(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**

(10) **DE 102 10 344 A 1**

(51) Int. Cl.[7]:
B 81 C 1/00
B 81 B 3/00

(21) Aktenzeichen: 102 10 344.5
(22) Anmeldetag: 8. 3. 2002
(43) Offenlegungstag: 2. 10. 2003

DE 102 10 344 A 1

(71) Anmelder:
Universität Bremen, 28359 Bremen, DE

(74) Vertreter:
Eisenführ, Speiser & Partner, 28195 Bremen

(72) Erfinder:
Becker, Mike, 28355 Bremen, DE; Benecke, Wolfgang, 27412 Vorwerk, DE; Binder, Josef, Huntington, N.Y., US

(56) Entgegenhaltungen:

DE	197 36 674 C1
US	61 84 065 B1
US	53 25 880
US	45 20 254
JP 20	00-2 46 676 A
JP	4-118 126 A
JP	2-220 714 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Herstellung mikromechanischer Bauteile und nach dem Verfahren hergestellte Bauteile

(57) Es wird ein Verfahren zur Herstellung mikromechanischer Bauteile angegeben, die mindestens eine elastische Federzunge enthalten, wobei diese Federzunge insbesondere durch galvanische Abscheidung, Sputtern, Aufdampfen und/oder Ätzen erzeugt wird.
Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass auf Bereiche der Federzunge thermisch eingewirkt wird und ein mechanischer Eigenspannungsgradient in der Federzunge erzeugt wird.

DE 102 10 344 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung mikromechanischer Bauteile mit mindestens einer elastischen Federzunge. Diese Federzunge kann beispielsweise durch galvanische Abscheidung, Sputtern, Aufdampfen und/oder Ätzen erzeugt werden.

[0002] Die Erfindung betrifft weiterhin ein mittels des Verfahrens hergestelltes mikromechanisches Bauteil, insbesondere ein Mikroventil.

[0003] Bei bekannten Verfahren zur Herstellung mikromechanischer Bauteile wird in einem Verfahrensschritt auf einem Trägersubstrat eine Schicht abgeschieden, z. B. durch ein galvanisches Abscheideverfahren. Aus dieser Schicht können in einem nachfolgenden Ätzverfahren mittels Maskierung bestimmte Bereiche entfernt werden. In einem nachfolgenden Verfahrensschritt kann wiederum eine Schicht auf das Substrat abgeschieden werden, welche wiederum in bestimmten Bereichen mittels Ätzung entfernt werden welche wiederum in bestimmten Bereichen mittels Ätzung entfernt werden kann. Auf diese Weise können durch mehrmalige Schichtabscheidung und Ätzung dreidimensionale Strukturen erzeugt werden.

[0004] Zur Herstellung der für bewegliche Bauteile innerhalb dieser Strukturen erforderlichen Hohlräume ist es bekannt, zwei oder mehr oberflächenstrukturierte Substrate zusammenzufügen, so dass im Bereich der Fügeebene ein Hohlraum entsteht. Des weiteren ist bekannt, Opferschichten, welche zwischen zwei Schichten liegen, durch selektive Ätzung zu entfernen und hierdurch zwischen diesen beiden Schichten einen Hohlraum zu erzeugen. Dabei ist es regelmäßig erforderlich, dass eine der Schichten durch Fensterung durchlässig gemacht wird, um einen Zutritt des Ätzmittels zur Opferschicht zu ermöglichen.

[0005] Die mechanische Betätigung der mechanisch bewegbaren Bauteile innerhalb des mikromechanischen Bauteils kann durch elektrostatische Kräfte zwischen dem als Elektrode ausgebildeten beweglichen Bauteil, dem sogenannten Aktuator, und einem anderen als Elektrode ausgebildeten Bereich des Bauteils erfolgen. Dabei ist bekannt, in dem Aktuator bei der Herstellung eine bestimmte Eigenspannung zu erzeugen, welche den Aktuator verformt, in eine definierte Lage bringt und Federeigenschaften verleiht. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung an den als Elektrode ausgebildeten Aktuator und den als Elektrode ausgebildeten Abschnitt des Bauteils kann dann der Aktuator aus dieser durch die Eigenspannung vorbestimmten Lage mittels elektrostatischer Kräfte in eine zweite Lage bewegt werden.

[0006] Aus der DE 197 36 674 ist bekannt, den Aktuator als einseitig eingespannten Biegebalken auszubilden, welcher solcher Art gewölbt ist, dass er zu dem als Elektrode ausgebildeten Abschnitt des Bauteils eine konvexe Form aufweist. Dieser sogenannte Abrollaktuator kann bei niedrigen Betätigungsspannungen dank geringem Elektrodenabstand hohe Feldkräfte aufbauen.

[0007] Die Induzierung der Eigenspannung in dem Aktuator wird regelmäßig durch einen mehrschichtigen Aufbau des Aktuators erzielt. Dabei wird durch den Aufbau des Aktuators aus mindestens zwei Schichten mit unterschiedlichen strukturellen, mechanischen oder thermomechanischen Eigenschaften die gewünschte Eigenspannung und Verformung des Aktuators erreicht. Nachteilig bei diesem Aktuatoraufbau ist, dass die Eigenspannung und Verformung des Aktuators infolge des mehrschichtigen Aufbaus des Aktuators, insbesondere bei bimetallischem Aufbau, stark abhängig von der Temperatur des Aktuators ist. Bauteile mit solcher Art aufgebauten Aktuatoren sind daher regelmäßig nur in einem bestimmten Temperaturbereich einsetzbar.

[0008] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem ein Aktuator hergestellt werden kann, dessen Eigenspannung und Verformung gezielt eingestellt werden kann. Des weiteren soll eine mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens mögliche, vereinfachte Ausführungsform eines Mikroventils gefunden werden.

[0009] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Herstellung mikromechanischer Bauteile, die mindestens eine Federzunge aufweisen, gelöst, bei dem eine Federzunge durch galvanische Abscheidung, Sputtern, Aufdampfen, Ätzen und/oder andere bekannte Verfahren erzeugt wird, auf Bereiche der Federzunge thermisch eingewirkt wird und hierdurch ein mechanischer Eigenspannungsgradient in der Federzunge erzeugt wird.

[0010] Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Mikroventil, welches ein eine erste und eine zweite Öffnung aufweisendes Ventilgehäuse aufweist und bei dem in dem Ventilgehäuse eine als Ventilkörper wirkende, mit dem Ventilgehäuse verbundene Federzunge angeordnet ist, die in einer Öffnungsstellung den Durchfluß eines Fluids durch die Öffnungen erlaubt und in einer Schließstellung mindestens eine der Öffnungen verschließt.

[0011] Durch die bereichsweise, d. h. lokal unterschiedliche thermische Einwirkung ist es möglich, bestimmte Lagen oder Bereiche innerhalb der Federzunge strukturell derart zu verändern, dass eine gradierte Eigenspannung in der Federzunge erzeugt wird oder eine vorhandene Eigenspannung in der Schicht gradiert verändert wird. Auf diese Weise kann die Eigenspannung der Schicht nach der Abscheidung verändert werden, um eine vorbestimmte gradierte Eigenspannung zu erreichen.

[0012] Die Federzunge des Mikrobauteils kann als ein an einem Ende mit dem Gehäuse verbundener Abrollaktuator ausgeführt sein, der in der Weise verformt ist, dass er sich von einer parallel zu seinem Einspannungsabschnitt liegenden Substratschicht in der Weise wegwölbt, dass die zu dieser parallel liegenden Substratschicht weisende Oberfläche des Aktuators konvex ausgebildet ist. Der Abrollaktuator kann aus einem einzigen Material bestehen. Dabei ist diejenige Schicht, welche im Wesentlichen die mechanischen Eigenschaften des Abrollaktuators bestimmt, aus lediglich einem Material gefertigt.

[0013] In vorteilhafter Weise ist die Stärke und/oder die Dauer der thermischen Einwirkung eine Funktion des Ortes. Dadurch kann auf verschieden tief liegende Lagen der Federzunge verschieden stark thermisch eingewirkt werden und zudem die Stärke der thermischen Einwirkung in Richtung der Breite und/oder Länge der Federzunge verändert werden.

[0014] Bevorzugt wird auf einen lokal begrenzten Bereich der Federzunge thermisch stärker eingewirkt als auf andere Bereiche der Federzunge. Auf diese Weise ist es möglich, die mechanischen Eigenschaften der Federzunge lokal begrenzt zu beeinflussen und auf diese Weise eine lokale gradierte Eigenspannung in der Federzunge zu erzeugen und die Federzunge somit zu verformen. Die thermische Einwirkung kann in vorteilhafter Weise nur auf einen lokal begrenzten Bereich erfolgen, welcher dem eingespannten Ende der Federzunge näher liegt als dem freien Ende der Federzunge. Hierdurch wird eine Verformung in einem Bereich erzielt, dessen Verformung eine grosse Verschiebung des freien Endes der Federzunge bewirkt.

[0015] Die Federzunge kann aus mehreren Schichten aufgebaut werden. Dabei können auch Schichten zur Erzielung anderer als mechanischer Funktionen, z. B. elektrische Leit-

fähigkeit oder Isolation, vorgesehen werden.

[0016] In vorteilhafter Weise kann die Verformung der Federzunge während der thermischen Einwirkung auf die Federzunge oder Bereiche der Federzunge mit Sensormitteln erfasst werden und ein den Grad der durch den Eigenspannungsgradienten erzeugten Verformung kennzeichnendes Signal erzeugt werden, welches zur Steuerung oder Regelung der thermischen Einwirkung verwendet wird. Auf diese Weise ist es möglich, die thermische Einwirkung genau in der Weise vorzunehmen, dass ein gewünschter Verformungsgrad der Schicht oder des Strukturelements erzeugt wird. Die thermische Einwirkung kann vorteilhafterweise mittels eines Laserstrahls erfolgen.

[0017] Dabei kann das Signal in vorteilhafter Weise durch Messung der Kapazität zwischen Federzunge und einer als Elektrode ausgebildetem Abschnitt des Bauteils gewonnen werden.

[0018] Vorteilhafterweise kann auch ein optisches Messverfahren zur Bestimmung der Verformung der Substratschicht verwendet werden.

[0019] Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens, bei dem die Federzunge in einem galvanischem Bad abgeschieden wird, sieht vor, dass während der Abscheidung der Federzunge mindestens ein Abscheideparameter variiert wird. Auf diese Weise kann eine Federzunge erzeugt werden, die zwar aus einem einzigen Material besteht, die jedoch strukturell verschieden aufgebaute Schichtlagen aufweist.

[0020] Wird ein Abscheideparameter während der Abscheidung der Federzunge einmalig verändert, so weisen die Teile der Federzunge, welche vor der Veränderung abgeschieden wurden, eine andere Struktur auf als diejenigen Teile der Federzunge, welche nach der Veränderung des Parameters abgeschieden werden. Da die mechanischen Eigenschaften der abgeschiedenen Schicht durch die Abscheideparameter beeinflusst werden, ist es somit möglich, eine Federzunge mit Bereichen oder Lagen unterschiedlicher mechanischer Eigenschaften abzuscheiden. Auf diese Weise kann in der Federzunge eine vorbestimmbare Eigenspannung erzeugt werden, wodurch eine Federzunge mit vorbestimmbarer Verformung hergestellt werden kann.

[0021] Vorteilhafter Weise können während des Abscheidens der Federzunge die Stromdichte, verschiedene Parameter mit periodischen Strom- oder Spannungsfunktionen und/oder die chemischen Eigenschaften des Galvanikbades und/oder der Elektroden verändert werden.

[0022] Die Erfindung betrifft weiterhin ein mikromechanisches Bauteil mit einer Federzunge. Das Bauteil kann aus mehreren galvanisch abgeschiedenen und in bestimmten Bereichen, beispielsweise mittels einer Maskierungstechnik, geätzten Substratschichten aufgebaut sein. Es weist mindestens ein mechanisch wirkendes Strukturelement, die Federzunge, auf, welches aus nur mindestens einer Substratschicht aufgebaut ist. Besteht die Federzunge aus nur einer Substratschicht, so kann sie sich somit durch thermische Einflüsse entsprechend des Wärmeausdehnungskoeffizienten dieses Materials ausdehnen oder zusammenziehen, eine Wölbung des Strukturelements durch veränderte Umgebungstemperatur kann jedoch nicht auftreten. Das mikromechanische Bauteil weist somit den Vorteil auf, dass es über einen sehr großen Temperaturbereich zuverlässig mechanisch wirken kann.

[0023] Vorzugsweise wird die Federzunge durch einen Eigenspannungsgradienten so verformt, dass sie unter mechanischer Vorspannung in Öffnungs- oder Schließstellung liegt. Dabei kann in der Öffnungs- oder Schließstellung ein mit dem Gehäuse verbundener Endanschlag für die Federzunge vorgesehen sein. Auf diese Weise kann z. B. auf eine genauere Messung der Verformung der als Abrollaktuator ausgeführten Federzunge, bzw. deren Eigenspannung verzichtet werden. Fertigungsungenauigkeiten werden somit ausgeglichen und die Anzahl der nicht im erforderlichen Qualitätsbereich liegenden Bauteile (der Ausschuss) eines Fertigungsverfahrens kann reduziert werden.

[0024] Vorzugsweise ist ein Abschnitt des Bauteilgehäuses als Elektrodenschicht ausgebildet und ein Abschnitt der Federzunge als Elektrode ausgebildet und Mittel zum Anlegen einer Spannung an Elektrodenschicht und den als Elektrode ausgebildeten Federzungenabschnitt vorhanden. So können, wenn an den Federzungenabschnitt und die Elektrodenschicht eine elektrische Spannung angelegt wird, elektrostatische Kräfte zwischen dem Bauteilgehäuse und der Federzunge wirken, welche eine Bewegung der Federzunge erzeugen.

[0025] Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Mikroventils besteht darin, dass mehr als zwei Öffnungen im Ventilgehäuse vorhanden sind und die Federzunge in einer Stellung mindestens eine Öffnung im Ventilgehäuse verschließt und in einer anderen Stellung mindestens eine andere Öffnung verschließt.

[0026] Eine bevorzugte Weiterbildungsform des erfindungsgemäßen Bauteils sieht vor, dass mehrere als Elektrode ausgebildete Federzungen oder mit einem als Elektrode ausgebildetem Abschnitt versehene Federzungen am Bauteilgehäuse befestigt sind. Diese Federzungen wirken mit mehreren als Elektrodenschicht ausgebildeten Abschnitten des Bauteilgehäuses zusammen und können unabhängige Schaltfunktionen ausführen. Das solcherart aufgebaute Bauteil ist dadurch in der Lage, verschiedene Schaltpfade zu bedienen, z. B. in Schaltmatrizen.

[0027] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des Bauteils sieht vor, dass die Federzunge einen ersten Abschnitt aufweist, welcher mit seinem ersten Ende mit dem Gehäuse verbunden ist. An dem zweiten, freien Ende des Abschnitts ist ein zweiter Abschnitt befestigt, der sich etwa in Richtung des ersten Endes des ersten Abschnitts erstreckt. Das freie Ende des zweiten Abschnitts dient dazu eine Schaltfunktion durchzuführen. Die beiden Abschnitte bilden besitzen somit – in Seitenansicht – eine V-förmig Gestalt. Die aus diesen beiden Abschnitten aufgebaute Federzunge weist etwa die gleiche elektrische Aktuatorspannung auf, wie ein einfach ausgeführter Aktuator. Der Aktuator hat den Vorteil, dass er eine vergrößerte Hubhöhe des freien Endes des zweiten Abschnitts gegenüber dem eingespannten ersten Ende des ersten Abschnitts aufweist.

[0028] Weitere Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Bauteils sehen vor, dass mehrere Abschnitte der Federzunge miteinander verbunden werden. Die Verbindungsstelle eines Abschnitts mit dem nächsten, benachbart darüber liegenden Abschnitt ist an einem anderem Endabschnitt ausgebildet als die Verbindungsstelle des benachbart liegenden Abschnitt mit einem wiederum über diesen liegenden dritten Abschnitt.

[0029] Bevorzugt werden die Verbindungsstellen alternierend an gegenüberliegenden Enden der Abschnitte ausgebildet. Auf diese Weise können sog. Mehrfachabrollaktuatoren in Z-Form (drei Abschnitte), W-Form (vier Abschnitte) oder auch durch Verbindung von fünf und mehr Abschnitten aufgebaut werden, welche bei etwa gleicher elektrischer Aktuatorspannung eine beträchtlich größere Hubhöhe bereitstellen als ein Aktuator mit einem oder zwei zusammengesetzten Abschnitten. Auf diese Weise kann der Durchflussquerschnitt des Ventils weiter erhöht werden.

[0030] Anhand der Figuren soll ein bevorzugtes erfindungsgemäßes Verfahren und eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Bauteils beschrieben

werden. Es zeigen:

[0031] **Fig.** 1 eine schematisierte Darstellung der ersten Verfahrensschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0032] **Fig.** 2 eine schematisierte Darstellung der auf die in **Fig.** 1 gezeigten Verfahrensschritte folgenden Verfahrensschritte des Verfahrens;

[0033] **Fig.** 3 eine schematisierte Darstellung der thermischen Einwirkung auf eine Federzunge eines Aktuators,

[0034] **Fig.** 4 eine geschnittene Frontansicht einer ersten Ausführungsform eines Bauteils,

[0035] **Fig.** 5 eine geschnittene Frontansicht einer zweiten Ausführungsform eines Bauteils,

[0036] **Fig.** 6 eine geschnittene Frontansicht einer dritten Ausführungsform eines Bauteils,

[0037] **Fig.** 7 eine geschnittene Frontansicht einer vierten Ausführungsform eines Bauteils,

[0038] **Fig.** 8 eine Draufsicht auf den Aktuator nach **Fig.** 7;

[0039] **Fig.** 9 eine geschnittene Frontansicht einer vierten Ausführungsform eines Bauteils, und

[0040] **Fig.** 10 eine Draufsicht auf den Aktuator nach **Fig.** 9

[0041] Bezug nehmend zu **Fig.** 1a, wird bei dem gezeigten Verfahren zunächst eine erste leitende Schicht **20** auf dem vorteilhafterweise elektrisch isolierenden Substratträger **10** abgeschieden. Die Abscheidung erfolgt in einem Sputter-Verfahren. Der Substratträger kann aus Silizium, könnte aber auch aus kostengünstigeren Materialien wie z. B. Glas oder Keramik bestehen. Die erste leitende Schicht ist eine metallische Schicht, vorzugsweise aus Gold.

[0042] Wie aus **Fig.** 1, b ersichtlich kann gegebenenfalls nach diesem Verfahrensschritt die erste leitende Schicht in bestimmten Bereichen **21**, **22** zur Definition von elektrisch isolierten Bereichen durch ein maskiertes Ätzverfahren wieder entfernt werden.

[0043] In einem dritten Verfahrensschritt (**Fig.** 1, c) wird auf die erste leitende Schicht eine erste Isolationsschicht **30** aufgetragen. Die Isolationsschicht **30** kann aus Siliziumdioxid bestehen, es können aber auch andere für mikroelektronische Schaltkreise gebräuchliche Isolationswerkstoffe verwendet werden.

[0044] Die erste Isolationsschicht **30** wird in einem nachfolgenden Schritt (**Fig.** 1, d) in der Weise maskiert und selektiv chemisch oder physikalisch geätzt, so dass die Startschicht **20** für feststehende Bereiche **31** des Bauteils freigelegt wird.

[0045] Bezug nehmend zu **Fig.** 2, a, wird die Isolationsschicht selektiv, mit Ausnahme des durch entfernte Bereichs in einem Sputterprozess mit einer Opferschicht **40** aus Kupfer beschichtet.

[0046] Alternativ kann auch das gesamte Substrat mit einer Kupferschicht oder einer anderen, leitenden Opferschicht beschichtet werden und nachfolgend der Anteil der Kupferschicht, wo feststehende Bereiche des Bauteils entstehen, in einem selektiven Ätzverfahren entfernt werden.

[0047] In einem weiteren Verfahrensschritt (**Fig.** 2, b) wird eine zweite elektrisch leitende Schicht **50** aufgetragen, welche sich mit der Opferschicht **40** und der Startschicht **20** im Bereich der Öffnung **31** der ersten Isolationsschicht **30** verbindet. Die zweite elektrisch leitende Schicht **50** ist die mechanisch wirkende Schicht, die Federzunge, des Mikrobauteils. Sie besteht aus Nickel, könnte aber alternativ auch aus einer Nickellegierung, wie z. B. NiFe oder Au, hergestellt sein. Nickel oder nickelhaltige Legierungen sind als mechanisch wirkende Schichten aufgrund ihrer elastischen Eigenschaften und ihrer Dauerwechselfestigkeit besonders geeignet.

[0048] Das Auftragen der Federzunge erfolgt strukturiert in Negativformen aus Fotolack mittels Galvanik.

[0049] In einem nächsten Verfahrensschritt (**Fig.** 2, c) wird die Opferschicht **40** aus Kupfer in einem Ätzverfahren vollständig entfernt. Dabei ist es nicht erforderlich, für den Zutritt des Ätzmittels Fenster in den unter der Opferschicht **40** liegenden Schichten **10**, **20** und **30** oder in der über der Opferschicht **40** liegenden zweiten elektrisch leitenden Schicht **50** vorzusehen. Dies ist insbesondere die Voraussetzung dafür, dass das Bauteil als Mikroventil verwendet werden kann, um eine Ventilfunktion, d. h. eine Abdichtung einer Öffnung im Gehäuse mittels der Federzunge, zu realisieren.

[0050] Das Ätzmittel greift die Kupferschicht vielmehr von den Seiten an und dringt vollständig zwischen die erste Isolationsschicht **30** und die zweite elektrisch leitende Schicht **50** vor, so dass die Opferschicht **40** vollständig entfernt wird. Hierdurch wird ein Freiraum zwischen der ersten Isolationsschicht **30** und der Federzunge **50** geschaffen und eine unabhängige elastische oder plastische Verformung der Federzunge **50** gegenüber den Schichten **10**, **20** und **30** im Bereich oberhalb des Freiraums **41** ermöglicht.

[0051] Im Moment der Entfernung der Opferschicht **40** bewirkt die durch die Variation der Stromdichte erzielte gradierte Eigenspannung in der zweiten elektrisch leitenden Schicht **50** eine Verformung der Federzunge. Die Eigenspannung in der Federzunge, welche den Aktuator darstellt, ist so gewählt, dass ein mechanischer Spannungsgradient entsteht, wobei in einer unteren, der ersten Isolationsschicht zugewandten Lage der zweiten leitenden Schicht **50** eine erste Spannung, insbesondere eine Druckspannung, induziert wird und in einer oberen, der ersten Isolationsschicht **30** abgewandten Lage der zweiten leitenden Schicht **50** eine zweite Spannung, die von der ersten Spannung verschieden ist, insbesondere eine Zugspannung, induziert wird. Auf diese Weise wird erreicht, dass sich die Federzunge **50** bei Entfernung der Opferschicht **40** so verformt, dass ihr freies Ende **53** durch die Verformung weiter von der ersten Isolationsschicht **30** entfernt liegt, als es bei unverformtem Aktuator liegen würde.

[0052] Der Spannungsgradient kann bereits durch geeignete Wahl der Startschichteigenschaften erzielt werden, ohne eine Variation der Abscheideparameter von Schicht **50** vorzunehmen.

[0053] Bezug nehmend zu **Fig.** 3 erfolgt in einem nachfolgenden Verfahrensschritt eine lokale Temperung der Federzunge, in dem auf bestimmte Bereiche der Federzunge **50** eine Temperatur aufgebracht wird. Hierbei wird aus einer Laserstrahlquelle **60** ein Laserstrahl auf einen um eine Schwenkachse **62** schwenkbaren Spiegel **61** gelenkt und durch den Spiegel **61** auf die Federzunge, welcher durch eine elektrisch leitende Schicht **50** gebildet werden kann, gelenkt. Der Laserstrahl trifft in einem Bereich zwischen dem eingespannten Ende **54** und dem freien Ende **53** auf die Federzunge auf. Die Auftreffstelle liegt näher zum eingespannten Ende **54** als zum freien Ende **53**.

[0054] Die lokal begrenzte Erwärmung und nachfolgende Abkühlung induziert eine Eigenspannung in dem durch den Laserstrahl überstrichenen und erwärmten Bereich. Durch diese Eigenspannung verformt sich die Federzunge und das freie Ende **53** entfernt sich von der ersten Isolationsschicht **30**. Die Verformung der Federzunge wird durch einen optischen Abstandssensor **63** erfasst. Der Abstandssensor **63** erzeugt ein Signal, welches an eine Steuer/Reglereinheit **64** geleitet wird. Die Steuer/Reglereinheit **64** vergleicht dieses Signal mit einem vorbestimmten Abstandssollwert, welcher ein Maß für die gewünschte Verformung der Federzunge darstellt. Aus dem Vergleich mit dem durch den Abstandssensor bereitgestellten Istwert und den vorbestimmten Soll-

wert berechnet die Steuer/Reglereinheit **64** ein Signal, welches die Laserstrahlquelle **60** steuert oder regelt. Auf diese Weise kann der Laserstrahl aus der Laserstrahlquelle **60** pulsierend betrieben werden und die zeitliche Länge der einzelnen Impulse, die Energie des Laserstrahls, die Strahlform sowie der Zeitabstand zwischen den Pulsen gesteuert werden, um eine gezielte Verformung der Federzunge zu erreichen.

[0055] Bezug nehmend zu **Fig.** 4 wird der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte, verformte Federzunge bevorzugt als Abrollaktuator in einem Mikroventil eingesetzt. Bei dem abgebildeten Mikroventil wird durch ein Ventilgehäuse (**70**, **71**, **72**) ein Hohlraum **73** umschrieben. Das Ventilgehäuse ist aus einer unteren Schicht **70**, einer Rahmenschicht **71** und einer oberen Schicht **72** aufgebaut. Im Hohlraum **73** ist ein Abrollaktuator **74** angeordnet, welcher mit seinem eingespannten Ende **54** mit der unteren Schicht **70** verbunden ist. Der Abrollaktuator **74** wird durch die zweite elektrisch leitende Schicht **50** des erfindungsgemäßen Verfahrens gebildet. Er ist aus einem elektrisch leitenden Material und über sein eingespanntes Ende durch einen ersten elektrisch leitenden Kanal **75** in der unteren Schicht **70** elektrisch leitend mit einem ersten Pol einer Spannungsquelle **76** verbunden. Der zweite Pol der Spannungsquelle **76** ist durch einen zweiten elektrisch leitenden Kanal **77** in der unteren Schicht **70** mit einer Elektrodenschicht **78** verbunden. Die Elektrodenschicht **78** liegt zwischen der unteren Schicht und einer Isolationsschicht **79**, welche die Elektrodenschicht von dem Abrollaktuator separiert. Der Abrollaktuator wirkt ebenfalls als Elektrode, so dass der vorgespannte Abrollaktuator durch elektrostatische Kräfte in die durchgezeichnet in **Fig.** 1 dargestellte Position bewegt wird, wenn eine Spannung aus der Spannungsquelle **76** auf die als Elektroden geschalteten Isolationsschicht und den Abrollaktuator übertragen wird. In diesem Fall liegt der Abrollaktuator **74** an der Isolationsschicht **79** an und verschließt mit seinem freien Ende **53** eine Einlassöffnung **80**, welche sich durch die untere Schicht **70**, die Elektrodenschicht **78** und die Isolationsschicht **90** erstreckt.

[0056] Wenn keine Spannung an den als Elektroden geschalteten Schichten **74** und **78** anliegt, so wird der Abrollaktuator durch seine Eigenspannung in die in der **Fig.** 4 in unterbrochenen Linien dargestellte Stellung bewegt. Der Abrollaktuator **74** kann dann eine zweite Öffnung **81** verschließen, welche sich durch die obere Schicht **72** erstreckt, mit seinem freien Ende **53**. Die erste Öffnung **80** wird in diesem Fall nicht mehr verschlossen, so dass ein Fluid durch die Öffnung **80** und eine dritte Öffnung **82**, welche sich durch die obere Sicht **72** erstreckt, fließen kann.

[0057] Wird eine Spannung an die als Elektrode geschalteten Schichten **74** und **78** angelegt, so gibt das freie Ende **53** des Abrollaktuators **74** die zweite Öffnung **81** frei und verschließt die erste Öffnung **80**. In dieser Aktuatorstellung kann ein Fluid durch die zweite Öffnung **81** und die dritte Öffnung **82** das Mikroventil passieren.

[0058] Wie aus **Fig.** 4 ersichtlich, wirkt die zum Hohlraum **73** weisende Oberfläche der oberen Schicht **72** als Anschlag für den Abrollaktuator **74**, wenn keine elektrische Spannung zwischen Aktuator **74** und Elektrodenschicht **78** anliegt. Hierdurch wird eine mechanische Begrenzung der Endauslenkung des Abrollaktuators **74** erreicht, wodurch eine Variation der Eigenspannung des Aktuators in einem bestimmten Bereich ohne wesentliche Auswirkungen auf die Verformung des Aktuators im elektrostatisch spannungsfreien Zustand bleibt. Auf diese Weise wird erreicht, dass der durch Abweichungen der Aktuatoreigenspannung von der Soll-Aktuatoreigenspannung bedingte Ausschuss an Bauteilen verringert wird.

[0059] Wie aus **Fig.** 5 ersichtlich, können die beiden Öffnungen **80**, **81** auch in der unteren Substratschicht **70** angeordnet sein, so dass sie simultan durch die Federzunge verschlossen werden können.

[0060] Bezug nehmend nun zu **Fig.** 6 weist eine weitere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung zwei gegenüberliegend und spiegelbildlich zueinander angeordnete Abrollaktuatoren **74**a, **74**b auf, welche mit zwei gegenüberliegend und spiegelbildlich angeordneten Elektrodenschichten **78**a, **78**b zusammenwirken. Zur Betätigung der Abrollaktuatoren **74**a, b sind zwei unabhängig voneinander schaltbare Spannungsquellen **76**a, **76**b vorhanden. Liegt eine Spannung zwischen Abrollaktuator **74**a und Elektrodenschicht **78**a an, so wird eine Öffnung **80**a im Ventilgehäuse verschlossen. In gleicher Weise wird eine Öffnung **80**b verschlossen, wenn eine elektrische Spannung zwischen Abrollaktuator **74**b und Elektrodenschicht **78**b anliegt. Das Ventilgehäuse weist eine dritte Öffnung **82** auf, so dass ein Fluidstrom durch die Öffnungen **80**a und/oder **80**b und die Öffnung **82** fließen kann.

[0061] Bezug nehmend zu **Fig.** 7 kann bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ein Doppelaktuatorbalken vorgesehen sein. In **Fig.** 6 dargestellt ist ein Ausschnitt aus einem als Mikroventil ausgeführten Bauteil, welcher die untere Schicht **70**, die obere Schicht **72** und eine erste Öffnung **80** sowie einen Doppelaktuator **90**, **93** zeigt. Der Doppelaktuator **90**, **93** ist aus einem Basisabschnitt **90** und einem an diesem Basisabschnitt befestigtem erstem Aufsatzabschnitt **93** aufgebaut. Der Basisabschnitt **90** ist mit seinem eingespannten Ende **91** an der unteren Schicht **70** befestigt. An seinem freien Ende **92** ist der erste Aufsatzabschnitt **93** mit seinem eingespannten Ende **94** befestigt. Der erste Aufsatzabschnitt **93** erstreckt sich in entgegengesetzter Richtung zu dem Basisabschnitt **90**. Das Gehäuse kann so gestaltet sein, dass das freie Ende **95** des ersten Aufsatzabschnitts **93**, wenn keine elektrostatische Spannung zwischen dem Doppelaktuator **90**, **93** und einer mit der unteren Schicht **40** verbundenen Elektrode anliegt, an der oberen Schicht **72** anliegt und eine erste Öffnung **80** verschließt. Wird eine Spannung zwischen die Elektrodenschicht **78** und den Doppelaktuator **90**, **93** angelegt, so legen sich der Basisabschnitt **90** und der erste Aufsatzabschnitt **93** aufeinander auf die Elektrodenschicht **78**. Hierdurch wird die erste Öffnung **80** freigegeben und ein großer Durchflussquerschnitt, bedingt durch die große Hubhöhe des Doppelaktuators **90**, **93** für den Durchfluss eines Fluids freigegeben.

[0062] Bezug nehmend zu **Fig.** 8 ist der erste Aufsatzabschnitt **93** kürzer als der Basisabschnitt **90**. Der erste Aufsatzabschnitt **93**, das eingespannte Ende **94** und das freie Ende **92** des Basisabschnitts **90** sind so angeordnet, dass das eingespannte Ende **91** des Basisabschnitts und ein diesem Ende benachbarter Bereich durch einen senkrecht zur unteren Schicht **70** einfallenden Laserstrahl thermisch behandelt werden können. Dabei können diese Bereiche auch unterschiedlich behandelt werden.

[0063] Bezug nehmend zu **Fig.** 9 ist ein Mehrfachaktuator **90**, **93**, **96** aus einem Basisabschnitt **90** und zwei Aufsatzabschnitten **93**, **96** aufgebaut. Die Anordnung des Basisabschnitts **90** und des ersten Aufsatzabschnitts **93** entspricht der Anordnung des Doppelaktuators gemäß **Fig.** 6. Der zweite Aufsatzabschnitt **96** ist mit seinem eingespannten Ende **97** am freien Ende **95** des ersten Aufsatzabschnitts befestigt. Der zweite Aufsatzabschnitt erstreckt sich in entgegengesetzter Richtung zum ersten Aufsatzabschnitt, d. h. in gleicher Richtung wie der Basisabschnitt. Das freie Ende **98** des zweiten Aufsatzabschnitts kann in dieser Form eine erste Öffnung **80** verschließen, wenn keine elektrostatische Spannung zwischen dem Mehrfachaktuator **90**, **93**, **96** und

der Elektrodenschicht **78** anliegt. Wird eine Spannung an den Mehrfachaktuator **90**, **93**, **96** und die Elektrodenschicht **78** angelegt, so legen sich die drei Lagen des Mehrfachaktuators übereinander und auf die Elektrodenschicht **78**, so dass die erste Öffnung **80** für den Durchfluss eines Fluids freigegeben wird. Die Hubhöhe des Mehrfachaktuators ist gegenüber jener des Doppelaktuators nochmals erhöht worden, so dass ein erhöhter Durchflussquerschnitt erreicht wird.

[0064] Bezug nehmend zu **Fig.** 10 sind die drei Aktuatorschichten **90**, **93**, **96** so angeordnet, dass der erste Aufsatzabschnitt **93** kürzer als der Basisabschnitt ist und der zweite Aufsatzabschnitt schneller und kürzer als der erste Aufsatzabschnitt ist. Auf diese Weise wird erreicht, dass die Verbindungsstellen der Aktuatoren jeweils durch einen senkrecht zur unteren Schicht einfallenden Laserstrahl thermisch nachbehandelt werden können.

[0065] Der Entwicklungsschritt vom Doppelaktuator der **Fig.** 6 zum dreifachen Mehrfachaktuator der **Fig.** 8 kann in gleicher Weise vom dreifachen Mehrfachaktuator der **Fig.** 8 zu einem vierfachen, fünffachen usw. Mehrfachaktuator vollzogen werden. Hierdurch ist eine weitere Steigerung der Hubhöhe eines Bauteils und damit insbesondere des Durchflussquerschnitts durch ein als Mikroventil ausgeführtes Bauteil mit dem entsprechenden Mehrfachaktuator möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung mikromechanischer Bauteile mit mindestens einer elastischen Federzunge (**50**; **74**), wobei diese Federzunge insbesondere durch galvanische Abscheidung, Sputtern, Aufdampfen und/oder Ätzen erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Bereiche (**51**; **52**) der Federzunge thermisch eingewirkt wird und ein mechanischer Eigenspannungsgradient in der Federzunge erzeugt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Herstellung der Federzunge mehrere Schichten aus unterschiedlichen Materialien erzeugt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Höhe der thermischen Einwirkung eine Funktion des Ortes ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass auf einen lokal begrenzten Bereich der Federzunge thermisch stärker eingewirkt wird als auf andere Bereiche, wobei der thermisch stärker behandelte Bereich dem eingespanntem Ende (**54**) der Federzunge näher liegt als dem freiem Ende (**53**) der Federzunge.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während der thermischen Einwirkung ein Signal erzeugt wird, welches die durch die Eigenspannung erzeugte mechanische Verformung der Federzunge (**50**) kennzeichnet und dass dieses Signal zur Steuerung oder Regelung der thermischen Einwirkung verwendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Signal aus einer Messung der elektrischen Kapazität zwischen Federzunge (**50**) und einem als Elektrode ausgebildeten Abschnitt (**20**) des Bauteils gewonnen wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Signal aus einer optischen Messung des Abstandes des freien Endes (**53**) der Federzunge von einem Referenzpunkt (**63**) gewonnen wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Federzunge (**50**) durch einen galvanischen Abscheidevorgang erzeugt wird und während der Abscheidung mindestens ein Abscheideparameter, insbesondere die Stromdichte und/oder mindestens ein Parameter einer periodischen Strom- oder Spannungsfunktion variiert wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass während des Abscheidens der Federzunge chemische Eigenschaften des Galvanikbades und/oder der Elektroden variiert werden oder verschiedene Elektrolyte verwendet werden.
10. Mikromechanisches Bauteil, hergestellt nach einem Verfahren gemäß den Ansprüchen 1–9.
11. Bauteil nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil als Mikroventil ausgeführt ist welches ein eine erste (**80**) und eine zweite Öffnung (**82**) aufweisendes Ventilgehäuse (**70**, **71**, **72**) umfasst und dass in dem Ventilgehäuse eine als Ventilkörper wirkende, mit dem Ventilgehäuse verbundene Federzunge (**74**) angeordnet ist, die in einer Öffnungsstellung den Durchfluß eines Fluids durch die Öffnungen (**80**, **82**) erlaubt und in einer Schließstellung mindestens eine der Öffnungen verschließt.
12. Bauteil nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Federzunge (**74**) einen Eigenspannungsgradienten aufweist und hierdurch so verformt ist, dass sie unter mechanischer Vorspannung in Öffnungs- oder Schließstellung liegt.
13. Bauteil nach einem der Ansprüch 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse einen Endanschlag für die Federzunge (**74**) umfasst und dass die Federzunge bei Anlage an den Endanschlag in Öffnungs- oder Schließstellung liegt.
14. Bauteil nach einem der Ansprüche 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Federzunge (**74**) als Elektrode ausgebildet ist, dass eine mit dem Gehäuse verbundene Elektrodenschicht (**78**) vorgesehen ist, welche durch eine Isolatorschicht (**79**) von der Federzunge elektrisch isoliert ist, und dass Mittel (**76**) zum Anlegen einer elektrischen Spannung an Federzunge und Elektrodenschicht vorgesehen sind.
15. Bauteil nach einem der Ansprüche 10–14, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Federzungen (**74**a, **74**b) vorgesehen sind, die mehrere, insbesondere unabhängige Schaltfunktionen im Gehäuse erfüllen.
16. Bauteil nach einem der Ansprüche 10–15, dadurch gekennzeichnet, dass die Federzunge einen ersten Abschnitt (**90**) aufweist, der mit einem ersten Ende (**91**) mit dem Gehäuse verbunden ist und dass an dem zweiten, freien Ende (**92**) des ersten Abschnitts (**90**) ein zweiter Abschnitt (**93**) befestigt ist, die sich in Richtung des ersten Endes (**91**) des ersten Abschnitts (**90**) erstreckt.
17. Bauteil nach Anspruch 16, insbesondere ein Mikroventil, dadurch gekennzeichnet, dass das freie Ende (**95**) des zweiten Abschnitts (**93**) eine Öffnung (**80**) im Ventilgehäuse verschließt oder freigibt.
18. Bauteil nach einem der Ansprüche 10–17, dadurch gekennzeichnet, dass die Federzunge aus mehreren übereinanderliegenden Abschnitten (**90**, **93**, **96**) aufgebaut ist, welche untereinander im Bereich eines ihrer Enden in der Weise verbunden sind, dass die erste Verbindungsstelle (**92**, **94**) eines ersten Abschnitts (**90**) mit einem benachbart darüberliegendem zweiten Abschnitt (**93**) an einem anderen Ende ausgebildet ist als die zweite Verbindungsstelle (**95**, **97**) des zweiten Abschnitts (**93**) mit einer benachbart darüberliegenden dritten Abschnitt (**96**).
19. Bauteil nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die erste (**92**, **94**) und zweite (**95**, **97**) Verbin-

dungsstelle an gegenüberliegen Enden des zweiten Abschnitts (**93**) ausgebildet sind.

20. Bauteil nach einem der Ansprüche 10–19, insbesondere ein Mikroventil, dadurch gekennzeichnet, dass die Federzunge als Ventilkörper wirkt, der in einer Schließstellung mindestens eine erste Öffnung (**80**) und in einer Öffnungsstellung mindestens eine zweite Öffnung (**81**) in dem Ventilgehäuse verschließt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Nummer: **DE 102 10 344 A1**
Int. Cl.[7]: **B 81 C 1/00**
Offenlegungstag: 2. Oktober 2003

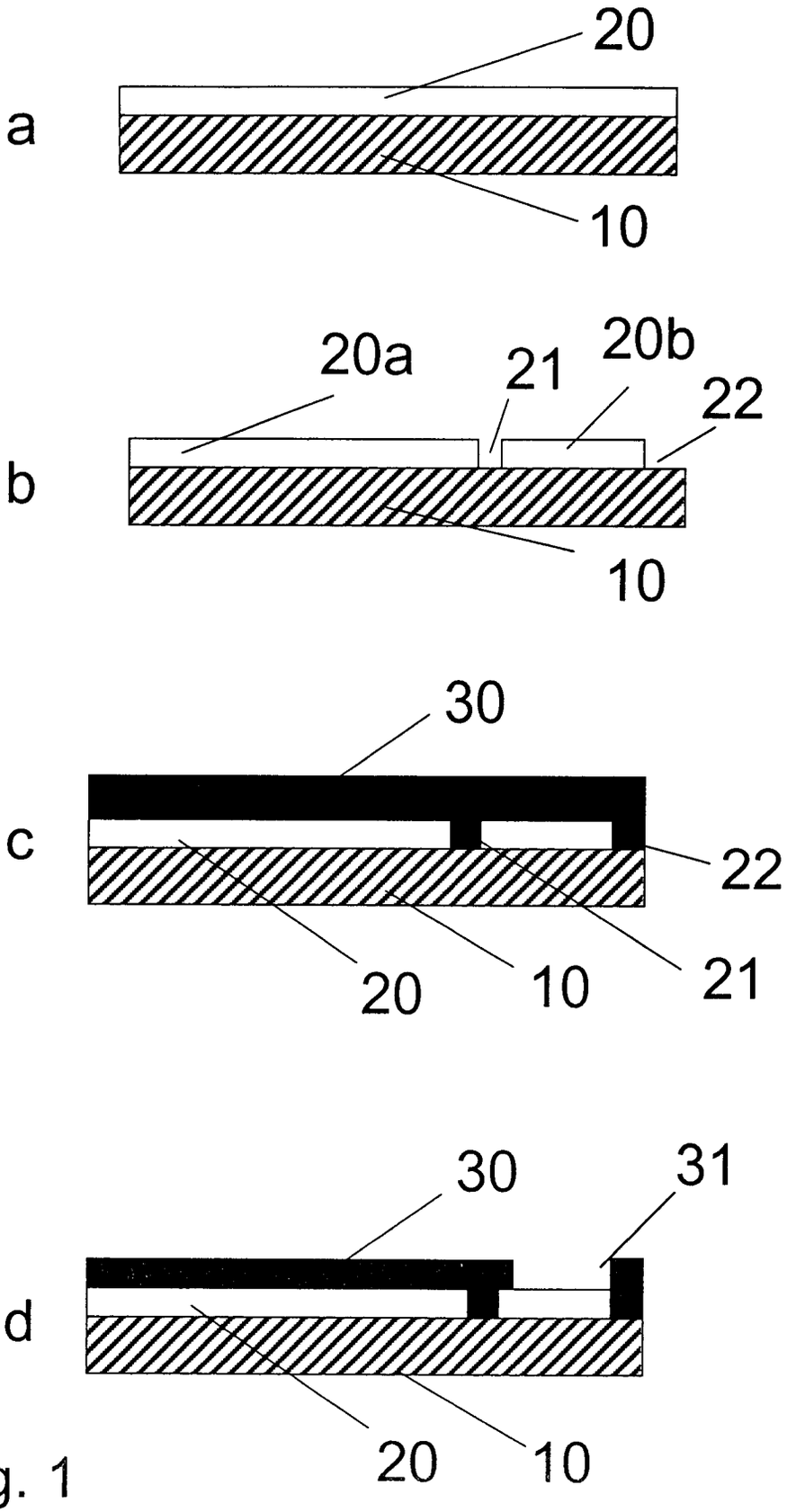

Fig. 1

Nummer: DE 102 10 344 A1
Int. Cl.[7]: B 81 C 1/00
Offenlegungstag: 2. Oktober 2003

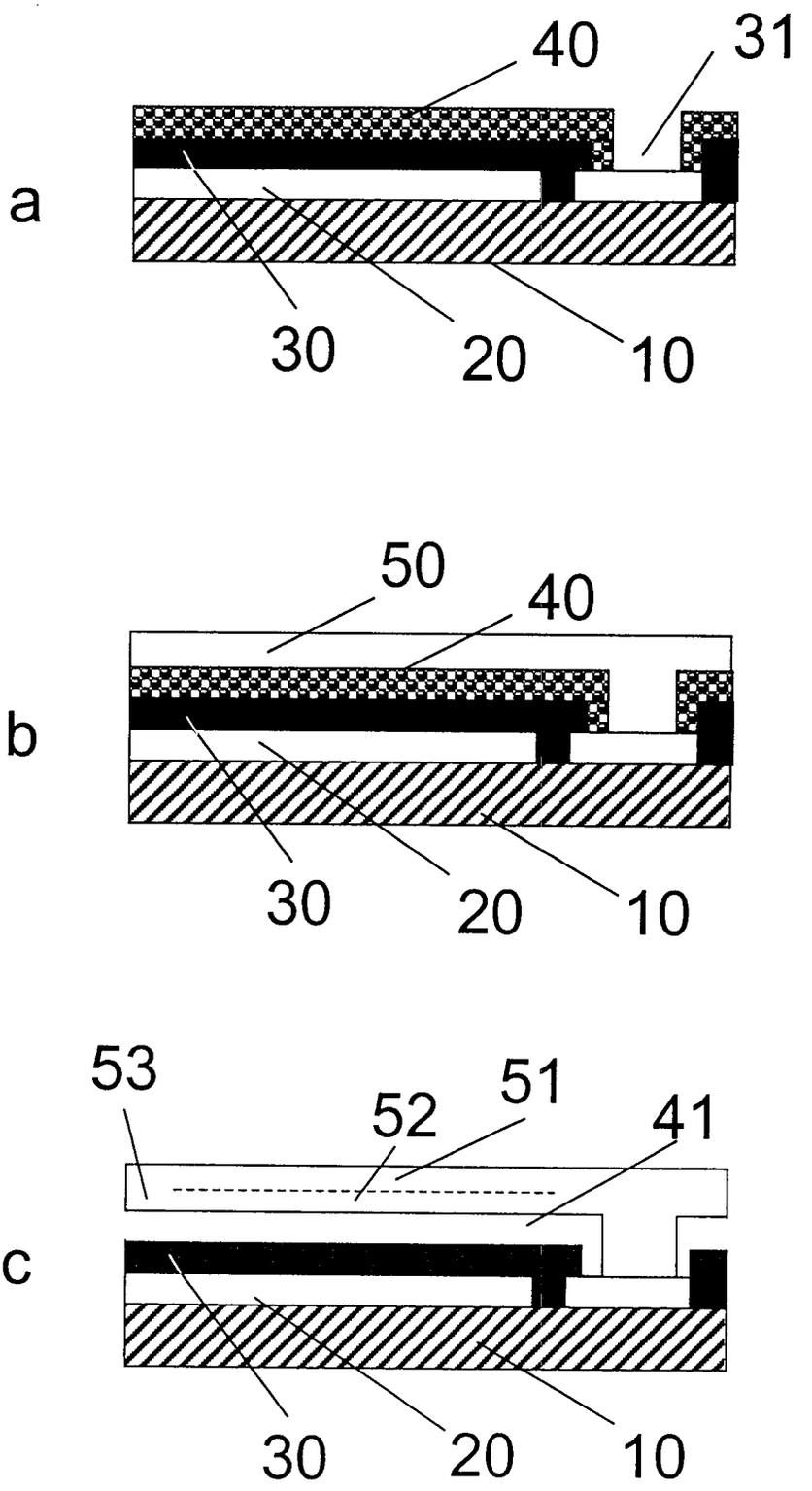

Fig. 2

Nummer: DE 102 10 344 A1
Int. Cl.[7]: B 81 C 1/00
Offenlegungstag: 2. Oktober 2003

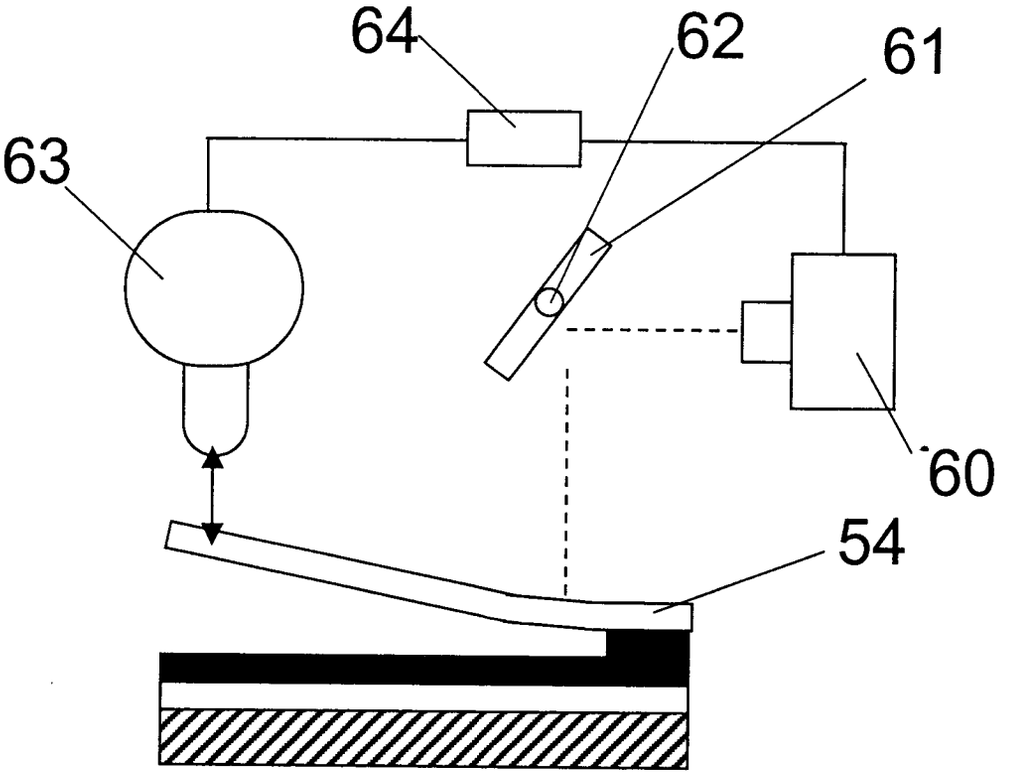

Fig. 3

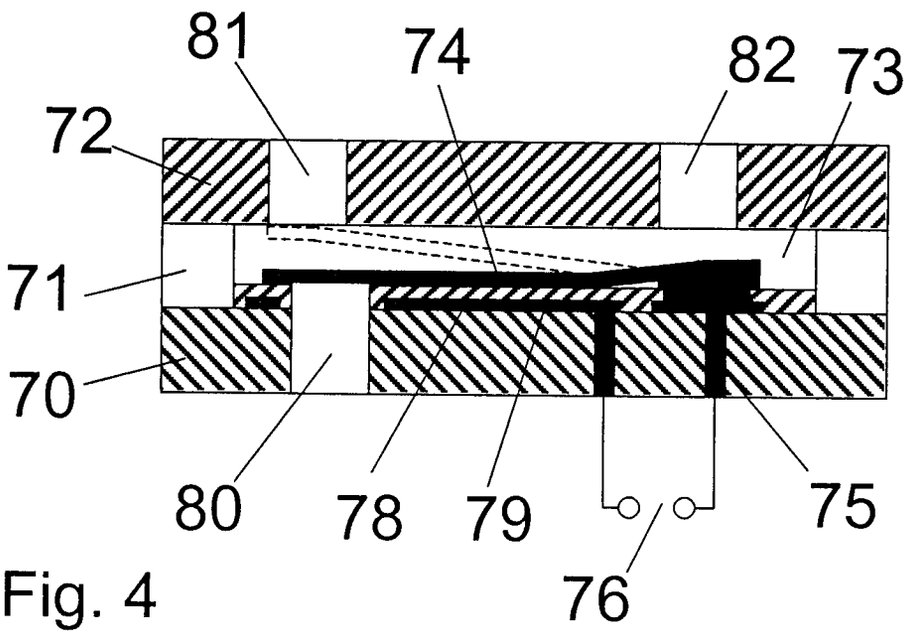

Fig. 4

Nummer: **DE 102 10 344 A1**
Int. Cl.[7]: **B 81 C 1/00**
Offenlegungstag: 2. Oktober 2003

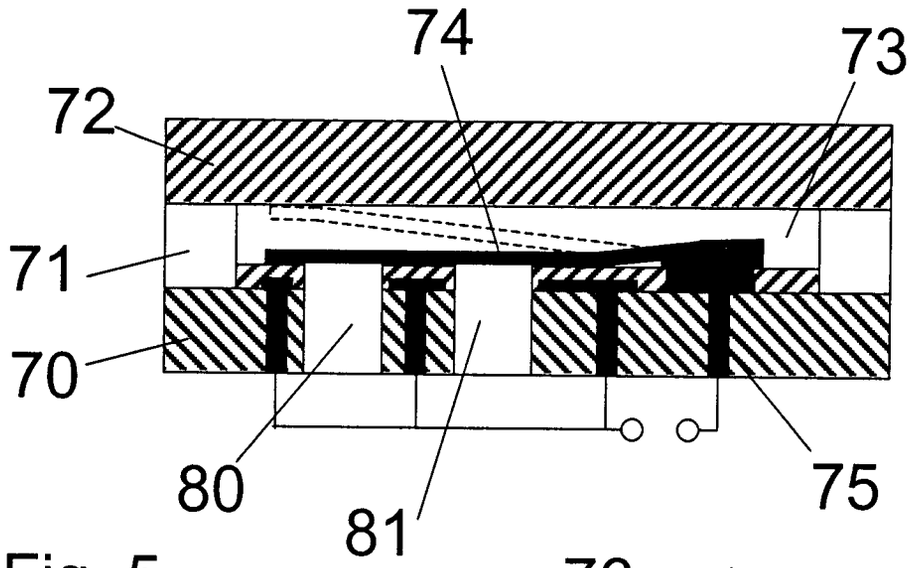

Fig. 5

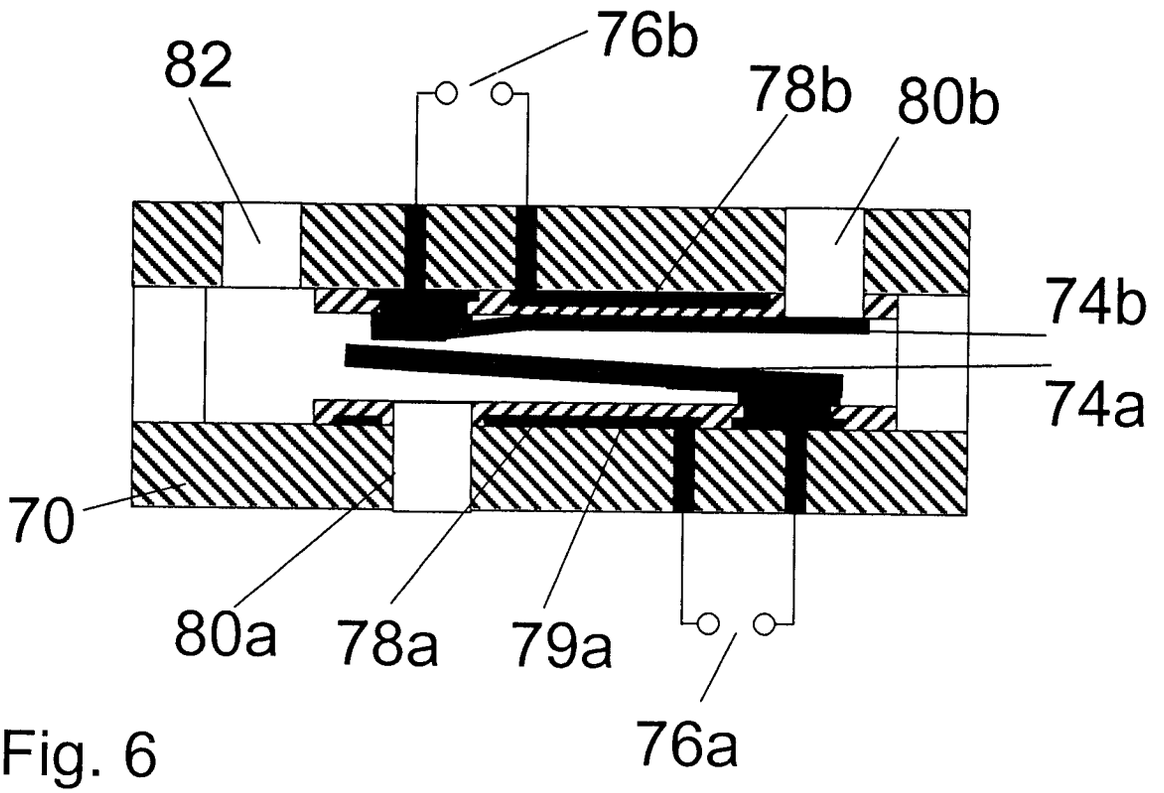

Fig. 6

Nummer: **DE 102 10 344 A1**
Int. Cl.[7]: **B 81 C 1/00**
Offenlegungstag: 2. Oktober 2003

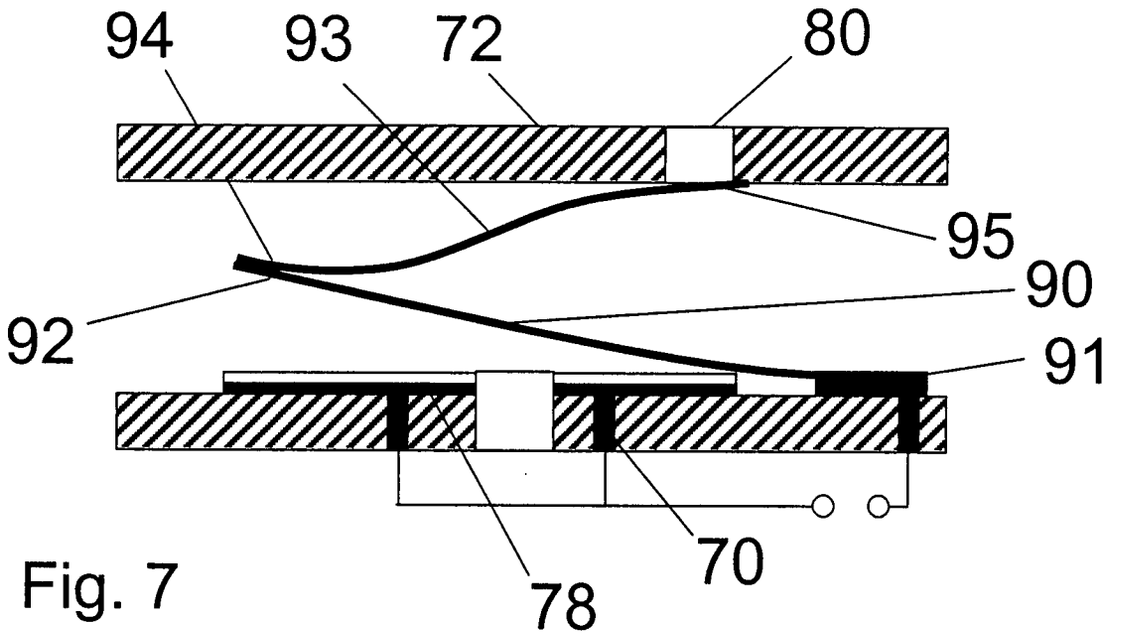

Fig. 7

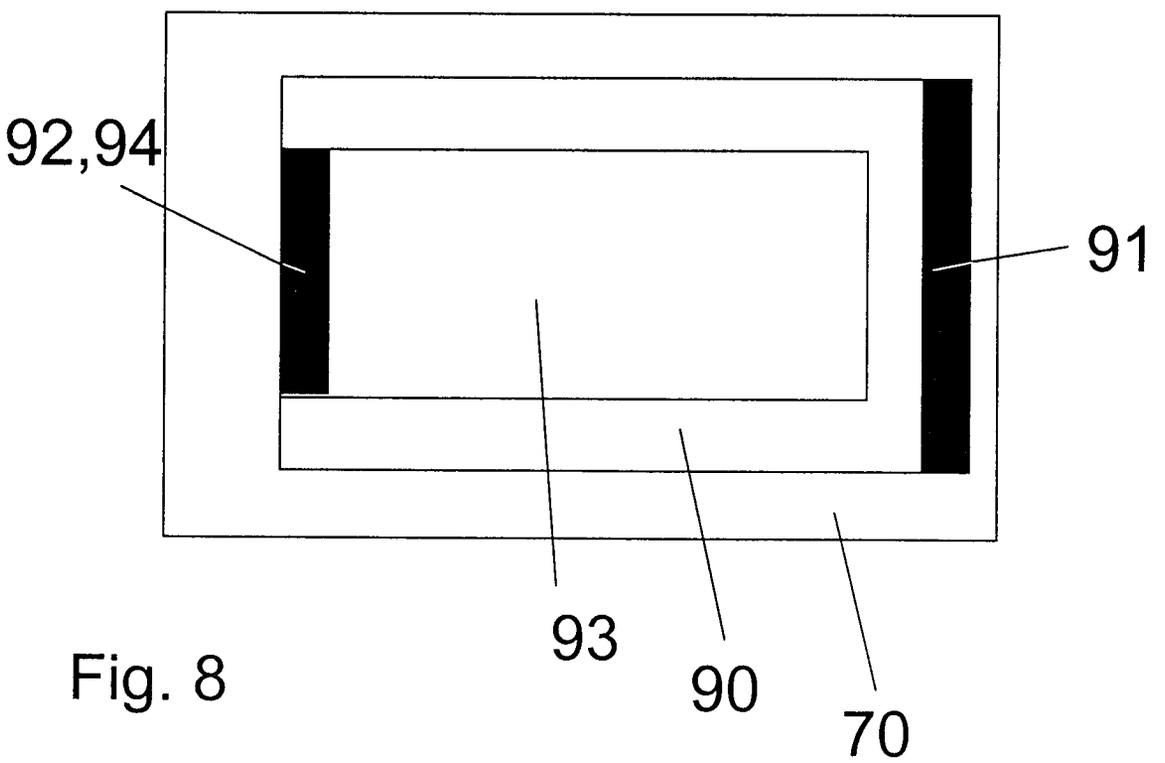

Fig. 8

Nummer: DE 102 10 344 A1
Int. Cl.[7]: B 81 C 1/00
Offenlegungstag: 2. Oktober 2003

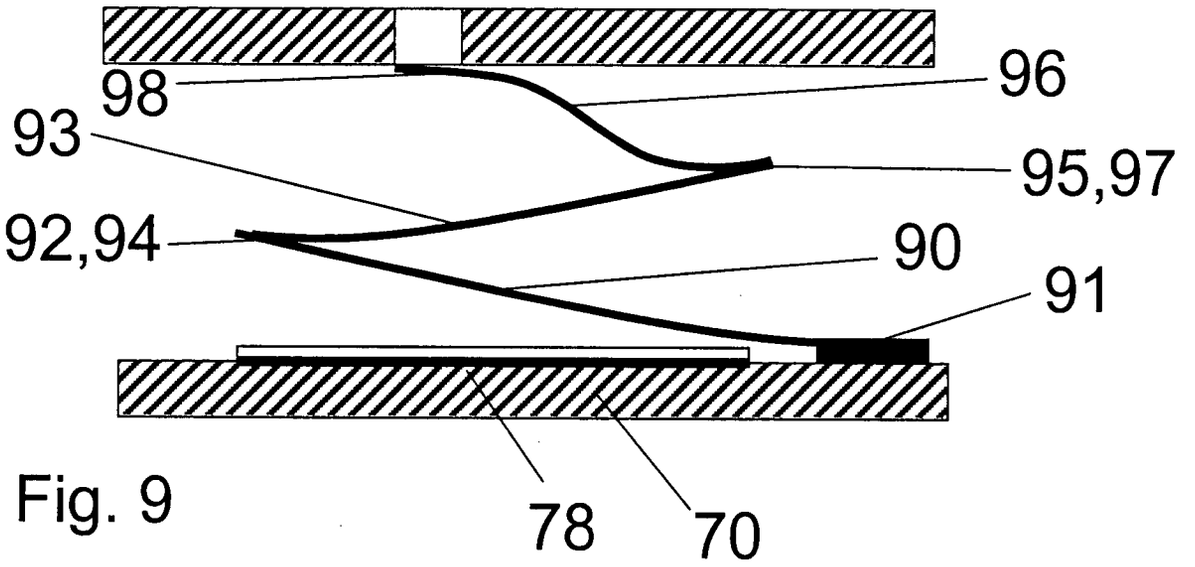

Fig. 9

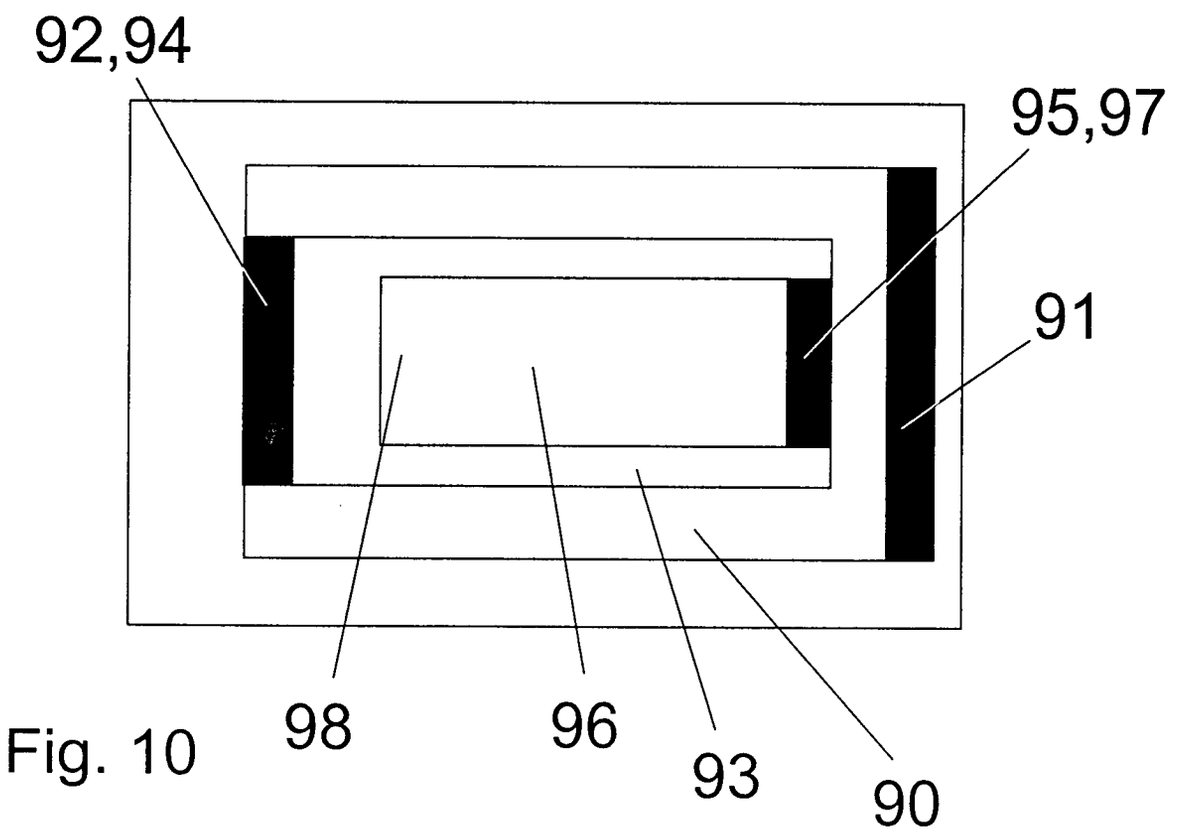

Fig. 10