. Die Schallwelle selbst ist in der Flüssigkeit stark um den Einkoppelungsort lokalisiert. Die Reichweite der Strömung hängt von der Spaltdicke ab und ist um so größer, je weiter der Kapillarspalt ist. In der Regel fällt die Strömungsgeschwindigkeit exponentiell mit dem Abstand vom Einkoppelort ab. Bei einer Spalthöhe von ca. 200 μm ist die Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit um den Faktor 10 pro Millimeter Abstand zu beobachten. In einem Kapillarspalt von 100 μm Höhe muß andererseits zur Erhöhung der Reichweite um 1 mm, in der eine homogene Durchmischung erreicht wird, die Leistung ca. um einen Faktor 10 erhöht werden.

[0020] Erfindungsgemäß wird mit Hilfe einer Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung Ultraschall derart in den Flüssigkeitsfilm eingekoppelt, daß die Flüssigkeit zumindest an zwei Bewegungspolen bzw. Einkoppelorten in Bewegung versetzt wird. Möglich ist z. B. ein lateraler Abstand von einigen 100 μm , bevorzugt mehrere Millimeter. Je nach der gewünschten Anforderung können dabei die Bewegungspole derart angeordnet sein, daß sich ihre Wirkungsfelder überlappen oder weiter auseinander liegen.

[0021] Zwei Bewegungspole bzw. Einkoppelorte können z. B. mit Hilfe einer Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung erhalten werden, die bidirektional abstrahlt.

[0022] Bei einer Ausführungsform der Erfindung wird die Ultraschallwelle mit Hilfe einer Oberflächenwellenerzeugungseinrichtung, vorzugsweise eines Interdigitaltransducers auf der dem Flüssigkeitsfilm abgewandten Seite des Substrates erzeugt.

[0023] Mit Hilfe eines solchen Interdigitaltransducers können auf unterschiedliche Weise Volumenschallwellen in dem Substrat erzeugt werden, die dieses schräg durchsetzen. Der Interdigitaltransducer erzeugt eine bidirektional abstrahlende Grenzflächenwelle (LSAW) an der Grenzfläche zwischen dem piezoelektrischen Kristall und dem Substrat, auf dem er aufgebracht ist. Diese Grenzflächen-Leckwelle strahlt Energie als Volumenschallwellen (BAW) in das Substrat ab. Dadurch nimmt die Amplitude der LSAW exponentiell ab, wobei typische Abklinglängen etwa 100 μm sind. Der Abstrahlwinkel α der Volumenschallwellen in das Substrat gemessen gegen die Normale des Substrates ergibt sich aus dem Arcussinus des Verhältnisses der Schallgeschwindigkeit V_s der Volumenschallwelle im Substrat und der Schallgeschwindigkeit V_{LSAW} der mit dem Interdigitaltransducer erzeugten Grenzflächenschallwelle ($\alpha = \arcsin(V_s/V_{\text{LSAW}})$). Eine Abstrahlung in das Substrat ist daher nur möglich, wenn die Schallgeschwindigkeit im Substrat kleiner ist als die Schallgeschwindigkeit der Grenzflächen-Leckwelle. In der Regel werden daher in dem Substrat transversale Wellen angeregt, da die longitudinale Schallgeschwindigkeit in dem Substrat größer ist als die Geschwindigkeit der Grenzflächen-Leckwelle. Ein typischer Wert für die Grenzflächen-Leckwellen-Geschwindigkeit ist z. B. 3900 m/s.

[0024] Die piezoelektrisch hervorgerufenen Deformationen unterhalb der kammartig ineinander greifenden Interdigitaltransducerfinger strahlen Volumenschallwellen (BAW) auch direkt in das Substrat ab. In diesem Falle ergibt sich ein Abstrahlwinkel α gemessen gegen die Normale des Substrates als Arcussinus des Verhältnisses einerseits der Schallgeschwindigkeit im Substrat V_s und andererseits dem Produkt aus der Periode des Interdigitaltransducers I_{IDT} und der angelegten Hochfrequenz f ($\alpha = \arcsin(V_s/(I_{\text{IDT}} \cdot f))$). Für diesen Schalleinkopplungsmechanismus kann der Einstrahlwinkel gegenüber der Normalen, der Levitationswinkel α , also durch die Frequenz vorgegeben werden. Beide Effekte können nebeneinander auftreten.

[0025] Beide Mechanismen (LSAW, BAW) ermöglichen die schräge Durchstrahlung des Substrates. Die gesamte elektrische Kontaktierung des Interdigitaltransducers findet auf der dem Flüssigkeitsfilm abgewandten Seite des Substrates statt, so daß eine Korrosion der elektrischen Kontaktierung durch aggressive Flüssigkeiten ausgeschlossen wird.

[0026] Der den Interdigitaltransducer tragende piezoelektrische Kristall kann auf das Substrat geklebt, gepreßt, gebondet oder über ein Koppelmedium (z. B. elektrostatisch oder über einen Gelfilm) an das Substrat geklebt, gepreßt oder gebondet sein. Ebenso kann der piezoelektrische Kristall das Substrat selbst darstellen.

[0027] Besonders vorteilhaft ist auch die Verwendung eines Substratmaterials, welches bei Betriebsfrequenz eine geringe akustische Dämpfung aufweist. Die Volumenschallwelle im Substrat wird an der Grenzfläche zum Spalt teilre-

flektiert, nur ein Bruchteil der Schallenergie dringt in die Flüssigkeit ein. Bei schwacher Dämpfung im Substrat kann der reflektierte Strahl nach einer weiteren Reflexion an einer anderen Substratfläche an anderer Stelle wieder in den Spalt eingekoppelt werden. Auf diese Weise wird das Substrat wie ein Wellenleiter benutzt, um die Volumenschallwelle im Substrat an mehrere Orte des Spaltes zu leiten und zu verteilen. Dabei wird das Substrat vorteilhafterweise derart

5 ausgewählt, daß an der Grenzfläche zwischen Substrat und Flüssigkeit ein Teil der Ultraschallenergie ausgekoppelt wird, der zur Bewegung des Flüssigkeitsfilmes dient. An der anderen Grenzfläche des Substrates sollte möglichst Totalreflexion eintreten. Als besonders geeignet hat sich z. B. Quarzglas bei einer Frequenz von 10 MHz bis 250 MHz, vorzugsweise 100 MHz bis 250 MHz, erwiesen, das eine nahezu vollständige Reflexion an einer Grenzfläche zu Luft und eine etwa 10%ige bis 20%tige Auskopplung an der Grenzfläche zwischen Substrat und Flüssigkeit aufweist.

10 **[0028]** Auf dem piezoelektrischen Substrat befinden sich bei einer Ausführungsform ein oder mehr Interdigitaltransducer zur Erzeugung der Ultraschallwellen, die entweder getrennt kontaktiert werden oder gemeinsam in Reihe oder parallel zueinander kontaktiert sind und sich bei unterschiedlichem Fingerelektrodenabstand über die Wahl der Frequenz getrennt ansteuern lassen.

15 **[0029]** Besonders einfach kann man eine homogene Durchmischung auch durch frequenzgesteuerte Variation des Einkoppelortes erzeugen. Dies hebt die Begrenzung der Mischreichweite auf, indem der Einkoppelort und damit aktive Mischbereich um diesen herum über die zu mischende Fläche geschoben wird.

[0030] Verwendung von Interdigitaltransducern mit nicht konstantem Fingerabstand ("getaperte Interdigitaltransducer"), wie sie für eine andere Anwendung z. B. in WO 01/20781 A1 beschrieben sind, ermöglicht die Auswahl des Abstrahlungsortes des Interdigitaltransducers mit Hilfe der angelegten Frequenz. Auf diese Weise kann genau festgelegt

20 werden, an welcher Stelle die Ultraschallwelle in die Flüssigkeit eingekoppelt wird.

[0031] Bei Verwendung eines getaperten Interdigitaltransducers, der zusätzlich nicht gerade ausgebildete Fingerelektroden aufweist, insbesondere z. B. bogenförmig ineinander greifende Fingerelektroden, läßt sich die Abstrahlrichtung, also der Azimutwinkel θ in der Grenzfläche, durch Variation der Betriebsfrequenz steuern. Andererseits läßt sich auch der Levitationswinkel α mit der Frequenz durch die direkte BAW-Erzeugung am Interdigitaltransducer verändern.

25 **[0032]** Durch die beschriebenen Frequenzabhängigkeiten ist es möglich, sehr präzise diejenigen Teile des Flüssigkeitsfilmes, zu bestimmen, die von der Ultraschallwelle bewegt werden sollen. Es lassen sich somit z. B. durch kontinuierliche Variation der Frequenz auch zeitlich instationäre Mischmuster erzeugen, die zum Durchmischen von Flüssigkeiten besser geeignet sind als stationäre Strömungen.

30 **[0033]** Vorteilhaft bei dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß diesen Ausgestaltungen unter Verwendung von Interdigitaltransducern auf der der Flüssigkeit abgewandten Seite des Substrates ist die Unabhängigkeit der elektrischen Impedanz der Interdigitaltransducerelektrode von der elektrischen Leitfähigkeit der Probe und die Möglichkeit, dieses Verfahren auf metallisierten Objektträgern einsetzen zu können. Da die zur Erzeugung der Schallwelle benötigte Interdigitaltransducerelektrode durch die Dicke des Substrates von der metallisierten Oberfläche und der möglicherweise elektrisch leitfähigen Flüssigkeit entfernt ist, kann kein kapazitiver Kurzschluß auftreten, wie er sich in dem in DE-A-101

35 17 772 beschriebenen Verfahren ergeben kann, und auch die Impedanz der Interdigitaltransducerelektrode wird nicht durch die Leitfähigkeit der Probenlösung beeinflusst. Damit ist eine stabilere elektrische Impedanzanpassung an die Hochfrequenzgeneratorelektronik als bei den bisher bekannten Verfahren möglich.

[0034] Bei einer alternativen Ausführungsform wird mit Hilfe einer Oberflächenwellenerzeugungseinrichtung, vorzugsweise eines Interdigitaltransducers an einer Stirnfläche des Substrates eine Grenzflächenschallwelle erzeugt. Diese ergibt in beschriebener Weise eine schräge Abstrahlung einer Volumenschallwelle in das Substrat. Gegebenenfalls durch Reflexion an den Hauptflächen wird diese Volumenschallwelle ebenfalls schräg in den Flüssigkeitsfilm in Kontakt mit einer Hauptfläche eingekoppelt.

40 **[0035]** Mit den beschriebenen Ausführungsformen kann Ultraschallenergie an unterschiedlichen Stellen in den Flüssigkeitsfilm eingekoppelt werden. Durch geeignete Auswahl der Geometrie, z. B. der Dicke des Substrates, lassen sich diese Einkoppelorte lokal genau festlegen. Bei einer derartigen Verfahrensführung sind mehrere Einkoppelorte realisiert, ohne daß eine große Anzahl von Oberflächenwellenerzeugungseinrichtungen notwendig wäre. Probleme, die mit der Verdrahtung oder einer Vielzahl von Oberflächenwellenerzeugungseinrichtungen auftreten könnten, werden auf diese Weise vermieden.

50 **[0036]** Da eine Interdigitaltransducerelektrode in der Regel zwei Volumenschallwellen in das Substrat aussendet, ergeben sich als Strömungsquelle bei dem erfindungsgemäßen Verfahren anstelle eines lokal konzentrierten bidirektional antreibenden Flächenelementes der Größe der Interdigitaltransducerelektrode zwei lateral voneinander getrennte unidirektional antreibende Flächenelemente von derselben Größe an der Grenzfläche zwischen Substrat und Flüssigkeitsfilm. Damit wird der fluidische Wirkungsquerschnitt, also die Fläche, über die eine Interdigitaltransducerelektrode fluidisch aktiv ist und die eine Interdigitaltransducerelektrode durchmischen kann, deutlich vergrößert. Es ergibt sich daraus

55 zusätzlich eine größere Flexibilität in der Anordnung der Strömungsquellen. So wächst z. B. der Abstand der beiden unidirektional antreibenden Strömungsquellen zueinander mit der Dicke des Substrats. Es lassen sich so z. B. mit einem Interdigitaltransducerelement zwei voneinander getrennte Flüssigkeiten mischen.

[0037] Um zu verhindern, daß Reflexionen an unerwünschten Orten geschehen, kann durch geeignete Auswahl einer

diffus streuenden Stirnfläche des Substrates die Ultraschallwelle diffus gestreut werden. Dazu wird zumindest eine Fläche des Substrates z. B. aufgerauht. Dieser Effekt kann auch zu einer gezielten Verbreiterung ausgenutzt werden.

[0038] Um die Ausbreitung der Ultraschallwelle in dem Substrat in gewünschte Richtungen zu lenken, können vorzugsweise an den Stirnflächen, die nicht den Hauptflächen entsprechen, entsprechend winkelig angeordnete Reflexionsflächen vorgesehen sein. Mit derartigen Reflexionsflächen läßt sich die Ultraschallwelle in vorbestimmter Weise lenken.

[0039] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens weist ein Substrat mit einem Ultraschallwellenerzeugungselement auf. Eine Hauptfläche des Substrates ist zum Kontakt mit dem Flüssigkeitsfilm vorgesehen. Die Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung ist derart ausgestaltet, daß die Ultraschallwelle schräg in das Substrat eingekoppelt wird. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung auf einer Hauptfläche des Substrates angeordnet ist, die dem Flüssigkeitsfilm gegenüber angeordnet ist. Ebenso ist jedoch denkbar, daß die Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung auf einer anderen Fläche angeordnet ist und die Ultraschallwelle durch Reflexion innerhalb des Substrates zum Flüssigkeitsfilm gelenkt wird.

[0040] Bei Verwendung eines Substratmaterials, das eine geringe akustische Dämpfung und entsprechende Reflexionskoeffizienten an den Grenzflächen hat, kann eine Vorrichtung bereitgestellt werden, bei der in beschriebener Weise durch Reflexion an den Grenzflächen eine größere Reichweite des Schallstrahles erreicht wird.

[0041] Eine andere erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens weist ein Substrat mit einem Ultraschallwellenerzeugungselement an einer Stirnfläche auf, die keine Hauptfläche ist. Wiederum bestimmt sich der Abstrahlwinkel der in dem Substrat erzeugten Volumenschallwelle durch die Schallgeschwindigkeiten innerhalb und außerhalb des Substrates. Auf diese Weise wird die Volumenschallwelle in dem Substrat schräg erzeugt und derjenige Teil, der von dem Flüssigkeitsfilm wegpropagiert, zumindest zum Teil durch Reflexion an der dem Flüssigkeitsfilm abgewandten Hauptfläche in Richtung der Grenzfläche zwischen Substrat und Flüssigkeitsfilm reflektiert.

[0042] Vorrichtungen mit Interdigitaltransducern der oben bereits beschriebenen Geometrie können eingesetzt werden, um die genannten Effekte zu realisieren.

[0043] Die Erfindung wird anhand der anliegenden schematischen Figuren im Detail erläutert. Dabei zeigt:

Figur 1a: eine schematische seitliche Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 1b: eine schematische seitliche Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei die Abstrahlrichtung für verschiedene Frequenzen angedeutet ist,

Figur 2: eine Schnittansicht der Anordnung der Figur 1 in der Richtung A,

Figur 3: eine schematische seitliche Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer zweiten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 4: eine schematische seitliche Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer dritten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 5: eine schematische seitliche Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer vierten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figuren 6a bis 6c: schematische Schnittansichten verschiedener Ausgestaltungen der elektrischen Kontaktierung einer Vorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 7: eine schematische seitliche Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer fünften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 8a: eine seitliche schematische Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer sechsten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 8b: eine schematische Schnittansicht in Blickrichtung A der Figur 8a,

Figur 9a: eine seitliche schematische Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer siebten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

- Figur 9b: eine Schnittansicht in Blickrichtung B der Figur 9a,
- Figur 10a: eine schematische Draufsicht auf einen Querschnitt einer Anordnung zur Durchführung einer achten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 10b: eine schematische Draufsicht auf einen Querschnitt einer Anordnung zur Durchführung einer neunten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 11: eine schematische Darstellung einer zehnten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 12: eine schematische Darstellung einer elften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 13: eine schematische Draufsicht auf einen Querschnitt einer Anordnung zur Durchführung einer zwölften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 14: eine schematische seitliche Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer dreizehnten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 15: eine schematische seitliche Schnittansicht durch eine Anordnung zur Durchführung einer vierzehnten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens, und
- Figur 16: eine schematische Draufsicht auf einen Querschnitt einer Anordnung zur Durchführung einer fünfzehnten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0044] In Figur 1a bezeichnet 1 ein Substrat, z. B. aus Glas. Möglich ist z. B. die Verwendung eines Objektträgers. 5 ist ein piezoelektrisches Kristallelement, z. B. aus Lithiumniobat. Zwischen dem piezoelektrischen Kristallelement 5 und dem Glaskörper 1 befindet sich ein Interdigitaltransducer 3, der z. B. im Vorhinein auf dem piezoelektrischen Kristall 5 aufgebracht wurde. Ein Interdigitaltransducer wird im Regelfall aus kammartig ineinander greifenden metallischen Elektroden gebildet, deren doppelter Fingerabstand die Wellenlänge einer Oberflächenschallwelle definiert, die durch Anlegen eines hochfrequenten Wechselfeldes (im Bereich von z. B. einigen MHz bis einigen 100 MHz) an den Interdigitaltransducer in dem piezoelektrischen Kristall angeregt werden. Für die Zwecke des vorliegenden Textes sollen unter dem Begriff "Oberflächenschallwelle" auch Grenzflächenwellen an der Grenzfläche zwischen piezoelektrischem Element 5 und Substrat 1 umfaßt sein. Derartige Interdigitaltransducer sind in DE-A-101 17 772 beschrieben und aus der Oberflächenwellenfiltertechnologie bekannt. Zum Anschluß der Elektroden des Interdigitaltransducers dienen metallische Zuleitungen 16, die zu einer nicht gezeigten Hochfrequenzquelle führen.

[0045] Das Substrat 1 ist über Abstandshalter 13 auf einem weiteren Substrat 11, z. B. ebenfalls einem Objektträger aus Glas gelagert. Die Abstandshalter können gesonderte Elemente sein oder mit einem der Substrate 1, 11 integral geformt sein. Zwischen den Substraten 1 und 11 befindet sich ein Flüssigkeitsfilm 7, der durchmischte werden soll. Der Kapillarspalt, in dem sich die Flüssigkeit 7 befindet, beträgt wenige Mikrometer, z. B. 30 bis einige 100 Mikrometer. Auf dem Substrat 11, z. B. einem Objektträger, kann sich z. B. ein Microarray befinden, das Spots in regelmäßiger Anordnung aufweist, an denen unterschiedliche Makromoleküle gebunden sind. In der Flüssigkeit 7 sind z. B. andere Makromoleküle vorhanden, deren Reaktionseigenschaften mit den Makromolekülen des Microarrays untersucht werden sollen.

[0046] Gezeigt ist eine Ausführungsform, bei der die Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung auf der dem Flüssigkeitsfilm gegenüberliegenden Seite des Substrates 1 angeordnet ist. Selbstverständlich kann die Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung bei dieser und bei den folgenden Ausführungsformen auch auf der dem Flüssigkeitsfilm gegenüberliegenden Seite des anderen Substrates 11 angeordnet sein.

[0047] Mit Hilfe des Interdigitaltransducers können Ultraschallwellen 9 in der angegebenen Richtung erzeugt werden, die wie oben beschrieben unter einem Winkel α zur Normalen des Substrates 1 als Volumenschallwelle das Substrat 1 durchsetzen. Mit 15 sind diejenigen Bereiche der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit 7 und Substrat 1 schematisch angedeutet, die wesentlich von der Volumenschallwelle 9 getroffen werden.

[0048] Bei Verwendung von Floatglas von z. B. 2 mm Dicke als Substratmaterial haben die Austrittsorte 15 der Schallwelle in die Flüssigkeit einen Abstand von ca. 8 mm und sind symmetrisch zur Schallquelle angeordnet. Wird der Interdigitaltransducer mit einer Hochfrequenzleistung von 500 mW betrieben, beträgt die Reichweite etwa 5 mm, was zur Durchmischung einer Flüssigkeit in einem Kapillarspalt über einem Microarray auf dem Substrat 11 einer Fläche von 0,8 bis 1,25 cm² ausreicht.

[0049] Figur 1 b dient der Erläuterung um zu zeigen, wie mit einer Ausführungsform der Figur 1a durch Auswahl unterschiedlicher Frequenzen unterschiedliche Einkoppelungswinkel eingestellt werden können.

[0050] Figur 2 zeigt eine Schnittansicht in Blickrichtung A gemäß der Andeutung in Figur 1.

[0051] Figur 3 zeigt eine alternative Bauform. Hier ist der Interdigitaltransducer auf dem piezoelektrischen Kristall 5 mit einer Seitenfläche des Substrates 1 verbunden. Es wird wiederum eine Volumenschallwelle 9 unter einem Winkel in das Substrat 1 eingestrahlt, wenn an den Interdigitaltransducer eine Hochfrequenzspannung angelegt wird. Die dazu notwendigen Elektroden sind in Figur 3 der Übersichtlichkeit halber nicht gesondert dargestellt. Der in Richtung des Kapillarspaltes mit der Flüssigkeit 7 abgestahlte Teil der Volumenschallwelle trifft direkt auf die Grenzfläche zwischen Substrat 1 und Flüssigkeitsfilm 7. Die in der Figur 3 nach oben abgestrahlte Volumenschallwelle wird zumindest teilweise an der Oberfläche des Substrates 1 in Richtung 17 reflektiert und trifft an anderer Stelle auf die Grenzfläche zwischen Flüssigkeitsfilm 7 und Substrat 1.

[0052] Figur 4 zeigt eine Ausgestaltung, bei der der Interdigitaltransducer 3 nicht an der Grenzfläche zwischen Substrat 1 und dem piezoelektrischen Kristall 5 angeordnet ist, sondern auf der dem Substrat 1 abgewandten Seite des piezoelektrischen Kristalles 5. Durch Anlegen eines Hochfrequenzfeldes geeigneter Frequenz an den Interdigitaltransducer 3 kann in dem piezoelektrischen Kristall 5 eine Volumenschallwelle erzeugt werden, die auf der dem Interdigitaltransducer 3 abgewandten Seite des piezoelektrischen Kristalls 5 in das Substrat eingekoppelt wird. Der Einstrahlwinkel α der Schallwelle zur Grenzflächennormale im Substrat 1 ergibt dann aus dem Einstrahlwinkel β der Schallwelle zur Grenzflächennormale in den piezoelektrischen Kristall 5 und dem Verhältnis der Schallgeschwindigkeit im piezoelektrischen Substrat v_p zu der im Substrat v_s gemäß der Formel $\alpha = \arcsin [(v_s / v_p) \times \sin\beta]$.

[0053] Es ist auch möglich, durch Anlegen eines Hochfrequenzfeldes geeigneter Frequenz an den Interdigitaltransducer 3 auf dem piezoelektrischen Kristall 5 eine Oberflächenschallwelle zu erzeugen, die nach kurzer Laufstrecke mittels auf der Oberfläche gefertigter Strukturen (hereingeätzte periodische Gräben, aufgedampfte periodische Metallstreifen) in eine Volumenschallwelle im piezoelektrischen Kristall 5 konvertiert wird.

[0054] Figur 5 zeigt eine Ausgestaltung, bei der der piezoelektrische Kristall 5 mit dem Interdigitaltransducer 3 über ein Koppelmedium 19 zur sicheren und vollflächigen Ankopplung mit dem Substrat 1 verbunden ist. Als Koppelmedium kommt z. B. Wasser in Betracht. Das Koppelmedium kann bei geeigneter Auslegung (Dicke, Material) die Effizienz der Schallerzeugung im Substrat 1 steigern. Eine dünne Koppelschicht beeinflusst den Winkel α dabei nur vernachlässigbar. Ein solches Koppelmedium kann bei allen Verfahrensführungen zum Einsatz kommen.

[0055] Die elektrische Kontaktierung der Interdigitaltransducerelektrode bei den Ausführungsformen der Figuren 1, 2, 3 und 5 ist in Figur 6 in drei unterschiedlichen Ausführungsformen schematisch dargestellt. In der Ausführungsform, wie sie in Figur 6a dargestellt ist, werden metallische Leiterbahnen auf dem Substrat (rückseitig oder für die Ausführungsform der Figur 3 stirnseitig) aufgebracht. Der piezoelektrische Schallwandler 5 wird so auf dem Substrat plaziert, daß sich ein Überlapp der metallischen Elektrode auf dem Substrat mit einer Elektrode des Interdigitaltransducers auf dem piezoelektrischen Schallwandler ergibt. Beim Verkleben des piezoelektrischen Schallwandlers mit dem Substrat wird im Überlappbereich mit elektrisch leitfähigem Kleber geklebt, wohingegen die verbleibende Fläche mit herkömmlichem nicht elektrisch leitfähigem Kleber verklebt wird. Für den Fall der in Figur 5 dargestellten Ausführungsform reicht rein mechanischer Kontakt aus. Die elektrische Kontaktierung 22 der metallischen Leiterbahnen auf dem Substrat in Richtung Hochfrequenzgeneratorelektronik geschieht durch eine Lötverbindung, eine Klebeverbindung oder einen Federkontaktstift.

[0056] In der Ausführungsform der elektrischen Kontaktierung, wie sie in Figur 6b dargestellt ist, wird der piezoelektrische Schallwandler 5, auf dem die Interdigitaltransducerelektrode mit Zuleitungen 16 aufgebracht ist, derart auf das Substrat 1 aufgebracht, daß sich ein Überstand des Ersten zum Zweiten ergibt. In diesem Fall setzt die Kontaktierung 22 direkt auf den auf dem piezoelektrischen Schallwandler aufgebrachten elektrischen Zuleitungen 16 an. Der Kontakt kann gelötet, geklebt, gebondet oder mittels eines Federkontaktstiftes erfolgen.

[0057] In der Ausführungsform der elektrischen Kontaktierung, wie sie in Figur 6c dargestellt ist, und die z. B. für die Ausführungsformen der Figuren 1, 2, und 5 möglich ist, wird das Substrat 1 mit einem Loch 23 pro elektrischem Kontakt versehen und der piezoelektrische Schallwandler 5 wird derart auf das Substrat 1 plaziert, daß die auf dem piezoelektrischen Schallwandler aufgebrachten elektrischen Zuleitungen durch die Löcher 23 hindurch kontaktiert werden können. Der elektrische Kontakt kann in diesem Falle durch einen Federkontaktstift direkt auf die elektrischen Zuleitungen auf dem piezoelektrischen Schallwandler 5 erfolgen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Loch mit einem leitfähigen Kleber 23 zu füllen oder damit einen metallischen Bolzen einzukleben. Die weitere Kontaktierung 22 in Richtung Hochfrequenzgeneratorelektronik geschieht dann durch eine Lötverbindung, eine weitere Klebeverbindung oder einen Federkontaktstift.

[0058] Eine weitere Möglichkeit der Zuführung der elektrischen Leistung an den piezoelektrischen Schallwandler besteht in der induktiven Kopplung. Dabei werden die elektrischen Zuleitungen zu den Interdigitaltransducerelektroden derart ausgebildet, daß sie als Antenne zur kontaktlosen Ansteuerung des Hochfrequenzsignales dienen. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um eine ringförmige Elektrode auf dem piezoelektrischen Schallwandler, der als Sekundärkreis eines Hochfrequenztransformators dient, dessen Primärkreis mit der Hochfrequenzgeneratorelektronik verbunden ist. Dieser wird extern gehalten und ist direkt benachbart zu dem piezoelektrischen Schallwandler angebracht.

[0059] Figur 7 zeigt die Verwendung eines piezoelektrischen Volumenschwingers, z. B. eines piezoelektrischen Dickenschwingers 30, der derart angeordnet ist, daß eine schräge Einkopplung einer Schallwelle stattfindet. Dazu wird

ein sogenannter wedge transducer eingesetzt, der mit einer Hochfrequenzquelle 31 verbunden ist. Der Einstrahlwinkel α zur Flächennormale der Fläche, auf die der wedge transducer aufgebracht wurde, bestimmt sich aus dem Winkel β , unter dem er aufgebracht ist, und dem Verhältnis der Schallgeschwindigkeiten des wedge transducers v_w und des Substrates v_s gemäß $\alpha = \arcsin [(v_s / v_w) \times \sin\beta]$.

[0060] Im Extremfall einer solchen Anordnung kann der Winkel β auch 90° betragen. Dann ist der Schallgeber 300 an einer Stirnfläche des Substrates 1 angeordnet. Diese Anordnung des Schallgebers 300 ist in Figur 7 gestrichelt angedeutet.

[0061] In Figur 7 nicht gezeigt sind Abstandshalter zwischen dem Substrat 1 und dem zweiten Substrat 11 zur Erzeugung des Kapillarspalt, in dem sich die Flüssigkeit 7 aufhält. Sowohl bei dieser Ausführungsform als auch bei den Ausführungsformen der Figuren 1 bis 5 kann sich ein solches Microarray auf dem Substrat 1 oder dem Substrat 11 befinden.

[0062] In Figur 7 ist zusätzlich ein Microarray 21 angedeutet, um eine der möglichen Anwendungen einer Mischvorrichtung bzw. des Mischverfahrens zu verdeutlichen. Das Microarray 21 umfaßt Spots in regelmäßiger Anordnung, z. B. in Matrixform, die funktionalisiert sind, um z. B. mit Makromolekülen in der Flüssigkeit 7 zu reagieren.

[0063] Die beschriebenen erfindungsgemäßen Vorrichtungen können mit einem erfindungsgemäßen Verfahren wie folgt eingesetzt werden.

[0064] Zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens kann es ausreichen, wenn das piezoelektrische Element 5 fest an das Substrat 1 gepreßt wird.

[0065] Zum Beispiel kann das Substrat 11 mit einem Microarray bereitgestellt werden. Darauf wird über Abstandshalter 13 ein Substrat 1 mit einer Oberflächenschallwellenerzeugungseinrichtung gesetzt, wie sie in Figur 1 bis 4 gezeigt ist. Durch nicht gesondert gezeigte Öffnungen kann die Flüssigkeit 7 in den Kapillarspalt befördert werden. Die Flüssigkeit breitet sich in dem Spalt aufgrund von Kapillarkräften im wesentlichen selbständig aus. Alternativ kann die Flüssigkeit auch im Vorhinein auf das Substrat 11 aufgebracht werden. Anlegen eines elektrischen Hochfrequenzfeldes an den Interdigitaltransducer 3 erzeugt Grenzflächenschallwellen an der Grenzfläche zwischen dem piezoelektrischen Kristall 5 und dem Substrat, die zur Anregung von Volumenschallwellen 9 in dem Substrat 1 führen. Die Volumenschallwelle 9 breitet sich in dem Substrat 1 in den angedeuteten Richtungen der Figur 1 bis 4 aus. Gegebenenfalls erfolgt zumindest teilweise Reflexion an einer Grenzfläche zur Umlenkung in Richtung 17, wie es bei einer Anordnung der Figur 3 geschieht. Etwa in den Bereichen 15 trifft die Volumenschallwelle 9, 17 auf die Grenzfläche zwischen Flüssigkeit 7 und Substrat 1. Die Volumenschallwelle überträgt einen Impuls auf die Flüssigkeit bzw. darin befindliches Material und führt zu Bewegung in der Flüssigkeit, die zur Homogenisierung bzw. Durchmischung der Flüssigkeit führt. Auf diese Weise wird z. B. sichergestellt, daß die in einer Flüssigkeit vorhandenen Moleküle mit den einzelnen Meßpunkten des Microarrays schneller in Kontakt kommen, als dies bei einem rein diffusionsgetriebenen Prozeß der Fall wäre. Figur 1b zeigt, wie man eine Vorrichtung der Figur 1a bei direkter Anregung von Volumenmoden dazu benutzen kann, um durch Variation der Anregungsfrequenz den Ort der Einkoppelung in den Flüssigkeitsfilm einzustellen. Bei dem Interdigitaltransducer kann es sich um einen einfachen Normal-Interdigitaltransducer handeln, wobei sich der Levitationswinkel α nach dem Zusammenhang $\sin\alpha = v_s / (l_{IDT} \cdot f)$ einstellt, wobei v_s die Schallgeschwindigkeit der Ultraschallwelle, f die Frequenz und l_{IDT} die Periodizität der Interdigitaltransducerelektroden ist. Durch Variation der Frequenz läßt sich also der Einkoppelwinkel z. B. von α zu α' verändern. Durch die Variation des Levitationswinkels α , α' läßt sich andererseits der Einkoppelort 15, 15' in den Flüssigkeitsfilm variieren.

[0066] Bei einer Ausführungsform der Figur 5 werden zunächst das Substrat 1, die Flüssigkeit 7 und das Substrat 11 in der beschriebenen Weise vorbereitet. Erst dann wird über das Koppelmedium 19 der piezoelektrische Kristall 5 mit dem Interdigitaltransducer 3 aufgelegt. Dann wird an den Interdigitaltransducer 3 in beschriebener Weise ein Hochfrequenzfeld angelegt, um eine Volumenwelle 9 in dem Substrat 1 zu erzeugen.

[0067] Bei einer Ausführungsform der Figur 7 befindet sich beispielhaft das Microarray 21 auf dem Substrat 1. Anlegen eines Hochfrequenzfeldes an den piezoelektrischen Schallgeber 30 erzeugt eine schräge Volumenschallwelle in dem Substrat 1, die auf die Grenzfläche zwischen Flüssigkeitsfilm 7 und Substrat 1 trifft. Dort findet wie auch mit Bezug zu den Ausführungsformen der Figur 1 und 4 beschrieben ein Impulsübertrag auf den Flüssigkeitsfilm 7 bzw. darin befindliches Material statt, um dort zur Durchmischung bzw. Homogenisierung zu führen.

[0068] Im folgenden werden weitere erfindungsgemäße Anordnungen beschrieben.

[0069] Figur 8 zeigt eine Ausgestaltung, bei der ein Substrat 71 eingesetzt wird, das eine geringe akustische Dämpfung für die verwendeten Ultraschallfrequenzen aufweist. Zum Beispiel kann für Frequenzen im Bereich von 10 MHz bis 250 MHz Quarzglas, vorzugsweise 100 MHz bis 250 MHz, eingesetzt werden. Wie bereits mit Bezug zu Figur 1 erläutert, wird mit Hilfe des Interdigitaltransducers 73 eine schräg in das Substrat einlaufende Volumenschallwelle 74 erzeugt. Diese trifft an den Punkten 75 auf die Grenzfläche zwischen Substrat 71 und Flüssigkeit 72 auf. Geeignete Auswahl des Substratmaterials 71 bewirkt, daß ein Teil der Ultraschallwelle 74 an den Punkten 75 bzw. 76 reflektiert wird und ein anderer Teil ausgekoppelt wird. Dabei hat sich gezeigt, daß an der Grenzfläche zwischen Substrat 71 und Flüssigkeit 72 eine teilweise Reflexion stattfindet, an der Grenzfläche zwischen Substrat 71 und Luft, also an den Punkten 76 eine fast vollständige Reflexion einsetzt. Zum Beispiel bei Verwendung von SiO_2 -Glas ergibt sich ein Reflexionsfaktor an der

Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Glas von ca. 80% bis 90%, also eine Einkopplung in den Flüssigkeitsfilm von ca. 10% bis 20%. Unter Annahme eines Reflexionsfaktors von 80% nimmt die Intensität des mehrfach in dem Glassubstrat reflektierten Strahles nach 10 Reflexionen ca. um 10 dB ab. Dabei hat bei einer Substratdicke von 1 mm der Strahl bereits eine laterale Strecke von 80 mm zurückgelegt. Mit einer solchen Geometrie lassen sich auch Flüssigkeiten

5 oberhalb eines größeren Microarrays, z. B. $4 \times 1,25$ cm² homogen durchmischen.
[0070] Durch geeignete Auswahl der Geometrie, z. B. der Dicke des Substrates, können auf diese Weise die Punkte 75, an denen ein Teil der Ultraschallwelle aus dem Substrat 71 in die Flüssigkeit 72 eingekoppelt wird, örtlich genau festgelegt werden und auf diese Weise ein gewünschtes Bewegungsmuster in der Flüssigkeit 72 erzeugt werden.

10 **[0071]** Durch geeignete zeitliche Modulation der Ultraschalleistung, z. B. durch An- und Abschalten des Interdigitaltransducers 73, kann auf diese Weise eine Strömung erzeugt werden, die geeignet ist, das Fluid in eine Richtung zu bewegen. Mit einer Anordnung der Figur 8 kann auf diese Weise z. B. ein Fluß in einem Fluid längs der gezeigten Schallrichtung in Richtung 711 induziert werden, mit dessen Hilfe beispielsweise ein Farbstoff in ca. 100 Sekunden über eine Strecke von 40 mm in dem Fluid bewegt werden kann. Mit herkömmlichen Anordnungen würde man für einen Fluidtransport in einem solchen Kapillarspalt mehrere Stunden benötigen. Dies ist der Figur 8b in Blickrichtung A ange-

15 deutet.
[0072] Figur 9 zeigt eine Variation der Anordnung der Figur 8. In Figur 9a ist eine seitliche Schnittansicht gezeigt. Von dem bidirektional abstrahlenden Interdigitaltransducer 73 geht ein Strahl 74L in der Figur 9 nach links und ein Strahl 74R nach rechts schräg in das Substrat 71. An der Kante 712 des Substrates 71 wird der Schallstrahl 74L reflektiert und in Richtung der Grenzfläche zwischen Substrat 71 und Flüssigkeit 72 abgelenkt. Er trifft an dem Punkt 75L das erste Mal auf die Grenzfläche auf. Der Schallstrahl 74R trifft an der Stelle 75R auf die Grenzfläche. Auf diese Weise läßt sich die Dichte der Einkoppelpunkte erhöhen. Dies ist schematisch noch einmal in Figur 9b in Blickrichtung B der Figur 9a gezeigt.

20 **[0073]** Figur 10a zeigt eine Draufsicht auf einen Querschnitt einer Anordnung, etwa in Höhe der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit 72 und Substrat 71, die eine besondere Lenkung des Schallstrahles in dem Substrat 71 ermöglicht. Von dem Interdigitaltransducer 73 gehen in einer Weise, wie sie mit Bezug zu Figur 8a beschrieben ist, Schallstrahlen 74 aus, die an Punkten 75 auf die Grenzfläche zwischen der Flüssigkeit und dem Substrat 71 treffen. Der so geleitete Schallstrahl 74 wird an Grenzflächen 77 des Substrates 71 so abgelenkt, daß er wieder in den Bereich des Kapillarspalteläuft und so weiter zum Antrieb einer Strömung im Fluid zur Verfügung steht. In der Darstellung der Figur nicht erkennbar wird, der Strahl also in Form einer Zickzacklinie analog der Schnittdarstellung in Figur 8a durch das Substrat 71 geführt. Durch geeignete Geometrie der Flächen 77 kann das induzierte Strömungsmuster in dem Flüssigkeitsfilm beeinflusst werden. Mit einer reflexionsartigen Geometrie ähnlich der in Figur 10a gezeigten ist es z. B. möglich, einen Flüssigkeitsfilm auf einem Microarray einer Fläche von $4 \times 1,25$ cm² mit einer Hochfrequenzleistung von nur 50 mW homogen zu durchmischen.

25 **[0074]** In Figur 10b ist eine Anordnung gezeigt, mit der erreicht werden kann, daß ein flächiges Substrat nahezu vollständig mit Hilfe nur eines bidirektional abstrahlenden Interdigitaltransducers 73 auf diese Weise abgedeckt werden kann, wobei dies mit Hilfe von Mehrfachreflexionen an den Seitenflächen 77 des Substrates 71 erreicht wird. In der Figur 10b sind die Reflexionspunkte an der Hauptfläche des Substrates 71 der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigt, sondern nur die Ausbreitungsrichtung der Ultraschallwellen 74, die durch Reflexionen an den Hauptflächen des Substrates 71, wie z. B. mit Bezug zu Figur 8a beschrieben, bewirkt wird.

30 **[0075]** Figur 11 zeigt als seitlichen Schnitt eine Anordnung, bei der der Strahlquerschnitt effektiv verbreitert wird, indem man mehrere Interdigitaltransducer 73 zur Erzeugung paralleler Strahlbündel 74 verwendet. Auf diese Weise kann Schall homogener in die Flüssigkeit 72 des Kapillarspaltel eingekoppelt werden, was für eine langreichweitige fluidische Strömung in dem Kapillarspalt günstig ist, bei dem Fluide über weite Strecken transportiert werden sollen.

35 **[0076]** Der beschriebene Reflexionseffekt durch Auswahl eines geeigneten Substratmaterials läßt sich ebenso mit Hilfe eines Volumenschwingers 83 erzeugen, wie es in Figur 12 gezeigt ist. Die schräge Einkopplung unter dem Winkel α erfolgt wie mit Bezug zu Figur 7 beschrieben. Die Schallaustrittspunkte für den Schallstrahl 84 aus dem Substrat 71 in die Flüssigkeit 72 sind in Figur 12 mit 85 bezeichnet.

40 **[0077]** Figur 13 zeigt eine Ausführungsform, bei der eine Kante 78 des Substrates 71 aufgeraut ist, um eine diffuse Reflexion der auftreffenden Schallwelle 74 zu erzeugen. Dies kann nützlich sein, um einen unerwünschten, an einer Kante reflektierten Schallstrahl unwirksam zu machen. Wiederum ist in Figur 13 nur die gesamte Ausbreitungsrichtung des Strahles 74 angedeutet, die durch die Reflexion der Schallwelle an den Hauptflächen des Substrates 71 bewirkt wird.

45 **[0078]** Figur 14 zeigt eine Ausgestaltung, bei der die Rückfläche 710 des Substrates 71 aufgeraut ist. An dieser Rückfläche befindet sich der Interdigitaltransducer 73. Bei der beschriebenen Einkopplung der Ultraschallwelle in das Substrat 71 wird aufgrund der aufgerauten Oberfläche der Strahl 712 durch Beugung aufgeweitet. Dieser Effekt wird bei weiteren Reflexionen an der Fläche 710 noch verstärkt. Mit wachsendem Abstand der Einkoppelpunkte 75 von dem Substrat 71 in die Flüssigkeit 72 wird der Einkoppelpunkt dementsprechend verbreitert.

50 **[0079]** Ein ähnlicher Effekt ist mit einer Ausgestaltung der Figur 15 erreichbar. Hier wird die Aufweitung des Schallstrahles 713 nach dem Einkoppeln vom Interdigitaltransducer 73 in das Substrat 71 durch Reflexion an einer gewölbten

Reflexionskante 711 erreicht. Genauso wie hier eine Aufweitung beschrieben ist, kann eine Fokussierung mit Hilfe einer entsprechend ausgestalteten Reflexionskante erreicht werden.

[0080] Figur 16 zeigt eine weitere Ausgestaltung in schematischer Darstellung. Wie auch in den anderen Darstellungen sind hier der Übersichtlichkeit halber nur wenige ineinander greifende Finger des Interdigitaltransducers 103 gezeigt, obwohl ein verwirklichter Interdigitaltransducer eine größere Anzahl von Fingerelektroden aufweist. Der Abstand der einzelnen Fingerelektroden des Interdigitaltransducers 103 ist nicht konstant. Der Interdigitaltransducer 103 strahlt daher bei einer eingespeisten Hochfrequenz nur an einem Ort ab, bei dem der Fingerabstand mit der Frequenz entsprechend korreliert, wie es für eine andere Anwendung z. B. in WO 01/20781 A1 beschrieben ist.

[0081] Bei der Ausgestaltung der Figur 16 sind die Fingerelektroden zudem nicht gerade, sondern bogenförmig. Da der Interdigitaltransducer im wesentlichen senkrecht zur Ausrichtung der Finger abstrahlt, läßt sich auf diese Weise durch Auswahl der eingespeisten Hochfrequenz die Richtung der abgestrahlten Oberflächenschallwelle azimuthal steuern. In Figur 16 sind beispielhaft die Abstrahlrichtungen 109 für zwei Frequenzen f_1 und f_2 gezeigt, wobei, bei der Frequenz f_1 die Abstrahlrichtung durch den Winkel θ_1 und für die Frequenz f_2 durch den Winkel θ_2 angegeben ist. Figur 16 zeigt dabei schematisch wiederum die Draufsicht auf die Grenzfläche zwischen dem piezoelektrischen Substrat, auf dem der Interdigitaltransducer 103 aufgebracht ist, und dem Substrat, das den Interdigitaltransducer von dem Flüssigkeitsfilm, der bewegt werden soll, trennt, analog z. B. des Querschnittes A-A, wie er für die Ausgestaltung der Figur 1 in Figur 1 angegeben ist.

[0082] Einzelne Ausgestaltungen der Verfahren bzw. die Merkmale der beschriebenen Ausführungsformen lassen sich in geeigneter Form auch kombinieren, um die dadurch erzielten Wirkungen und Effekte gleichzeitig erreichen zu können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm in Kontakt mit einem Substrat (1, 71), insbesondere in einem Kapillarspalt, mit einer Vorrichtung gemäß Anspruch 13 bei dem

- zumindest eine Ultraschallwelle (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) durch das Substrat (1, 71) hindurch in Richtung des Flüssigkeitsfilmes (7, 72) geschickt wird, wobei

- der mit wenigstens einer Ultraschallerzeugungseinrichtung (3, 73) erzeugte Ultraschall (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) derart in den Flüssigkeitsfilm (7) eingekoppelt wird, daß die Flüssigkeit zumindest an zwei Bewegungspolen (15, 75, 85) durch die von der Ultraschallerzeugungseinrichtung erzeugte Ultraschallenergie in Bewegung versetzt wird, und

- der Flüssigkeitsfilm (7, 72) eine Dicke von einigen μm bis 5 mm, vorzugsweise bis einige 100 μm , in Richtung der Ausbreitungsrichtung der Ultraschallwelle hat.

2. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach Anspruch 1, bei dem die zumindest eine Ultraschallwelle (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) das Substrat schräg zur Ebene des Flüssigkeitsfilmes (7, 72) durchsetzt.

3. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach Anspruch 2, bei dem als Ultraschallerzeugungseinrichtung eine bidirektional abstrahlende Ultraschallerzeugungseinrichtung, vorzugsweise ein Interdigitaltransducer (3, 73), eingesetzt wird.

4. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem eine Ultraschallwelle (74, 84) derart in das Substrat (71) eingekoppelt wird, daß sie zumindest einmal innerhalb des Substrates reflektiert wird, wobei ein Substrat eingesetzt wird, bei dem die Reflexion an der der Flüssigkeit abgewandten Grenzfläche möglichst total und auf der der Flüssigkeit zugewandten Grenzfläche verlustbehaftet aber ungleich 0 ist, und der Verlust innerhalb des Substrates möglichst gering ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die zumindest zwei verschiedenen Bewegungspole (15, 15') durch zeitliche Variation der Abstrahlrichtung (α , α' , θ , θ') der zumindest einen Ultraschallerzeugungseinrichtung (3) erzeugt werden.

6. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die zumindest eine Ultraschallwelle mit Hilfe eines Interdigitaltransducers (103) auf einem piezoelektrischen Element erzeugt wird, bei dem die ineinander greifenden Fingerelektroden des Interdigitaltransducers einen räumlich nicht konstanten Abstand zueinander aufweisen, und durch Änderung der an dem Interdigitaltransducer anliegenden

EP 1 596 972 B1

Frequenz der Abstrahlungsort und damit der Einkoppelungsort der Ultraschallwelle in den Flüssigkeitsfilm eingestellt wird.

- 5 7. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach Anspruch 6, bei dem ein Interdigitaltransducer (103) eingesetzt wird, dessen ineinander greifende Fingerelektroden nicht gerade, sondern insbesondere bogenförmig sind, und durch Auswahl der Frequenz des angelegten Hochfrequenzfeldes die Abstrahlrichtung und damit der Einkoppelungsort der Ultraschallwelle in den Flüssigkeitsfilm gewählt wird.
- 10 8. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die zumindest eine Ultraschallwelle (9, 74, 109, 712, 713) mit Hilfe eines Oberflächenwellenerzeugungselementes, vorzugsweise eines Interdigitaltransducers (3, 73, 103) auf einem piezoelektrischen Element (5) an der dem Flüssigkeitsfilm (7, 72) abgewandten Seite des Substrates (1, 71) erzeugt wird.
- 15 9. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die zumindest eine Ultraschallwelle (9) mit Hilfe eines Oberflächenwellenerzeugungselementes (3), vorzugsweise eines Interdigitaltransducers (3) auf einem piezoelektrischen Element (5) an einer Stirnfläche des Substrates (1) erzeugt wird.
- 20 10. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem ein Substrat (71) eingesetzt wird, das zumindest eine diffus streuende Fläche (78, 710) aufweist, um die zumindest eine Ultraschallwelle (74, 712) in dem Substrat zu verbreitern.
- 25 11. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem die Ausbreitungsrichtung der zumindest einen Ultraschallwelle (74) in dem Substrat (71) durch Reflexionsflächen (77), die Teil von Stirnflächen des Substrates (71) sind, gelenkt wird.
- 30 12. Verfahren zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die Ultraschallwelle eine Frequenz in einem Bereich von einigen MHz bis einigen 100 MHz aufweist.
- 35 13. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm einer Dicke von einigen Mikrometern bis 5 mm zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1, mit einem Substrat (1, 71) mit zwei Hauptflächen, von denen eine zum Kontakt mit dem Flüssigkeitsfilm (7, 72) dient, und zumindest einer Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung (3, 73) in Kontakt mit dem Substrat, wobei der Flüssigkeitsfilm von der zumindest einen Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung (3, 73) durch das Substrat getrennt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung derart ausgestaltet ist, daß zumindest eine Ultraschallwelle (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) schräg in das Substrat eingekoppelt wird.
- 40 14. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm (7, 72) nach Anspruch 13, bei der das zumindest eine Ultraschallwellenerzeugungselement (3, 30, 73, 103) an einer Hauptfläche des Substrates (1, 71) angeordnet ist, die derjenigen Hauptfläche gegenüberliegt, die zum Kontakt mit dem Flüssigkeitsfilm (7, 72) dient.
- 45 15. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm (7) nach Anspruch 13, bei der das zumindest eine Ultraschallwellenerzeugungselement (3, 30) an einer Stirnfläche des Substrates (1) angeordnet ist, die keine Hauptfläche ist.
- 50 16. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß einem der Ansprüche 13 bis 15, bei der das zumindest eine Ultraschallwellenerzeugungselement zur Erzeugung einer Frequenz von einigen bis einigen 100 MHz geeignet ist.
- 55 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 16, bei der die zumindest eine Ultraschallwellenerzeugungseinrichtung (3, 73) bidirektional abstrahlend ist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 17, bei der das Material des Substrates (71) derart ausgewählt ist, daß die Reflexionen an der der Flüssigkeit abgewandten Grenzfläche möglichst total und die Reflexionen an der der Flüssigkeit zugewandten Seite verlustbehaftet aber ungleich 0 sind, und der Verlust an Ultraschallintensität innerhalb des Substrates möglichst gering ist.
19. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß einem der Ansprüche 13 bis

18, bei dem das zumindest eine Ultraschallwellenerzeugungselement (3, 73, 103) einen Interdigitaltransducer (3, 73, 103) auf einem piezoelektrischen Element (5) umfaßt.

- 5 20. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß Anspruch 19, bei der der elektrische Anschluß des zumindest einen Interdigitaltransducers (3) durch eine erste Zuleitung auf dem piezoelektrischen Element (5) und eine zweite Zuleitung auf dem Substrat (1) gebildet ist, die derart angeordnet sind, daß sie einander überlappen.
- 10 21. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß Anspruch 19, bei der das piezoelektrische Element (5) einen Überstand über das Substrat (1) aufweist, auf dem sich eine Kontaktstelle für die elektrische Zuleitung (16) zu dem mindestens einen Interdigitaltransducer (3) befindet.
- 15 22. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß Anspruch 19, bei der der zumindest eine Interdigitaltransducer (3) durch ein Loch durch das Substrat (1) hindurch kontaktiert wird, das vorzugsweise mit einem leitfähigen Kleber (23) gefüllt ist.
- 20 23. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß Anspruch 19, bei der der Interdigitaltransducer (3) über Antenneneinrichtungen verfügt, die zur kontaktlosen Einkopplung eines Hochfrequenzsignales einsetzbar sind.
- 25 24. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach einem der Ansprüche 19 bis 23, bei der die Fingerelektroden des Interdigitaltransducers (103) keinen räumlich konstanten Abstand voneinander aufweisen.
- 30 25. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm nach Anspruch 24, bei der die Fingerelektroden des Interdigitaltransducers (103) nicht gerade, sondern insbesondere bogenförmig ausgestaltet sind.
26. Vorrichtung zur Erzeugung von Bewegung in einem dünnen Flüssigkeitsfilm gemäß einem der Ansprüche 13 bis 25, bei der das Substrat (71) zumindest eine diffus streuende Oberfläche (78, 710) aufweist.

Claims

- 35 1. A method for generating motion in a thin liquid film in contact with a substrate (1, 17), in particular in a capillary gap, using a device in accordance with claim 13, wherein
- at least one ultrasound wave (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) is sent through the substrate (1, 71) in the direction of the liquid film (7, 22), with
 - the ultrasound (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) generated using at least one ultrasound generating device (3, 73) being coupled into the liquid film (7) in such a way that the liquid is set in motion at at least two poles of motion (15, 75, 85) by the ultrasound energy generated by the ultrasound generating device; and
 - the liquid film (7, 72) having a thickness (7, 2) of a few μm to 5 mm, preferably up to a few 100 μm , in the direction of the propagation direction of the ultrasound wave.
- 40
- 45 2. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with claim 1, wherein the at least one ultrasound wave (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) passes through the substrate obliquely to the plane of the liquid film (7, 72).
- 50 3. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with claim 2, wherein a bidirectionally radiating ultrasound generating device, preferably an interdigital transducer (3, 73), is used as the ultrasound generating device.
- 55 4. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 1 to 3, wherein an ultrasound wave (74, 84) is coupled into the substrate (71) such that it is reflected at least once inside the substrate, with a substrate being used in which the reflection at the interface remote from the liquid is as total as possible and is lossy at the interface facing the liquid, but is not equal to zero, and the loss within the substrate is as low as possible.
5. A method in accordance with any one of the claims 1 to 4, wherein the at least two different poles of motion (15, 15') are created by a time variation of the direction of radiation (α , α' , θ , θ') of the at least one ultrasound generating

device (3).

- 5
6. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 1 to 5, wherein the at least one ultrasound wave is generated by means of an interdigital transducer (103) on a piezoelectric element in which the finger electrodes of the interdigital transducer engaging in one another have a spatially non-constant distance from one another and the radiation site and thus the coupling site of the ultrasound wave into the liquid film is set by altering the frequency applied to the interdigital transducer.
- 10
7. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with claim 6, wherein an interdigital transducer (103) is used whose finger electrodes engaging into one another are not straight, but are in particular arcuate, and the direction of radiation and thus the coupling site of the ultrasound wave into the liquid film is selected by choice of the frequency of the applied radio frequency field.
- 15
8. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 1 to 7, wherein the at least one ultrasound wave (9, 74, 109, 712, 713) is generated by means of a surface wave generating element, preferably an interdigital transducer (3, 73, 103) on a piezoelectric element (5) on the side of the substrate (1, 71) facing away from the liquid film (7, 72).
- 20
9. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 1 to 7, wherein the at least one ultrasound wave (9) is generated by means of a surface wave generating element (3), preferably an interdigital transducer (3), on a piezoelectric element (5) on a front surface of the substrate (1).
- 25
10. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 1 to 9, wherein a substrate (71) is used which has at least one diffusing surface (78, 710) to broaden the at least one ultrasound wave (74, 712) in the substrate.
- 30
11. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 1 to 10, wherein the direction of propagation of the at least one ultrasound wave (74) in the substrate (71) is deflected by reflection surfaces (77) which are part of front surfaces of the substrate (71).
- 35
12. A method for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 1 to 11, wherein the ultrasound wave has a frequency in a range from a few MHz to a few 100 MHz.
- 40
13. A device for generating motion in a thin liquid film of a thickness of a few micrometers up to 5 mm for carrying out a method in accordance with claim 1, comprising a substrate (1, 17) with two main surfaces, of which one serves for contact with the liquid film (7, 72), and at least one ultrasound wave generating device (3, 73) in contact with the substrate, wherein the liquid film is separated from the at least one ultrasound wave generating device (3, 73) by the substrate, **characterized in that** the ultrasound generating device is designed such that at least one ultrasound wave (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) is coupled obliquely into the substrate.
- 45
14. A device for generating motion in a thin liquid film (7, 72) in accordance with claim 13, wherein the at least one ultrasound wave generating element (3, 30, 73, 103) is arranged on a main surface of the substrate (1, 17) opposite that main surface which serves for the contact with the liquid film (7, 73).
- 50
15. A device for generating motion in a thin liquid film (7) in accordance with claim 13, wherein the at least one ultrasound wave generating element (3, 30) is arranged on a front surface of the substrate (1) which is not a main surface.
- 55
16. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 13 to 15, wherein the at least one ultrasound wave generating element is suited to generating a frequency of a few MHz to a few 100 MHz.
17. A device in accordance with any one of the claims 13 to 16, wherein the at least one ultrasound wave generating device (3, 73) radiates bidirectionally.
18. A device in accordance with any one of the claims 13 to 17, wherein the material of the substrate (71) is selected such that the reflections on the interface facing away from the liquid are as total as possible and the reflections on the side facing the liquid are not lossy, but are not equal to zero, and the loss of ultrasound intensity inside the substrate is as minimal as possible.

19. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 13 to 18, wherein the at least one ultrasound wave generating element (3, 73, 103) comprises an interdigital transducer (3, 73, 103) on a piezoelectric element (5).
- 5 20. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with claim 19, wherein the electrical terminal of the at least one interdigital transducer (3) is formed by a first supply line on the piezoelectric element (5) and a second supply line on the substrate (1) which are arranged such that they overlap one another.
- 10 21. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with claim 19, wherein the piezoelectric element (5) has a projection over the substrate (1) on which a contact point for the electrical supply line (16) to the at least one interdigital transducer (3) is located.
- 15 22. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with claim 19, wherein the at least one interdigital transducer (3) is contacted through a hole through the substrate (1) which is preferably filled with a conductive adhesive (23).
- 20 23. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with claim 19, wherein the interdigital transducer (3) has antenna mechanisms which can be used for the contactless coupling of a radio frequency signal.
- 25 24. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 19 to 23, wherein the finger electrodes of the interdigital transducer (103) have no spatially constant distance from one another.
26. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with claim 24, wherein the finger electrodes of the interdigital transducer (103) are configured not as straight, but in particular as arcuate.
- 25 26. A device for generating motion in a thin liquid film in accordance with any one of the claims 13 to 25, wherein the substrate (71) has at least one diffusive surface (78, 710).

30 **Revendications**

1. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince en contact avec un substrat (1, 71), en particulier dans un intervalle capillaire, par l'intermédiaire d'un dispositif selon la revendication 13, dans lequel
- 35 - on envoie au moins une onde d'ultrasons (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) à travers le substrat (1, 71) en direction du film liquide (7, 72),
 - les ultrasons (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) générés par au moins un dispositif générateur d'ultrasons (3, 73) sont injectés dans le film liquide (7) de telle sorte que le liquide est mis en mouvement à au moins deux pôles de mouvement (15, 75, 85) par l'énergie ultrasonique générée par le dispositif générateur d'ultrasons, et
- 40 - le film liquide (7, 72) présente une épaisseur de quelques μm jusqu'à 5 mm, de préférence jusqu'à quelques centaines de μm , dans le sens de la direction de propagation de l'onde d'ultrasons.
2. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon la revendication 1, dans lequel ladite au moins une onde d'ultrasons (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) traverse le substrat en oblique par rapport au plan du film liquide (7, 72).
- 45 3. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon la revendication 2, dans lequel on utilise à titre de dispositif générateur d'ultrasons un dispositif générateur d'ultrasons à rayonnement bidirectionnel, de préférence un transducteur interdigital (3, 73).
- 50 4. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel on injecte une onde d'ultrasons (74, 84) dans le substrat (71) de manière à être réfléchi au moins une fois à l'intérieur du substrat, en utilisant un substrat dans lequel la réflexion sur la surface limite détournée du liquide est le plus possible totale, et celle sur la surface limite tournée vers le liquide est affectée d'une perte, mais inégale à 0, et la perte à l'intérieur du substrat est aussi faible que possible.
- 55 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel lesdits au moins deux pôles de mouvement différents (15, 15') sont générés par variation temporelle de la direction de rayonnement ($\alpha, \alpha', \theta, \theta'$) dudit au moins un dispositif

générateur d'ultrasons (3).

- 5
6. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel ladite au moins une onde d'ultrasons est générée à l'aide d'un transducteur interdigital (103) sur un élément piézoélectrique dans lequel les électrodes à doigts mutuellement engagées du transducteur interdigital présentent une distance non constante dans l'espace, et en ce que l'on règle l'endroit de rayonnement et donc l'endroit d'injection de l'onde d'ultrasons dans le film liquide par modification de la fréquence qui s'applique au transducteur interdigital.
- 10
7. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon la revendication 6, dans lequel on utilise un transducteur interdigital (103) dont les électrodes à doigts mutuellement engagées ne sont pas linéaires, mais en particulier en forme d'arc, et en ce que l'on choisit la direction de rayonnement et ainsi l'endroit d'injection de l'onde d'ultrasons dans le film liquide par le choix de la fréquence du champ à haute fréquence appliqué.
- 15
8. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel ladite au moins une onde d'ultrasons (9, 74, 109, 712, 713) est générée à l'aide d'un élément générateur d'onde en surface, de préférence un transducteur interdigital (3, 73, 103) sur un élément piézoélectrique (5) sur le côté du substrat (1, 71) détourné du film liquide (7, 72).
- 20
9. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel ladite au moins une onde d'ultrasons (9) est générée à l'aide d'un élément générateur d'onde en surface (3), de préférence un transducteur interdigital (3) sur un élément piézoélectrique (5) sur une surface frontale du substrat (1).
- 25
10. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel on utilise un substrat (71) qui comprend au moins une surface (78, 710) à dispersion diffuse pour élargir ladite au moins une onde d'ultrasons (74, 712) dans le substrat.
- 30
11. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel la direction de propagation de ladite au moins une onde d'ultrasons (74) dans le substrat (71) est dirigée par des surfaces de réflexion (77) qui font partie de surfaces frontales du substrat (71).
- 35
12. Procédé pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel l'onde d'ultrasons présente une fréquence dans la plage de quelques MHz jusqu'à quelques centaines de MHz.
- 40
13. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince d'une épaisseur de quelques micromètres jusqu'à 5 mm pour mettre en oeuvre un procédé selon la revendication 1, comportant un substrat (1, 71) avec deux surfaces principales dont l'une sert au contact avec le film liquide (7, 72) et au moins un dispositif générateur d'onde d'ultrasons (3, 73) en contact avec le substrat, le film liquide étant séparé dudit au moins un dispositif générateur d'ultrasons (3, 73) par le substrat, **caractérisé en ce que** le dispositif générateur d'onde d'ultrasons est conçu de telle sorte qu'au moins une onde d'ultrasons (9, 17, 74, 84, 109, 712, 713) est injectée en oblique dans le substrat.
- 45
14. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince (7, 72) selon la revendication 13, dans lequel ledit au moins un élément générateur d'onde d'ultrasons (3, 30, 73, 103) est agencé sur une surface principale du substrat (1, 71) qui est opposée à cette surface principale qui sert au contact avec le film liquide (7, 72).
- 50
15. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince (7) selon la revendication 13, dans lequel ledit au moins un élément générateur d'onde d'ultrasons (3, 30) est agencé sur une surface frontale du substrat (1), qui n'est pas une surface principale.
- 55
16. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 13 à 15, dans lequel ledit au moins un élément générateur d'onde d'ultrasons convient pour générer une fréquence de quelques MHz jusqu'à quelques centaines de MHz.
17. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 16, dans lequel ledit au moins un dispositif générateur d'onde d'ultrasons (3, 73) est à rayonnement bidirectionnel.
18. Dispositif selon l'une des revendications 13 à 17, dans lequel le matériau du substrat (71) est choisi de telle sorte que les réflexions sur la surface limite détournée du liquide est le plus possible totale, et les réflexions sur le côté tourné vers le liquide sont affectées d'une perte, mais inégales à 0, et la perte d'intensité ultrasonique à l'intérieur

du substrat est aussi faible que possible.

- 5
19. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 13 à 18, dans lequel ledit au moins un élément générateur d'onde d'ultrasons (3, 73, 103) comprend un transducteur interdigital (3, 73, 103) sur un élément piézoélectrique (5).
- 10
20. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon la revendication 19, dans lequel le raccordement électrique dudit au moins un transducteur interdigital (3) est formé par une première ligne d'alimentation sur l'élément piézoélectrique (5) et par une seconde ligne d'alimentation sur le substrat (1), qui sont agencées de manière à chevaucher l'une avec l'autre.
- 15
21. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon la revendication 19, dans lequel l'élément piézoélectrique (5) présente un porte-à-faux au-dessus du substrat (1), sur lequel se trouve un emplacement de contact pour la ligne d'alimentation électrique (16) vers ledit au moins un transducteur interdigital (3).
- 20
22. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon la revendication 19, dans lequel ledit au moins un transducteur interdigital (3) est mis en contact à travers un trou à travers le substrat (1), qui est de préférence rempli d'une colle conductrice (23).
- 25
23. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon la revendication 19, dans lequel le transducteur interdigital (3) dispose de moyens formant antenne qui sont utilisables pour l'injection sans contact d'un signal haute fréquence.
- 25
24. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 19 à 23, dans lequel les électrodes à doigts du transducteur interdigital (103) ne présentent pas de distance constante dans l'espace les unes des autres.
- 30
25. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon la revendication 24, dans lequel les électrodes à doigts du transducteur interdigital (103) ne sont pas rectilignes, mais conçues en particulier en forme d'arc.
- 35
26. Dispositif pour générer un mouvement dans un film liquide mince selon l'une des revendications 13 à 25, dans lequel le substrat (71) présente au moins une surface (78, 710) à dispersion diffuse.
- 40
- 45
- 50
- 55

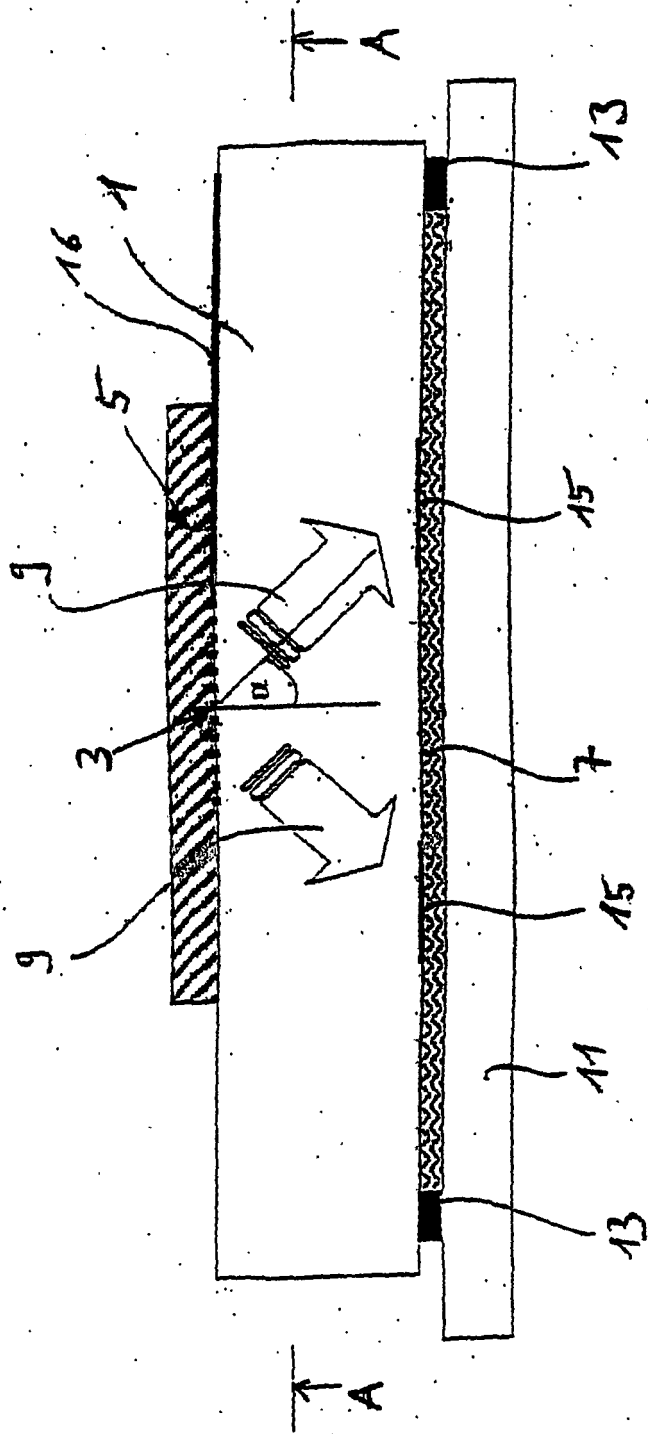


Figure 1a

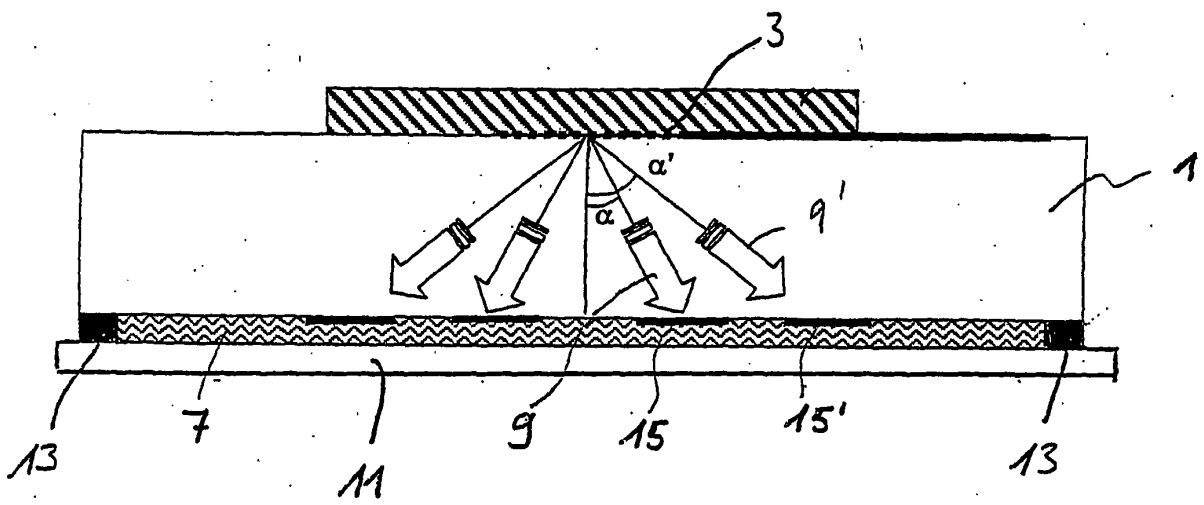


Figure 1b

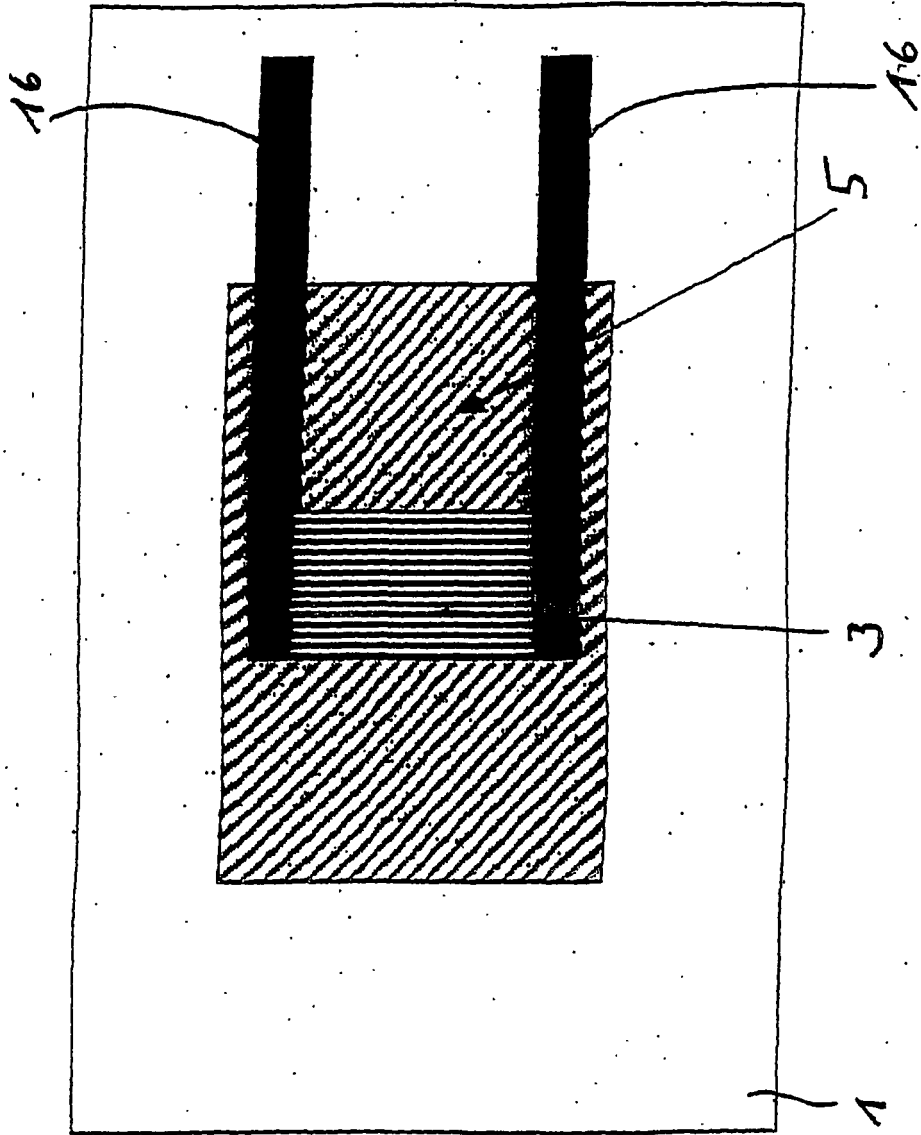
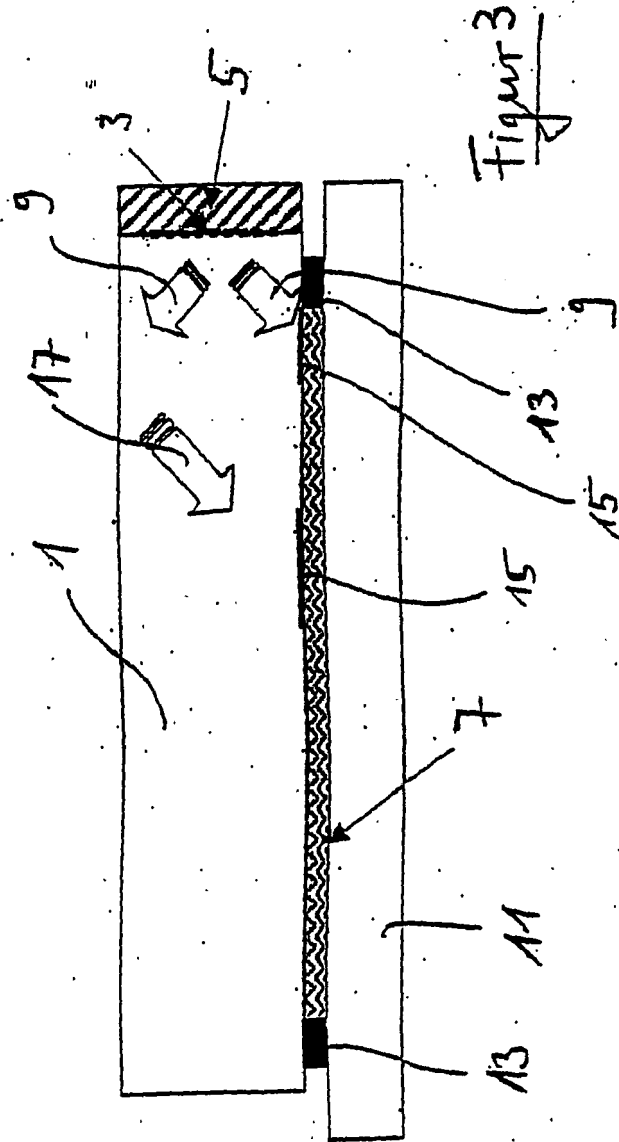


Figure 2



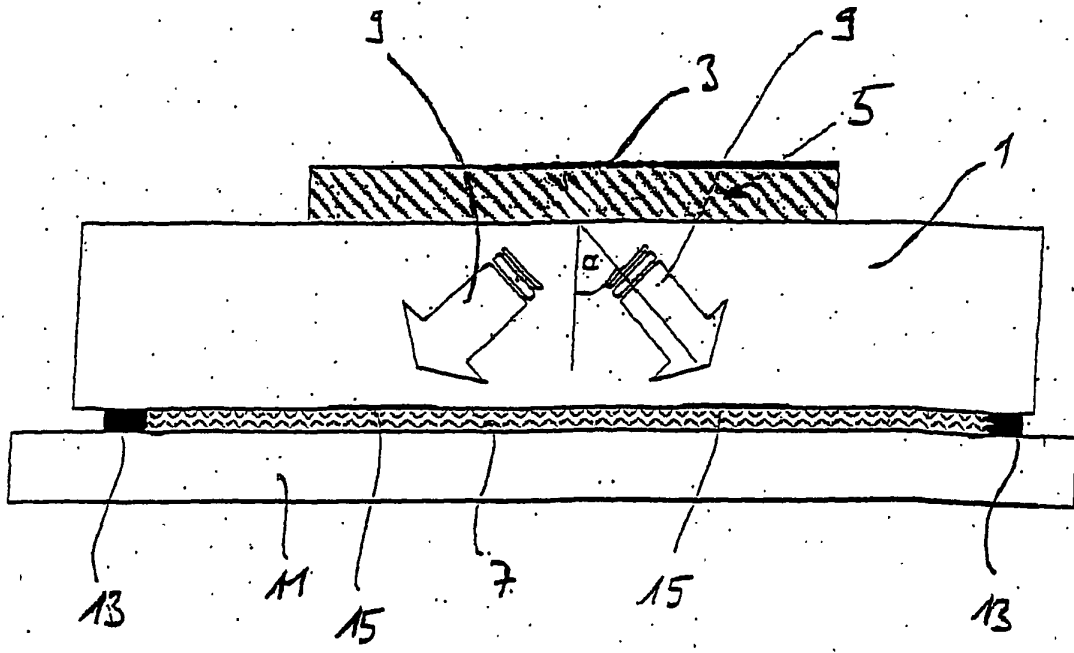


Figure 4

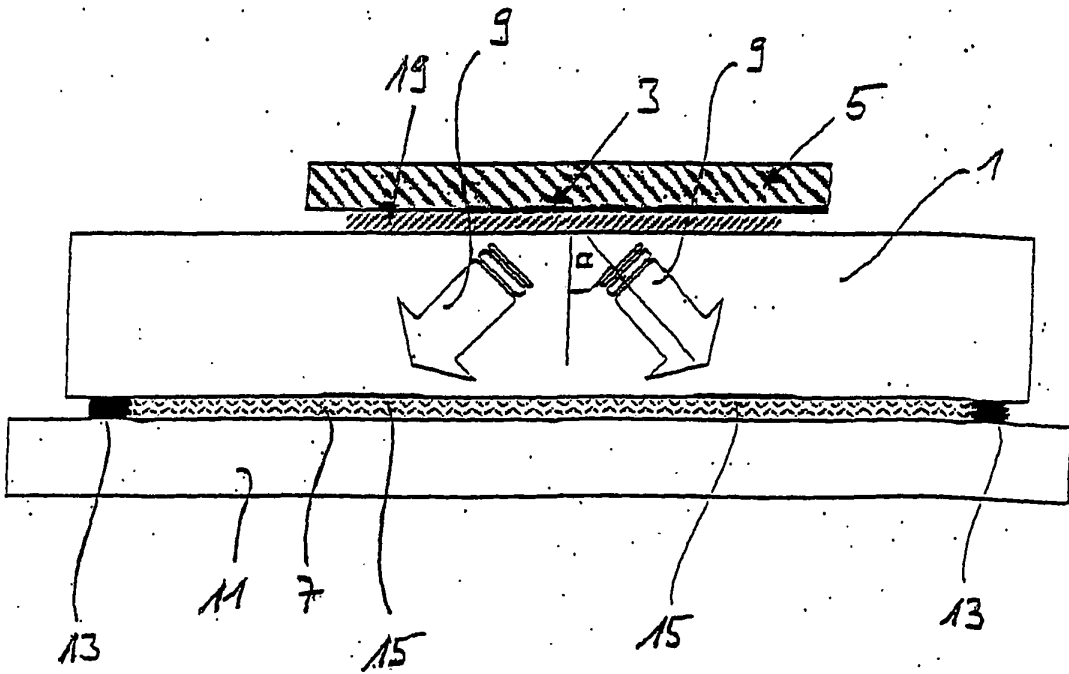
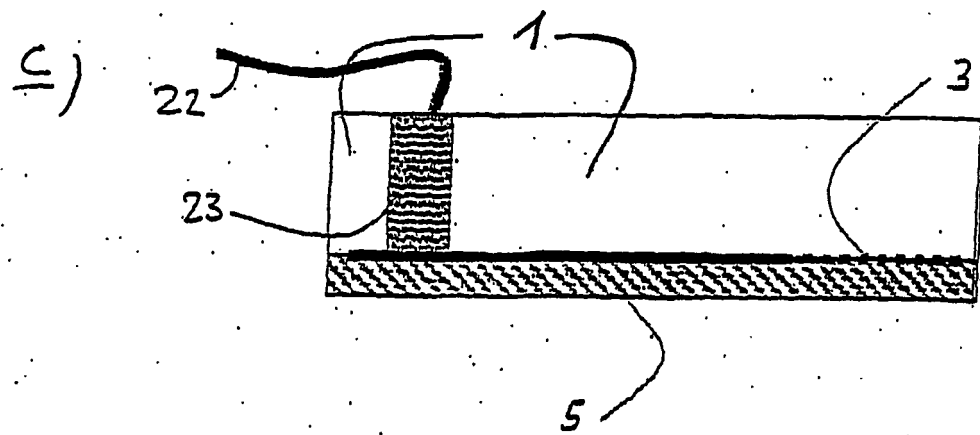
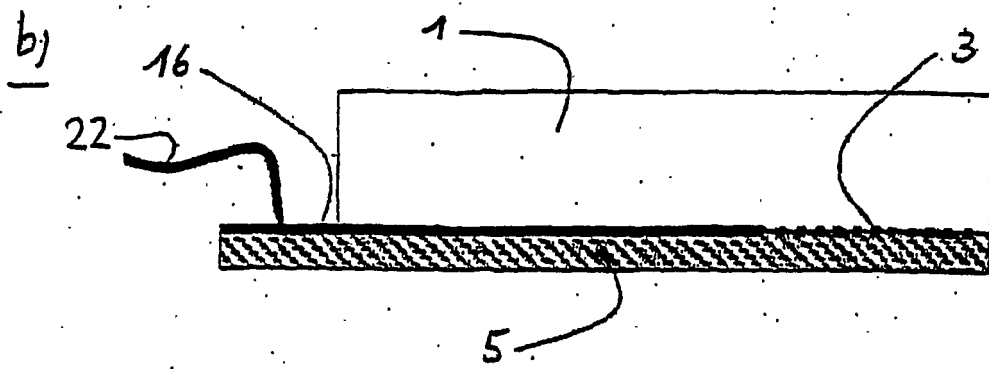
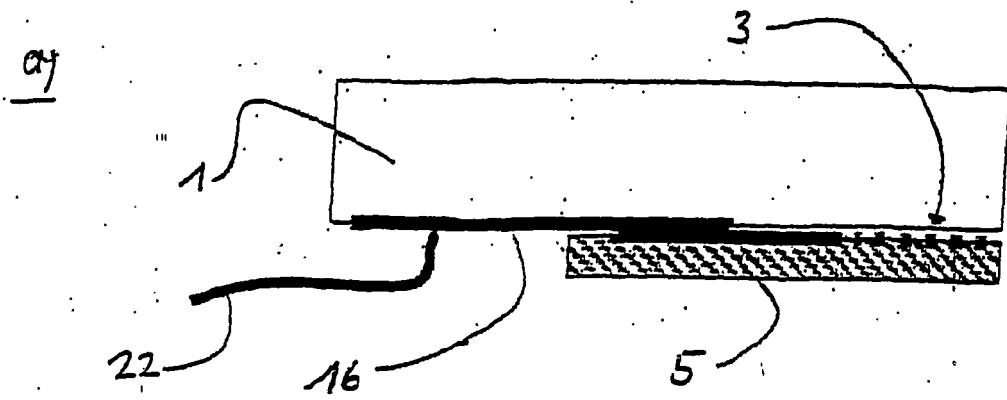


Figure 5

Figur 6



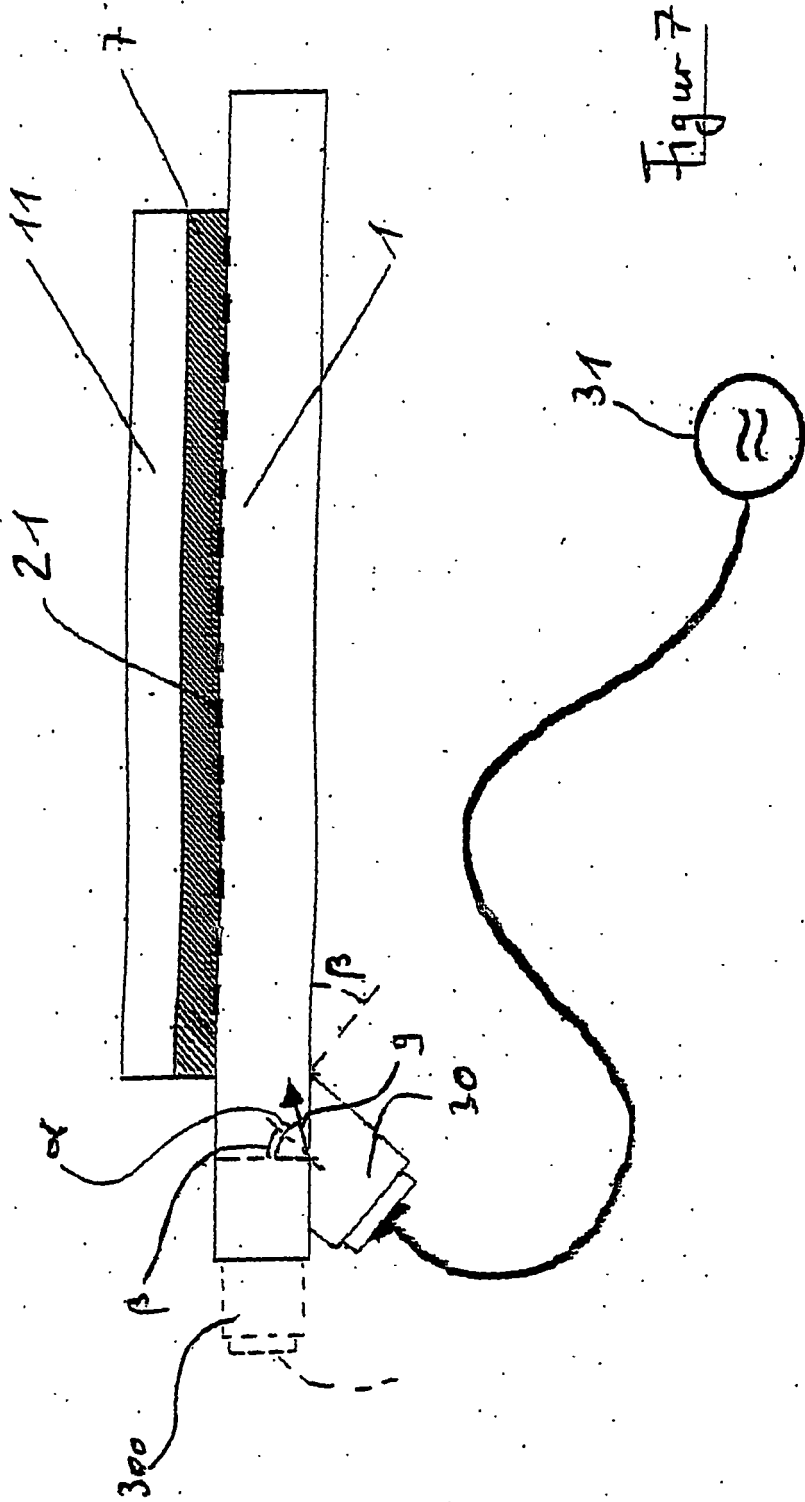


Figure 7

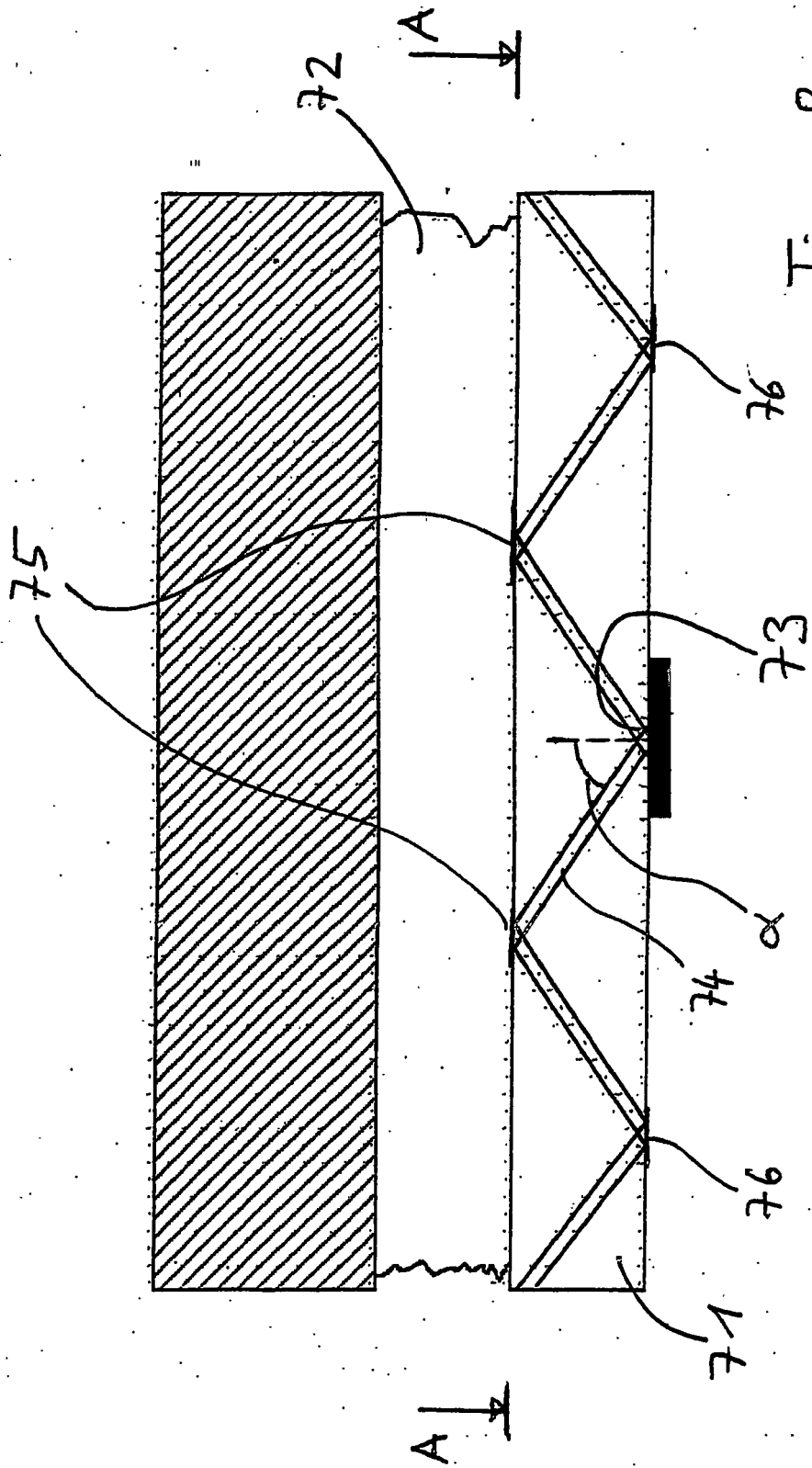


Figure 8a

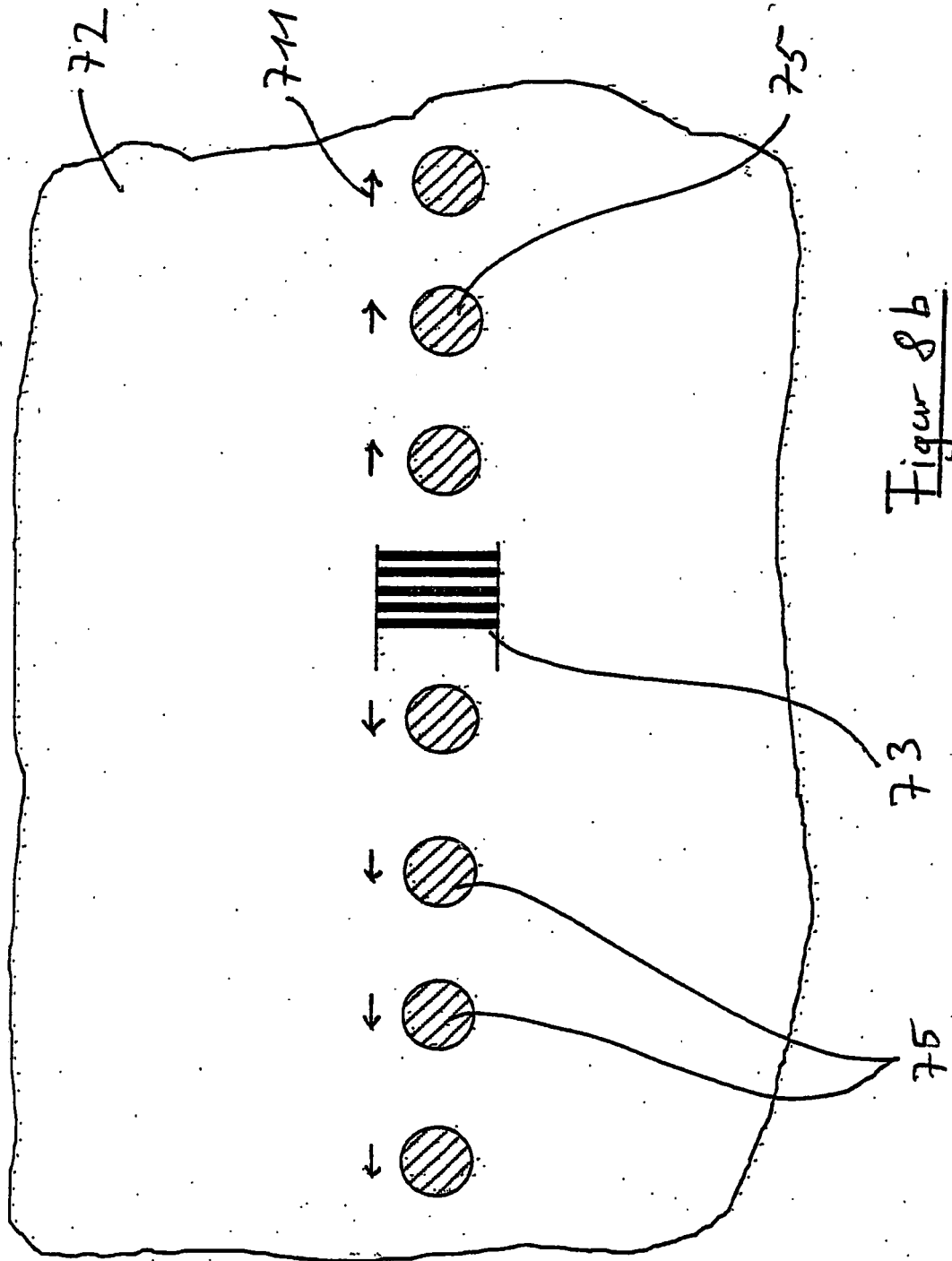


Figure 8b

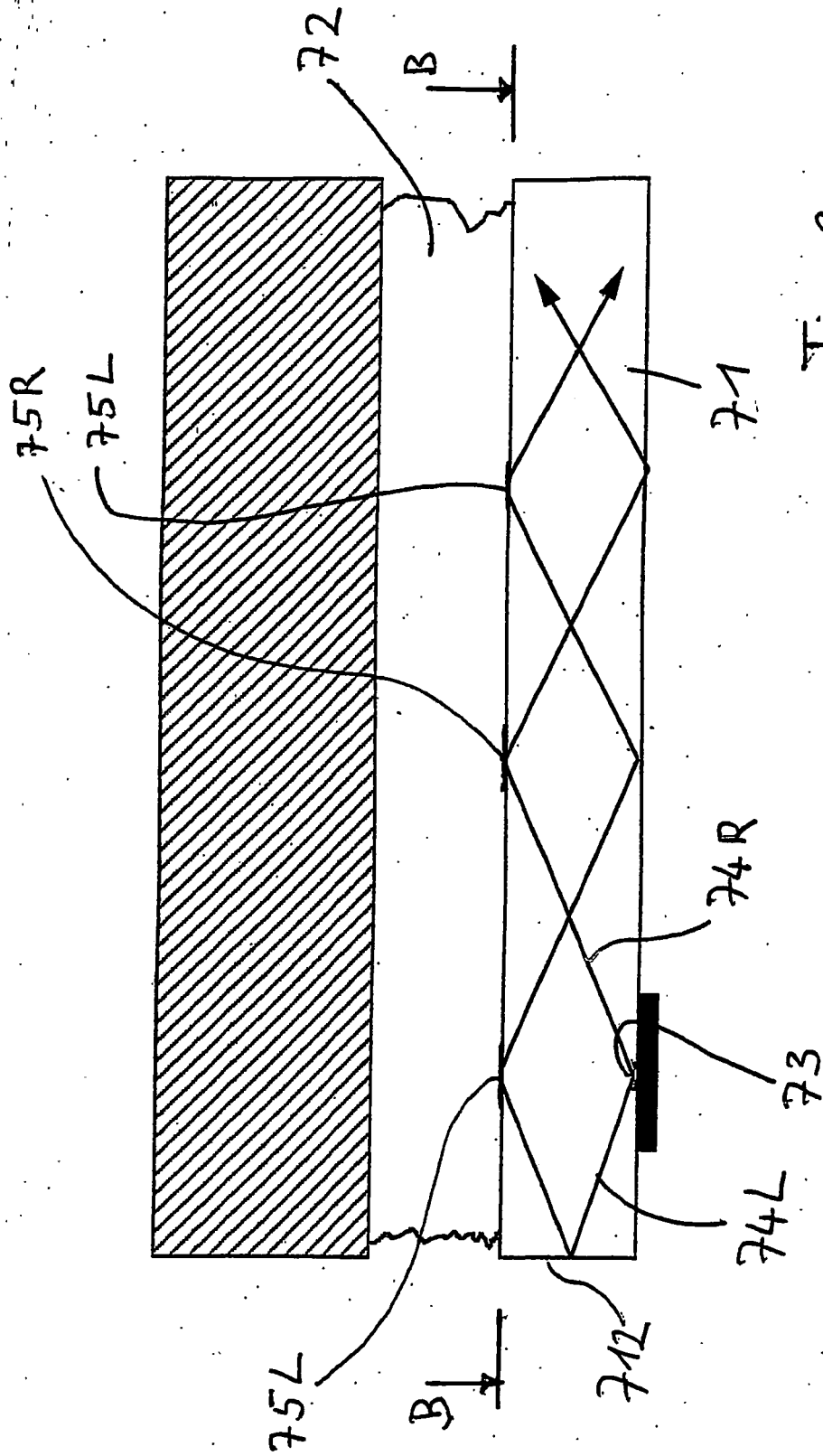
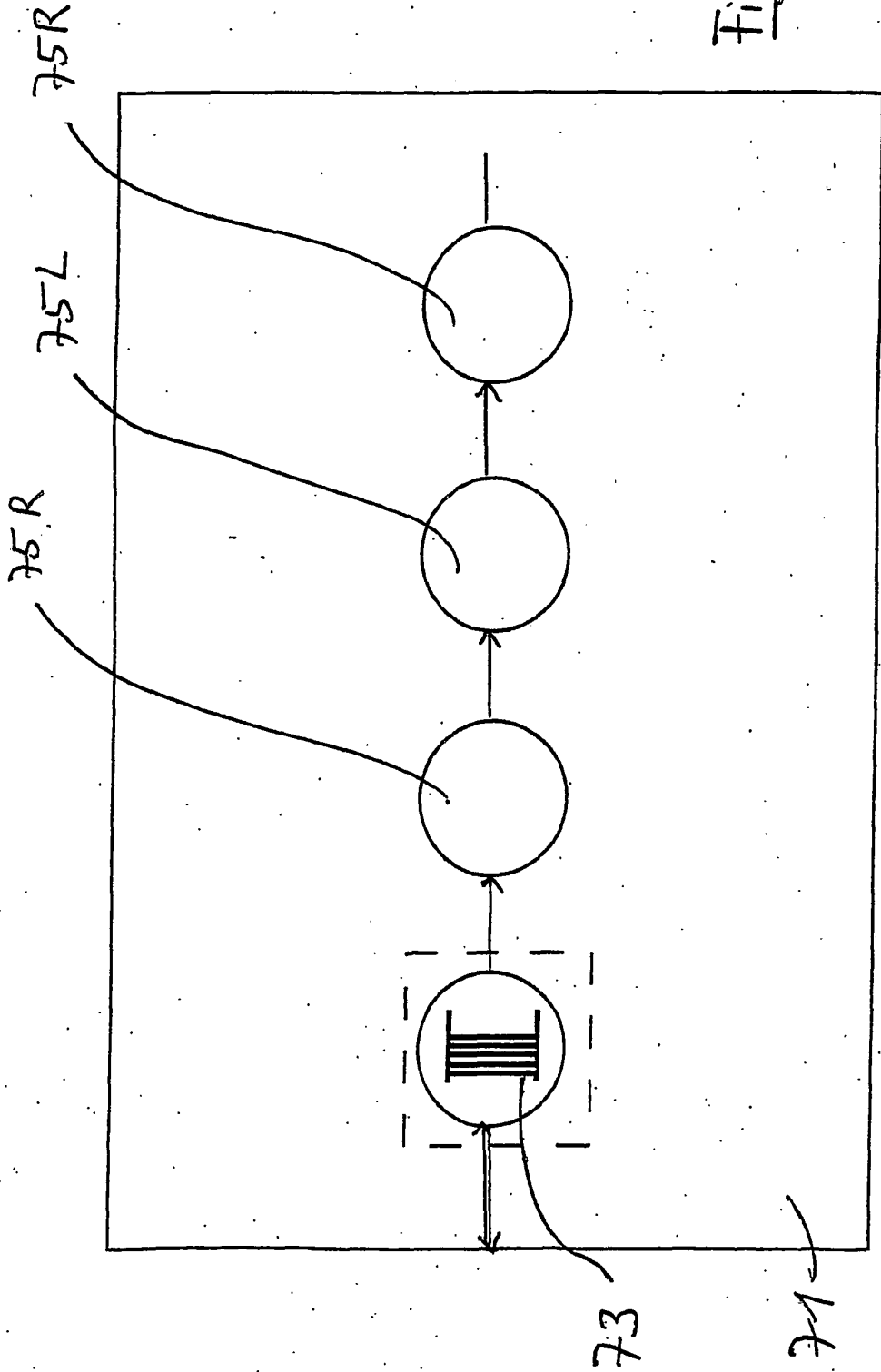


Figure 9a

Figur 9b



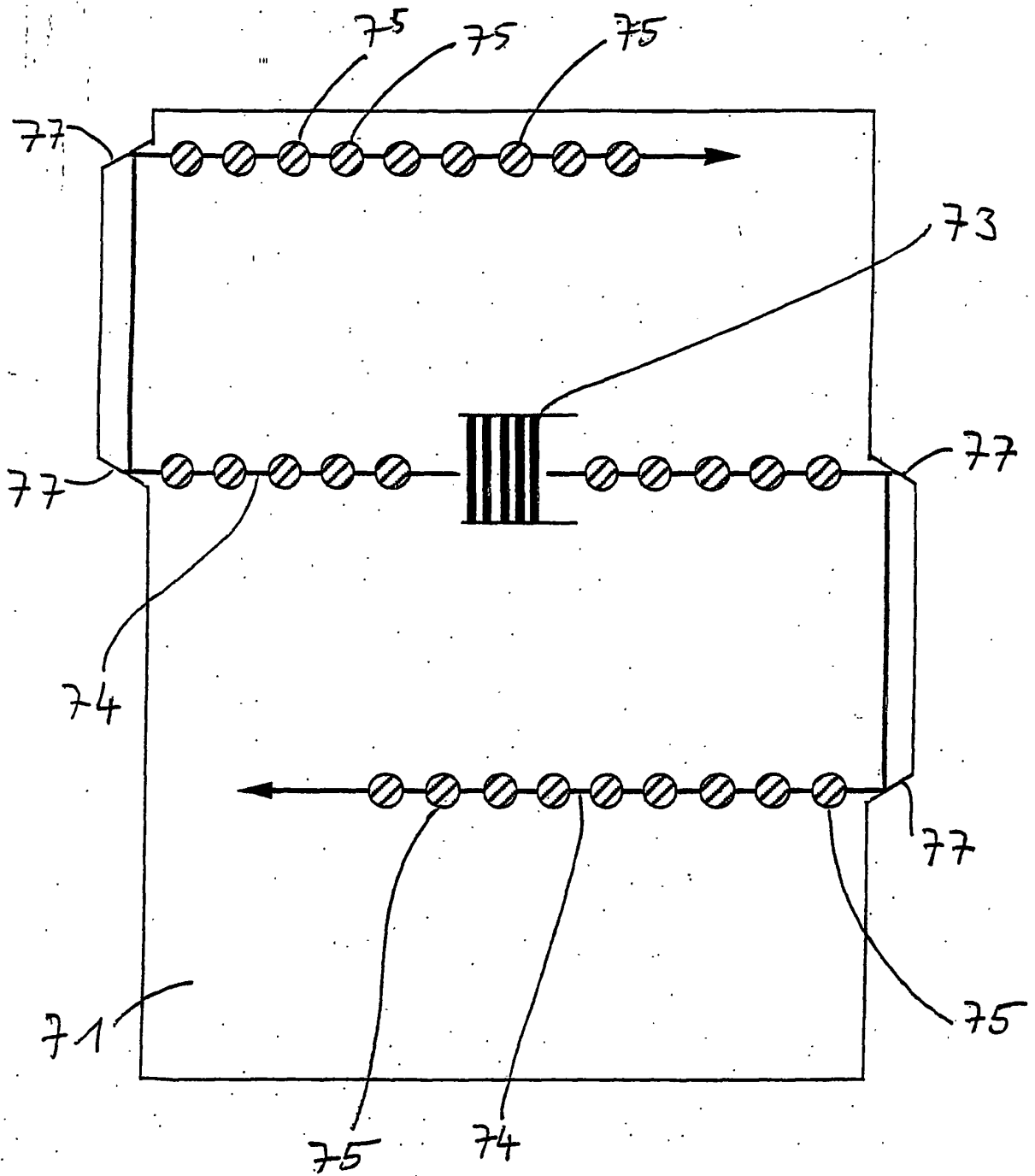


Figure 10a

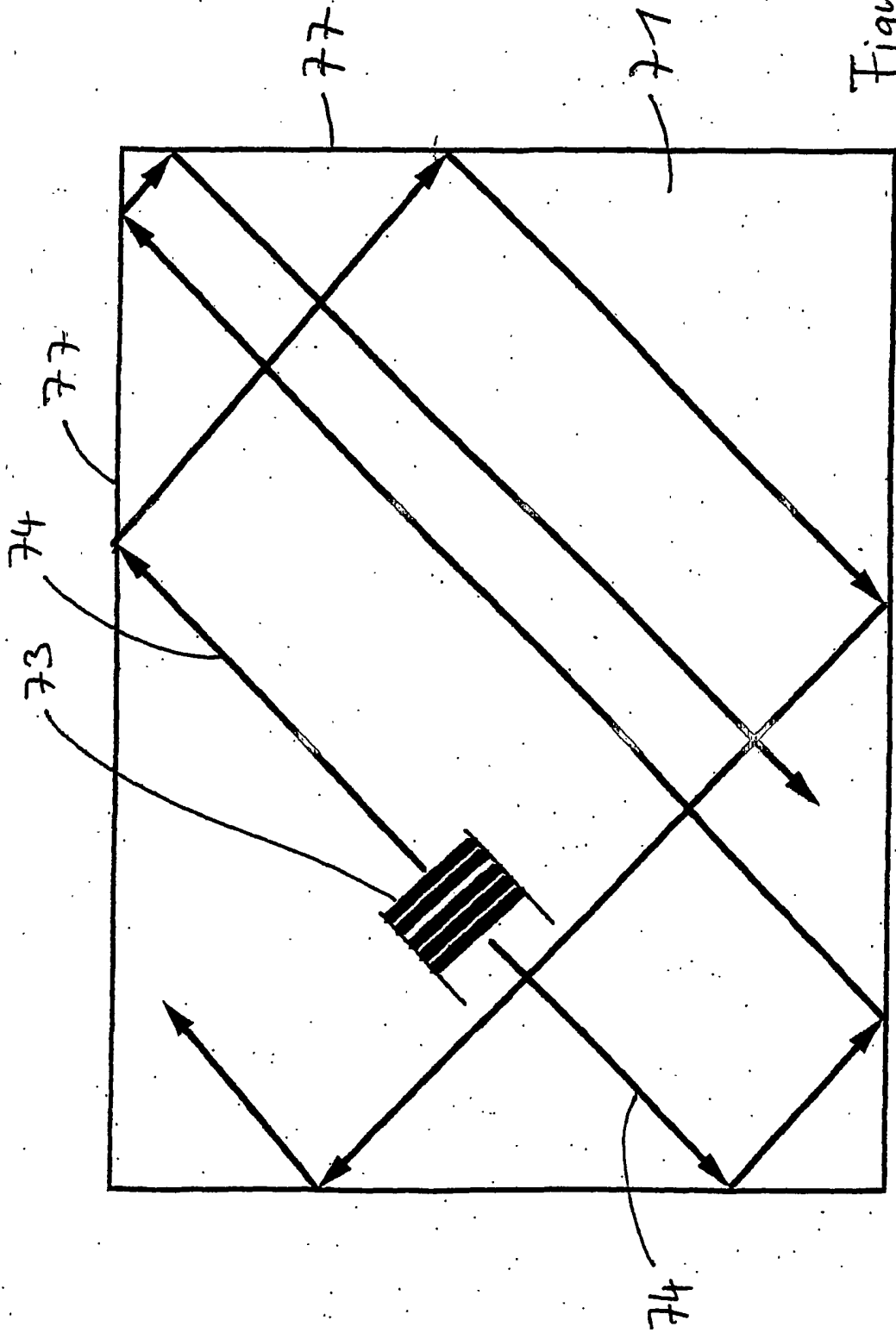


Figure 10b

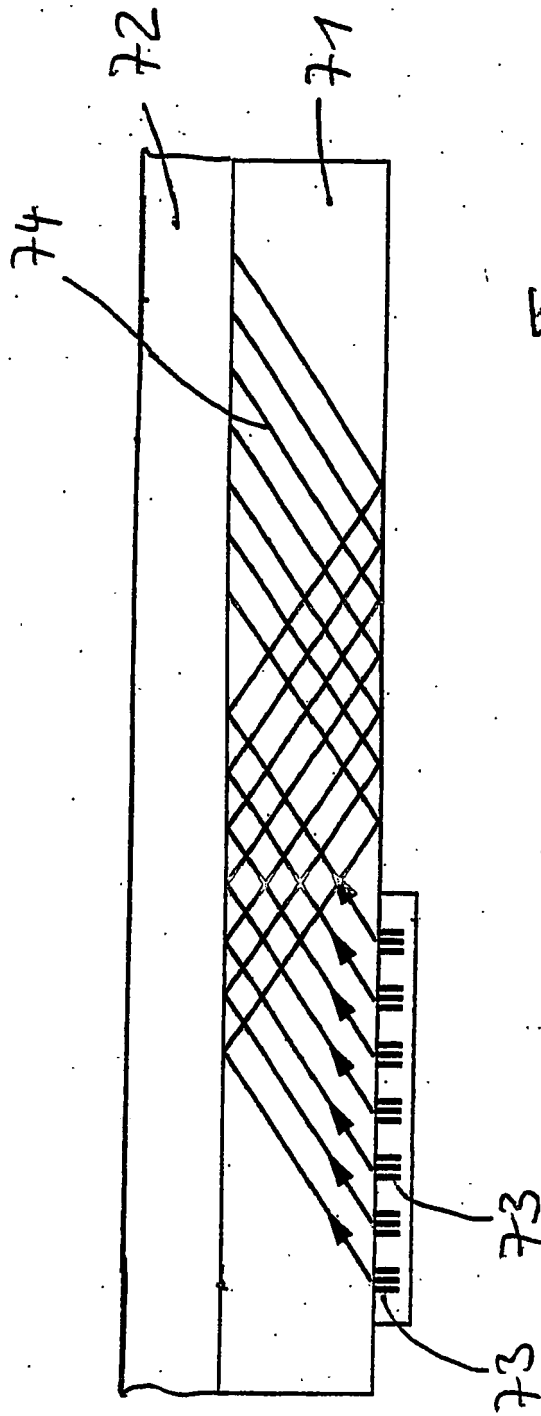


Figure 11

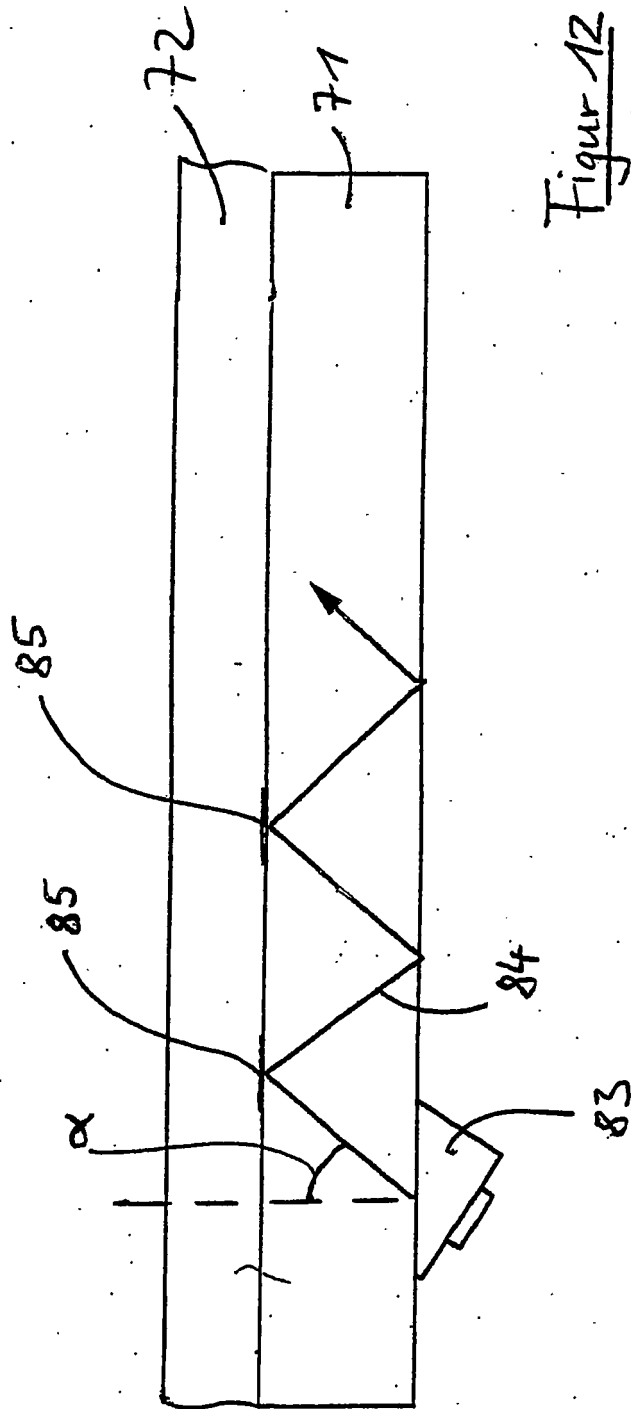
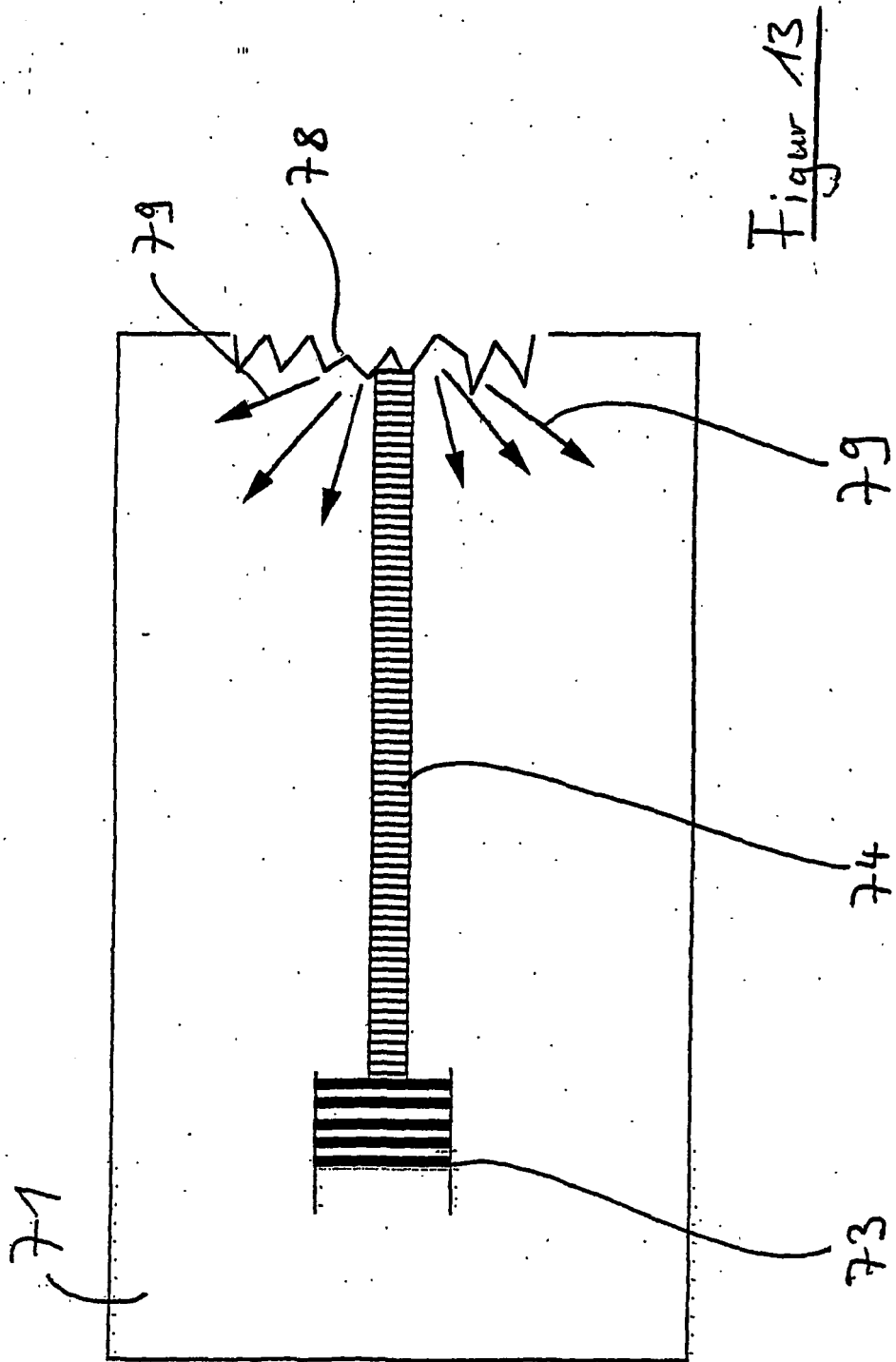


Figure 12



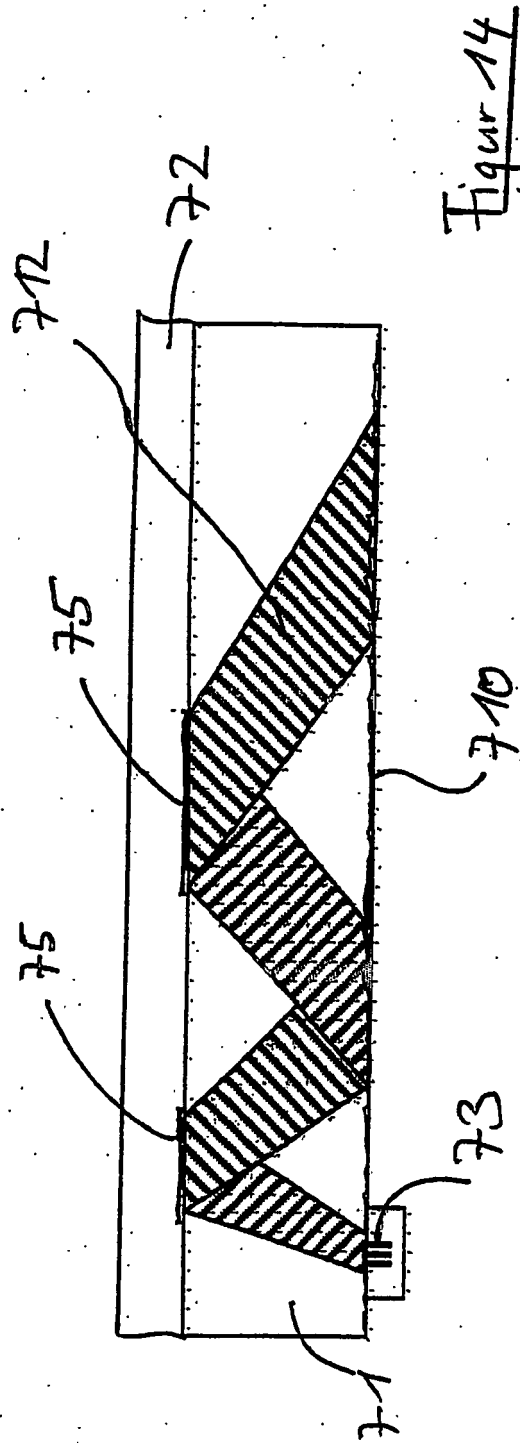


Figure 14

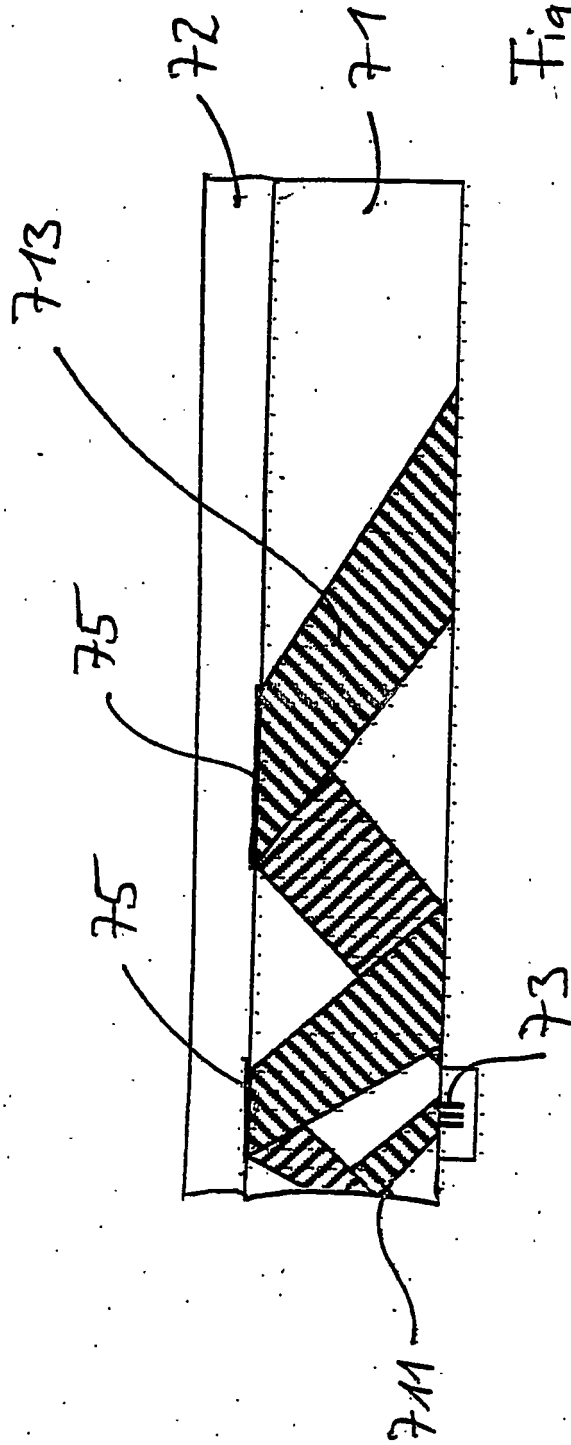
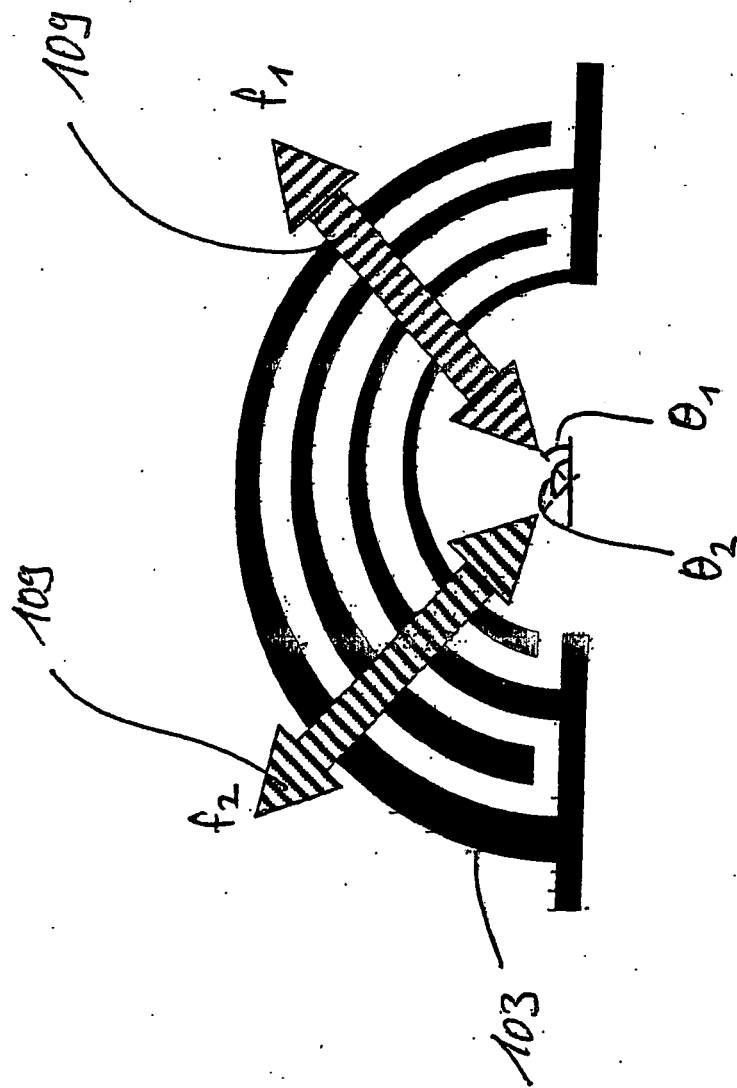


Figure 15

Figure 16



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 10117772 A [0005] [0033] [0044]
- WO 9725531 A [0010]
- WO 0228523 A2 [0011]
- WO 0120781 A1 [0030] [0080]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- Acoustic Streaming. **WESLEY LE MARS NYBORG**. Physical Acoustics 2B. Academic Press, 1965, 265 [0007]
- **S. SHIOKAWA et al.** *IEEE Proceedings of the Ultrasonics Symposium*, 1989, 643ff [0008]