

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 1 200 198 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**22.01.2003 Patentblatt 2003/04**

(21) Anmeldenummer: **00949481.6**

(22) Anmeldetag: **10.08.2000**

(51) Int Cl.7: **B05B 17/06**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP00/07798**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 01/012340 (22.02.2001 Gazette 2001/08)**

(54) **AKTORBAUGLIED FÜR EINEN MIKROZERSTÄUBER UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG**

ACTUATOR COMPONENT FOR A MICROSPRAY AND ITS PRODUCTION PROCESS

ELEMENT D'ACTIONNEUR DESTINÉ À UN MICRODIFFUSEUR ET SON PROCÉDE DE RÉALISATION

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB**

(30) Priorität: **12.08.1999 DE 19938055**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**02.05.2002 Patentblatt 2002/18**

(73) Patentinhaber: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.**  
**80636 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **SCHNUPP, Ralf**  
**D-91074 Herzogenaurach (DE)**  
• **THOMAS, Jochen**  
**D-93049 Regensburg (DE)**

(74) Vertreter: **Schoppe, Fritz, Dipl.-Ing.**  
**Patentanwälte Schoppe, Zimmermann,**  
**Stöckeler & Zinkler,**  
**Postfach 71 08 67**  
**81458 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 465 229**

- **PANEVA R ET AL: "Micromechanical ultrasonic liquid nebulizer" SENSORS AND ACTUATORS A,CH,ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, Bd. 62, Nr. 1-3, 1. Juli 1997 (1997-07-01), Seiten 765-767, XP004119723 ISSN: 0924-4247 in der Anmeldung erwähnt**

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).

**EP 1 200 198 B1**

## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Aktorbauglied für einen Mikrozerstäuber und insbesondere auf ein Aktorbauglied für einen piezoelektrisch betriebenen Mikrozerstäuber, auf Verfahren zur Herstellung eines solchen Aktorbauglieds sowie auf einen Mikrozerstäuber unter Verwendung eines solchen Aktorbauglieds.

**[0002]** Elemente zur Zerstäubung flüssiger Medien, die im folgenden abgekürzt lediglich als Zerstäuber bezeichnet werden, finden in vielen technischen Bereichen Einsatz, beispielsweise der Kosmetikindustrie zur Zerstäubung von Haarsprays und Parfüms, in der Medizin als Medikamentensprays, bei unterschiedlichen Beschichtungstechniken zur Zerstäubung von Lacken und Klebern, in der Chemie zur Vernebelung von flüssigen Reagenzien, sowie auf dem Gebiet der Haustechnik als Raumluftbefeuchter.

**[0003]** Ein Großteil der derzeit verwendeten Zerstäuber arbeitet mittels einer mechanischen Zerstäubung, bei der die Flüssigkeit durch einen mechanisch erzeugten Überdruck durch ein Ventil geeigneter Form und Größe gepreßt wird. Dadurch strömt das Medium, d.h. die zu zerstäubende Flüssigkeit, in kleinen Tröpfchen meist statisch verteilt aus und bildet einen Flüssigkeitsnebel. Der benötigte Überdruck wird manuell durch einen Pumpvorgang, beispielsweise bei Parfümzerstäubern, oder durch Verwendung von Überdruckreservoirs, z.B. Treibgas in Haarsprays, erzeugt.

**[0004]** Neben den oben beschriebenen mechanischen Systemen existieren auch elektrisch angetriebene Vernebler, die auf piezoelektrischen Substraten basieren, die elektrisch zum Schwingen angeregt werden. Dabei wird eine auf der Oberfläche des piezoelektrischen Substrats befindliche Flüssigkeit durch die entstehenden Kapillarwellen zerstäubt.

**[0005]** In "Micromechanical Ultrasonic Liquid Nebulizer", von R. Paneva u.a., Sensors and Actuators A 62 (1997), S. 765 bis 767, ist ein piezoelektrischer Zerstäuber beschrieben, bei dem durch eine piezoelektrische ZnO-Schicht eine dünne Siliziummembran in Schwingungen versetzt wird, wobei von der dünnen Siliziummembran Flüssigkeiten zerstäubt werden. Der in dieser Schrift beschriebene Zerstäuber arbeitet bei einer Schwingfrequenz von 80 bis 86,5 kHz, wobei der dort offenbarte Zerstäuber Tröpfchen stark unterschiedlicher Durchmesser erzeugt.

**[0006]** Alle bestehenden mechanischen wie auch piezoelektrischen Systeme besitzen einen Hauptnachteil dahingehend, daß die Tröpfchendurchmesser in einem breiten Bereich variieren. Dies stellt insbesondere bei medizinischen Anwendungen einen großen Nachteil dar. Damit Tröpfchen von der Lunge aufgenommen werden, müssen diese einen Durchmesser von etwa 1 bis 5 µm besitzen. Alle bekannten Systeme erreichen dies nur zu einem gewissen Teil, so daß die Wirksamkeit der auf dem Markt befindlichen Zerstäuber nur 10% bis ma-

ximal 15% beträgt. Das heißt, daß bei den bekannten Zerstäubern das zehnfache Volumen vernebelt werden muß, um die für den Patienten notwendige Medikamentenmenge in die Lunge zu transportieren. Daneben schwankt bei den bekannten Zerstäubern das zu zerstäubende Volumen einzelner Dosiervorgänge in einem großen Bereich.

**[0007]** Alle bekannten mechanischen Zerstäuber haben zudem den Nachteil, daß Düsen verwendet werden müssen, die sehr anfällig gegen eine Verstopfung sind. Aus diesem Grund sind mechanische Systeme stets ein Wegwerfprodukt. Die Verwendung von Düsen erhöht überdies die Wahrscheinlichkeit einer Fehlbedienung, was insbesondere aus medizinischer Sicht in akuten Situationen ungünstig bzw. sogar gefährlich ist.

**[0008]** In "Flüssigkeitszerstäubung durch Ultraschall", in Elektronik 10/1979, Seiten 83 bis 86, ist der Ultraschall zerstäubereffekt beschrieben, der nach dem Prinzip der Kapillarwellentheorie funktioniert.

**[0009]** Die DE 19802368 C1 beschreibt eine Mikrodosiervorrichtung, bei der eine Druckkammer einseitig durch eine Membran begrenzt ist, wobei in der Druckkammer eine Einlaßöffnung und eine Auslaßöffnung vorgesehen sind. Durch eine geeignete Ansteuerung der Membran wird bewirkt, daß für einen Dosiervorgang durch die Einlaßöffnung Fluid angesaugt und durch die Auslaßöffnung ausgestossen wird. Diese Mikrodosiervorrichtung arbeitet auf der Grundlage eines Verdrängungseffekts und nicht auf der Grundlage der Kapillarwellentheorie.

**[0010]** Aus der DE 69404004 T2 ist ein piezoelektrischer Vernebler bekannt, bei dem Flüssigkeit unter Verwendung eines weichen Organs mit kapillarer oder filzartiger Struktur, wie beispielsweise einem offenzelligen Schaumstoff, auf ein Zerstäubungsgitter, das in Schwingungen versetzt wird, aufgebracht wird.

**[0011]** In der WO-A-95/15822 ist eine Zerstäubungsvorrichtung beschrieben, die auf einer Zerstäubung basierend auf der Kapillarwellentheorie beruht. Dabei wird eine Membran in Schwingungen versetzt, um die Zerstäubung zu bewirken. Eine zu zerstäubende Flüssigkeit wird durch Öffnungen in der Membran, die dieselbe vollständig durchdringen, auf die Oberfläche der Membran, von der die Flüssigkeit zerstäubt wird, zugeführt.

**[0012]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Mikrozerstäuber zu schaffen, der zum einen eine Massenfertigung ermöglicht und zum anderen die Zerstäubung von Tröpfchen, die einen definierten Durchmesser aufweisen, mit einem erhöhten Wirkungsgrad ermöglicht, und ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Mikrozerstäubers zu schaffen.

**[0013]** Diese Aufgabe wird durch einen Mikrozerstäuber gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren zum Herstellen eines Mikrozerstäubers nach Anspruch 13 gelöst.

**[0014]** Das bei dem erfindungsgemäßen Zerstäuber verwendete Aktorbauglied nutzt das piezoelektrische Prinzip. Dabei wird eine vorzugsweise in Dünnschichttechnologie hergestellte piezoelektrische Schicht zur Aus-

lenkung einer vorzugsweise in Silizium geätzten dünnen Membran verwendet, die dadurch in

**[0015]** Schwingungen versetzt wird. In das Siliziumsubstrat, in dem die Membran gebildet ist, ist ferner eine Kanaleinrichtung gebildet, die zur Zuführung der zu zerstäubenden Flüssigkeit, um eine im wesentlichen gleichmäßige Benetzung der dem piezoelektrischen Aktor gegenüberliegenden Oberfläche der Membran zu bewirken, dient. Durch die Flüssigkeitszufuhr durch die erfindungsgemäß vorgesehene Kanaleinrichtung, derart, daß die Membran im wesentlichen gleichmäßig benetzt wird, wird erfindungsgemäß verhindert, daß die Tröpfchendurchmesser in einem breiten Bereich variieren. Das Aktorbauglied des erfindungsgemäßen Zerstäubers ist vorzugsweise geeignet angepaßt, um bei einer Frequenz zwischen 2 und 2,5 MHz betrieben zu werden, und derart, daß die durch die Zerstäubung erzeugten Tröpfchen einen Durchmesser zwischen 1 und 5 µm besitzen. Hierzu werden die geometrischen Abmessungen der Membran, die Flüssigkeitszufuhr sowie die verwendete Schwingungsfrequenz als Zerstäubungsparameter geeignet angepaßt, um eine gewünschte Tröpfchengröße einzustellen.

**[0016]** Je nach Größe der Membran kann es erfindungsgemäß vorteilhaft sein, die Kanaleinrichtung derart auszugestalten, daß dieselbe die zu zerstäubende Flüssigkeit aus unterschiedlichen Richtungen zu der Membran zuführt. Beispielsweise kann die Membran rechteckig sein, wobei die Kanaleinrichtung die zu zerstäubende Flüssigkeit über die vier Ecken der Membran zuführt.

**[0017]** Ein erfindungsgemäßer Mikrozerstäuber unter Verwendung eines derartigen Aktorbauglieds kann eine Halterung umfassen, an der das Aktorbauglied derart fixiert ist, daß das Einlassende fluidmäßig mit einer Flüssigkeitszuführungsleitung verbunden ist, daß die Kanaleinrichtung mit Ausnahme einer fluidmäßigen Verbindung derselben mit einer Flüssigkeitszuführungsleitung und der dem piezoelektrischen Aktor gegenüberliegenden Oberfläche der Membran durch die Halterung abgedichtet ist, und daß im Bereich der dem piezoelektrischen Aktor gegenüberliegenden Oberfläche der Membran eine Öffnung der Halterung zum Ausstoß der zerstäubten Flüssigkeit vorgesehen ist.

**[0018]** Die Halterung ist derart ausgebildet, daß das Aktorbauglied ohne weiteres an derselben angebracht werden kann, wobei die Flüssigkeitszuführungsleitung die Halterung vorzugsweise in einer Richtung verläßt, die entgegengesetzt zur Ausstoßrichtung der zerstäubten Flüssigkeit ist.

**[0019]** Ferner schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines piezoelektrisch betriebenen Mikrozerstäubers, bei dem zunächst ein piezoelektrischer Aktor auf eine Hauptoberfläche eines Halbleitersubstrats aufgebracht wird, woraufhin die dem piezoelektrischen Aktor gegenüberliegende Hauptoberfläche des Halbleitersubstrats strukturiert wird, um eine Membran, auf der der piezoelektrische Aktor angeord-

net ist, und eine Kanaleinrichtung, die sich von einem Einlassende zu der Membran erstreckt, in derselben festzulegen. Das Aktorbauglied wird an einer Halterung derart fixiert, daß die dem piezoelektrischen Aktor gegenüberliegende Oberfläche der Membran einer Öffnung in der Halterung zugewandt ist.

**[0020]** Die vorliegende Erfindung schafft somit ein Aktorbauglied für einen piezoelektrisch betriebenen Mikrozerstäuber, das durch die Verwendung der Mikromechanik, und insbesondere der Siliziumtechnologie, ein sehr kleines und preisgünstiges System ermöglicht, das in sehr großen Stückzahlen hergestellt werden kann. Durch die oben beschriebenen Eigenschaften des Zerstäubers werden die Tröpfchenverteilung, die Präzision des zu zerstäubenden Volumens und damit im Falle einer medizinischen Anwendung, die medizinische Wirksamkeit erheblich verbessert. Das Aktorbauglied kommt ohne die Verwendung einer Düse aus, so daß Verstopfungserscheinungen nicht auftreten können. Damit ist das System auch für eine mehrfache Verwendung geeignet, wobei beispielsweise lediglich ein mit der Flüssigkeitszuführungsleitung verbundener Flüssigkeitsbehälter ausgetauscht werden muß. Aufgrund des geringen Leistungsbedarfs des Piezoantriebs ist ferner der Energieverbrauch reduziert.

**[0021]** Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen dargelegt.

**[0022]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a) eine schematische perspektivische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Aktorbauglieds;

Fig. 1b) eine schematische perspektivische Darstellung einer Halterung eines erfindungsgemäßen Mikrozerstäubers;

Fig. 2a) und 2b) schematische Darstellungen zur Erläuterung unterschiedlicher Ausführungsbeispiele von Kanaleinrichtungen erfindungsgemäßer Aktorbauglieder; und

Fig. 3a) bis 3e) schematische Schnittansichten zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Aktorbauglieds.

**[0023]** In Fig. 1a) ist eine schematische perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels eines Aktorbauglieds gezeigt, bei dem in einer Hauptoberfläche eines Siliziumsubstrats 10 eine Membran 12 gebildet ist. Eine schematische Draufsicht des in Fig. 1a) dargestell-

ten Ausführungsbeispiels ist ferner in Fig. 2a) gezeigt, wobei die folgende Beschreibung bezugnehmend auf die Fig. 1a) und 2a) fortgesetzt wird. In diesen Figuren ist jeweils die Zerstäubungsoberfläche der Membran 12 erkennbar, so daß der auf der gegenüberliegenden Oberfläche der Membran angeordnete piezoelektrische Aktor in diesen Figuren nicht zu sehen ist. Der piezoelektrische Aktor dient dazu, die Membran 12 in Schwingungen zu versetzen. In der Substratoberfläche, die die Ausnehmung aufweist, durch die die Membran 12 festgelegt ist, ist ferner eine Kanaleinrichtung 14 gebildet, die eine Zuführung einer zu zerstäubenden Flüssigkeit zu der Zerstäubungsoberfläche der Membran 12 ermöglicht. Ferner ist in dieser Hauptoberfläche des Siliziumsubstrats 10 eine Ausnehmung 16, die als Medieneinlaß dient, vorgesehen.

**[0024]** Die Kanaleinrichtung 14 liefert eine fluidmäßige Verbindung zwischen dem Medieneinlaß 16 und der Zerstäubungsoberfläche der Membran 12, um eine im wesentlichen gleichmäßige Benetzung der Zerstäubungsoberfläche mit der zu zerstäubenden Flüssigkeit zu ermöglichen. Zu diesem Zweck besitzt bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel die Kanaleinrichtung 14 Kanalabschnitte 14a, 14b, 14c und 14d, die die zu zerstäubende Flüssigkeit aus der Richtung der vier Ecken der im wesentlichen rechteckigen Membran 12 zur Zerstäubungsoberfläche derselben zuführen. Dabei ist anzumerken, daß bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel die Membran 12 durch eine Membranausnehmung festgelegt ist, die mittels eines KOH-Ätzverfahrens gebildet wurde, so daß die Seitenwände 18 der Membranausnehmung die in Fig. 1a) zu erkennende Schräge mit einem Winkel von etwa 55 Grad aufweisen. Wie ebenfalls zu erkennen ist, enden die Abschnitte 14a, 14b, 14c und 14d der Kanaleinrichtung 14 jeweils derart im oberen Bereich der geneigten Seitenflächen 18, daß die Zuführung des zu zerstäubenden Mediums über die geneigten Seitenflächen 18 stattfindet. Darüber hinaus ist anzumerken, daß die Medieneinlaßausnehmung 16 sowie die Kanaleinrichtung 14 ebenfalls durch ein KOH-Ätzen gebildet sein können.

**[0025]** Das derart gebildete Aktorbauglied, wie es beispielsweise in Fig. 1a) gezeigt ist, wird nun zum Aufbau eines Mikrozerstäubers in eine Halterung, wie sie beispielsweise in Fig. 1b) gezeigt ist, eingebracht. Zu diesem Zweck weist die Halterung 20 ein Aufnahmefach 22 auf, in das das Aktorbauglied eingebracht wird und in dem dasselbe auf geeignete Weise festgelegt werden kann. Zu diesem Zweck weist die Halterung 20 vorzugsweise Vorsprünge 24 und 26 auf, die das Aktorbauglied halten. Ferner ist die Halterung 20 derart ausgebildet, daß dieselbe zusammen mit dem Aktorbauglied geschlossene Kanäle bildet, die mit der Zerstäubungsoberfläche der Membran 12 sowie dem Medieneinlaß 16 fluidmäßig verbunden sind. Die Halterung 20 weist vorzugsweise ferner eine Einrichtung 28 zum Anschließen einer Flüssigkeitsleitung 29, vorzugsweise eines Schlauchs, auf, derart, daß die Flüssigkeitsleitung 29

fluidmäßig mit dem Medieneinlaß 16 verbunden ist. Die Halterung 20 weist ferner eine Öffnung 30 auf, die, wenn das Aktorbauglied in der Halterung 20 montiert ist, oberhalb der Zerstäubungsoberfläche der Membran 12 angeordnet ist, um somit einen Ausstoß der zerstäubten Flüssigkeit zu ermöglichen. Die Flüssigkeitsleitung 29 ist bezüglich der Öffnung 30 vorzugsweise derart angeordnet, daß die Öffnung 30 beispielsweise in einem Atemkanal eines Inhalators angeordnet sein kann. Zu diesem Zweck verläßt die Flüssigkeitsleitung 29 die Halterung 20 vorzugsweise gegenüber der Öffnung 30, wie in Fig. 1b) gezeigt ist. Die Öffnung 30 kann bei alternativen Ausführungsbeispielen mit einem Gitter versehen sein, das beispielsweise für eine präzise definierte Tröpfchengröße sorgt oder einen Überkopfbetrieb des Systems zuläßt.

**[0026]** Das in Fig. 1a) dargestellte Aktorbauglied besteht vorzugsweise aus Silizium, während die in Fig. 1b) dargestellte Halterung aus Kunststoff, was hinsichtlich des Systempreises vorteilhaft ist, oder jedem beliebigen anderen geeigneten Material hergestellt sein kann. Das Aktorbauglied kann beispielsweise mittels anodischer Bondverfahren an der Halterung angebracht werden, wobei überdies durch derartige anodische Bondverfahren auch eine sehr feste, dichte und stabile Verbindung zu einem weiteren Siliziumchip möglich ist, der wiederum geeignete Kanäle und Flüssigkeitsanschlüsse enthalten kann.

**[0027]** Bei der in Fig. 1b) dargestellten Halterung ist in gestrichelten Linien eine Möglichkeit zur fluidmäßigen Verbindung der Einrichtung 28 zum Anschließen einer Flüssigkeitsleitung mit dem Medieneinlaß 16 gezeigt. Dabei ist anzumerken, daß durch das Vorsehen einer entsprechenden Ausnehmung 32 in der Halterung 20 auf die Medieneinlaßausnehmung 16 in dem Substrat 10 des Aktorbauglieds verzichtet werden kann, wenn die Kanaleinrichtung 14 unter der Ausnehmung 32 endet, so daß dadurch eine fluidmäßige Verbindung sichergestellt ist.

**[0028]** Im Betrieb wird über die Flüssigkeitsleitung 29, den Medieneinlaß 16 und die Kanaleinrichtung 14 die Zerstäubungsoberfläche der Membran 12 gleichmäßig mit der zu zerstäubenden Flüssigkeit benetzt. Zu diesem Zweck ist die Flüssigkeitsleitung 29 mit einem Flüssigkeitsreservoir (nicht dargestellt) verbunden, bei dem es sich vorzugsweise um einen Überdruckbehälter handelt, der über ein Ventil fluidmäßig mit der Flüssigkeitsleitung 29 verbindbar ist. Die Membran 12 wird durch den piezoelektrischen Aktor in Schwingungen versetzt, so daß auf der Grundlage der Kapillarwellentheorie die auf der Zerstäubungsoberfläche der Membran 12 befindliche Flüssigkeit zerstäubt wird. Während des Zerstäubungsvorgangs wird dabei kontinuierlich Zerstäubungsflüssigkeit über die Kanaleinrichtung 14 zugeführt.

**[0029]** Durch diese Vorgehensweise kann durch das erfindungsgemäße Aktorbauglied eine Zerstäubung durchgeführt werden, die Tröpfchen zur Folge hat, de-

ren Durchmesser nicht in einem großen Bereich variieren, sondern deren Durchmesser in einem definierten Bereich, für die Medizintechnik vorzugsweise zwischen 1 und 5 µm gehalten werden kann. Tröpfchen dieser Größenordnung werden unter Verwendung einer Anregungsfrequenz des piezoelektrischen Aktors im Bereich von 2,0 bis 2,5 MHz erhalten, wobei der genaue Wert der Anregungsfrequenz eine geringe Abhängigkeit von der Viskosität der zu zerstäubenden Flüssigkeit aufweist.

**[0030]** In Fig. 2b) ist eine schematische Draufsicht einer Kanaleinrichtung 34 gezeigt, wie sie für eine Membran 36 geringer Größe ausreichen kann, um noch eine gleichmäßige Benetzung derselben mit der zu zerstäubenden Flüssigkeit zu bewirken. Die Kanaleinrichtung 34 ist wiederum fluidmäßig mit einer Ausnehmung 16, die einen Medieneinlaß definiert, verbunden. Die in Fig. 2b) dargestellte Anordnung eignet sich für die Zerstäubung von kleinen Fluidvolumen, während die in Fig. 2a) dargestellte Ausführungsform für die Zerstäubung von größeren Fluidvolumen geeignet ist.

**[0031]** Die Kanäle 14 bzw. 34 wirken neben der Flüssigkeitszufuhr aufgrund der Querschnittsverengung zudem als Flußrestriktion. Bei einem konstanten Ausgangsdruck der Flüssigkeit und durch die mit einem präzisen Querschnitt hergestellten Kanäle stellt sich somit ein konstanter Fluß zu der piezoelektrischen Membran 12 bzw. 36 ein. Dabei ist zu beachten, daß die Kanäle gemäß der vorliegenden Erfindung mittels der Siliziumtechnologie präzise geätzt werden können, so daß eine definierte Zufuhr der Flüssigkeit zu der Zerstäubungsoberfläche der Membran möglich ist. Somit können durch verschieden gewählte Querschnitte die Mikroaktoren gezielt auf die gewünschten Flußmengen eingestellt werden, so daß die Zerstäubung sehr präzise definierter Volumina möglich ist.

**[0032]** Beim Einsatz in medizinischen Anwendungen ist die Bioverträglichkeit der mit den Flüssigkeiten in Berührung kommenden Komponenten zu beachten. Dabei werden freiliegende Oberflächen, die mit den Flüssigkeiten in Berührung kommen können, mit einer Schutzschicht versehen, die vorzugsweise aus Titan oder Titantitrid besteht.

**[0033]** Nachfolgend wird bezugnehmend auf die Fig. 3a) bis 3e) ein Verfahren zum Herstellen eines erfindungsgemäßen Aktorbauglieds beschrieben.

**[0034]** Als Grundmaterial für das Aktorbauglied wird vorzugsweise ein einkristallines Siliziumsubstrat 10 verwendet, das n-oder p-dotiert sein kann. Auf einer Oberfläche des Siliziumsubstrats 10 wird eine Ionenimplantation, beispielsweise mit Phosphor, durchgeführt, um eine Membranschicht 40 zu erzeugen. Vorzugsweise wird dabei als Siliziumsubstrat 10 ein p-Silizium verwendet, während die Schicht 40 eine n-leitende Schicht darstellt. Die Schicht 40 dient später ferner als untere Elektrode zur Ansteuerung der piezoelektrischen Schicht. Das Substrat 10, auf dem die Implantationsschicht 40 angeordnet ist, wird nachfolgend einer Oxidation unter-

zogen, um SiO<sub>2</sub>-Schichten 42 und 44 zu erzeugen. Der sich ergebende Schichtverbund ist in Fig. 3a) dargestellt.

**[0035]** Auf der Rückseite wird nunmehr eine Maskierungsschicht 46 gebildet, die vorzugsweise aus Siliziumnitrid Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> besteht und vorzugsweise durch eine chemische Abscheidung, beispielsweise LPCVD (= Low Power Chemical Vapor Deposition), gebildet wird. In der oberen Oxidschicht 42 wird eine Öffnung 48 für eine spätere Kontaktierung der Implantationsschicht 40 gebildet, siehe Fig. 3b).

**[0036]** Die untere Oxidschicht 44 und die Siliziumnitridschicht 46 werden, beispielsweise durch photolithographische Verfahren, strukturiert, um eine Öffnung 50 für das spätere Freiätzen der Membranausnehmung von der Unterseite des Siliziumsubstrats 10 her zu definieren. Oberhalb dieser Öffnung 50 wird auf der oberen Oxidschicht 42 ein piezoelektrisches Material 52 aufgebracht, das beim fertiggestellten Bauelement als piezoelektrischer Aktor wirkt. Das piezoelektrische Material kann beispielsweise aus AlN, PZT oder ZnO bestehen. Somit ergibt sich die in Fig. 3c) dargestellte Struktur.

**[0037]** Nachfolgend werden Metallisierungen 54 und 56 für die elektrische Ansteuerung des piezoelektrischen Elements 52 auf der Oberseite der in Fig. 3c) dargestellten Struktur erzeugt, siehe Fig. 3d), woraufhin eine Passivierungsschicht 58 aufgebracht und strukturiert wird, um Öffnungen 60 und 62 zur Kontaktierung der Metallisierungen 54 und 56 zu definieren, siehe Fig. 3e). Nachfolgend wird von der Rückseite her ein durch die vorder- und rückseitig abgeschiedenen Maskierungsschichten begrenztes KOH-Ätzen bis zu der Implantationsschicht 40, die als Ätzstopp dient, durchgeführt, so daß die Membran 12, die in der Implantationsschicht 40 gebildet ist, erzeugt wird.

**[0038]** Obwohl in Fig. 3 nicht dargestellt, können während dieses KOH-Ätzens gleichzeitig die integrierten Flußkanäle mit geringerer Tiefe sowie die notwendigen Vertiefungen für den Medieneinlaß gefertigt werden. Alternativ werden ausgehend von dem in Fig. 3e) gezeigten Zustand die unteren Maskierungsschichten 44 und 46 weiter strukturiert, um die Kanäle sowie den Medieneinlaß festzulegen, woraufhin ein weiteres KOH-Ätzen durchgeführt wird, um die Kanäle bzw. den Medieneinlaß in der Rückseite des Siliziumsubstrats 10 zu erzeugen.

**[0039]** Obwohl oben bezugnehmend auf Fig. 3 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Aktorbauglieds beschrieben wurde, ist es für Fachleute offensichtlich, daß eine unterschiedliche Reihenfolge der oben beschriebenen Schritte verwendet werden kann, um die Struktur des erfindungsgemäßen Aktorbauglieds, wie es beispielsweise in Fig. 1a) gezeigt ist, in einer Hauptoberfläche eines Siliziumsubstrats und ferner einen piezoelektrischen Antrieb auf der gegenüberliegenden Hauptoberfläche des Siliziumsubstrats zu erzeugen.

**[0040]** Erfindungsgemäß ist lediglich wesentlich, daß die Ausnehmung, die die Membran festlegt, sowie die Zuführungskanäle, die eine gleichmäßige Benetzung der Zerstäubungsoberfläche der Membran sicherstellen, in der gleichen Hauptoberfläche eines Siliziumsubstrats gebildet werden, so daß die vorliegende Erfindung die Massenfertigung von Aktorbaugliedern geringer Größe kostengünstig und mit einem geringen Energieverbrauch ermöglicht.

## Patentansprüche

1. Piezoelektrisch betriebener Kapillarwellentheorie-Mikrozerstäuber mit folgenden Merkmalen:

einer in einem Halbleitersubstrat (10) gebildeten Membran (12; 36);

einem auf einer Oberfläche der Membran (12; 36) angeordneten piezoelektrischen Aktor (52), um die Membran (12; 36) in Schwingungen zu versetzen; und

einer in dem Halbleitersubstrat (10) gebildeten Kanaleinrichtung (14; 34) zum Zuführen einer zu zerstäubenden Flüssigkeit von einem Einlaßende zu der dem piezoelektrischen Aktor (52) gegenüberliegenden Oberfläche der Membran (12; 36), wobei durch die Schwingungen der Membran (12; 36) die zu der Oberfläche der Membran zugeführte Flüssigkeit auf der Grundlage der Kapillarwellentheorie zerstäubt und durch einen gegenüber der Membran angeordneten Auslaß (30) ausgestossen wird, wobei die Kanaleinrichtung (14; 34) durch zumindest eine, das Substrat nicht durchdringende rillenartige Struktur gebildet ist, die in der Oberfläche des Substrats, von der die zugeführte Flüssigkeit zerstäubt wird, in dem Substrat vorgesehen ist.

2. Mikrozerstäuber gemäß Anspruch 1, bei dem die Membran (12; 36) und die Kanaleinrichtung (14; 34) durch Ausnehmungen in einer ersten Hauptoberfläche des Halbleitersubstrats (10) gebildet sind.

3. Mikrozerstäuber gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem in der ersten Hauptoberfläche des Halbleitersubstrats (10) ferner eine einen Flüssigkeitseinlaß definierende Ausnehmung (16), die mit dem Einlaßende der Kanaleinrichtung (14; 34) fluidmäßig verbunden ist, gebildet ist.

4. Mikrozerstäuber gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Kanaleinrichtung (14; 34) ausgebildet ist, um eine gleichmäßige Benetzung der dem piezoelektrischen Aktor (52) gegenüberliegenden

Oberfläche der Membran (12; 36) zu bewirken.

5. Mikrozerstäuber gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Kanaleinrichtung (14) ausgebildet ist, um eine Zuführung einer zu zerstäubenden Flüssigkeit zu der Membran (12) aus verschiedenen Richtungen zu bewirken.

6. Mikrozerstäuber gemäß Anspruch 5, bei dem die Membran (12) eine rechteckige Form aufweist, wobei die Kanaleinrichtung (14) Kanalabschnitte (14a, 14b, 14c, 14d) aufweist, um die zu zerstäubende Flüssigkeit über die vier Ecken der Membran (12) zuzuführen.

7. Mikrozerstäuber gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem der piezoelektrische Aktor (52) die Membran (12; 36) in Schwingungen mit einer Frequenz zwischen 2 und 2,5 MHz versetzt, derart, daß die durch die Zerstäubung erzeugten Tröpfchen einen Durchmesser zwischen 1 und 5 µm besitzen.

8. Mikrozerstäuber gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Kanaleinrichtung (14; 34) als definierte Flußrestriktion ausgebildet ist.

9. Mikrozerstäuber gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, der eine Halterung (20) aufweist, an der das Halbleitersubstrat derart fixiert ist, daß das Einlaßende fluidmäßig mit einer Flüssigkeitszuführungsleitung (29) verbunden ist; die Kanaleinrichtung (14; 34) mit Ausnahme einer fluidmäßigen Verbindung derselben mit der Flüssigkeitszuführungsleitung (29) und der dem piezoelektrischen Aktor (52) gegenüberliegenden Oberfläche der Membran (12) durch die Halterung (20) abgedichtet ist; und im Bereich der dem piezoelektrischen Aktor (52) gegenüberliegenden Oberfläche der Membran (12) eine Öffnung (30) der Halterung (20) zum Ausstoßen der zerstäubten Flüssigkeit vorgesehen ist.

10. Mikrozerstäuber gemäß Anspruch 9, bei dem die Öffnung (30) mit einem Gitter versehen ist.

11. Mikrozerstäuber gemäß Anspruch 9 oder 10, bei dem die Flüssigkeitszuführungsleitung derart angeordnet ist, daß dieselbe die Halterung (20) in einer zur Ausstoßrichtung der zerstäubten Flüssigkeit entgegengesetzten Richtung verläßt.

12. Mikrozerstäuber gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, bei dem die Halterung (20) eine als Flüssigkeitseinlaß (32) dienende Ausnehmung aufweist.

13. Verfahren zum Herstellen eines piezoelektrisch betriebenen Kapillarwellentheorie-Mikrozerstäubers zum Zerstäuben einer auf eine Oberfläche einer

Membran zugeführten Flüssigkeit auf der Grundlage der Kapillarwellentheorie, mit folgenden Schritten:

a) Erzeugen eines Aktorbauglieds durch folgende Teilschritte:

a1) Aufbringen eines piezoelektrischen Aktors (52) auf eine Hauptoberfläche eines Halbleitersubstrats (10, 40);

a2) Strukturieren der dem piezoelektrischen Aktor (52) gegenüberliegenden Hauptoberfläche des Halbleitersubstrats, um die Membran (12), auf der der piezoelektrische Aktor (52) angeordnet ist, und zumindest eine Kanaleinrichtung (14; 34) in der Form einer rillenartigen, das Substrat nicht durchdringenden Struktur, die sich von einem Einlaßende zu der Membran (12; 36) erstreckt, in derselben festzulegen; und

b) Fixieren des Aktorbauglieds an einer Halterung (30), so daß die dem piezoelektrischen Aktor gegenüberliegende Oberfläche der Membran einer Öffnung in der Halterung zugewandt ist.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem im Schritt a2) ferner ein am Einlaßende der Kanaleinrichtung (14; 34) mit derselben fluidmäßig verbundener Flüssigkeitseinlaß (16) in der dem piezoelektrischen Aktor (52) gegenüberliegenden Oberfläche des Halbleitersubstrats (10, 40) strukturiert wird.

15. Verfahren gemäß Anspruch 13 oder 14, bei dem die Membran (12) durch ein KOH-Ätzen gebildet wird, wobei die Kanaleinrichtung bis zu den durch das KOH-Ätzen gebildeten schrägen Seitenwänden (18) der die Membran (12) festlegenden Ausnehmung erzeugt wird.

## Claims

1. A piezoelectrically-driven, capillary wave-theory microactor comprising:

a diaphragm (12; 36) formed in a semiconductor substrate (10);

a piezoelectric actor (52) arranged on a surface of the diaphragm (12; 36) so as to cause said diaphragm (12; 36) to vibrate; and

a passage means (14; 34) formed in said semiconductor substrate (10) and used for supply-

ing a liquid to be atomized from an inlet end to the diaphragm surface located opposite to said piezoelectric actor (52), wherein, due to the vibrations of the diaphragm (12; 36), the liquid supplied to the surface of the diaphragm is atomized on the basis of the capillary-wave theory and ejected through an outlet (30) arranged in opposed relationship with said diaphragm, said passage means (14; 34) being formed by at least one groove-like structure which does not fully penetrate the substrate and which is provided in the surface of the substrate from which the liquid supplied is atomized.

2. A microactor according to claim 1, wherein the diaphragm (12; 36) and the passage means (14; 34) are formed by recesses in a first main surface of the semiconductor substrate (10).

3. A microactor according to claim 1 or 2, wherein the first main surface of the semiconductor substrate (10) has additionally formed therein a recess (16) which defines a liquid inlet and which is in fluid communication with the inlet end of the passage means (14; 34).

4. A microactor according to one of the claims 1 to 3, wherein the passage means (14; 34) is implemented such that uniform wetting of the diaphragm surface located opposite the piezoelectric actor (52) is caused.

5. A microactor according to one of the claims 1 to 4, wherein the passage means (14) is implemented such that a liquid to be atomized will be supplied to the diaphragm (12) from different directions.

6. A microactor according to claim 5, wherein the diaphragm (12) has a rectangular shape, said passage means (14) comprising passage sections (14a, 14b, 14c, 14d) which serve to supply the liquid to be atomized to the diaphragm (12) via the four corners.

7. A microactor according to one of the claims 1 to 6, wherein the piezoelectric actor (52) causes the diaphragm (12; 36) to vibrate at frequencies between 2 and 2.5 MHz in such a way that the droplets produced by the atomization have diameters between 1 and 5 µm.

8. A microactor according to one of the claims 1 to 7, wherein the passage means (14; 34) is implemented as a defined flow restrictor.

9. A microactor according to one of the claims 1 to 8, comprising a holder (20) to which the semiconductor substrate is fixed in such a way that the inlet end is in fluid communication with a

fluid supply conduit (29);

the passage means (14; 34) is sealed by the holder (20) with the exception of a fluid communication existing between said passage means and the fluid supply conduit (29) and said passage means and the diaphragm surface located opposite the piezoelectric actor (52); and

an opening (30) of said holder (20) is provided in the area of the diaphragm surface located opposite the piezoelectric actor (52), said opening (30) being used for ejecting the atomized liquid.

10. A microactor according to claim 9, wherein the opening (30) is provided with a grid.

11. A microactor according to claim 9 or 10, wherein the fluid supply conduit is arranged such that it leaves the holder (20) in a direction opposite to the ejection direction of the atomized liquid.

12. A microactor according to one of the claims 9 to 11, wherein the holder (20) is provided with a recess (32) which serves as a fluid inlet (32).

13. A method of producing a piezoelectrically-driven, capillary wave-theory microatomizer used for atomizing on the basis of the capillary-wave theory a liquid supplied to a surface of a diaphragm, said method comprising the following steps:

a) producing an actor component by the following substeps:

a1) applying a piezoelectric actor (52) to a main surface of a semiconductor substrate (10, 40);

a2) patterning the semiconductor-substrate main surface located opposite the piezoelectric actor (52) so as to define therein the diaphragm (12) which has arranged thereon the piezoelectric actor (52), and at least one passage means (14; 34) in the form of a groove-like structure which does not fully penetrate the substrate and which extends from an inlet end to said diaphragm (12; 36); and

b) fixing the actor component to a holder (30) such that the diaphragm surface located opposite the piezoelectric actor faces an opening in said holder.

14. A method according to claim 13, wherein, in step a2), a fluid inlet (16) is additionally patterned in the surface of the semiconductor substrate (10, 40) located opposite the piezoelectric actor (52), said fluid inlet (16) being in fluid communication with the

passage means (14; 34) at the inlet end of said passage means.

15. A method according to claim 13 or 14, wherein the diaphragm (12) is formed by KOH etching, the passage means being produced such that it extends up to the inclined lateral walls (18) of the recess defining the diaphragm (12), said lateral walls (18) being formed by said KOH etching.

## Revendications

1. Microdiffuseur à actionnement piézoélectrique fonctionnant selon la théorie des ondes capillaires, aux caractéristiques suivantes :

une membrane (12 ; 36) formée dans un substrat à semi-conducteur (10) ;

un actionneur piézoélectrique (52) disposé sur une surface de la membrane (12 ; 36), destiné à faire osciller la membrane (12 ; 36) ;

un aménagement de canal (14; 34) formé dans le substrat à semi-conducteur (10), destiné à amener un liquide à pulvériser d'une extrémité d'entrée vers la surface de la membrane (12 ; 36) opposée à l'actionneur piézoélectrique (52), le fluide amené à la surface de la membrane étant, grâce aux oscillations de la membrane (12 ; 36), pulvérisé sur base de la théorie des ondes capillaires et expulsé à travers une sortie (30) disposée vis-à-vis de la membrane, l'aménagement de canal (14 ; 34) étant formé par au moins une structure en forme de gorges, ne traversant pas le substrat, prévue dans le substrat, dans la surface du substrat depuis laquelle est pulvérisé le liquide amené.

2. Microdiffuseur selon la revendication 1, dans lequel la membrane (12 ; 36) et l'aménagement de canal (14; 34) sont formés par des évidements dans une première surface principale du substrat à semi-conducteur (10).

3. Microdiffuseur selon la revendication 1 ou 2, dans lequel est formé, par ailleurs, dans la première surface principale du substrat à semi-conducteur (10), un évidement (16), définissant une entrée de liquide, communiquant en fluide avec l'extrémité d'entrée de l'aménagement de canal (14; 34).

4. Microdiffuseur selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel l'aménagement de canal (14; 34) est réalisé de manière à obtenir une humidification uniforme de la surface de la membrane (12 ; 36) opposée à l'actionneur piézoélectrique (52).

5. Microdiffuseur selon l'une des revendications 1 à 4,

dans lequel l'aménagement de canal (14) est réalisé de manière à obtenir qu'un liquide à pulvériser soit amené vers la membrane (12) dans différentes directions.

6. Microdiffuseur selon la revendication 5, dans lequel la membrane (12) présente une forme rectangulaire, l'aménagement de canal (14) présentant des segments de canal (14a, 14b, 14c, 14d), pour amener le liquide à pulvériser par les quatre coins de la membrane (12). 5
7. Microdiffuseur selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'actionneur piézoélectrique (52) fait osciller la membrane (12 ; 36) à une fréquence comprise entre 2 et 2,5 MHz, de sorte que les gouttelettes générées par la pulvérisation possèdent un diamètre compris entre 1 et 5 µm. 10
8. Microdiffuseur selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'aménagement de canal (14 ; 34) est réalisé sous forme d'étranglement de circulation défini. 15
9. Microdiffuseur selon l'une des revendications 1 à 8, présentant un support (20) sur lequel est fixé le substrat à semi-conducteur de telle sorte que l'extrémité d'entrée soit en communication de fluide avec un conduit d'amenée de liquide (29); l'aménagement de canal (14 ; 34) soit, à l'exception d'une communication en fluide de ce dernier avec le conduit d'amenée de liquide (29) et la surface de la membrane (12) opposée à l'actionneur piézoélectrique (52), obturé par le support (20) ; et 20  
à l'endroit de la surface de la membrane (12) opposée à l'actionneur piézoélectrique (52) soit prévue une ouverture (30) dans le support (20) pour l'expulsion du liquide à pulvériser. 25
10. Microdiffuseur selon la revendication 9, dans lequel l'ouverture (30) est munie d'une grille. 30
11. Microdiffuseur selon la revendication 9 ou 10, dans lequel le conduit d'amenée de liquide est disposé de telle sorte qu'il sorte du support (20) dans une direction opposée à la direction d'expulsion du liquide pulvérisé. 35
12. Microdiffuseur selon l'une des revendications 9 à 11, dans lequel le support (20) présente un évidement servant d'entrée de fluide (32). 40
13. Procédé de production d'un microdiffuseur à actionnement piézoélectrique fonctionnant selon la théorie des ondes capillaires et destiné à pulvériser, sur base de la théorie des ondes capillaires, un fluide amené à une surface d'une membrane, aux étapes 45

suivantes consistant à :

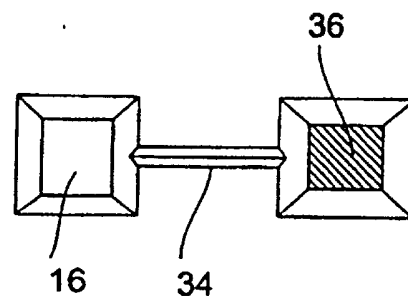
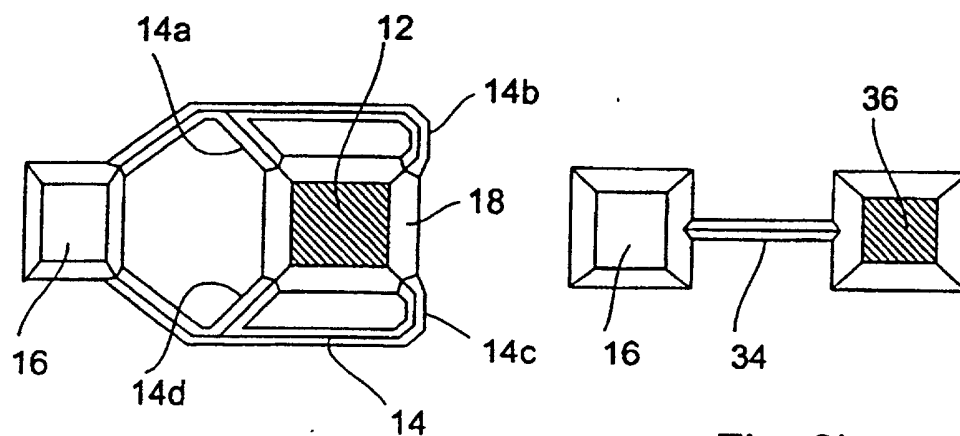
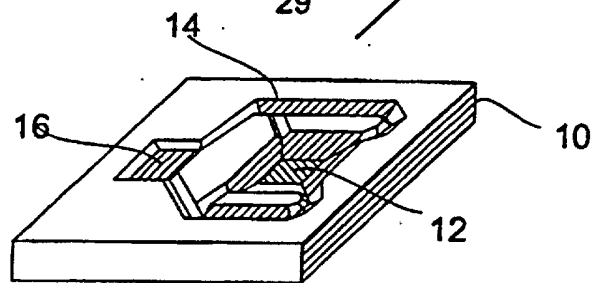
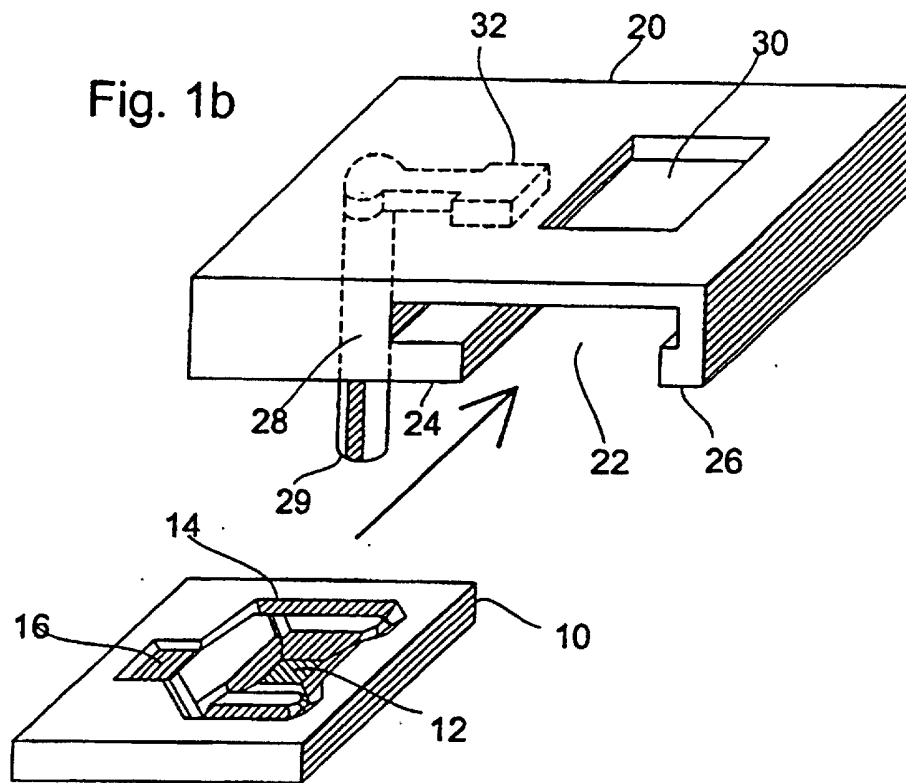
a) générer un élément actionneur par les étapes partielles suivantes consistant à :

a1) appliquer un actionneur piézoélectrique (52) sur une surface principale d'un substrat à semi-conducteur (10, 40) ;  
a2) structurer la surface principale, opposée à l'actionneur piézoélectrique (52), du substrat à semi-conducteur, pour réaliser dans cette dernière la membrane (12), sur laquelle est disposé l'actionneur piézoélectrique (52), et au moins un aménagement de canal (14 ; 34) sous forme d'une structure en forme de gorges, ne traversant pas le substrat, s'étendant d'une extrémité d'entrée à la membrane (12;36);et

b) fixer l'élément actionneur à un support (30), de sorte que la surface, opposée à l'actionneur piézoélectrique, de la membrane soit orientée vers une ouverture dans le support.

14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel est, à l'étape a2,} par ailleurs structurée dans la surface principale du substrat à semi-conducteur (10, 40) opposée à l'actionneur piézoélectrique (52), à l'extrémité d'entrée de l'aménagement de canal (14 ; 34), une entrée de liquide (16) en communication de fluide avec cette dernière.

15. Procédé selon la revendication 13 ou 14, dans lequel la membrane (12) est formée par gravure à l'aide de KOH, l'aménagement de canal étant généré jusqu'aux parois latérales obliques (18), formées par gravure à l'aide de KOH, de l'évidement déterminant la membrane (12).



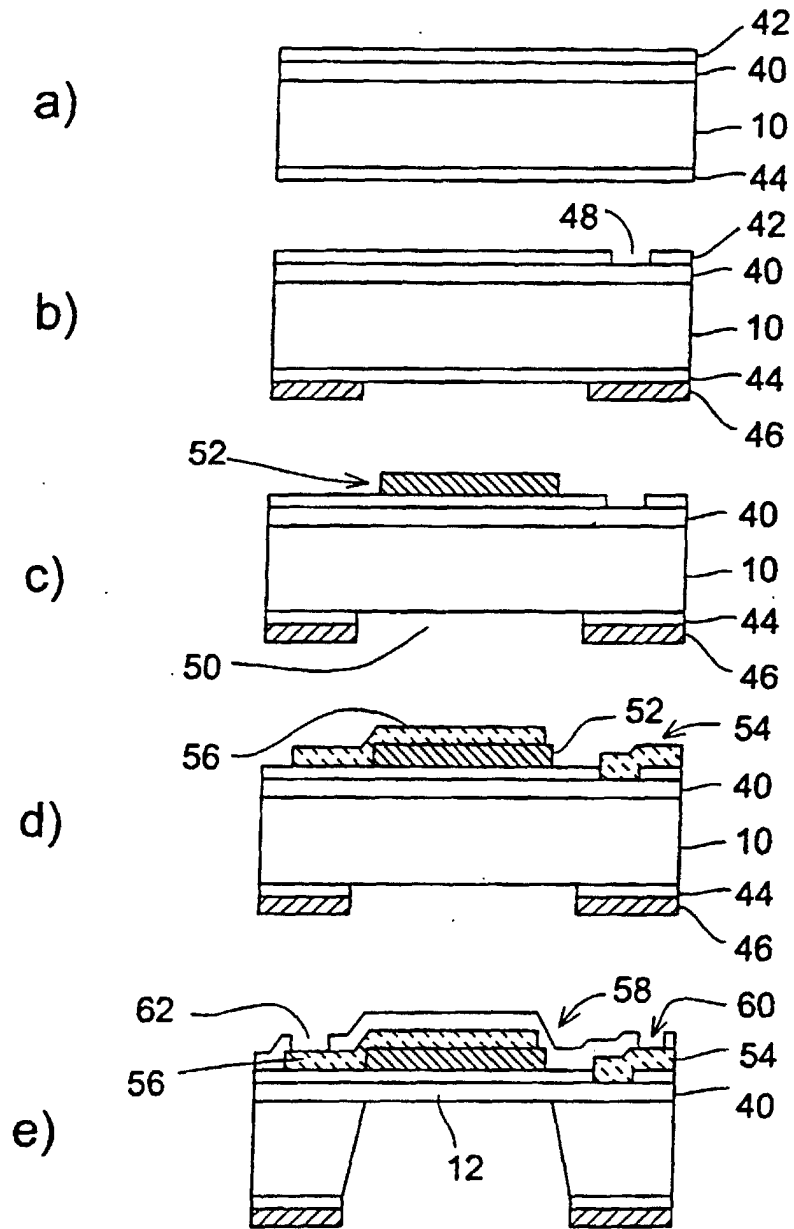


Fig. 3