



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 27 237 T2 2004.11.04**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 928 371 B1**

(51) Int Cl.⁷: **F15C 5/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 27 237.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/16921**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 944 369.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/13605**

(86) PCT-Anmeldetag: **25.09.1997**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **02.04.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.07.1999**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **14.01.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **04.11.2004**

(30) Unionspriorität:

720099 27.09.1996 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE

(73) Patentinhaber:

**Redwood MicroSystems, Inc., Menlo Park, Calif.,
US**

(72) Erfinder:

**HARRIS, M., James, Saratoga, US; COZAD, A.,
Bradford, Newark, US; HOPKINS, Allyn, Dean, San
Jose, US; FITCH, S., John, Los Altos, US**

(74) Vertreter:

**Huber, B., Dipl.-Biol. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 81825
München**

(54) Bezeichnung: **INTEGRIERTES ELEKTRISCH GEREGLTES MIKROVENTIL**

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

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

Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet integrierter, elektrisch bedienbarer Mikroventile und insbesondere das Gebiet integrierter Mikroventile mit niedriger Leckrate für industrielle, ätzende und ultrareine Anwendungen.

Beschreibung des Stands der Technik

[0002] Durch Mikromaterialbearbeitung hergestellte, integrierte Ventile sind im Stand der Technik bekannt. Beispiele für verschiedene Ausführungsformen von solchen Schließventilen findet man in den US-Patenten 4,821,997 und 4,824,073 und 4,943,032 und 4,966,646 von Mark Zdeblick, die auf die Universität von Stanford übertragen sind und auf die im Nachfolgenden als die "Zdeblick"-Patente Bezug genommen wird. Solche Ventile umfassen im Allgemeinen einen Dreischichtaufbau, bei dem die oberen beiden Schichten dazu verwendet werden, einen verschlossenen Hohlraum mit einem darin eingeschlossenen Fluid zu bilden, das einen niedrigen Siedepunkt und/oder hohen Ausdehnungskoeffizienten aufweist, und wobei eine Wand dieses Hohlraums als dünne, flexible Membran ausgebildet ist. Bei den oberen beiden Schichten kann es sich um Silizium-, Quarz- oder Glassubstrate oder jedes andere geeignete Material handeln. Typischerweise besteht mindestens eine Schicht bzw. mindestens ein Substrat aus Silizium, um bei der Ausbildung des Hohlraums und der flexiblen Membran Vorteile aus den Silizium-Mikromaterialbearbeitungsverfahren zu ziehen. Die Ventile der "Zdeblick"-Patente umfassen auch ein Widerstandselement, das an einer inneren Oberfläche des verschlossenen Hohlraums ausgebildet ist. Dieses Element hat elektrische Verbindungen zu einer Stromquelle, um für einen elektrischen Eingang durch den Widerstand zu sorgen, wodurch sich ein daraus resultierender Heizeffekt ergibt. Die untere Lage weist typischerweise einen Ventilsitz und eine darin ausgebildete Öffnung auf. Auf diese Weise kann eine Fluidströmung angehalten werden, indem die Ventilöffnung geschlossen wird, um die Strömung über den Ventilsitz und durch die Öffnung zu unterbrechen. In den "Zdeblick"-Patenten wird, wenn ein Strom durch den Widerstand geschickt wird, das eingeschlossene Fluid erwärmt, wodurch die flexible Membran weit genug durchgebogen wird, um mit dem am unteren Körper ausgebildeten Ventilsitz in Kontakt zu gelangen. Somit ist zwischen dem Eingangskanal und dem Ausgangskanal durch die Öffnung die Fluidströmung unterbrochen.

[0003] Für einige Anwendungen eignen sich Schließventile, aber bei anderen Anwendungen wer-

den Öffnungsventile benötigt, d. h. Ventile, bei denen im abgeschalteten Zustand keine Strömung vom Eingangskanal zum Ausgangskanal stattfindet. Ein Beispiel für ein derartiges Öffnungsventil ist das Mikroventil Fluistor™ (Marke von Redwood Microsystems, Inc., Menlo Park, Kalifornien) (NC-105), das von Redwood Microsystems Inc. hergestellt wird. Mit Bezug auf die **Fig. 1** ist eine vereinfachte Darstellung dieses Ventils im abgeschalteten Zustand gezeigt. Beim Fluistor™-Ventil ist eine flexible Membran **20** aus einer mittleren Ebene bzw. einem mittleren Substrat **14** herausgearbeitet. Die flexible Membran **20** dient auch als Wand für einen Hohlraum **26**, der zwischen dem mittleren Substrat **14** und einer oberen Ebene bzw. einem oberen Substrat **16** gebildet ist. Im Hohlraum **26** ist ein Widerstands- bzw. Hezelement **30** ausgebildet, um für die Erwärmung eines Fluids **28** (in "gewundenen" Linien dargestellt) zu sorgen, das in dem Hohlraum **26** leckfrei aufgenommen ist. Das Fluid **28** ist so gewählt, dass es sich bei Erwärmung ausdehnt und die flexible Membran **20** sich biegen oder bewegen lässt. Über eine mechanische Verbindung bzw. einen Sockel **22** wird diese Bewegung auf eine untere Ebene bzw. ein unteres Substrat **12** übertragen. Wenn das Substrat **12** wie beim Fluistor™ NC-105 ortsfest ist, führt eine Bewegung der flexiblen Membran **20** in Verbindung mit der Anordnung des Sockels **22** dazu, dass sich das mittlere und obere Substrat **14** bzw. **16** vom unteren Substrat **12** weg bewegen. So trennt sich also das Substrat **12** vom mittleren Substrat **14**, und eine durch das Substrat **12** hindurch ausgebildete Auslassöffnung **44** wird an einem Ventilsitzbereich **40** freigegeben bzw. geöffnet. Auf diese Weise wird die Auslassöffnung **44** geöffnet und in fluidische Verbindung mit einer Einlassöffnung **42** versetzt.

[0004] Das Fluistor™-Ventil arbeitet gut beim Steuern der Strömung von nicht korrosiven Fluiden und/oder dort, wo Leckraten von nicht unter ungefähr 1×10^{-4} cm³-atm/sec Helium (Kubikzentimeter-Atmosphären pro Sekunde, wenn mit Helium kalibriert) gefordert sind.

[0005] Es ist jedoch nicht für Anwendungen ausgelegt, die die Steuerung von korrosiven Fluiden erfordern, und/oder für Anwendungen, die Leckraten von 1×10^{-6} cm³-atm/sec Helium oder weniger erfordern. Darüber hinaus verwendet das Fluistor™-Ventil, genau wie die Ventile der "Zdeblick"-Patente, das Material der flexiblen Membran **20** oder eine sich daran anschließende Verlängerung zur direkten Abdichtung der Öffnung **44**. Solch eine direkte Verwendung der Membran **20** schränkt die Konstruktionsmöglichkeiten des Ventils **5** ein.

[0006] Demzufolge besteht ein Bedarf an einem integrierten Mikroventil, das zur Steuerung von korrosiven Fluiden eingesetzt werden kann. Es besteht auch ein Bedarf an einem integrierten Mikroventil, mit dem

eine Leckrate von $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^3\text{-atm/sec}$ Helium oder weniger erreicht werden kann. Darüber hinaus besteht ein Bedarf an einem integrierten Mikroventil, mit dem man korrosive Fluide steuern kann, während eine Leckrate von $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^3\text{-atm/sec}$ Helium oder weniger erreicht wird. Schließlich besteht ein Bedarf an einem Schließ- bzw. Öffnungsmikroventil, das die oben genannten Erfordernisse erfüllt, ohne dass die flexible Membran als eine im Wesentlichen direkte Abdichtvorrichtung für die Ventilöffnung verwendet wird; auf diese Weise erhöhen sich die Konstruktionsfreiheit sowie der Bereich potentieller Anwendungen für das Mikroventil.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Ein erfindungsgemäßes, integriertes Mikroventil, das allgemein auch als Mikrominiatur-Ventil bezeichnet wird, ist in Anspruch 1 definiert. Dementsprechend verwendet das Mikroventil eine flexible Membran mit einer mechanischen Verbindung, um ein Ventilelement zu bewegen. Die flexible Membran bewegt sich in Ansprechnung auf einen Energieeingang in eine Energieumwandlungsvorrichtung. So wird in einigen Ausführungsformen elektrische Energie an die Energieumwandlungsvorrichtung einem Heizwiderstand zugeführt, und durch die vom Heizwiderstand erzeugte Wärmeenergie wird das in einem verschlossenen Hohlraum eingeschlossene Fluid dazu gebracht, sich auszudehnen; das sich ausdehnende Fluid biegt eine flexible wand bzw. flexible Membran durch. Bei einigen Ausführungsformen sorgt die Energieumwandlungsvorrichtung zusätzlich zur Erwärmung auch für eine Kühlung.

[0008] Die flexible Membran ist durch eine mechanische Verbindung an das Ventilelement gekoppelt und ist unmittelbar anschließend an eine oder mehrere dazwischen liegende Öffnungen angeordnet. So bewirkt eine Bewegung der Membran die Verschiebung des Ventilelements und entweder ein Öffnen oder Schließen jeder Öffnung. Jede Öffnung ist fluidisch mit Durchgängen verbunden, die als Eingangs- und Ausgangskanal für das Ventil dienen, und jede Öffnung umfasst einen Ventilsitz. Bei einigen Ausführungsformen ist der Ventilsitz als Teil des Ventilelements ausgebildet; bei anderen Ausführungsformen ist er als Teil der Ventilöffnung ausgebildet. Bei einigen Ausführungsformen hat der Ventilsitz eine nachgebende Dichtfläche, um eine verstärkte Dichtwirkung vorzusehen. Bei einigen Ausführungsformen ist an der/den Oberfläche(n), die der/den nachgebenden Dichtfläche(n) gegenüberliegt/gegenüberliegen, eine Rippe ausgebildet, wodurch ein relativ schmaler Rand vorgesehen wird, um die nachgebende Dichtfläche beim Schließen der Öffnung zusammenzudrücken. Auf diese Weise können Ausführungsformen mit nachgebenden Dichtflächen geringere Leckraten haben als Ausführungsformen ohne derartige Flächen. Bei einigen Ausführungsformen wird zur Be-

aufschlagung des Ventilelements mit einer Kraft eine Feder oder eine andere Vorrichtung als kraftbeaufschlagende Vorrichtung eingesetzt. Bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist das Ventil als Öffnungsventil konfiguriert und bei anderen Ausführungsformen ist das Ventil als Schließventil konfiguriert. Bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind Flächen, die mit dem durch das Ventil gesteuerten fluidischen Materialien in Kontakt gelangen, mit einem inerten Material beschichtet. Auf diese Weise stellt man Ventile zur Steuerung des Durchsatzes von ätzenden und/oder ultrareinen Fluiden her.

[0009] Bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind Abfühlvorrichtungen in die Ventile integriert. Bei einigen Ausführungsformen sind diese Abfühlvorrichtungen Strömungssensoren, während bei anderen Ausführungsformen diese Abfühlvorrichtungen Drucksensoren sind. Somit lässt sich mit diesen Ventilen eine dynamische Steuerung von Durchsatz oder Druck bewerkstelligen, wenn die Ventile gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zusätzlich integrierte Abfühlvorrichtungen haben, um eine dynamische Rückkopplung zur Energieeingangsquelle der Energieumwandlungsvorrichtung zu liefern.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0010] Die vorliegende Erfindung und ihre zahlreichen, dem Fachmann offenbaren Aufgaben, Merkmale und Vorteile werden durch Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen verständlicher. Zur Erleichterung des Verständnisses und der Einfachheit halber wird eine einheitliche Nummerierung von Elementen in den Darstellungen verwendet, wenn ein Element von einer Darstellung zur nächsten im Wesentlichen unverändert ist.

[0011] Fig. 1 ist eine vereinfachte Querschnittsdarstellung eines Fluistor™-Mikroventils, wie es im Stand der Technik bekannt ist;

[0012] Fig. 2 ist eine vereinfachte Querschnittsdarstellung einer Ausführungsform eines integrierten, elektrisch bedienbaren Öffnungsventils gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0013] Fig. 2A ist eine vergrößerte Ansicht eines Teils des in Fig. 2 abgebildeten Ventils;

[0014] Fig. 3 ist eine Querschnittsansicht einer alternativen Hohlraum- und einer alternativen Heizkonfiguration gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0015] Fig. 4 ist eine Querschnittsansicht einer anderen alternativen Hohlraum- und Heizkonfiguration gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0016] Fig. 5A ist eine Draufsicht eines Teils einer alternativen Heizkonfiguration gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0017] Fig. 5B ist eine Querschnittsansicht einer anderen alternativen Hohlraum- und Heizkonfiguration gemäß der vorliegenden Erfindung, in der die Heizkonfiguration von Fig. 5A eingesetzt ist;

[0018] Fig. 6 ist eine Draufsicht der Ausführungsform von Fig. 2;

[0019] Fig. 7 ist eine Ansicht einer anderen Ausführungsform eines Ventilelements gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0020] Fig. 8A und 8B sind Querschnittsansichten von alternativen Konfigurationen gemäß der vorliegenden Erfindung mit dazwischen liegender Öffnung;

[0021] Fig. 9 ist eine Querschnittsansicht einer anderen alternativen Konfiguration gemäß der vorliegenden Erfindung mit dazwischen liegender Öffnung;

[0022] Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht von noch einer anderen alternativen Konfiguration gemäß der vorliegenden Erfindung mit dazwischen liegender Öffnung; und

[0023] Fig. 11 ist eine Querschnittsansicht einer Ausführungsform eines Öffnungsventils gemäß der vorliegenden Erfindung mit einer optionalen kraftliefernden Vorrichtung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0024] Nun werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die oben erwähnten Figuren beschrieben. Diese Zeichnungen sind nur zur Erleichterung des Verständnisses und der Beschreibung von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung vereinfacht. Bei der Beschreibung dieser Ausführungsformen werden sich dem Fachmann verschiedene Modifikationen oder Anpassungen der speziellen Verfahren und/oder Aufbauten eröffnen, die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung darstellen. Beispielsweise wird bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein Ventil mit einer einzigen Ventilöffnung eingesetzt, während bei anderen Ausführungsformen mehrere Ventilöffnungen verwendet werden können.

[0025] Einzelheiten von Arbeitsabläufen, die zur Herstellung von Abschnitten von Ausführungsformen von integrierten Ventilaufbauten verwendet werden können, sind dem Durchschnittsfachmann im Allgemeinen bekannt. Darüber hinaus liefern die "Zdeblick"-Patente (US-Patente 4,821,997, 4,824,073 und 4,943,032 sowie 4,966,646) Beschreibungen zur Verarbeitung. So sind hier nur einige Einzelheiten der

Verarbeitung beschrieben, die als nicht sofort offensichtlich angesehen werden.

[0026] Mit Bezug auf die Fig. 2 ist eine vereinfachte Querschnittsdarstellung eines Abschnitts eines integrierten, elektrisch bedienbaren Öffnungsventils **50** gezeigt, das gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hergestellt ist. Wie für das FluisitorTM-Ventil der Fig. 1 beschrieben wurde, ist das Ventil **50** unter Verwendung einer/eines oberen, mittleren und unteren Ebene oder Blockstücks **16**, **14** bzw. **12** gebildet. Eine im Wesentlichen flache obere Ebene **16** wird dazu verwendet, um eine Wand eines verschlossenen Hohlraums **100** zu bilden. Ein Heizwiderstandselement **120** ist an der Ebene **16** befestigt und in dem Hohlraum **100** angeordnet. Eine andere Wand des Hohlraums **100** wird hergestellt, indem aus einem Abschnitt der mittleren Ebene **14** eine flexible Membran **200** gebildet wird. Der verschlossene Hohlraum **100** ist mit einem Arbeitsfluid **130** (durch gewundene Linien dargestellt) gefüllt, bei dem es sich typischerweise um ein dielektrisches Material handelt, zum Beispiel einen Fluorkohlenwasserstoff, das sich bei Erwärmung ausdehnt und bei Abkühlung zusammenzieht. So dehnt sich also bei Zufuhr von elektrischer Energie zu den Heizelementen **120** und Erwärmung des Arbeitsfluids **130** das Fluid **130** aus und bewirkt, dass sich die Membran **200** nach außen biegt oder auslenkt.

[0027] Zusätzlich zur Bildung einer Wand des Hohlraums **100** ist die flexible Membran **200** auch angrenzend an ein Ventilelement bzw. Ventiltteil **300** angeordnet. Die Membran **200** ist über einen Sockel **210** an einem Verbindungspunkt **310** mit dem Ventiltteil **300** mechanisch verbunden. Diese Verbindung der flexiblen Membran **200** mit dem Ventiltteil **300** sorgt vorteilhaft für eine Übertragung der Bewegung der Membran **200** auf das Ventiltteil **300**.

[0028] Eine dazwischen liegende Öffnung bzw. Ventilöffnung **400** ist zwischen einem ventiltseitigen Abschnitt **220** der flexiblen Membran **200** und einem Ventilöffnungsabschnitt **230** der mittleren Ebene **14** gebildet. Die Abschnitte **220** und **230** bestimmen die Größe und Form der Öffnung **400** und sehen auch einen Umfangsdichtungsbereich **450** um die Öffnung **400** herum vor, wie in der in der Fig. 2A abgebildeten, vergrößerten Ansicht der Öffnung **400**, der Membran **200** und des Elements **300** der Fig. 2 angegeben ist. Einige Ausführungsformen der Ventilöffnung **400** weisen einen Ventilsitzbereich **410** auf, der im Ventilelement **300** ausgebildet ist. Bei anderen Ausführungsformen ist ein Ventilsitzbereich (nicht gezeigt) in einen Umfangsdichtungsbereich **450** eingeformt. Bei der Ausführungsform der Fig. 2 und der Fig. 2A befinden sich bei abgeschaltetem Ventil **50** der Umfangsdichtungsbereich **450** und das Ventilelement **300** in innigem Kontakt; die Öffnung **400** ist somit geschlossen bzw. das Element **300** sitzt auf. Diese Art

von Ventil **50** wird als Öffnungsventil bezeichnet. Bei anderen Ausführungsformen sind bei abgeschaltetem Ventil **50** der Umfangsdichtungsbereich **450** und das Ventilelement **300** voneinander beabstandet (nicht gezeigt); die Öffnung **400** ist somit geöffnet. Diese Art Ventil bezeichnet man als Schließventil.

[0029] In der unteren Ebene **12** sind eine Auslassöffnung **510** und eine Einlassöffnung **520** ausgebildet. Die Auslassöffnung **510** ist über einen Auslasskanal **240** fluidisch mit der Ventilöffnung **400** verbunden. Die Einlassöffnung **520** ist über Einlasskanäle **540** und **250** fluidisch mit der Öffnung **400** verbunden. Somit ist bei geschlossener Öffnung **400** der Einlass **520** vom Auslass **510** isoliert. Wenn jedoch das Fluid **130** erwärmt wird, dehnt es sich aus und lenkt die flexible Membran **200** aus bzw. bewegt diese. Diese Bewegung lässt die Membran **200** durch den Sockel **210** auf das Element **300** drücken, und das Ventilelement **300** wird vom Ventilsitzbereich **410** weggedreht bzw. wegbewegt. So wird die Ventilöffnung **400** geöffnet. Auf diese Weise wird die Auslassöffnung **510** über die Kanäle **240**, **250** und **540** mit der Einlassöffnung **520** in fluidische Verbindung gebracht.

[0030] Nach der Beschreibung der verschiedenen Abschnitte des Ventils **50** wird ersichtlich, dass sie mehrere einzelne Funktionsblöcke bilden. So wandelt ein Energieumwandlungsblock durch Erwärmen des Arbeitsfluids **130** elektrische Energie in mechanische Energie um, wodurch die Membran **200** ausgelenkt wird.

[0031] Ein dazwischen liegender Ventilblock ist mit dieser mechanischen Energie über ein Stellglied verbunden, wodurch eine Bewegung verursacht wird, die zum Öffnen und/oder Schließen einer Ventilöffnung verwendet wird. Schließlich ist ein Fluidverbindungs- und Fluidführungsblock mit der dazwischen liegenden Öffnung verbunden, um eine fluidische Verbindung innerhalb des Aufbaus vorzusehen. Wie man aus der **Fig. 2** hervorgeht, können diese Funktionsblöcke aus einer oder mehreren Ebenen **12**, **14** und **16** hergestellt sein. So weist die in der **Fig. 2** abgebildete Ausführungsform einen Energieumwandlungsblock auf, der Abschnitte der oberen Ebene **16** und der mittleren Ebene **14** umfasst. In ähnlicher Weise umfasst der Fluidverbindungsblock Abschnitte von allen drei Ebenen.

[0032] Unter erneuerter Bezugnahme auf die **Fig. 2** kann man sehen, dass die flexible Membran **200** sowohl ausreichend dünn sein sollte, um biegsam zu sein, und genügend dick sein sollte, um eine ausreichende Festigkeit zu haben, so dass sie nicht unter den Kräften zerbricht, die normalerweise während des Betriebs des Ventils **50** auftreten. Darüber hinaus bildet die flexible Membran **200** einen Teil sowohl von dem verschlossenen Hohlraum **100** als auch dem

Kanal **250**. So steht also die Membran **200** sowohl mit dem Arbeitsfluid **130** als auch mit jedem fluidischen Material in Verbindung, das von dem Ventil **50** gesteuert wird. Diese Abschnitte der Membran **200**, die sich mit dem gesteuerten fluidischen Material in Kontakt befinden, werden üblicherweise als "benetzte Oberflächen" bezeichnet. Bei der Ausführungsform der **Fig. 2** ist die Membran **200** aus der mittleren Ebene **14** gebildet, und man kann sehen, dass verschiedene andere Teile der Ebene **14** mit Teilen von sowohl der Ebene **12** als auch der Ebene **16** verbunden sind. Daher sind bei einer Auswahl des Materials für die Ebene **14** unter anderem diese Anforderungen hinsichtlich der Festigkeit, Flexibilität und Kompatibilität der Membran **200**, sowie die Verbindung bzw. Verklebung der Ebene **14** mit Materialien, die für die Ebene **12** und **16** ausgewählt sind, zu berücksichtigen. Bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, für die Ebene **14** ein Siliziummaterial auszuwählen, obwohl auch andere geeignete Materialien ausgewählt werden können.

[0033] Das Ventilelement **300** wird typischerweise getrennt von der Herstellung von Abschnitten des Ventils hergestellt, die aus den Ebenen **14** oder **16** bestehen, und werden, mechanisch mit dem Sockel **210** verbunden, an die Ventilöffnung **400** angrenzend angebracht. Wie für die Ebene **14** beschrieben ist, hat auch das Element **300** "benetzte Oberflächen" und benötigt eine ausreichende Festigkeit, um die Ventilöffnung **400** zu verschließen. Darüber hinaus stellt bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung das Ventilelement **300** auch einen Teil bzw. die ganze Rückstellkraft bereit, die der durch die flexible Membran **200** verursachten Bewegung entgegenarbeitet. Wie ersichtlich ist, sollte also das Material des Elements **300** in der Lage sein, diese Rückstellkraft aufzubringen. Während man sieht, dass die Form des Ventilelements **300** von der in der **Fig. 2** abgebildeten, im Wesentlichen ebenen Form abweichen kann, hat sich herausgestellt, dass es vorteilhaft ist, das Element **300** aus einem Siliziummaterial herzustellen, und zwar wegen dessen Kompatibilität mit der Ebene **14** und der Verfügbarkeit von Mikromaterialbearbeitungsverfahren für Silizium.

[0034] In der Ausführungsform der **Fig. 2** wird die untere Ebene **12** dazu verwendet, um die Auslass- und Einlassöffnung **510** bzw. **520**, und den Kanal **540** zum Teil oder vollständig zu bilden. So hat, wie für Ebene **14** beschrieben, die Ebene **12** "benetzte Oberflächen", und das Material der Ebene **12** sollte mit dem fluidischen Material kompatibel sein, das vom Ventil **50** gesteuert wird. Die Ebene **12** dient auch als Anbringungsaufbau für andere Abschnitte des Ventils **50** sowie zur Verbindung des Ventils **50** mit den Systemen, in denen es verwendet werden kann. Für derartige Befestigungsfunktionen sollte die Ebene **12** somit ausreichend stark und abnutzungs-

fest sein. Darüber hinaus wird bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung (nicht gezeigt), die eine zusätzliche Kraft zur Verfügung stellt, verwendet, um das Ventilelement **300** mit einer Kraft zu beaufschlagen. Wenn solche kraftliefernden Vorrichtungen verwendet werden, werden sie oftmals unter Verwendung der Ebene **12** angebracht. Während festgestellt wurde, dass ein Siliziummaterial die für die Ebene **12** erforderlichen Eigenschaften in vorteilhafter Weise zur Verfügung stellt, können auch andere geeignete Materialien ausgewählt werden. Beispielsweise werden bei einigen Ausführungsformen verschiedene Keramikmaterialien, wie beispielsweise Aluminiumoxid, verwendet und bei anderen Ausführungsformen kommt ein Borsilikat-Glas oder Quarzmaterial zum Einsatz.

[0035] Bei der Ausführungsform der **Fig. 2** dient die Ebene **16** zur Halterung und Positionierung der Heizelemente **120** und zur Bildung des verschlossenen Hohlraums **100**. Darüber hinaus dient sie dazu, einen Abschnitt des Kanals **240** zu bilden und hat somit zu einem gewissen Teil eine "benetzte Oberfläche". Es wird davon ausgegangen, dass dort, wo die Elemente **120** das Arbeitsfluid **130** nur erwärmen können, das Kühlen des Fluids **130** zu einem großen Teil durch seinen Kontakt mit der Ebene **16** vonstatten geht. So wird bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung für die Ebene **16** ein Material mit einer guten Wärmeleitfähigkeit ausgewählt. Dort, wo jedoch die Heizelemente **120** Heizwiderstandselemente sind, ist das Material der Ebene **16** typischerweise ein dielektrisches Material, um einen Kurzschluss der Elemente **120** zu verhindern. Bei einigen Ausführungsformen wird das Arbeitsfluid **130** unter Verwendung einer Strahlungsenergie erwärmt, die von einer entfernten Quelle bereitgestellt wird. Bei solchen Ausführungsformen wählt man für die Ebene **16** ein Material aus, das für diese Strahlungsenergie durchlässig ist. Die Ebene **16** kann daher eine Vielzahl von Materialien umfassen, einschließlich Quarz, Borsilikat-Glas, Keramik, Saphir, Silizium oder Kunststoff (aber nicht auf diese beschränkt). Es wird also davon ausgegangen, dass die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine ganze Reihe von Materialien umfassen, die man für das Ventilelement **300** und jede der Ebenen **12**, **14** und **16** auswählen kann, und dass die Auswahl eines bestimmten Materials für das Element **300** oder für eine bestimmte Ebene eine Sache der technischen Auslegung ist, bei der eine ganze Reihe von Faktoren berücksichtigt werden, wie sie hier erläutert sind. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass jede derartige durch die Konstruktion bestimmte Auswahl innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung liegt.

[0036] Wie weiter oben erwähnt ist, besitzt die Membran **200** sowohl Flexibilität als auch Festigkeit. Jedoch kann ein optimaler Ausgleich von Flexibilität und Festigkeit einer bestimmten Membran **200** für

jede bestimmte Anwendung anders sein. So kann bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung die Flexibilität ein Hauptbelang sein, während bei anderen die Festigkeit wichtiger als die Flexibilität sein kann. Während das für die Ebene **14** ausgewählte Material ein wichtiger Faktor für die Festigkeit und Flexibilität der Membran **200** ist, wird die Ausgewogenheit dieser beiden Eigenschaften auch erreicht, indem man die Dicke und Form der flexiblen Membran **200** verändert. So beträgt eine typische Dicke für die Membran **200** ungefähr 50 µm (Mikron), wenn die Ebene **14** ein [100]-Silizium ist. Die Membran **200** kann aber auch dicker oder dünner sein, und ein Dickenbereich von ungefähr 10 bis 100 µm hat sich als vorteilhaft erwiesen. Darüber hinaus ist festgestellt worden, dass ein Verändern der Form bzw. des Querschnittsprofils der Membran **200** das Gleichgewicht zwischen der Flexibilität und Festigkeit der Membran **200** beeinflussen kann. Daher ist, während einige Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung flexible Membranen **200** mit einer im Wesentlichen gleichförmigen Dicke haben, bei anderen Ausführungsformen die Membran **200** nicht von gleichförmiger Dicke. Bei einigen Ausführungsformen hat die Membran **200** zum Beispiel ein gestuftes Querschnittsprofil von veränderlicher Dicke.

[0037] Bei anderen Ausführungsformen ist die Membran **200** mit einer allmählichen Veränderung der Dicke ausgebildet, die vom Rand zur Mitte hin abnimmt. So kann jedes Querschnittsprofil, das dazu ausgelegt ist, die Anforderungen einer bestimmten Anwendung zu erfüllen, verwendet werden, um die richtige Ausgewogenheit zwischen der Flexibilität und der Festigkeit für eine bestimmte Anwendung des Ventils **50** zur Verfügung zu stellen.

[0038] Verschiedene Verfahren zur Herstellung der einzelnen Aufbauten, die das wie in der **Fig. 2** abgebildete Ventil **50** bilden, sind bekannt. Diese Verfahren gehen aber über den Umfang der vorliegenden Erfindung hinaus; es sind nur Beispiele von Verfahren offenbart. So können beispielsweise die in den "Zdeblick"-Patenten beschriebenen Herstellungsverfahren angewendet werden, um die Aufbauten des Ventils **50** zu bilden. Darüber hinaus können auch andere Herstellungsverfahren wie EDM (Funkenerosionsbearbeitung), elektrochemisches Ätzen, Sandstrahlen, Spritzgießen, Prägen, LIGA und Diamantbearbeitung verwendet werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Realisierung der Vorteile der vorliegenden Erfindung nicht von dem verwendeten Herstellungsverfahren abhängt. Und somit können ein oder alle der oben erwähnten oder in den "Zdeblick"-Patenten beschriebenen Verfahren angewendet werden, um die hier beschriebenen Aufbauten auszubilden.

[0039] Mit einem weiteren Bezug auf die **Fig. 2** ist ein Hohlraum **100** abgebildet, der mit dem Arbeitsflu-

id **130** gefüllt ist. Ein Kriterium für die Auswahl des Arbeitsfluids **130** ist sein Ausdehnungskoeffizient.

[0040] Wenn also das Arbeitsfluid **130** einen großen Koeffizienten aufweist, wird der Bereich der Bewegung, den es in der Membran **200** induziert, über irgendeinen vorgesehenen Betriebstemperaturbereich umso größer sein. Wie oben erwähnt ist, verhält sich das Fluid **130** zu den Materialien des Hohlraums **100** chemisch inert. Materialien, die chemisch inert zueinander sind, sind als Materialien definiert, die im wesentlichen keine chemischen Reaktionen miteinander eingehen. Außerdem sollte das für das Fluid **130** gewählte Material typischerweise über den Temperaturbereich, der für ein gegebenes Ventil **50** vorgesehen ist, flüssig bleiben, obwohl bei einigen Ausführungsformen ein gewisser Teil des Fluids **130** dampfförmig ist. Es ist festgestellt worden, dass eine breite Palette von Materialien diese Anforderungen erfüllt; so werden Wasser, Äthanol oder andere Alkohole und viele Mitglieder aus der Familie der Fluorkohlenwasserstoffe, zum Beispiel bei einigen Ausführungsformen Materialien, die unter der Marke Fluorinert® vertrieben werden, für das Arbeitsfluid **130** verwendet.

[0041] Obwohl in der **Fig. 2** nicht gezeigt, wird der Hohlraum **100** typischerweise über eine Einfüllöffnung befüllt, die anschließend mit einem Öffnungsdichtungselement hermetisch verschlossen wird. Bei einigen Ausführungsformen wird der Hohlraum **100** bei der höchsten Umgebungstemperatur, der das Ventil **50** während seines Betriebs wahrscheinlich ausgesetzt sein wird, mit Fluid **130** gefüllt und verschlossen. Bei anderen Ausführungsformen wird der Hohlraum **100** bei dem höchsten Druck, dem das Ventil **50** während seines Betriebs ausgesetzt sein wird, mit Fluid **130** gefüllt und verschlossen. Und bei einigen Ausführungsformen wird eine Kombination aus einer bestimmten Temperatur und einem bestimmten Druck angewendet. Auf diese Weise erhält man für die flexible Membran **200** die maximale Bewegung.

[0042] Bei einigen Ausführungsformen wird das Ventil **50** für ultrareine Verfahren hergestellt, wie man sie für gewöhnlich beispielsweise in der Halbleiter- oder in der pharmazeutischen Industrie antrifft. Wie oben angeführt ist, haben bei der in der **Fig. 2** abgebildeten Ausführungsform Abschnitte des Ventilelements **300**, und zwar die obere Ebene **16**, die mittlere Ebene **14** und die untere Ebene **12**, "benetzte Oberflächen", die mit dem vom Ventil **50** gesteuerten fluidischen Material in Kontakt stehen. Um bei solchen ultrareinen Prozessen die Kompatibilität zu gewährleisten, sind bestimmte Ausführungsformen des Ventils **50** vorteilhafterweise so hergestellt, dass ihre "benetzten Oberflächen" aus einem bzw. mehreren Materialien bestehen oder damit beschichtet sind, die mit einem bestimmten Prozess kompatibel sind. So

eignen sich für Anwendungen in der pharmazeutischen Industrie "benetzte Oberflächen", die mit einem Teflon®-Material beschichtet sind. Während auch in einigen Anwendungen in der Halbleiterindustrie solche mit Teflon® beschichteten Oberflächen eingesetzt werden können, kann das Ventil **50** auch so hergestellt sein, dass seine "benetzten Oberflächen" mit Chrom, Siliziumkarbid, Siliziumnitrid, Siliziumoxid oder diamantartigem Kohlenstoff beschichtet sind, um in Umgebungen bestehen zu können, für die sich Teflon® nicht eignet. So kann eine Familie von Ventilen, die einander im Aufbau ähnlich sind, mit "benetzten Oberflächen" hergestellt werden, die für eine bestimmte Kompatibilität für eine bestimmte Anwendung mit verschiedenen Materialien beschichtet sind. Darüber hinaus sollte, wenn das Ventil **50** aus einer oder mehreren Ebenen bzw. Blockstücken gefertigt wird, die Auswahl eines Materials für die "benetzten Oberflächen" kompatibel sein mit allen Verbindungsverfahren, die zur Verbindung der Ebenen untereinander verwendet werden. Wenn beispielsweise ein anodisches Fügen bzw. Kleben verwendet wird, um eine Siliziumebene **14** mit einer Borsilikatebene **16** zu verbinden, deren "benetzte Oberflächen" mit einer Chromsperrschicht (nicht gezeigt) beschichtet sind, sollte das Chrom von den Verbindungsflächen der Ebene **16** entfernt werden, um eine Verklebung und wirksame Verbindung zu erhalten. Es können aber auch andere Klebevorgänge verwendet werden, zum Beispiel unter Einsatz von Epoxidharzen mit niedrigem Ionengehalt, verschmelzbaren Glassorten und dergleichen.

[0043] Die Heizwiderstände **120** können unter Verwendung jedes der für gewöhnlich verwendeten Widerstandsmaterialien gebildet werden, die mit dem bestimmten ausgewählten Klebevorgang kompatibel sind. Wenn zum Beispiel ein anodischer Prozess für das Verkleben einer oberen Ebene bzw. oberen Blockstücks **16** aus Borsilikat-Glas mit einem mittleren Blockstück **14** aus Silizium verwendet wird, hat es sich als wünschenswert herausgestellt, die Heizelemente **120** unter Verwendung einer ersten Schicht aus Titan auszubilden, um für eine Anhaftung am Blockstück **16** zu sorgen, gefolgt von einer Schicht aus Platin, die das Widerstandselement bildet. Es können auch andere Arten von Widerstandselementen verwendet werden. So kann bei einigen Ausführungsformen ein Widerstandsmaterial mit einem positiven Temperaturkoeffizienten (PTC) verwendet werden. Bekanntlich nimmt der Widerstand von solchen PTC-Materialien zu, wenn die Temperatur des Arbeitsfluids **130** ansteigt, wodurch vorteilhafterweise der Stromverbrauch verringert und eine Übertemperatur der Elemente **120** begrenzt wird. Ein Beispiel für solch ein PTC-Material ist BaTiO₂ (Bariumtitanat). Bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden viele einzeln angesteuerte Heizelemente **120** verwendet. Zum Beispiel hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, dass ein erstes Heizele-

ment dazu verwendet werden kann, eine konstante Hintergrundtemperatur bereitzustellen, und ein zweites Heizelement dazu verwendet werden kann, um die Temperatursprünge bereitzustellen, die zum Ausdehnen des Arbeitsfluids **300** verwendet werden. Bei einigen Ausführungsformen sind sowohl das erste als auch das zweite Heizelement von derselben Bauart, zum Beispiel PTC-Elemente, während bei anderen Ausführungsformen eine Kombination aus Heizvorrichtungen und, wie noch unten beschrieben wird, Kühlvorrichtungen verwendet werden kann.

[0044] Wie oben erwähnt ist, sind die Heizelemente **120** ein Teil eines Energieumwandlungsblocks, der in der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform elektrische Energie in Wärme und diese Wärme in eine mechanische Bewegung umwandelt. Mit Bezug auf die **Fig. 3** wird eine alternative Ausführungsform dieses Energieumwandlungsblocks abgebildet. Zur Erleichterung des Verständnisses sind nur diejenigen Abschnitte der oberen Ebene **16** und der mittleren Ebene **14** gezeigt, die notwendig sind, um die Ausführungsform der **Fig. 3** zu beschreiben. Wie ersichtlich ist, weist der Hohlraum **100** einen ersten Abschnitt **104** und angrenzend an die flexible Membran **205** einen zweiten Abschnitt **106** auf. Wie veranschaulicht ist, ist der erste Abschnitt **104** kleiner als der zweite Abschnitt **106** und hat ein einsetzbares Heizelement **140**, das durch die Öffnung **150** eingesetzt ist. Die Öffnung **150** ist mit einem Dichtungselement **160** dicht verschlossen, um das Heizelement **140** in Position zu halten und den Hohlraum **100** hermetisch zu verschließen.

[0045] Während die Ausführungsform der **Fig. 3** den Hohlraum **100** mit zwei Abschnitten zeigt, kann bei anderen Ausführungsformen der Hohlraum **100** einen einzigen Abschnitt aufweisen, wie in der **Fig. 2** dargestellt ist. Es ist jedoch festgestellt worden, dass es vorteilhaft ist, wenn ein einsetzbares Heizelement **140** verwendet wird, einen zweigeteilten Hohlraum **100** zu verwenden, bei dem der erste Abschnitt **104** ein kleiner Heizabschnitt **104** ist. Auf diese Weise wird das Fluid **130** in dem Abschnitt **104** unter einer sehr hohen Geschwindigkeit erwärmt, wodurch sich das Fluid **130** schnell ausdehnt. Das sich ausdehnende Fluid **130** aus dem Heizabschnitt **104** drückt dann durch den Kanal **108** in den Abschnitt **106**, wobei das Volumen des Fluids **130** im Abschnitt **106** größer wird und dadurch die flexible Membran **205** ausgelenkt wird. Diese im Wesentlichen hydraulische Wirkung führt somit vorteilhafterweise zu einer schnellen, steuerbaren Bewegung der Membran **205**.

[0046] Das Heizelement **140** ist mit zwei Leitern **142** gezeigt, die durch die Dichtungsöffnung **150** hindurchgehen, um in dem Abschnitt **104** mit mehreren Schleifen **144** zu enden. Es wird davon ausgegangen, dass viele Konfigurationen des Heizelements **140** möglich sind und dass die abgebildete Konfigu-

ration nur zu Darstellungszwecken verwendet ist. Es wird außerdem davon ausgegangen, dass für den Teil des Elements **140** viele verschiedene Materialien verwendet werden können. Zum Beispiel können die Leiter **142** aus einem ersten Material mit einem geringen spezifischen Widerstand und die Schleifen **144** aus einem zweiten Material mit einem hohen spezifischen Widerstand sein, oder es kann für beide dasselbe Material verwendet werden. Die Leiter **142** können in einer Halterungsstruktur (nicht gezeigt) oder wie abgebildet angebracht sein, und das Dichtungselement **160** kann als Halterungsstruktur verwendet werden. Außerdem können eine Vielzahl von Materialien mit verschiedenen Heizkennlinien oder verschiedenem Heizvermögen verwendet werden, um die Schleifen **144** zu bilden. Darüber hinaus kann eine Konfiguration verwendet werden, die anders als in Form von Schleifen **144** ist, um zum Erwärmen des Fluids **130** im Abschnitt **104** einen bestimmten Oberflächenbetrag bereitzustellen. So wird bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein einsetzbares Heizelement **140** verwendet, das eine Temperatur liefert, die höher als der Siedepunkt des bestimmten verwendeten Fluids **130** ist. Auf diese Weise werden durch punktförmiges Verdampfen des Fluids **130** Blasen erzeugt. Es ist festgestellt worden, dass bei einigen Anwendungen durch die Bildung von solchen Blasen die Steuerung der Auslenkung einer bestimmten flexiblen Membran **205** oder **200** (**Fig. 2**) vorteilhafterweise verbessert wird. Somit lässt sich also eine beliebige Anzahl gleicher Ventile **50** en gros herstellen und durch Auswahl von verschiedenen einsetzbaren Heizelementen **140** für jedes Ventil **50** kann man Ventile bereitstellen, die sich für verschiedene Anwendungen eignen.

[0047] Mit Bezug auf die **Fig. 4** ist nun eine andere alternative Heiz- und Hohlraumkonfiguration gezeigt. Anders als die Ausführungsform der **Fig. 2** weist die Ausführungsform der **Fig. 4** eine obere Ebene **16**, die mit Verlängerungen **170** ausgebildet ist, auf, wobei an einem Ende **176** jeder Verlängerung **170** Heizelemente oder Heizverstärkungen **174** angeformt sind. Auf diese Weise bringt man den durch die Elemente **174** hervorgerufenen Heizeffekt näher zur flexiblen Membran **200** an einen zentralen Teil des Hohlraums **100** heran, und es ergibt sich ein gleichmäßigeres Erwärmen des Fluids **130**. So erhält man eine effiziente Umwandlung der Energie, die zum Erwärmen des Fluids **130** verwendet wird, in eine mechanische Bewegung der Membran **200**. Außerdem dienen die Verlängerungen **170** dazu, den Oberflächenbereich der Ebene **16** zu erhöhen, der in Kontakt mit dem Arbeitsfluid **130** steht. Auf diese Weise ist eine Kühlung des Fluids **130** durch Wärmeabstrahlung über die Ebene **16** verstärkt. Für den Fall, dass die Ebene **16** Verlängerungen **170** hat, wird typischerweise ein Siliziummaterial für die Ebene **16** und die Verlängerungen **170** ausgewählt, die unter Verwendung von beispielsweise Verfahren der Silizium-Mikromaterialbe-

arbeitung gebildet werden. Es können jedoch auch andere geeignete Materialien und Herstellungsverfahren für die Verlängerungen **170** eingesetzt werden, beispielsweise können die Verlängerungen **170** unabhängig gebildet und im Hohlraum **100** befestigt werden. Die Heizelemente oder Heizverstärkungen **174** können einen ähnlichen Aufbau haben wie die zuvor beschriebenen Heizelemente **120** (Fig. 2). Alternativ dazu können die Elemente **174** dotierte Siliziumzonen sein, die mittels Diffusions- oder Ionenimplantationsverfahren gebildet sind, welche dem Durchschnittsfachmann geläufig sind. Darüber hinaus kann die Länge und Form der Verlängerungen **170** verändert werden, um die Elemente **174** an eine optimale Stelle zu setzen und/oder um den für das Kühlfluid **130** verfügbaren Oberflächenbereich zu verändern.

[0048] In der Fig. 5A ist eine Draufsicht eines Abschnitts von noch einer anderen Ausführungsform eines alternativen Energieumwandlungsblocks veranschaulicht. Es wird eine Heizebene **180** gezeigt, die drei Heizelementen **182** aufweist. Bei einigen Ausführungsformen ist die Heizebene **180** ein [111]-Siliziummaterial, um aus einem vorzugsweisen Ätzen entlang der Kristallebenen einen Vorteil zu ziehen. So sind die Heizelemente **182** gebildet, indem die Ebene **180** von gegenüberliegenden Seiten her geätzt wird, um in den Bereichen **184** das ganze Silizium zu entfernen, so dass Siliziumverbindungsgebiete **186** zur mechanischen und elektrischen Verbindung übrig bleiben und die abgebildeten, im Wesentlichen hexagonal geformten Elemente bilden. Es sind jedoch auch andere Formen für die Heizelemente **182** möglich, und es können auch andere Verfahren zur Ausbildung dieser anderen Formen eingesetzt werden, wie beispielsweise diejenigen, die zur Ausbildung anderer Abschnitte des Ventils **50** beschrieben wurden.

[0049] Mit Bezug auf die Fig. 5B ist eine Querschnittsansicht entlang der Linie B-B' einer alternativen Hohlraum- und Heizkonfiguration gezeigt, welche die Ebene **180** umfasst. Der Hohlraum **100** ist mit einer Heizebene **180** zwischen der oberen Ebene **16** und der mittleren Ebene **14** ausgebildet. Durch den Einsatz der Heizebene **180** auf diese Weise werden Heizelemente **182** innerhalb des Hohlraums **100** so angeordnet, dass sie eine beträchtliche Heizoberfläche über im Wesentlichen den gesamten Hohlraum **100** bieten. Auf diese Weise wird das Arbeitsfluid **130** schnell erwärmt, und durch die Expansion des Fluids **130** wird die flexible Membran **200** ausgelenkt.

[0050] Es wird davon ausgegangen, dass die Ausführungsformen der Fig. 2 bis 5B nur die verschiedenen Arten von Heizelementen darstellen, die von der vorliegenden Erfindung umfasst sind. Somit stellt der Ersatz der abgebildeten Heizelemente durch andere Arten oder Konfigurationen von bekannten Heizelementen eine Modifizierung im Bereich der konstruktiven

Freiheit dar, die innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung liegt. Zum Beispiel wird bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein Erwärmen durch Elemente (nicht gezeigt) vorgesehen, die außerhalb des Hohlraums **100** angebracht sind und sich nicht in direktem Kontakt mit dem Fluid **130** befinden, beispielsweise an der Fläche **110** (Fig. 2) der Ebene **16** über dem Hohlraum **100**. Außerdem sind, während sich die beispielhaften Ausführungsformen der Fig. 2 bis 5B nur auf Heizelemente beziehen, andere Konfigurationen möglich. Zum Beispiel sorgen einige Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung vorteilhafterweise sowohl für ein positives Erwärmen als auch ein positives Kühlen des Fluids **130**. Beispielsweise kann eine Ausführungsform, die sowohl die Fähigkeit zur positiven Erwärmung als auch positiven Kühlung hat, gebildet werden, indem eine Peltier-Wärmepumpe an der Fläche **110** über dem Hohlraum **100** angebracht wird. Auf diese Weise lässt sich die Kühlung verstärken.

[0051] Das Ventilelement **300** ist ein Abschnitt des dazwischen liegenden Ventilblocks, der in der in der Fig. 2 abgebildeten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Ventilöffnung **400** abdichtet. Nun ist mit Bezug auf Fig. 6 eine Draufsicht des Elements **300** gezeigt, und zwar mit Blick auf die untere Ebene **12** durch die Ebene **14**. Die Schnittlinie C-C' gibt die Position der in der Fig. 2 wiedergegebenen Ansicht an. Weil das untere Ventilelement **300** und Teilbereiche der Ebene **12** Abschnitte der mittleren Ebene **14** und Strukturen, die mittels der Ebene **14** gebildet sind, verdecken, sind diese verdeckten Aufbauten, wenn benannt, unter Verwendung von gestrichelten Linien gezeigt. Das Ventilelement **300** mit einer im wesentlichen rechteckigen Form ist so angeordnet, dass es über einem Abschnitt der flexiblen Membran **200** liegt. Wahlweise können am Element **300** Planaritätspfeile **304** zwischen den Ebenen **14** und **12** gebildet und angeordnet sein, um die Planarität zwischen dem Element **300** und der Ebene **14** zu verbessern. Ein kleiner, durch die Einlassöffnung **520** sichtbarer Abschnitt der flexiblen Membran **200** ist in durchgezogenen Linien gezeigt. Die Auslassöffnung **510** ist in der Ebene **12** ausgebildet gezeigt und ist durch den Kanal **240** fluidisch mit der dazwischen liegenden Öffnung **400** verbunden. Das Element **300** ist am Sockel **210** so angebracht, dass durch eine Auslenkung der Membran **200** der Sockel **210** auf das Element **300** drückt und die Öffnung **400** freigibt, oder am Element **300** zieht, um die Öffnung **400** zu schließen.

[0052] Bei anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden alternative Konfigurationen des Ventilelements **300** verwendet, um die Leistungsfähigkeit des Ventils **50** auf bestimmte Anwendungen besser zuschneiden zu können. In der Fig. 7 ist eine alternative Ausführungsform des Ventilelements **300** (Fig. 2) gezeigt, die durch eine Modifizie-

nung des Ventilelements eine zusätzliche Schließkraft für das Ventil bereitstellt. So ist das Ventilelement **340** mit Balken **344** gezeigt, die an entgegengesetzten Seiten ausgebildet sind. Jeder Balken **344** hat ein freies Ende **346**, das fest an einem nicht bewegbaren Abschnitt des Ventils **50** angebracht ist. Die Anbringung an der Ebene **14** kann beispielsweise angrenzend an die flexible Membran **200** oder angrenzend an einen Abschnitt der Ebene **12** (**Fig. 2**) vorgesehen sein. Wenn also das Element **340** aus seiner Ruheposition ausgelenkt wird, wird in jedem Balken **344** eine Rückstellkraft erzeugt. Da der Betrag dieser Kraft mit zunehmender Auslenkung des Elements **340** größer wird, wird der Betrag der verfügbaren Kraft durch eine Veränderung der Länge, Breite, Position und Form der Balken **344** gesteuert.

[0053] Eine andere alternative Konfiguration des Ventilelements **300** ist in der **Fig. 8A** gezeigt. Zur Erleichterung des Verständnisses ist nur der Bereich um die Öffnung **400** herum gezeigt. Der Ventilsitzbereich **410** ist im Ventilelement **300** unter Verwendung eines nachgebenden Materials **420** ausgebildet. Das bestimmte, ausgewählte nachgebende Material **420** kann für jede bestimmte Anwendung anders sein. So ist bei einigen Anwendungen das Material **420** ein Kunststoffmaterial, bei anderen Anwendungen ein Fluorkohlenwasserstoff und bei noch anderen kann ein Metallmaterial verwendet werden. Das Material **420** kann ein geformtes Material mit einem oder mehreren erhabenen Abschnitten **425** sein, wie gezeigt ist, oder es können auf den Dichtflächen der Abschnitte **220** und **230** Rippen (nicht gezeigt) ausgebildet sein. Bei einigen Ausführungsformen werden sowohl Rippen als auch erhabene Abschnitte **425** verwendet. Mit Bezug auf **Fig. 8B** wird nun in einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein O-Ring **430** vorteilhafterweise verwendet. Wie dargestellt ist, wird der O-Ring **430** durch Elemente **300** gehalten, um den Ventilsitzbereich **410** zu bilden, beispielsweise unter Verwendung eines zweiteiligen Ventilelements **300** mit einem geformten oberen Abschnitt **302** und einem im Wesentlichen flachen, unteren Abschnitt **304**, ähnlich dem in der **Fig. 8A** abgebildeten. Bei anderen, nicht gezeigten Ausführungsformen kann ein O-Ring durch Nuten gehalten werden, die in den Abschnitten **220** und **230** ausgebildet sind, um einen alternativen Ventilsitzbereich **410** zu bilden. So ist also, wenn die Ventilöffnung **400** entweder gegen das nachgebende Material **420** (**Fig. 8A**) oder gegen den nachgebenden O-Ring **430** (**Fig. 8B**) geschlossen wird, eine verstärkte Abdichtung der Öffnung **400** zur Verfügung gestellt. Diese verstärkte Dichtwirkung kann in vorteilhafter Weise bei Anwendungen eingesetzt werden, bei denen geringe Leckraten erforderlich sind. Es ist festgestellt worden, dass die Verwendung eines wie in der **Fig. 8B** abgebildeten O-Rings **430**, oder die Verwendung eines wie in der **Fig. 8A** abgebildeten nachgebenden Materials mit erhabenen Abschnitten **425** oder irgendei-

nes anderen geeigneten Aufbaus dieser Art zur Ausbildung des Ventilsitzbereichs **410** vorteilhafterweise die Erzielung von Leckraten erlaubt, die von 1×10^{-6} bis weniger als 1×10^{-9} cm³-atm/sec Helium reichen.

[0054] Es wird nun mit Bezug auf die **Fig. 9** eine andere alternative Ausführungsform eines Ventilelements gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt. Wie veranschaulicht ist, hat die flexible Membran **200** eine Membranverlängerung **220**, die sich teilweise durch die Öffnung **400** erstreckt, um an einem kugelförmigen Ventilelement **330** anzuliegen. Das kugelförmige Element **330** ist über einer federartigen Membran **500** liegend angeordnet. Man sieht also, dass bei Auslenkung der Membran **200** das kugelförmige Element **330** durch die Verlängerung **220** und die fluiddische Verbindung über die Öffnung **400** außer Kontakt mit dem Ventilsitz **410** gebracht wird. Weil durch die Bewegung des kugelförmigen Elements **330** vom Sitz **410** weg die federartige Membran **500** ausgelenkt wird, wird eine Öffnungs-Schließkraft erzeugt. Diese durch die Membran **500** bereitgestellte Öffnungs-Schließkraft entspricht der Schließkraft des Ventilelements **340**, die beispielsweise durch die Balken **344** der **Fig. 7** bereitgestellt wird. Das kugelförmige Element **330** kann aus einem harten, im Wesentlichen nicht zusammendrückbaren Material gebildet sein, oder das Element **330** kann einen gewissen Grad an Nachgiebigkeit haben. In entsprechender Weise kann der Ventilsitz **410** entweder nachgebend sein oder auch nicht. Für die Ausführungsform der **Fig. 9** sind viele Konfigurationen (nicht gezeigt) möglich, die innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung liegen. So kann das Ventilelement **330** eine nicht kugelförmige Form aufweisen, zum Beispiel eine konische oder eine andere geeignete Form, die zum Verschließen der Öffnung **400** verwendet werden kann. Darüber hinaus lassen sich auch niedrige Leckraten erzielen, wenn für das Dichtungselement **330** und den Ventilsitz **410** eine Kombination aus einem harten und einem nachgebenden Material verwendet wird.

[0055] Mit Bezug auf die **Fig. 10** ist nun eine andere Ausführungsform eines Ventilelements und eines Ventilsitzes gemäß Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung gezeigt. Zum Verschließen der dazwischen liegenden Öffnung **400** wird ein Tellerventilelement **360** verwendet. Das Ventilelement **360** hat Vertiefungen **362**, die dazu dienen, einen O-Ring **364** oder ein anderes nachgebendes Material zum Verschließen der Öffnung **400** aufzunehmen. Die Öffnung **400** wird verschlossen, indem man den O-Ring **364** in Kontakt mit einem Ventilsitzbereich **414** gelangen lässt, der wie abgebildet um den Umfang der Öffnung **400** herum ausgebildet ist. Die Bewegung des Tellerventilelements **360** wird in einer Weise bewerkstelligt, die derjenigen des in der **Fig. 9** beschriebenen, kugelförmigen Elements **330** ähnlich ist. So hat die flexible Membran **200** eine Membranverlänge-

rung **224**, die einen oberen Abschnitt **368** des Teller-ventilelements **360** berührt. Man erkennt, dass die bestimmte abgebildete Konfiguration nur beispielhaften Zwecken dient und dass andere Konfigurationen eines tellerartigen Ventilelements möglich sind. Darüber hinaus sind bei einigen Ausführungsformen, während der O-Ring **364** im Element **360** gehalten abgebildet ist, O-Ringe **364** vom Ventilsitzbereich **414** aufgenommen. Konfigurationen eines Tellerventilelements **360** können auch mit Rückstellkraftvorrichtungen ausgebildet sein, beispielsweise mit einer in der Art der Vorrichtung **500** (**Fig. 9**) ausgebildeten Vorrichtung. Außerdem lassen sich dort, wo eine Kombination aus einem harten und einem nachgebenden Material für das Tellererelement **360** und den Ventilsitz **414** verwendet wird, auch niedrige Leckraten erzielen.

[0056] Wie der Durchschnittsfachmann auf dem technischen Gebiet der Ventile weiß, sind zusätzlich zu den hier gezeigten Beispielen viele Abänderungen von Ventilsitzen und Ventilelementen bekannt. Es wäre also nicht machbar, jede Konfiguration zu beschreiben. Außerdem wird man erkennen, dass hierin beschriebene Verfahren, die durch Bezugnahme auf die "Zdeblick"-Patente sowie andere bekannte Verfahren mit aufgenommen sind, zur Herstellung dieser Konfigurationen von Ventilelementen und Ventilsitzen verwendet werden können. Es wird also davon ausgegangen, dass diese verschiedenen Konfigurationen von nachgebenden und/oder nicht nachgebenden Ventilsitzen und Ventilelementen, die in zahlreichen Kombinationen verwendet werden, im Umfang der vorliegenden Erfindung liegen sollen.

[0057] Wie ersichtlich ist, hat sich herausgestellt, dass die Verwendung von zusammengedrückten, nachgebenden Materialien das Abdichten der Öffnung **400** verstärkt und niedrigere Leckraten erzielt. Diese verstärkte Fähigkeit zum Verschließen kann aber auch eine Rückstell- oder Schließkraft erforderlich machen, die zur Komprimierung der nachgebenden Materialien aufzubringen ist. Bei der Ausführungsform der **Fig. 9** wurde zur Bereitstellung dieser Kraft die federartige Membran **500** verwendet. Bei anderen Ausführungsformen sind aber auch andere Vorrichtungen, die eine Kraft zur Verfügung stellen, möglich. Bei einigen Ausführungsformen dienen diese anderen, eine Kraft vorsehenden Vorrichtungen dazu, das Verschließen der dazwischen liegenden Öffnung zu unterstützen, während bei anderen Ausführungsformen Vorrichtungen, die eine Kraft zur Verfügung stellen, so ausgelegt sind, dass ein Öffnen der dazwischen liegenden Öffnung unterstützt wird.

[0058] Mit Bezug auf die **Fig. 11** wird nun eine andere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt, bei der eine eine Kraft vorsehende Vorrichtung **610** verwendet wird, um den Betrag der Schließkraft des Ventils gemäß der vorliegenden Erfindung zu er-

höhen. Wie ersichtlich ist, entspricht die Ausführungsform der **Fig. 11** im Wesentlichen der in **Fig. 2** gezeigten, wobei eine eine Kraft vorsehende Vorrichtung **510** hinzugefügt ist, die zwischen dem Ventilelement **300** und einem Abschnitt der unteren Ebene **12** angeordnet ist. Auf diese Weise wird, wenn der Sockel **210** zum Öffnen der dazwischen liegenden Öffnung **400** gegen das Ventilelement **300** drückt, die eine Kraft vorsehende Vorrichtung **510** zusammengedrückt und durch dieses Zusammendrücken eine Ventilschließkraft bereitgestellt. Während die Vorrichtung **510** in der Art einer Schraubenfeder ausgebildet gezeigt ist, lässt sich feststellen, dass andere Konfigurationen möglich sind. Zum Beispiel kann die eine Kraft vorsehende Vorrichtung **510** kann als Blattfeder, Torsionsstab oder als andere geeignete Vorrichtung ausgebildet sein. Außerdem erlaubt, wie mit Bezug auf die Ausführungsform der **Fig. 9** beschrieben ist, die Verwendung einer separaten, eine Kraft vorsehenden Vorrichtung, wie beispielsweise der Vorrichtung **500** (**Fig. 9**) oder der Vorrichtung **510**, eine größere Flexibilität bei der Auslegung der Ventile, um bestimmten Anwendungen gerecht zu werden.

[0059] Zusätzlich zu dem Vorsehen einer Ventilschließkraft durch das Zusammendrücken der eine Kraft zur Verfügung stellenden Vorrichtung **510**, wie oben beschrieben ist, kann auch eine Ventilöffnungskraft vorgesehen werden. Bei Anwendungen, bei denen der Druck im Kanal **540** viel größer als der Druck im Kanal **240** ist, kann die durch die Membran **200** gelieferte Kraft alleine nicht ausreichend sein, um die dazwischen liegende Öffnung **400** zu öffnen. So wird bei einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung die eine Kraft vorsehende Vorrichtung **510** in einem gespannten Zustand vorgesehen, wenn die Öffnung **400** geschlossen ist. Auf diese Weise stellt die Vorrichtung **510** eine Öffnungskraft bereit, die durch die Bewegung der Membran **200** gesteuert ist.

[0060] So weit lässt sich also feststellen, dass eine Vielzahl an Ausführungsformen von integrierten, elektrisch bedienbaren Mikroventilen beschrieben wurde. Es lässt sich weiterhin feststellen, dass diese verschiedenen Ausführungsformen Kombinationen von alternativen Ausführungsformen der Elemente der beschriebenen Mikroventile mit einschließen. So können, wo zusätzlich zur Fähigkeit der Steuerung korrosiver Fluide auch noch niedrige Leckraten erforderlich sind, verschiedene Kombinationen von nachgebenden Materialien für den Ventilsitz, rippenartigen Aufbauten und/oder Vorrichtungen, die eine Kraft zur Verfügung stellen, verwendet werden, wodurch eine breite Palette von Mikroventilen gemäß der vorliegenden Erfindung bereitgestellt wird. Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass diese Flexibilität zur Auslegung einer bestimmten Ausführungsform eines Mikroventils für eine bestimmte Anwendung unter anderem von der Auslegung der Funktionsblöcke dieser Ausführungsformen abhängt. So bieten, anders

als die in den "Zdeblick"-Patenten beschriebenen Ventile aus dem Stand der Technik, Mikroventile gemäß der vorliegenden Erfindung beispielsweise Ausführungsformen mit niedriger Leckrate, bei denen keine Modifikationen an der flexiblen Membran erforderlich sind, weil die flexible Membran nicht zum direkten Verschließen der Ventilöffnung verwendet wird. Andererseits sieht diese Auslegung von Funktionsblöcken das Einbringen von Energieumwandlungsblöcken vor, die einsetzbare Heizelemente **140** aufweisen (**Fig. 3**). Somit können Mikroventile gemäß der vorliegenden Erfindung in Großserie hergestellt und für bestimmte Anwendungen zugeschnitten werden, indem die Bauart des verwendeten Heizelements **140** verändert wird. Auf diese Weise lassen sich die Herstellungskosten senken, während für ein breites Anwendungsspektrum eine beträchtliche Flexibilität aufrechterhalten wird.

[0061] Während in den bestimmten, hier beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein Öffnungsventil **50** gezeigt ist, werden sich dem Durchschnittsfachmann auch Schließkonfigurationen dieser Ausführungsformen ergeben. Beispielsweise kann das in der **Fig. 2** abgebildete Ventil zu einem wesentlichen Teil als Schließventil hergestellt werden, indem der Hohlraum **100** bei einer Temperatur verschlossen wird, die niedriger als der Betriebsbereich des Ventils liegt. Auf diese Weise wird die flexible Membran **200** ausgelenkt, wenn das Ventil auf Betriebstemperatur erwärmt ist, und sie bewirkt, dass die dazwischen liegende Öffnung **400** geöffnet wird. Um ein solches Ventil zu schließen, wird das Arbeitsfluid **130** gekühlt, und zur Bereitstellung dieser Kühlung kann beispielsweise wie zuvor beschrieben eine Peltier-Wärmepumpe verwendet werden.

[0062] Es sollte auch deutlich sein, dass gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellte Ventile Einzelventile oder Ventile sein können, die mit irgendeiner aus einer Reihe von im Stand der Technik bekannten Strömungsabfühlvorrichtungen verbunden sind. Darüber hinaus sollte deutlich sein, dass die Mikroventile der vorliegenden Erfindung in unterschiedlichem Ausmaß geöffnet oder geschlossen werden können. Somit können gemäß der vorliegenden Erfindung gefertigte Ventile nicht nur eine Strömung zulassen bzw. diese blockieren, sondern können auch den Strömungsbetrag dieses Fluids über einen kontinuierlichen Durchsatzbereich steuern. Die Steuerung des Fluiddurchsatzes wird beispielsweise erhalten, indem der Energiebetrag variiert wird, der vom Energieumwandlungsblock in mechanische Energie umgewandelt wird. Auf diese Weise wird die Position des Ventilelements proportional zum Betrag der Auslenkung gegenüber dem abgeschalteten Zustand verändert. So können Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung eine integrierte Strömungs- oder Druckabfühlvorrichtung beinhalten, die eine dynami-

sche Rückkopplung zum Ventil liefern kann, um den vorgesehenen Durchsatz bzw. Druck dynamisch zu regeln. Wenn die Abfühlvorrichtung zur Erfassung des Durchsatzes verwendet wird, wird das Mikroventil im Allgemeinen als Strömungsregler bezeichnet, und wenn die Vorrichtung den Druck bestimmt, wird das Mikroventil im Allgemeinen als Druckregler bezeichnet. Beispielsweise kann ein Strömungsregler gemäß der vorliegenden Erfindung eine Strömungserfassungsvorrichtung mit einem ersten Drucksensor, ein Strömungsdrosselglied und einem zweiten Drucksensor umfassen, an dem der Druckabfall über das Drosselglied gemessen wird. Es ist bekannt, dass für eine vorbestimmte Strömungsdrosselung für ein bestimmtes Fluid der Druckabfall genau auf den Durchsatz kalibriert werden kann. So bietet die Strömungsabfühlvorrichtung für das bestimmte ausgewählte Fluid wie beschrieben eine dynamische Steuerung des Durchsatzes.

Patentansprüche

1. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (**50**), umfassend:

- einen Fluidführungsaufbau (**12, 14, 16**), der eine Fluideinlaßöffnung (**520**) und eine Fluidauslaßöffnung (**510**) enthält;
- einen Fluidverbindungskanal (**250, 540**), der in dem Fluidführungsaufbau (**12, 14, 16**) ausgebildet ist, der die Fluideinlaßöffnung (**520**) mit der Fluidauslaßöffnung (**510**) fluidisch verbindet;
- eine Ventilöffnung (**400**), die in dem Fluidverbindungskanal (**250, 540**) ausgebildet ist, wobei die Fluideinlaßöffnung (**520**) fluidisch mit dem Fluidauslaßöffnungsventil (**510**) durch die Ventilöffnung (**400**) verbunden ist;
- ein Ventilelement (**300**), das beweglich unmittelbar anschließend an die Ventilöffnung (**400**) so in dem Fluidverbindungskanal (**250, 540**) angeordnet ist, dass der Fluidverbindungskanal (**250, 540**) und die Fluideinlaßöffnung (**520**) das Ventilelement (**300**) umgeben; und
- Energieumwandlungsvorrichtung, die eine flexible Membran (**200**) umfasst, die über eine mechanische Verbindung (**210**) auf das Ventilelement (**300**) einwirkt, wobei die Energieumwandlungsvorrichtung die Eingangsenergie in mechanische Energie umwandelt, so dass eine Bewegung des Ventilelements (**300**) mit der und durch die flexible Membran (**200**) und die mechanische Verbindung (**210**) vorgesehen wird, um die Ventilöffnung (**400**) zu öffnen oder zu schließen.

2. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (**50**) nach Anspruch 1, wobei die Energieumwandlungsvorrichtung einen Aufbau umfasst, der aus einem oder mehr Blockstücken gebildet wird, wobei der Aufbau einen verschlossenen Hohlraum (**100**) aufweist, wobei eine Wand des verschlossenen Hohlraums (**100**) die flexible Membran (**200**) ist.

3. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 2, wobei der verschlossene Hohlraum (100) ein fluidisches Material (130) enthält, wobei das fluidische Material (130) ein Material umfasst, dass sich in Ansprechung auf eine Steigerung der Temperatur ausdehnt und in Ansprechung auf eine Reduzierung der Temperatur zusammenzieht, wobei die flexible Membran (200) bewegt wird.

4. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 2, umfassend eine Heiz- und/oder Kühlvorrichtung (120), wobei die Heiz- und/oder Kühlvorrichtung (120) thermisch mit dem verschlossenen Hohlraum (100) gekoppelt ist.

5. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 4, wobei die Vorrichtung zum Heizen und/oder Kühlen (120) an einer Wand des verschlossenen Hohlraums (100) angebracht ist.

6. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 4, wobei die Vorrichtung zum Heizen und/oder Kühlen eine Peltier-Wärmepumpe ist.

7. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 2, wobei die Energieumwandlungsvorrichtung eine Heizwiderstandsvorrichtung (174) umfasst, die aus einem Widerstandsmaterial an der inneren Oberfläche des verschlossenen Hohlraums (100) gebildet ist.

8. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 7, wobei die Heizwiderstandsvorrichtung (174) ein Widerstandselement ist, das einen Heizabschnitt aufweist, der an einem Anbringungsabschnitt (170) angebracht ist, wobei der Anbringungsabschnitt (170) in einem vorbestimmten Abstand von der flexiblen Membran (200) beabstandet ist.

9. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 2, wobei der verschlossene Hohlraum (100) einen ersten Abschnitt (104) und einen zweiten Abschnitt (106) umfasst, wobei die flexible Membran (205) eine Wand des zweiten Abschnitts (106) umfasst.

10. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 9, umfassend eine einsetzbare Heizvorrichtung (140), die in dem ersten Abschnitt (104) des verschlossenen Hohlraums (100) angeordnet ist.

11. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 8, wobei die Heizvorrichtung (140) eine Mehrzahl von Heizelementen (144) aufweist, wobei jedes Heizelement (144) mindestens zwei Heizoberflächen hat.

12. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, umfassend einen nachgebenden Ventilsitzbereich (410), der in einem Umfangsbereich um die Ventilöffnung (400) ausgebildet ist.

13. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 12, umfassend einen rippenartigen Aufbau (425), der auf dem Ventilelement (300) ausgebildet ist und mit dem nachgebenden Ventilsitz (410) fluchtet, wobei eine Leckrate von $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^3\text{-atm/sec}$ Helium oder weniger vorgesehen wird, wenn das Ventilelement (300) auf dem nachgebenden Ventilsitz (410) sitzt.

14. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, umfassend einen nachgebenden Ventilsitz (410), der auf dem Ventilelement (300) ausgebildet und fluchtend mit einem Umfangsbereich um die Ventilöffnung (400) angeordnet ist.

15. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 14, umfassend einen rippenartigen Aufbau (220, 230), der an dem Umfangsbereich um die Ventilöffnung (400) ausgebildet ist und mit dem nachgebenden Ventilsitz (410) fluchtet, wobei eine Leckrate von $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^3\text{-atm/sec}$ Helium oder weniger vorgesehen ist, wenn das Ventilelement (300) auf dem nachgebenden Ventilsitz (410) sitzt.

16. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 15, wobei der nachgebende Ventilsitz (410) einen O-Ring (430) umfasst, der von dem Ventilelement (300) aufgenommen wird.

17. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 15, wobei der nachgebende Ventilsitz (410) ein geformter nachgebender Ventilsitz ist, der von dem Ventilelement aufgenommen wird, wobei der geformte nachgebende Ventilsitz erhabene Abschnitte (302) aufweist, die mit dem Umfangsbereich um die Ventilöffnung (400) fluchten.

18. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, wobei der Fluidführungsaufbau (12, 14, 16) einen benetzten Bereich umfasst und wobei der benetzte Bereich aus Materialien besteht, die mit der ultrareinen und/oder ätzenden Werkstoffverarbeitung kompatibel sind.

19. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, wobei die flexible Membran (200) aus Silizium besteht.

20. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, wobei die mechanische Verbindung (210) einen Sockel (224) umfasst, das von der flexiblen Membran (200) vorsteht.

21. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, weiter umfassend eine kraftliefernde Vorrichtung (610), die mit dem Ventilelement (300) verbunden ist, wobei die kraftliefernde Vorrichtung (610) das Ventilelement (300) mit einer Kraft beaufschlagt.

22. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 21, wobei die Kraft, mit der das Ventilelement (300) beaufschlagt wird, das Ventilelement (300) einschleift, wobei der Ventilsitz die Ventilöffnung (400) schließt, wenn das integrierte, elektrisch bedienbare Mikroventil (50) abgeschaltet wird.

23. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 21, wobei die Kraft, mit der das Ventilelement beaufschlagt wird, es verhindert, dass das Ventilelement (300) eingeschliffen wird, wobei der Ventilsitz die Ventilöffnung (400) geöffnet hält, wenn das integrierte, elektrisch bedienbare Mikroventil (50) abgeschaltet wird.

24. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, wobei das Ventilelement (330) im Wesentlichen kugelförmig ist.

25. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, wobei die Energieumwandlungsvorrichtung folgendes umfasst:

- einen verschlossenen Hohlraum (100) mit einer ersten Wand, die mit einer Heizvorrichtung (120) in dem verschlossenen Hohlraum (100) verbunden ist, und mindestens einem Abschnitt einer zweiten Wand, die die flexible Membran (200) bildet, und
- ein Arbeitsfluid (130), das in dem verschlossenen Hohlraum (100) enthalten ist, wobei das Arbeitsfluid (130) sich ausdehnt, wenn es mit der Heizvorrichtung (120) erwärmt wird, um die flexible Membran (200) zu bewegen und so die fluidische Verbindung zwischen der Eingangsöffnung (520) und der Ausgangsöffnung (510) zu steuern.

26. Durchflußregler, umfassend:

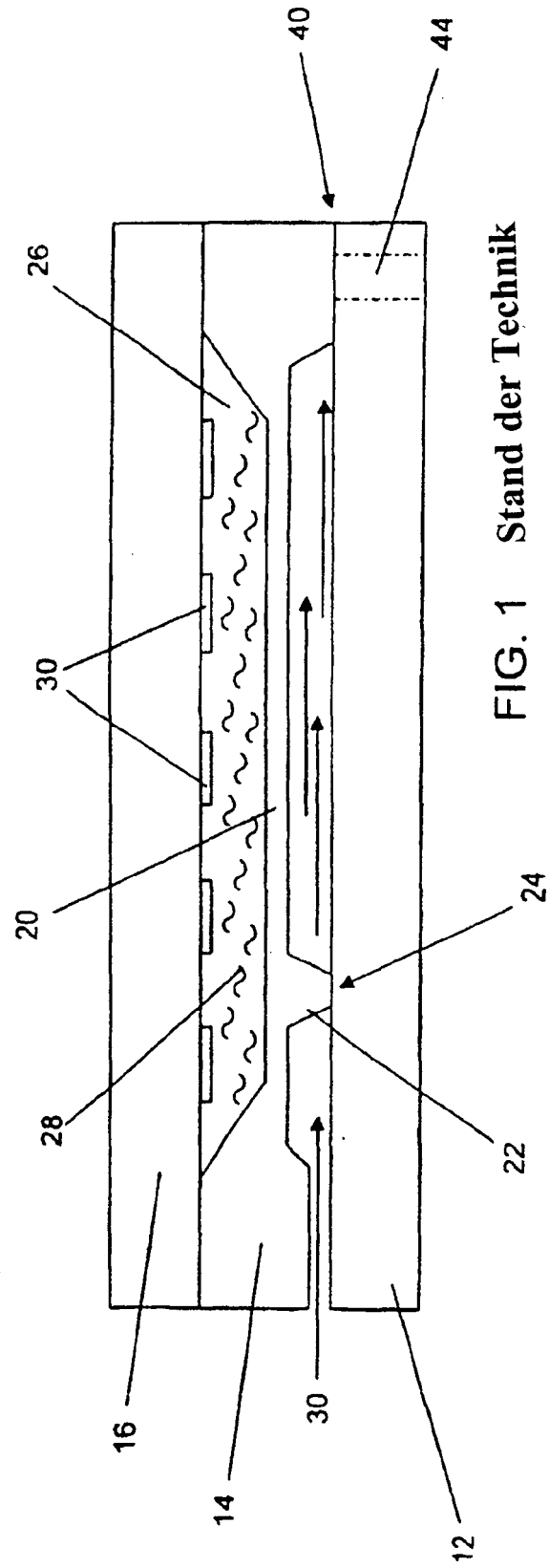
- das integrierte, elektrisch bedienbare Mikroventil (50) nach Anspruch 1; und
- eine Einrichtung zum Bestimmen der Strömungsrate, wobei die Einrichtung eine dynamische Rückkopplung zu der Energieumwandlungsvorrichtung vorsieht, um das Ventilelement (300) in dem Fluidverbindungskanal variabel anzuordnen.

27. Druckregler, umfassend:

- das integrierte, elektrisch bedienbare Mikroventil (50) nach Anspruch 1; und
- eine Einrichtung zum Bestimmen des Drucks, wobei die Einrichtung eine dynamische Rückkopplung zu der Energieumwandlungsvorrichtung umfasst, um das Ventilelement (300) in dem Fluidverbindungskanal variabel anzuordnen.

28. Integriertes, elektrisch bedienbares Mikroventil (50) nach Anspruch 1, wobei das Ventilelement (300) sich in Anspreckung auf die Biegung der flexiblen Membran (200) durch die mechanische Verbindung (210) bewegt, um die Ventilöffnung (400) zu öffnen oder zu schließen.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen



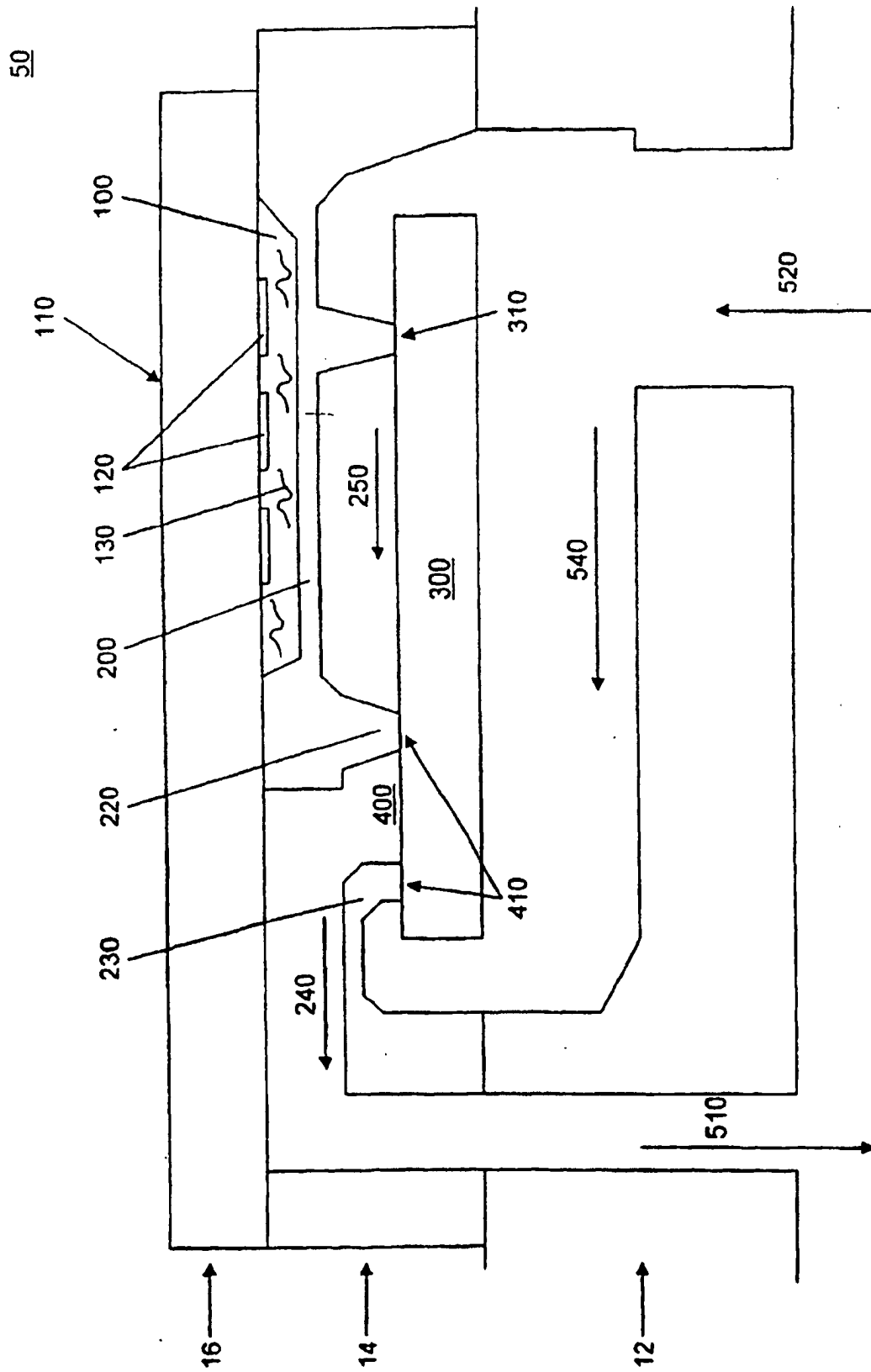


FIG. 2

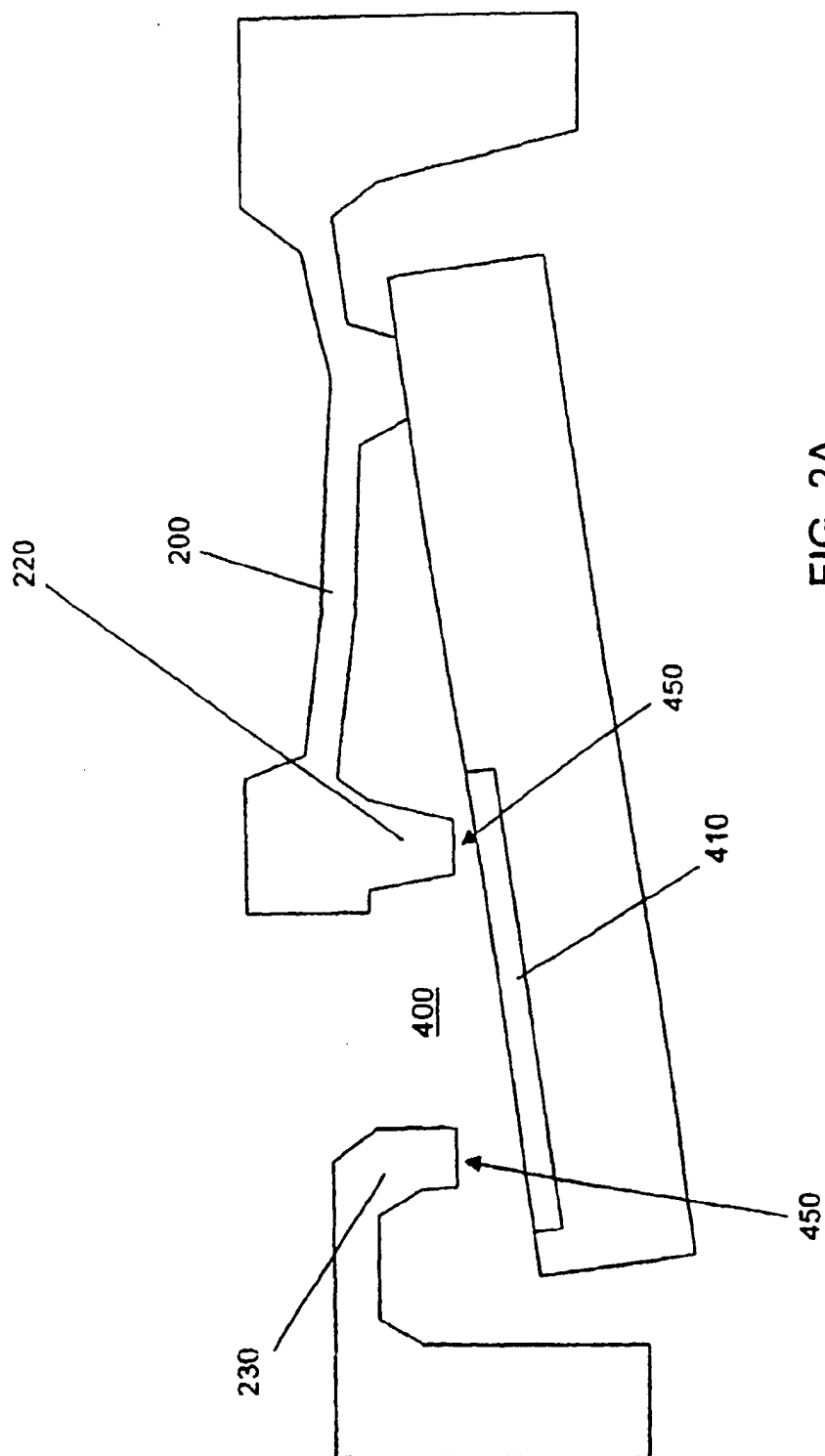


FIG. 2A

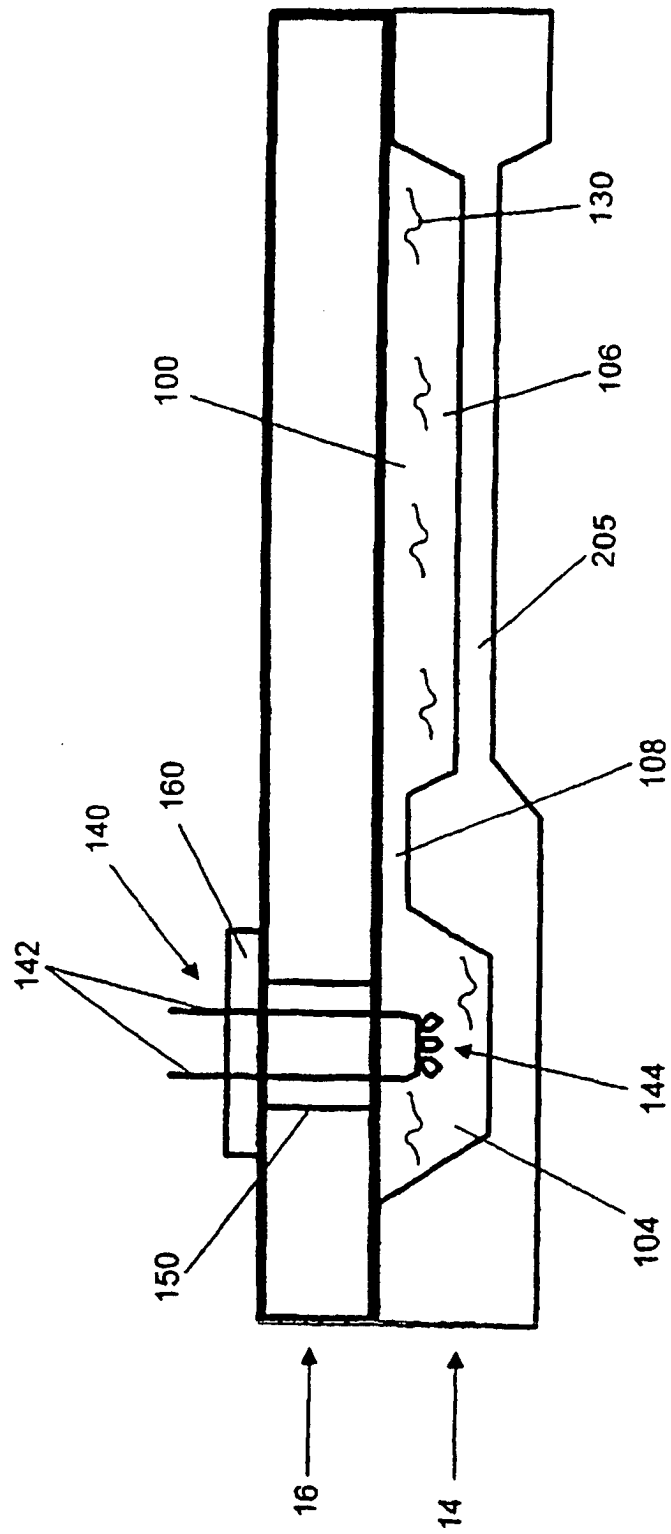


FIG. 3

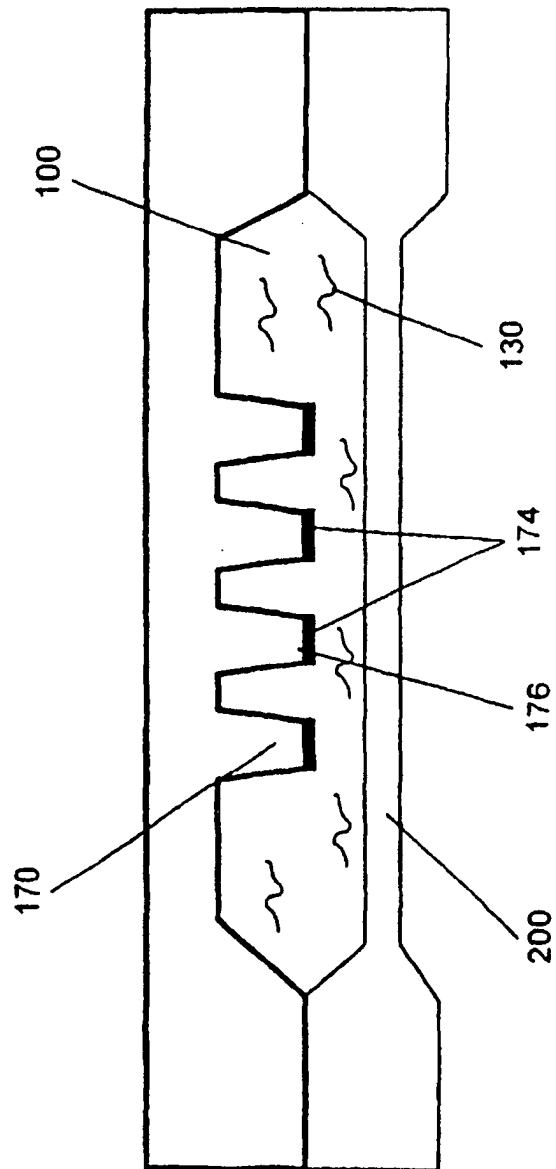
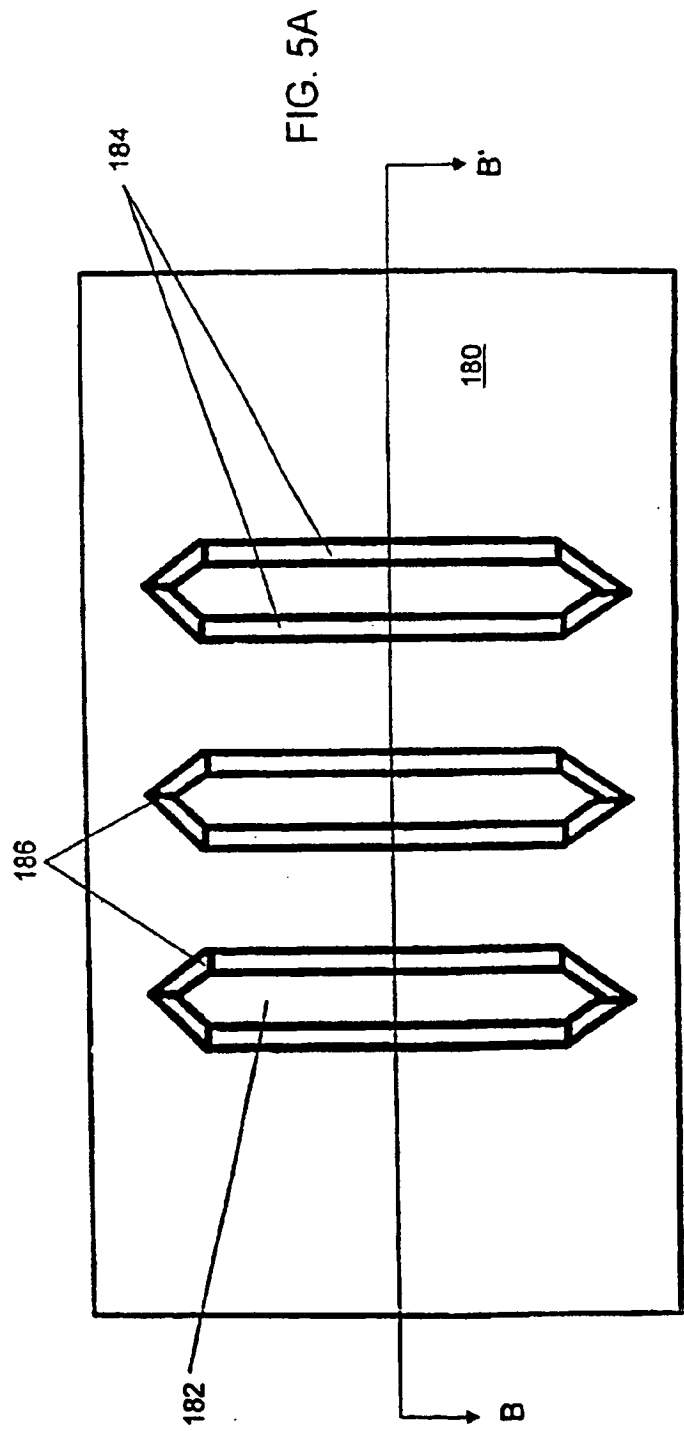
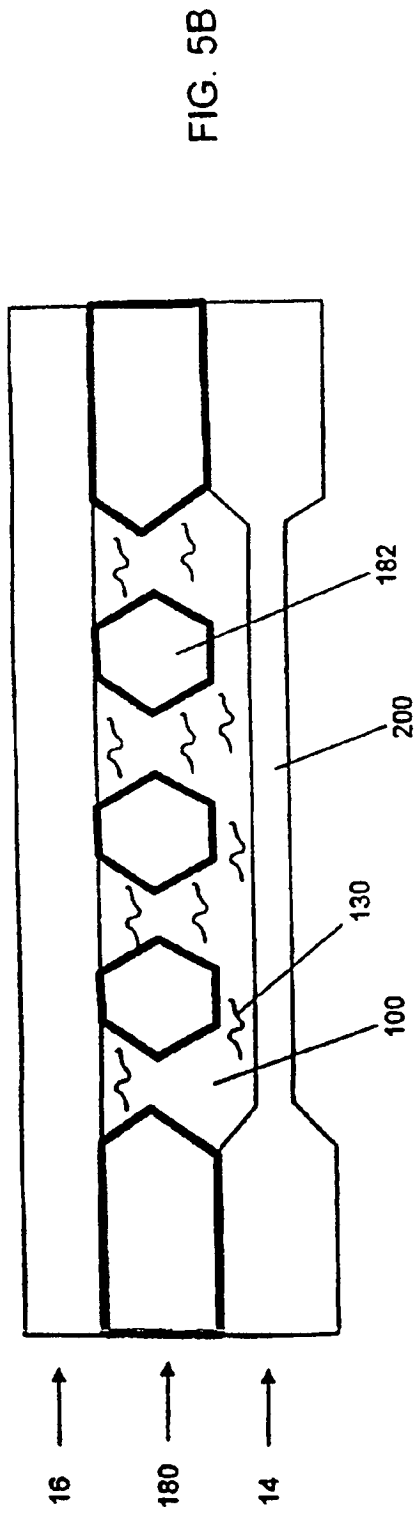


FIG. 4



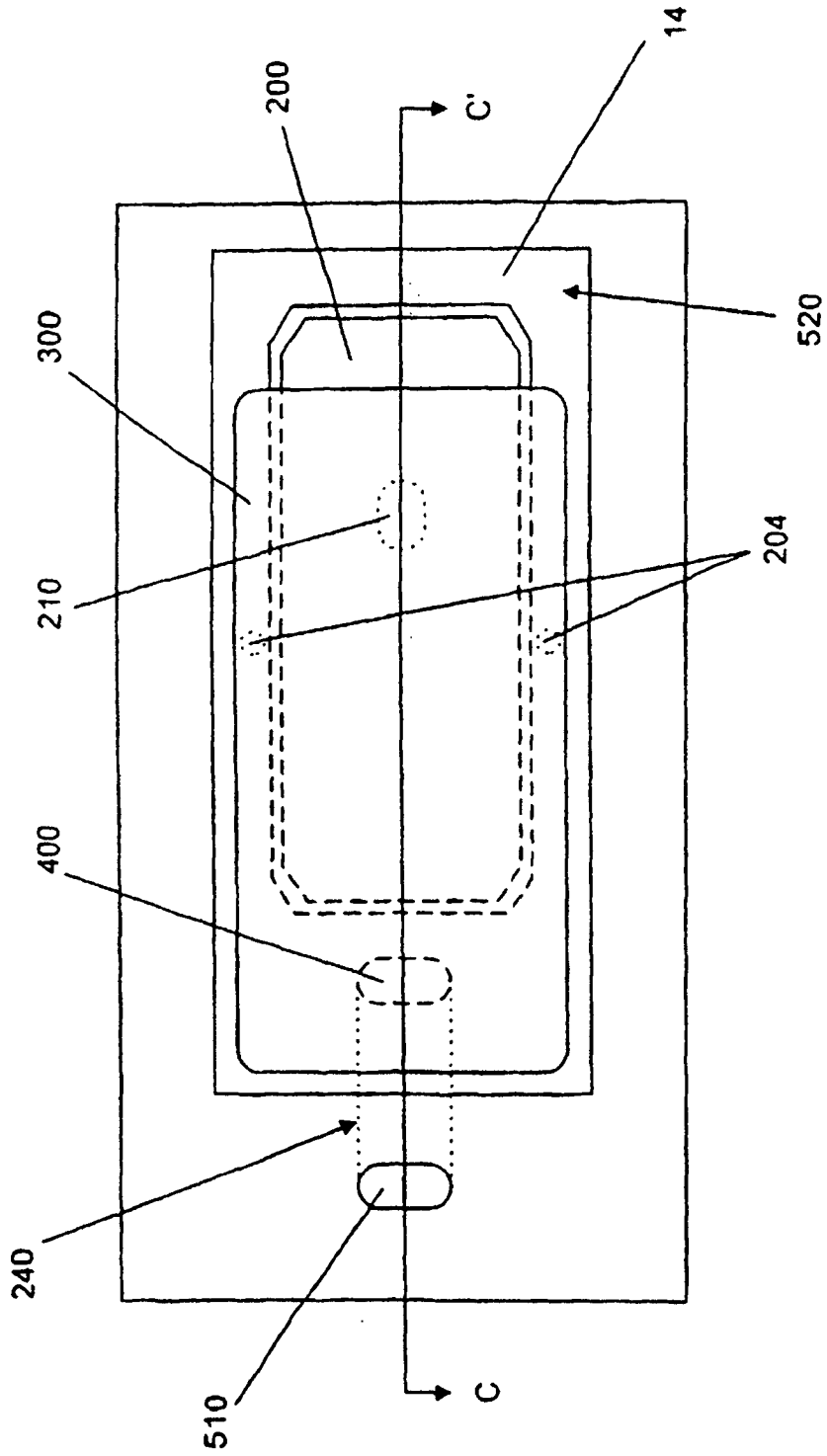


FIG. 6

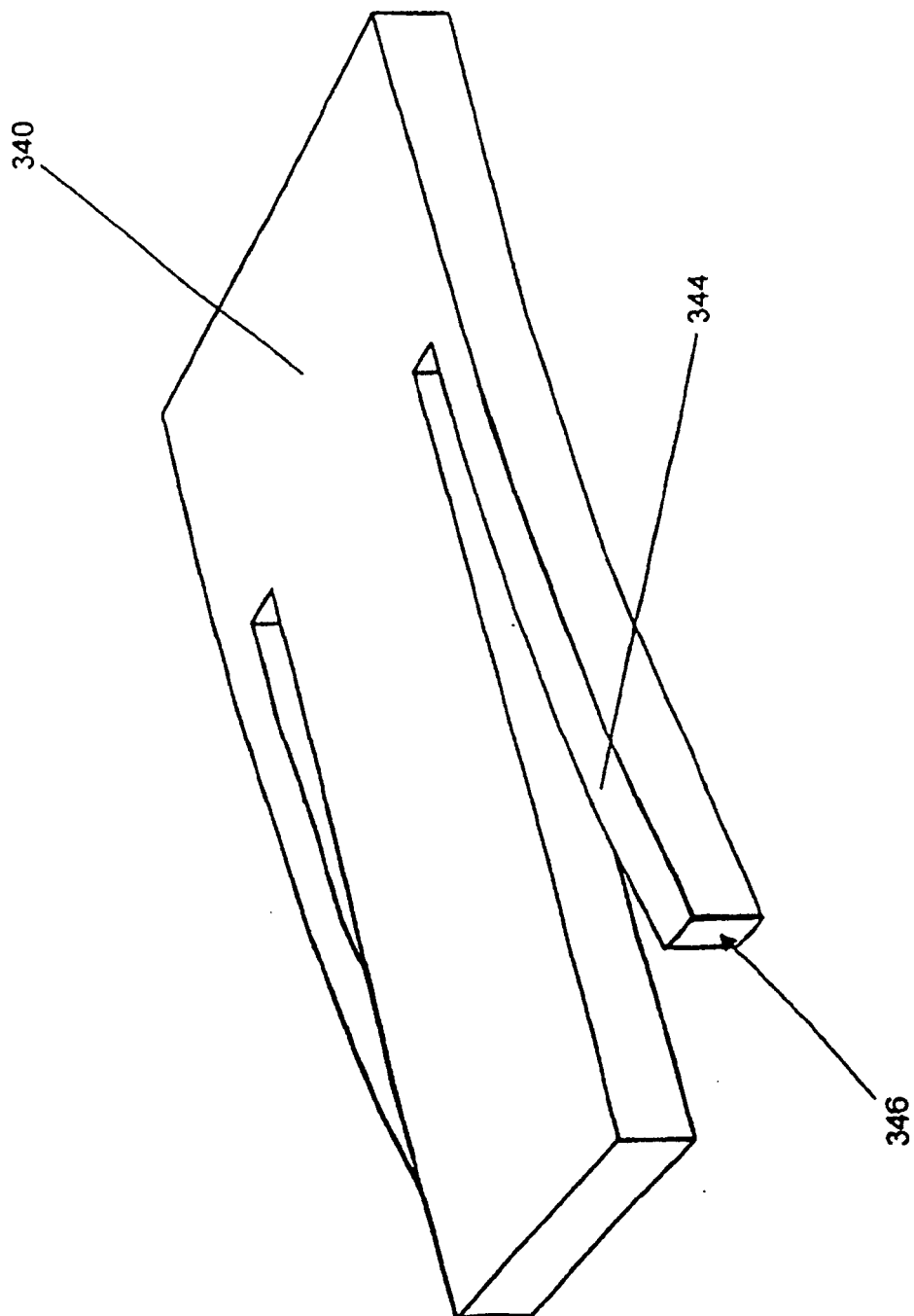


FIG. 7

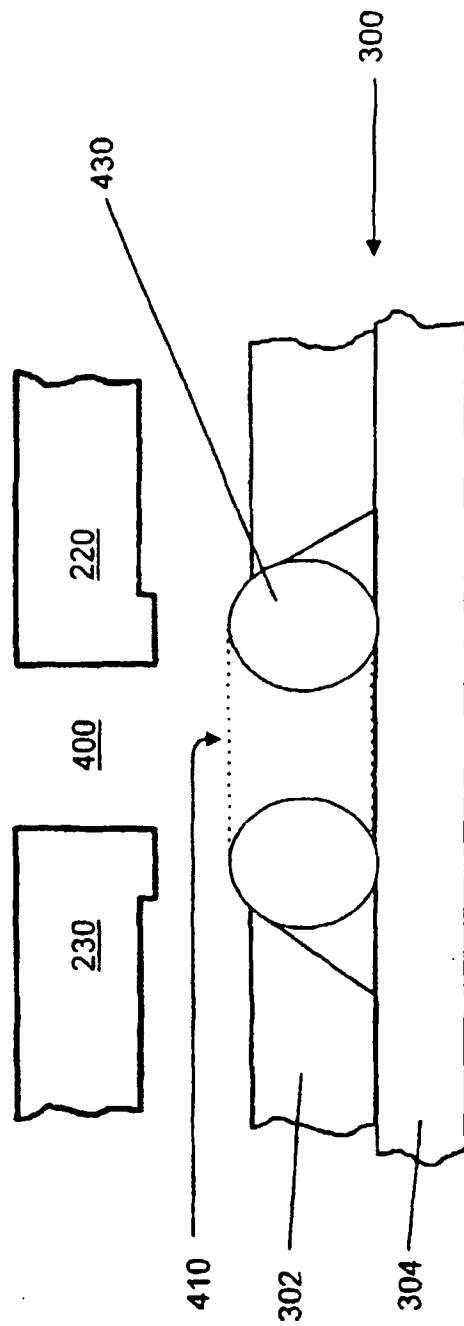


FIG. 8B

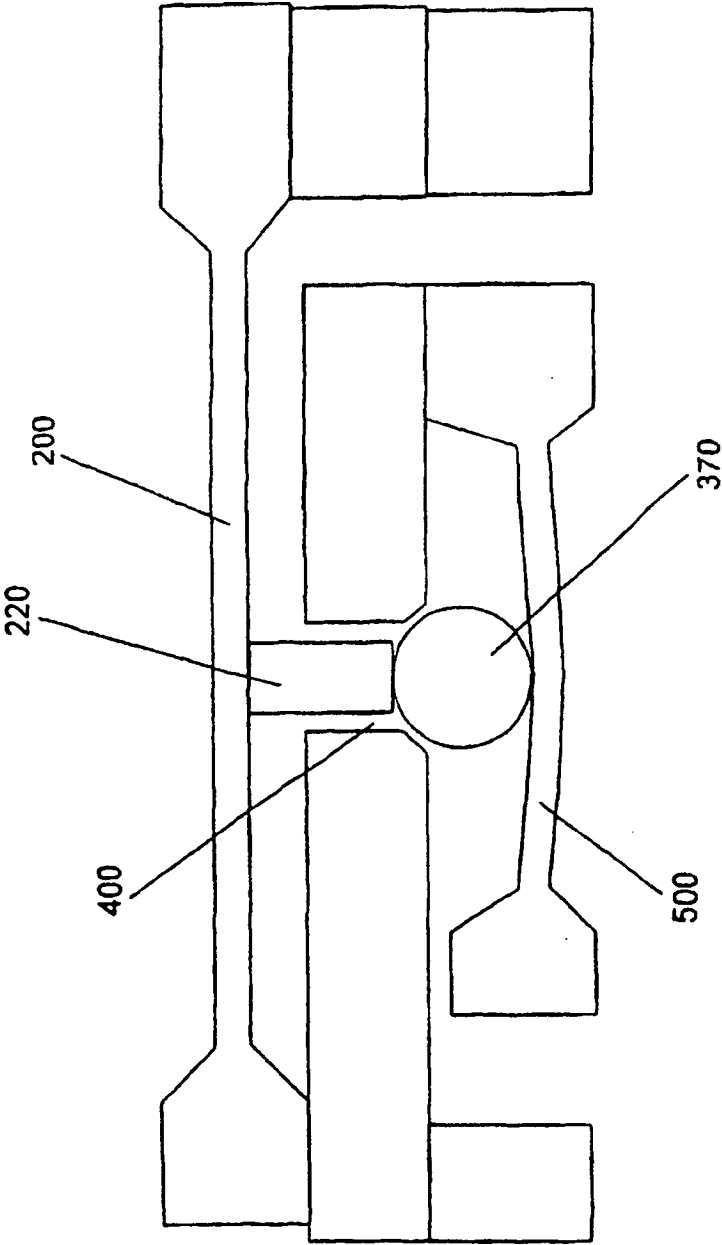


FIG. 9

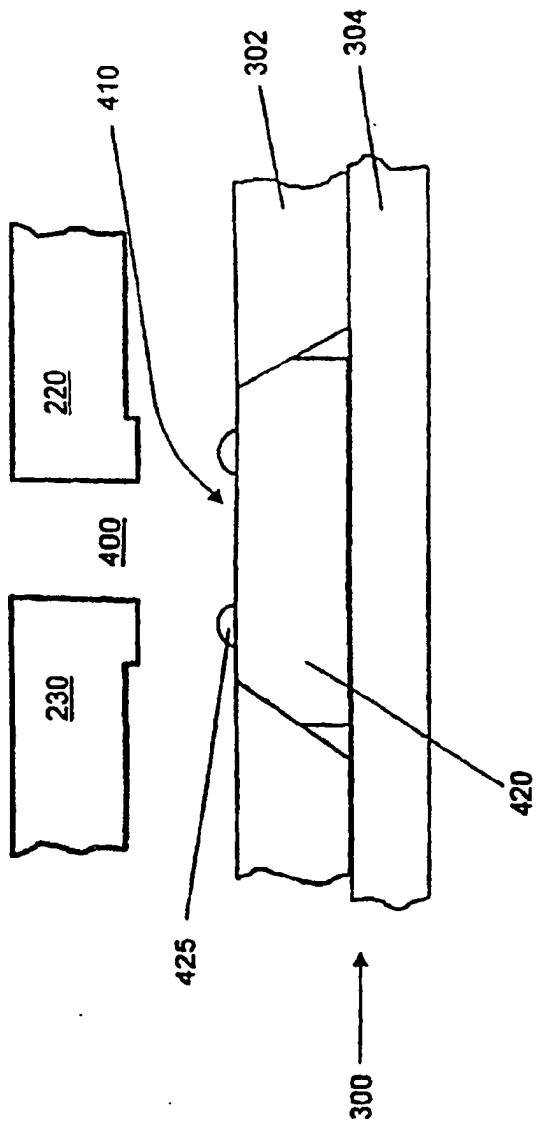


FIG. 8A

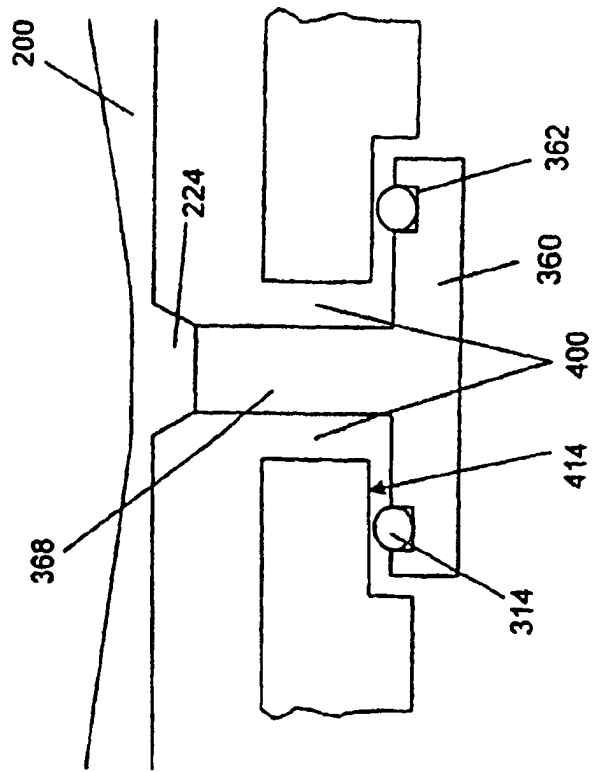


FIG. 10

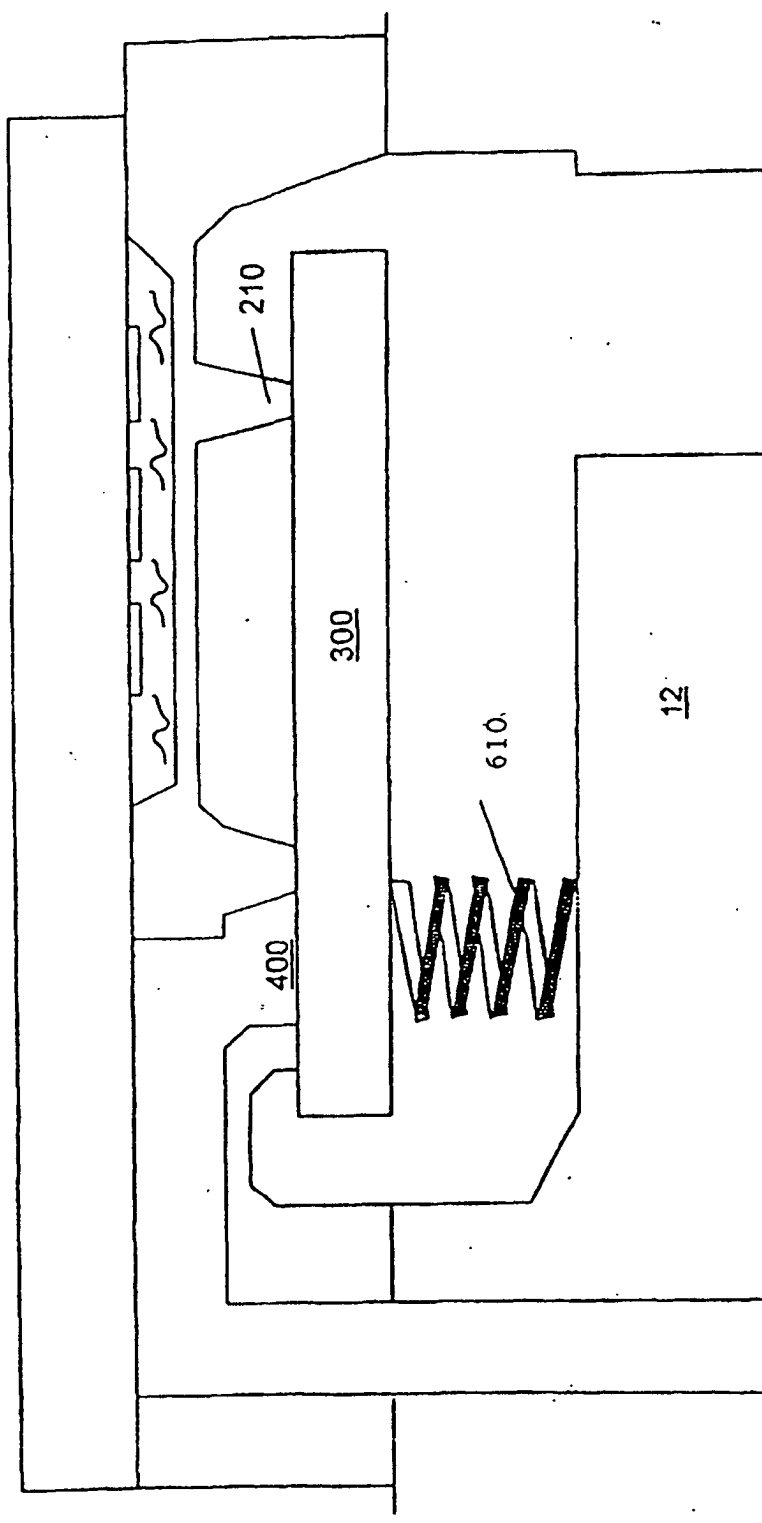


FIG. 11