



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.10.2002 Patentblatt 2002/40

(51) Int Cl.7: **H01H 59/00**

(21) Anmeldenummer: **01810322.6**

(22) Anmeldetag: **29.03.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(74) Vertreter: **ABB Patent Attorneys**
c/o ABB Schweiz AG
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden (CH)

(71) Anmelder: **ABB RESEARCH LTD.**
8050 Zürich (CH)

Bemerkungen:
Amended claims in accordance with Rule 86 (2)
EPC.

(72) Erfinder: **Strümpfer, Ralf**
5412 Gebenstorf (CH)

(54) **Mikrorelais mit neuem Aufbau**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Mikrorelais mit neuem mechanischem Aufbau, bei dem die Bewegungsrichtung eines bewegbaren Kontaktstücks (1) im wesentlichen senkrecht zu der elektrostatischen An-

triebskraft eines Antriebskondensators (4, 5) liegt. Dadurch können mit kleinen Versorgungsspannungen relativ große Kontaktkräfte und hohe Spannungsfestigkeiten im geöffneten Zustand realisiert werden.

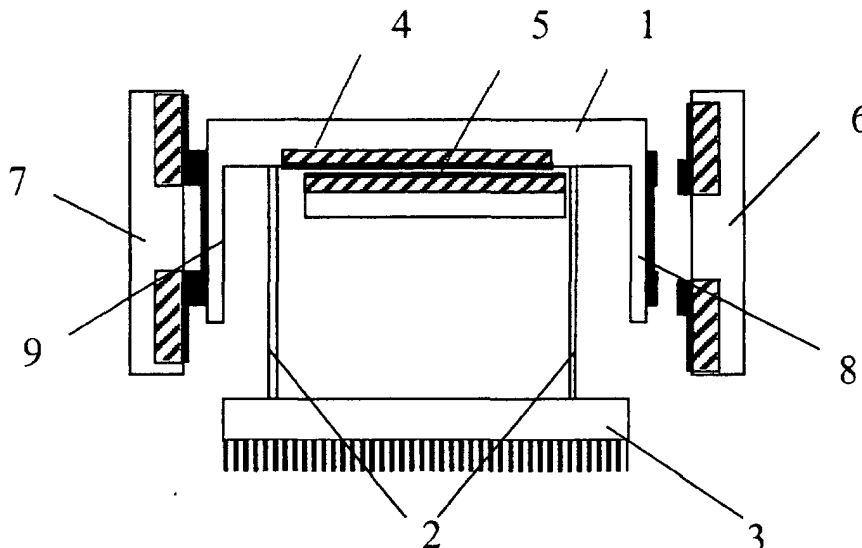


Fig. 2

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf ein Mikrorelais mit einem neuen mechanischen Aufbau. Mit dem Begriff Mikrorelais bezeichnet man gewöhnlich mikroskopische elektrische Schalter, bei denen ein bewegbares Kontaktstück relativ zu einem Gegenkontaktstück elektrostatisch, elektromagnetisch, piezoelektrisch oder in anderer Weise bewegt wird, um einen elektrischen Kontakt zu öffnen und zu schließen. Mikrorelais sind also gewissermaßen sehr kleine Relais, wie sich schon aus dem Namen ergibt, und werden häufig, jedoch nicht notwendigerweise, unter Zuhilfenahme von technologischen Verfahren hergestellt, die der Halbleitertechnologie und/oder der Mikrostrukturtechnik entlehnt sind.

Stand der Technik

[0002] Mikrorelais mit elektrostatischen Antrieben sind an sich bekannt. Der elektrostatische Antrieb wird durch einen Antriebskondensator bewirkt, der zwei beabstandete leitfähige Flächen aufweist, von denen eine mit dem bewegbaren Kontaktstück fest verbunden ist. Dadurch können die elektrostatischen Kräfte zwischen den Flächen zum mechanischen Antrieb des bewegbaren Kontaktstücks genutzt werden. Das bewegbare Kontaktstück ist dazu üblicherweise elastisch aufgehängt, so daß der elektrostatische Antrieb gegen eine Rückstellkraft der elastischen Aufhängung wirkt.

[0003] Bei einigen bekannten Mikrorelais besteht das bewegbare Kontaktstück aus einer aus einer Substratoberfläche schräg herausstehenden Lamelle, die gleichzeitig eine der Antriebskondensatorflächen enthält, wobei die andere Antriebskondensatorfläche und das Gegenkontaktstück in der Substratebene angeordnet sind. Die elektrostatische Anziehungskraft zwischen den Antriebskondensatorflächen kann die Lamelle auf die Substratoberfläche herunterziehen, woraufhin ein Kontakt an dem lamellenartigen bewegbaren Kontaktstück das Gegenkontaktstück in der Substratoberfläche berührt.

Darstellung der Erfindung

[0004] Der vorliegenden Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, eine neuartige mechanische Bauform für ein Mikrorelais zur Verfügung zu stellen.

[0005] Dementsprechend ist erfindungsgemäß vorgesehen ein Mikrorelais mit einem bewegbaren Kontaktstück, einem Antriebskondensator zum elektrostatischen Antrieb des bewegbaren Kontaktstücks, welcher Antriebskondensator im wesentlichen parallel beabstandete, leitfähige Flächen aufweist, von denen eine mit dem bewegbaren Kontaktstück fest verbunden ist, einer elastischen Aufhängung des bewegbaren Kon-

taktstücks und einem Gegenkontaktstück, wobei das Mikrorelais so ausgelegt ist, daß durch Ändern des Ladestands des Antriebskondensators das bewegbare Kontaktstück in einer Bewegungsrichtung in eine und aus einer Anlage an das Gegenkontaktstück bewegt werden kann, um einen elektrischen Kontakt zwischen dem bewegbaren Kontaktstück und dem Gegenkontaktstück zu öffnen und zu schließen, bei dem die Bewegungsrichtung zu der Richtung des Abstandes zwischen den Antriebskondensatorflächen fast senkrecht ist und die elastische Aufhängung bezüglich einer Bewegung des bewegbaren Kontaktstücks in der Bewegungsrichtung eine Federkonstante aufweist, die wesentlich kleiner ist als eine Federkonstante der elastischen Aufhängung bezüglich einer Bewegung in der Richtung des Abstandes der Antriebskondensatorflächen.

[0006] Die Grundidee der Erfindung liegt also darin, von dem konventionellen Konzept abzurücken, bei dem die Bewegungsrichtung des bewegbaren Kontaktstücks im wesentlichen gleich gerichtet bzw. parallel zu der elektrostatischen Kraft ist. Erfindungsgemäß wird vielmehr ein Aufbau gewählt, bei dem das bewegbare Kontaktstück elastisch so aufgehängt ist, daß es eine im Bezug zu der Richtung der elektrostatischen Kraft, also zu der dem direkten Abstand zwischen den Antriebskondensatorflächen entsprechenden Richtung, querelastisch ist. Bei dieser Querelastizität muß jedoch eine geringe Komponente in Krafrichtung vorhanden sein, so daß die Antriebskondensatorflächen aneinander angelehnt oder voneinander entfernt werden. Wesentlich ist jedoch, daß der bei weitem überwiegende Teil der Bewegung des bewegbaren Kontaktstücks senkrecht zu der elektrostatischen Kraft, also dem Kondensatorzwischenabstand, liegt. Quantitativ kann das bedeuten, daß die Querkomponente bei den Bewegungen insgesamt vorzugsweise zumindest das 5-fache, besser das 7,5-fache, noch besser das 12-fache und im günstigsten Fall sogar mehr als das 20-fache der kraftparallelen Komponente beträgt. Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß die elastische Aufhängung in der gewünschten Bewegungsrichtung eine sehr viel kleinere Federkonstante aufweist als in der (konventionellen) Richtung des Abstandes zwischen den Antriebskondensatorflächen.

[0007] Die Vorteile dieses Aufbaus können verschiedenartig sein: Zum einen kann es bei manchen Anwendungsfällen zu günstigeren geometrischen Lösungen führen, die Antriebskondensatorflächen im wesentlichen parallel zu der Bewegungsrichtung des bewegbaren Kontaktstücks anordnen zu können. Die Erfindung stellt also einen neuen Freiheitsgrad für den Entwurf von Mikrorelais zur Verfügung.

[0008] Ein wesentlicher, jedoch erfindungsgemäß nicht notwendigerweise im Vordergrund stehender Vorteil besteht darin, daß durch die relativ kleine Komponente der Bewegungen des bewegbaren Kontaktstücks in der Richtung des Abstands der Antriebskondensator-

flächen mit dem erfindungsgemäßen Mikrorelais relativ große quantitative Verhältnisse zwischen der möglichen Bewegungsstrecke des bewegbaren Kontaktstücks einerseits und dem maximal auftretenden Zwischenabstand zwischen den Antriebskondensatorflächen andererseits erzielt werden können. Nach einem bevorzugten Gesichtspunkt der Erfindung sollen diese quantitativen Verhältnisse möglichst groß sein, vorzugsweise über 10, besser über 20 und am besten über 40. Dies hat nämlich zur Folge, daß einerseits mit relativ kleinen Versorgungsspannungen ausreichend große elektrostatische Kräfte zwischen den Antriebskondensatorflächen erzeugt werden können, andererseits die Isolationsabstände zwischen dem bewegbaren Kontaktstück und dem Gegenkontaktstück, die ja von dem bewegbaren Kontaktstück bei der Bewegung überwunden werden müssen, dennoch relativ groß ausfallen können. Die erfindungsgemäßen Mikrorelais können also eine hohe Spannungsfestigkeit mit einer kleinen Antriebsspannung kombinieren.

[0009] Damit wird ein Hauptnachteil elektrostatischer Mikrorelais überwunden, die zwar konventionellerweise bereits relativ niedrige Versorgungsspannungen bzw. Leistungen ermöglichen, jedoch im Hinblick auf die Spannungsfestigkeit dahingehend begrenzt sind, daß der Antriebskondensator auch bei dem größten auftretenden Abstand zwischen den Antriebskondensatorflächen noch eine ausreichend große anziehende Kraft aufbringen können muß.

[0010] Im übrigen können mit den konventionellen elektrostatischen Mikrorelais im Vergleich zu den elektromagnetischen Antriebslösungen nur sehr kleine Andruckkräfte zwischen den Kontakten, also zwischen dem bewegbaren Kontaktstück und dem Gegenkontaktstück, aufgebracht werden. Aus diesen relativ geringen Kontaktkräften können Schwierigkeiten in der Herstellung der Kontakte und unerwünscht hohe Kontaktwiderstände entstehen. Auch hier bietet die Erfindung eine Abhilfsmöglichkeit.

[0011] Eine günstige Ausführungsform für eine elastische Aufhängung mit den beschriebenen Eigenschaften besteht aus zumindest einem schmalen langen Träger, dessen Längsrichtung der Richtung des Abstandes der Antriebskondensatorflächen entspricht und der in der Bewegungsrichtung des bewegbaren Kontaktstücks sehr viel schmaler ist. In der dritten verbleibenden Richtung kann der Träger relativ ausgedehnt sein oder auch relativ flach sein, vorzugsweise angepaßt an die entsprechenden Abmessungen des Antriebskondensators und der übrigen Bauteile in dieser Richtung. Dieser Träger bildet eine blattfederähnliche Struktur und kann durch die elektrostatische Kraft des Antriebskondensators zwar nicht verlängert und verkürzt, jedoch seitlich verformt werden.

[0012] Vorzugsweise sind zumindest zwei dieser Träger vorgesehen, die vorzugsweise im wesentlichen identisch miteinander, jedoch in der Bewegungsrichtung voneinander beabstandet sind. Durch ihre gemein-

same feste Kopplung mit dem bewegbaren Kontaktstück ergibt sich dann eine Bewegung des bewegbaren Kontaktstücks, die verkippfungsfrei bleibt, also im wesentlichen nur aus translatorischen Komponenten besteht. Hierzu wird auf die Ausführungsbeispiele verwiesen. Die Kraft-Weg-Zusammenhänge, also die Federkonstanten, können bei solchen Trägern anhand bekannter Näherungsformeln leicht berechnet werden.

[0013] Die Bewegung des bewegbaren Kontaktstücks kann nicht nur dazu genutzt werden, einen an dem bewegbaren Kontaktstück angebrachten Kontakt mit einem zugeordneten Kontakt an einem Gegenkontaktstück in Verbindung zu bringen und ihn davon zu trennen, vielmehr kann die selbe Bewegung gleichzeitig einen weiteren Kontakt des bewegbaren Kontaktstücks mit einem anderen Kontakt an einem weiteren Gegenkontaktstück in komplementärer Weise verbinden und trennen. Dabei wird also das bewegbare Kontaktstück zwischen den Gegenkontaktstücken hin- und herbewegt. Man erhält gewissermaßen einen Doppelschalter, der zudem in einer Mittenposition einen Zustand bietet, in dem sämtliche Kontakte getrennt sind. Er kann jedoch auch so ausgelegt sein oder betrieben werden, daß er zwischen zwei Zuständen geschaltet wird, in denen jeweils eines der beiden Kontaktpaare offen und das jeweils andere geschlossen ist. Die verschiedenen vorteilhaften Anwendungsmöglichkeiten solcher Doppelschalter sind dem Fachmann ohne weiteres bekannt.

[0014] Der oder die beschriebenen Träger müssen übrigens im kräftefreien Zustand nicht notwendigerweise gerade langgestreckt sein, so daß sie durch den elektrostatischen Antrieb verkrümmt werden. Sie können auch bei der Herstellung des Mikrorelais bereits mit einer vorgegebenen leichten Krümmung versehen sein, die dann durch die elektrostatische Antriebskraft verringert, aufgehoben oder auch im Richtungssinn umgekehrt werden kann.

[0015] Weiterhin ist es denkbar, den Antriebskondensator komplizierter auszuführen als lediglich mit zwei benachbarten Antriebskondensatorflächen. Es können auch verschachtelte Strukturen Verwendung finden, bei denen eine größere Zahl Antriebskondensatorflächen in verschachtelter Weise einander zugeordnet sind, etwa wie zwei miteinander in Eingriff gebrachte Kämmen. Zur Veranschaulichung wird auf das entsprechende Ausführungsbeispiel verwiesen.

[0016] Die Bewegungsrichtung des erfindungsgemäßen Mikrorelais liegt vorzugsweise parallel zu einem Substrat, auf dem das Mikrorelais angebracht ist oder auf dem es vorzugsweise integriert hergestellt worden ist. Auch hierin besteht ein Unterschied zum Stand der Technik, bei dem die Bewegungsrichtungen mehr oder weniger senkrecht zur Substratebene liegen. Die substratparallele Bewegungsrichtung hat jedoch den Vorteil, zweidimensionale Strukturen des Mikrorelais zu begünstigen, die herstellungstechnisch sehr vorteilhaft sind. So sind die typischen mikrotechnologischen und halbleitertechnologischen Verfahren wie Lithographie-,

Ätz- oder Beschichtungsverfahren in der Regel zunächst zweidimensional und bei dreidimensionalen Strukturen nur mit etwas erhöhtem Aufwand zu realisieren. Dementsprechend sind die einzelnen Funktionsteile des Mikrorelais, nämlich das bewegbare Kontaktstück, die elastische Aufhängung sowie der Antriebskondensator, jeweils in ihrer funktionalen Struktur vorzugsweise rein zweidimensional, und zwar in einer substratparallelen Ebene.

[0017] Ferner ist ein durch die substratparallele Bewegung möglicher flacher Aufbau häufig bautechnisch günstig und erleichtert insbesondere nachfolgende Lithographieschritte, etwa solche, die für auf dem selben Substrat herzustellende mikroelektronische Schaltungen benötigt werden. Auch bei einem Schutz des Mikrorelais durch eine Verkapselung oder Abdeckung ist ein flacher Aufbau vorteilhaft.

[0018] Um die bewegbaren Teile des Mikrorelais bei einer integrierten Ausführungsform vom Substrat zu lösen, bietet es sich an, vergrabene Schichten an den geeigneten Stellen vorzusehen und zu entfernen, um diese Teile vom Substrat zu befreien und damit elastisch verformbar bzw. bewegbar zu machen. Hier bieten sich insbesondere SiO₂-Schichten bei Siliziumsubstraten an. Insbesondere bieten sich hierzu die bekannten SOI-Strukturen (Silicon on Insulator) an, und zwar vor allem die sogenannten SIMOX-Wafer.

[0019] Der Werkstoff Silizium ist grundsätzlich ein bevorzugter Werkstoff für das erfindungsgemäße Mikrorelais.

[0020] Eine andere Werkstofflösung sind verschiedene Gläser. Silizium hat allerdings den Vorteil, durch geeignete Sortierung sowohl isolierend als auch elektrisch leitfähig ausgeführt werden zu können. Durch Ionenimplantation oder Diffusion von Dotierungstoffen können somit Leiterbahnen mit angepaßter Struktur leicht hergestellt werden. Die zugrundeliegende Technologie ist aus der Halbleiterbauelementherstellung bekannt.

[0021] Trotzdem werden beispielsweise für die Kontakte selbst Metallisierungen notwendig sein. Bei einem gläsernen Mikrorelais müssen grundsätzlich Metallisierungen angebracht werden, um die elektrischen Leitungen und Kontakte herzustellen.

[0022] Besondere Bedeutung für die Herstellung des erfindungsgemäßen Mikrorelais, insbesondere bei einer zweidimensionalen Realisierung mit substratparalleler Ausrichtung, haben die Ionenätzverfahren, und zwar insbesondere die sogenannten RIE-Verfahren. Da für das Mikrorelais relativ große Ätztiefen interessant sein können, kommen bevorzugt die sogenannten DRIE-Verfahren in Betracht (deep reactive ion etching). Durch geeignete Prozeßführung lassen sich in erheblichen Tiefen nahezu senkrechte Ätzflanken erzielen, beispielsweise in der Größenordnung von 0,5 mm. Dies kann zur Erzielung ausreichend großer Kontaktflächen wichtig sein, weil sich bei den bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung senkrecht auf dem Substrat stehende Kontaktflächen ergeben können. Hierzu wird

wiederum auf die Ausführungsbeispiele verwiesen.

[0023] Als Beispiel wird ferner verwiesen auf den Artikel "Vertical Mirrors Fabricated by Deep Reactive Ion Etching for Fiber Optic Switching Applications". Von C. Marxer et al., Journal of Microelectromechanical Systems, Band 6, Nr. 3, September 1997, Seiten 277 - 285. Dort sind zwar mikrooptische Schalter für faseroptische Anwendungen beschrieben, jedoch lassen sich die Prozeßschritte auch ohne weiteres auf die Erfindung anwenden. Die dort realisierten Wandhöhen von 75 Mikrometer lassen sich leicht übertreffen, wenn dies von Interesse ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0024] Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung erläutert, wobei die dabei offenbarten Merkmale auch in anderen als den dargestellten Kombinationen erfindungswesentlich sein können.

[0025] Im einzelnen zeigt:

Figur 1 eine schematische Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes bewegbares Kontaktstück mit elastischer Aufhängung;

Figur 2 ein erstes Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Mikrorelais;

Figur 3 ein zweites Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Mikrorelais;

und Figur 4 ein drittes Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Mikrorelais.

[0026] Figur 1 zeigt eine Draufsicht auf eine Struktur aus einem bewegbaren Kontaktstück 1 mit elastischer Aufhängung 2. Die Blickrichtung steht senkrecht auf der Substratebene, wobei es sich um eine zweidimensionale Struktur handeln soll. Die schematisch eingezeichnete Basis 3 soll, wie durch den schraffierten Untergrund angedeutet, fest mit dem Substrat verbunden sein, wohingegen die elastische Aufhängung bildende Träger 2 und das bewegbare Kontaktstück 1 von dem Substrat frei sind. Bei dem konkreten Beispiel sollen die Teile 1, 2 und 3 aus Si bestehen und integriert aus einem Si-Substrat herausgearbeitet sein. Das bewegbare Kontaktstück 1 und die Träger 2 sind von dem Substrat durch Lösen einer darunter vergrabenen SiO₂-Schicht befreit worden.

[0027] Die durchgezogenen Linien stellen dabei die kräftefreie Anordnung dar, während die gestrichelten Linien das bewegbare Kontaktstück 1 und die elastische Aufhängung 2 in ausgelenktem Zustand zeigen. Diese Auslenkung wird bewirkt durch eine mit N symbolisierte Kraft, die in Figur 1 von oben nach unten wirkt, also in der Substratebene liegt, jedoch zu der durch den Unterschied zwischen der gestrichelten und der durchgezogenen Zeichnung erkennbaren Bewegungsrichtung im

wesentlichen senkrecht steht. Die Bewegungsrichtung ist dabei übrigens keine wirklich konstante Richtung. Vielmehr ist aus dieser Figur anschaulich, daß sich die Bewegungsrichtung mit zunehmender Auslenkung von der rechtwinkligen Orientierung zur Normalkraft entfernt. Wesentlich ist jedoch, daß die Bewegungsstrecke eine sehr viel größere Komponente f senkrecht zu der Kraft N enthält als die kraftparallele Komponente λ . Die Komponente λ ist jedoch insoweit wichtig, als sie notwendig ist, um die dargestellte Bewegung überhaupt mit der Kraft N erzeugen zu können.

[0028] Das Bewegungsverhalten des bewegbaren Kontaktstücks 1 ergibt sich aus der Form und Anordnung des Paares der Träger 2 und diese sind in Bewegungsrichtung voneinander beabstandet und dabei im übrigen identisch sowie zu der Kraft N im wesentlichen symmetrisch ausgerichtet, um Drehmomente möglichst zu vermeiden. Die Träger 2 haben eine Länge l in Richtung der Kraft N und sind demgegenüber sehr schmal, wie mit h bezeichnet. Die Tiefe senkrecht zur Zeichenebene ist mit b bezeichnet und entspricht hier der Tiefe des bewegbaren Kontaktstücks 1. Sie ist für das erfindungsgemäße Prinzip nicht weiter von Belang. Wie sich weiter unten ergibt, erhöht sie zwar die Federkonstante linear, jedoch wächst bei den Ausführungsbeispielen die Fläche des Antriebskondensators ebenfalls linear mit der Tiefe, so daß die Tiefe b nur von den technischen Grenzen des Ätzverfahrens und der gewünschten Kontaktfläche abhängt. Eine zu große Breite des Kondensators 4,5 erhöht aber nicht nur die Massenträgheit des bewegbaren Kontaktteils 1, sondern geht auch direkt in die Gesamtbaugröße des Mikrorelais ein. Hier muß also ein sinnvoller Kompromiß gefunden werden.

[0029] Die Auslenkung f in der gewünschten kraftnormalen Dimension errechnet sich näherungsweise aus

$$f = (Nl^3) / (2Eb^3)$$

[0030] Dabei ist E der Elastizitätsmodul des verwendeten Materials. Man erkennt, daß die Tiefe b linear in die Federkonstante eingeht, diese jedoch in der dritten Potenz von dem Verhältnis aus Länge l und Schmalheit h der Träger 2 abhängt. Die notwendige, jedoch möglichst kleine Bewegungskomponente λ beträgt näherungsweise

$$\lambda = (3f^2) / (5l)$$

[0031] Man sieht, daß die Bewegung in zunehmendem Maße von der senkrechten Ausrichtung zur Kraft N abweicht, weil die Komponente λ proportional zum Quadrat der Komponente f ist. Man erkennt außerdem, daß lange Träger günstig sind für ein großes Verhältnis aus der kraftnormalen Komponente f zu der kraftparallelen Komponente λ .

[0032] Quantitative Beispielswerte könnten eine Län-

ge von $l = 1800 \mu\text{m}$, eine Schmalheit h von $16 \mu\text{m}$ und eine Tiefe b von $450 \mu\text{m}$ sein. Ein beispielhafter Wert für die Kraft N von etwa 4 mN führt dann zu $f = 40 \mu\text{m}$ und $\lambda = 0,53 \mu\text{m}$. Die Bewegung des bewegbaren Kontaktstücks 1 ist also so gut wie senkrecht zu N .

[0033] Figur 2 zeigt die schematisch in Figur 1 erläuterte Grundstruktur in einer konkreten Anwendungsform. An dem bewegbaren Kontaktstück 1 ist, in diesem Fall an der den Trägern 2 zugewandten Seite, eine elektrisch leitfähige Oberflächenschicht 4 angebracht, der eine zweite elektrisch leitfähige Oberflächenschicht 5 an einem substratfesten Teil gegenüber liegt. Zwischen diesen beiden Antriebskondensatorflächen 4 und 5 kann eine Spannung U_d angelegt werden, die die elektrostatische Antriebskraft N gemäß folgendem Näherungszusammenhang hervorruft:

$$N = (\epsilon_0 A U_d^2) / (2d^2)$$

[0034] Dabei ist A die Fläche des Antriebskondensators 4, 5 und ebenfalls proportional zu b . d ist der Abstand zwischen den beiden Antriebskondensatorflächen 4 und 5. Man erkennt unmittelbar, daß sich durch entsprechend kleine Abstände sehr große elektrostatische Kräfte erzeugen lassen, weil der Abstand d in der zweiten Potenz auftritt. Ferner sind breite Kondensatoren im Sinn der Horizontalen in der Zeichenebene, also große Abstände zwischen den Trägern 2, günstig. Bei einem Abstand d von $1 \mu\text{m}$ ergeben sich bei einer Versorgungsspannung von 36 V und einer typischen Fläche A von $450 \mu\text{m} \times 1500 \mu\text{m}$ Kräfte im Bereich von 4 mN .

[0035] Die Bewegung des bewegbaren Kontaktstücks 1 entspricht der Darstellung in Figur 1. Figur 2 zeigt, daß das bewegbare Kontaktstück 1 dabei zwischen zwei Gegenkontaktstücken 6 und 7 hin- und hergeschaltet wird. Hierzu weist es an seinen über die Träger 2 hinausreichenden Enden jeweils einen abgewinkelten Ansatzbereich 8 bzw. 9 auf, der jeweils zwei metallene Kontakte, die über eine metallische Leiterbahn verbunden sind, trägt. Diese Kontakte können in Kontakt mit jeweils zugeordneten zwei Kontakten auf den Gegenkontaktstücken 6 und 7 kommen, die jedoch ihrerseits elektrisch voneinander isoliert sind. Sie werden also durch die Kontakte auf den abgewinkelten Bereichen 8 bzw. 9 des bewegbaren Kontaktstücks 1 überbrückt. Die Kontaktkraft P ergibt sich dabei aus

$$P = (f/l) N.$$

Für $N = 4 \text{ mN}$ ergibt das eine Kontaktkraft P von ca. $0,09 \text{ mN}$.

[0036] Die schraffierten Bereiche in Figur 2 deuten dabei an, daß die beiden Antriebskondensatorflächen 4 und 5 sowie jeweils von den Kontakten an den Gegenkontaktstücken 6 und 7 ausgehende Leiterbahnen

durch ionenimplantierte Si-Bereiche gebildet sind. Die schwarz ausgefüllten Kontakte sind metallisiert, etwa durch seitliche Schrägbedampfung oder Plasmaabscheidung und entsprechende Maskierung.

[0037] Man erkennt ferner, daß das Mikrorelais aus Figur 2 bei ungeladenem Antriebskondensator 4, 5 die Kontakte an dem linken Gegenkontaktstück 7 überbrückt und durch Spannungsbeaufschlagung des Kondensators 4, 5 so umgeschaltet werden kann, daß statt dessen die Kontakte an dem rechten Gegenkontaktstück 6 überbrückt werden. Die Antriebskondensatorflächen 4, 5 sind dabei so zueinander ausgerichtet, daß sie einander etwa in der Mitte dieses Weges direkt gegenüber liegen, so daß jeweils an den beiden Wegen ein gewisser Versatz vorliegt, der jedoch wegen der tatsächlich geringen quantitativen Bedeutung unwesentlich ist.

[0038] Es wurde bereits erwähnt, daß die Gesamtkontaktflächen durch Anpassung der Tiefe b bestimmt werden können. Außerdem können die Metallkontakte auch in der in Figur 2 vertikalen Richtung breiter ausgeführt sein, wenn die Kontaktfläche eine wesentliche Rolle spielt.

[0039] Wenn man sich einen der beiden abgewinkelten Bereiche 8 und 9 und das zugehörige Gegenkontaktstück 6 bzw. 7 in Figur 2 wegdenkt, so erkennt man unmittelbar, daß sich mit diesem Aufbau auch einfache Schalter realisieren lassen, die wahlweise im spannungslosen Zustand offen oder geschlossen sind (normally open / normally closed).

[0040] Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel aus Figur 3 liegt gegenüber den Varianten aus Figur 1 und 2 dahingehend eine Abweichung vor, daß die Träger 2' nur mehr im dargestellten spannungsfreien Zustand leicht S-förmig gekrümmt sind, nämlich etwa so, wie im verformten Zustand aus Figur 1. Dies kann durch entsprechende Strukturierung der Maske bei dem DRIE-Prozeß, mit dem diese Strukturen aus dem Siliziumwafer herausgearbeitet werden, leicht realisiert werden. Außerdem ist der Antriebskondensator bei diesem Beispiel auf der im Vergleich zu Figur 2 anderen Seite des bewegbaren Kontaktstücks 1 angeordnet, und daher mit 4', 5' bezeichnet. Schließlich ist das Mikrorelais in diesem Fall so ausgelegt, daß der "rechte Schalter" 6, 8 im spannungsfreien Zustand geschlossen ist, während der "linke Schalter" 7, 9 im spannungsfreien Zustand offen ist.

[0041] Durch die elektrostatische Anziehung zwischen den Antriebskondensatorflächen 4' und 5' kann das bewegbare Kontaktstück 1 in Figur 3 nach links bewegt werden, wobei sich die Träger 2' weitgehend strecken bzw. auch mit umgekehrtem Richtungssinn verformen können.

[0042] Die Anordnung des Antriebskondensators 4' 5' sollte bei einfachen Mikrorelais übrigens so erfolgen, daß sich im geschlossenen Zustand eine maximale Kontaktkraft ergibt, also der minimale Abstand zwischen den Antriebskondensatorflächen 4, 5 bzw. 4', 5'

vorliegt. Bei dem ersten und bei dem zweiten Ausführungsbeispiel ist dies für den rechten Schalter bzw. für den linken Schalter gegeben.

[0043] Figur 4 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel, das eine Variante zu dem zweiten Ausführungsbeispiel aus Figur 3 darstellt. Der Unterschied besteht darin, daß der Antriebskondensator in diesem Fall aus kammartig verschachtelten Flächen besteht, die mit 4" und 5" bezeichnet sind. Es handelt sich wiederum um Si-Strukturen mit entsprechenden Dotierungen (oder Metallisierungen), wie die Schraffuren zeigen. Durch eine herstellungstechnisch wenig problematische Komplizierung des Maskenlayouts kann so die zuvor mit A bezeichnete effektive Fläche des Antriebskondensators vervielfacht werden, in diesem Fall verdreifacht. Im übrigen entspricht dieses Ausführungsbeispiel dem zuvor beschriebenen.

[0044] Alle Ausführungsbeispiele sind infolge des zweidimensionalen Aufbaus technisch unproblematisch und zeigen andererseits einen ungewöhnlich guten Kompromiß zwischen Kontaktschließkraft, Versorgungsspannung und Spannungsfestigkeit im geöffneten Zustand.

25 Bezugszeichenliste

[0045]

1	bewegbares Kontaktstück
2	elastische Aufhängung, nämlich schmale lange Träger
3	Basis
4, 4', 4"	leitfähige Kondensatorfläche am bewegbaren Kontaktstück
5, 5', 5"	festen elektrisch leitfähige Antriebskondensatorfläche
6, 7	Gegenkontaktstücke
8, 9	abgewinkelte Ansatzbereiche des bewegbaren Kontaktstücks
f	Bewegungsstrecke quer zur Kraft
l	Länge eines Trägers 2
h	Schmalheit eines Trägers 2

45 Patentansprüche

1. Mikrorelais

mit einem bewegbaren Kontaktstück (1), einem Antriebskondensator (4, 5, 4', 5', 4", 5") zum elektrostatischen Antrieb des bewegbaren Kontaktstücks (1), welcher Antriebskondensator zwei, im wesentlichen parallel beabstandete, leitfähige Flächen (4, 5, 4', 5', 4", 5") aufweist, von denen eine (4, 4', 4") mit dem bewegbaren Kontaktstück (1) fest verbunden ist, einer elastischen Aufhängung (2, 2') des be-

- wegbaren Kontaktstücks (1),
 und einem Gegenkontaktstück (6, 7),
 wobei das Mikrorelais so ausgelegt ist, daß
 durch Ändern des Ladezustands des Antriebs-
 kondensators (4, 5, 4', 5', 4", 5") das bewegbare
 Kontaktstück (1) in einer Bewegungsrichtung in
 eine und aus einer Anlage an das Gegenkon-
 taktstück (6, 7) bewegt werden kann, um einen
 elektrischen Kontakt zwischen dem bewegba-
 ren Kontaktstück (1) und dem Gegenkontakt-
 stück (6, 7) zu öffnen und zu schließen,
dadurch gekennzeichnet, daß die Bewe-
 gungsrichtung zu der Richtung des Abstandes
 zwischen den Antriebskondensatorflächen (4,
 5, 4', 5', 4", 5") fast senkrecht ist,
 und die elastische Aufhängung (2, 2') bezüglich
 einer Bewegung des bewegbaren Kontakt-
 stücks (1) in der Bewegungsrichtung eine Fe-
 derkonstante aufweist, die wesentlich kleiner
 ist als eine Federkonstante der elastischen Auf-
 hängung (2, 2') bezüglich einer Bewegung in
 der Richtung des Abstandes der Antriebskon-
 densatorflächen (4, 5, 4', 5', 4", 5").
2. Mikrorelais nach Anspruch 1, bei dem der größte
 im Betrieb auftretende Abstand der Antriebskon-
 densatorflächen (4, 5, 4', 5', 4", 5") sehr viel kleiner
 als die im Betrieb von dem bewegbaren Kontakt-
 stück (1) zurückgelegte Bewegungsstrecke (f) in
 der Bewegungsrichtung ist.
3. Mikrorelais nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die
 elastische Aufhängung (2, 2') einen sich im wesent-
 lichen parallel zu der Richtung des Abstandes der
 Antriebskondensatorflächen (4, 5, 4', 5', 4", 5") er-
 streckenden und im Vergleich zu seiner Länge (l) in
 dieser Richtung in der Bewegungsrichtung sehr viel
 schmaleren (h) Träger (2, 2') aufweist, der mit dem
 bewegbaren Kontaktstück (1) fest verbunden ist
 und dieses aufgrund seiner Länge (l) und Schmal-
 heit (h) elastisch in der Bewegungsrichtung beweg-
 bar hält.
4. Mikrorelais nach Anspruch 3, bei dem die elasti-
 sche Aufhängung (2, 2') zumindest zwei der be-
 schriebenen Träger (2) aufweist, die in der Bewe-
 gungsrichtung zueinander parallel versetzt sind.
5. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprü-
 che, bei dem das bewegliche Kontaktstück (1) zwi-
 schen zwei Gegenkontaktstücken (6, 7) hin- und
 hergeschaltet werden kann.
6. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprü-
 che, bei dem sich der/die Träger (2') entlang seiner/
 ihrer Länge (l) leicht krümmt/krümmen und durch
 den Antriebskondensator (4', 5', 4", 5") bei der Be-
 wegung des bewegbaren Kontaktstücks (1) ge-
 streckt werden kann/können.
7. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprü-
 che, bei dem der Antriebskondensator (4", 5") eine
 Vielzahl verschachtelt parallel beabstandeter leitfä-
 higer Flächen (4", 5") aufweist.
8. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprü-
 che mit einem Substrat, auf dem das Mikrorelais be-
 festigt ist (3), wobei die Bewegungsrichtung des be-
 wegbaren Kontaktstücks (1) substratparallel ist.
9. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprü-
 che, das auf dem Substrat in integrierter Weise her-
 gestellt ist.
10. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprü-
 che, zumindest Anspruch 8, bei dem das bewegba-
 re Kontaktstück (1), die elastische Aufhängung (2,
 2') und der Antriebskondensator (4, 5, 4', 5', 4", 5")
 zumindest einen wesentlichen Teil ihrer jeweiligen
 funktionalen Struktur in Form einer zweidimensio-
 nalen Struktur in einer substratparallelen Ebene
 aufweisen.
11. Mikrorelais nach Anspruch 9 und Anspruch 10, mit
 einer zwischen den zweidimensionalen Strukturen
 und dem Substrat angeordneten vergrabenen
 Schicht, die unter bewegbaren Strukturteilen (1, 2,
 2', 4, 4', 4") entfernt ist.
12. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprü-
 che, das durch ein Ionenätzverfahren, vorzugswei-
 se ein DRIE-Verfahren, hergestellt ist.
13. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprü-
 che, das im wesentlichen aus Silizium besteht.
14. Mikrorelais nach einem der Ansprüche 1 - 12, das
 im wesentlichen aus Glas besteht.

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 86(2) EPÜ.

1. Mikrorelais

mit einem bewegbaren Kontaktstück (1),
 einem Antriebskondensator (4, 5, 4', 5', 4", 5")
 zum elektrostatischen Antrieb des bewegbaren
 Kontaktstücks (1),
 welcher Antriebskondensator zwei, im wesent-
 lichen parallel beabstandete, leitfähige Flä-
 chen (4, 5, 4', 5', 4", 5") aufweist, von denen
 eine (4, 4', 4") an einer Seite des bewegbaren
 Kontaktstücks (1) angebracht ist,
 einer elastischen Aufhängung (2, 2') des be-
 wegbaren Kontaktstücks (1),

und einem Gegenkontaktstück (6, 7), wobei das Mikrorelais so ausgelegt ist, daß durch Ändern des Ladezustands des Antriebskondensators (4, 5, 4', 5', 4", 5") das bewegbare Kontaktstück (1) in einer Bewegungsrichtung in eine und aus einer Anlage an das Gegenkontaktstück (6, 7) bewegt werden kann, um einen elektrischen Kontakt zwischen dem bewegbaren Kontaktstück (1) und dem Gegenkontaktstück (6, 7) zu öffnen und zu schließen, **dadurch gekennzeichnet, daß** das bewegbare Kontaktstück (1) derart aufgehängt ist, daß die Bewegungsrichtung zu der Richtung des Abstandes zwischen den Antriebskondensatorflächen (4, 5, 4', 5', 4", 5") fast senkrecht ist, und daß der größte im Betrieb auftretende Abstand der Antriebskondensatorflächen (4, 5, 4', 5', 4", 5") sehr viel kleiner ist als die im Betrieb von dem bewegbaren Kontaktstück (1) zurückgelegte Bewegungsstrecke (f) in der Bewegungsrichtung, und daß die elastische Aufhängung (2, 2') bezüglich einer Bewegung des bewegbaren Kontaktstücks (1) in der Bewegungsrichtung eine Federkonstante aufweist, die wesentlich kleiner ist als eine Federkonstante der elastischen Aufhängung (2, 2') bezüglich einer Bewegung in der Richtung des Abstandes der Antriebskondensatorflächen (4, 5, 4', 5', 4", 5").

2. Mikrorelais nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die elastische Aufhängung (2) an der Seite des bewegbaren Kontaktstücks (1) angebracht ist, an der die elektrisch leitfähige Fläche (4) vorgesehen ist.

3. Mikrorelais nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die elastische Aufhängung (2, 2') einen sich im wesentlichen parallel zu der Richtung des Abstandes der Antriebskondensatorflächen (4, 5, 4', 5', 4", 5") erstreckenden und im Vergleich zu seiner Länge (l) in dieser Richtung in der Bewegungsrichtung sehr viel schmaleren (h) Träger (2, 2') aufweist, der mit dem bewegbaren Kontaktstück (1) fest verbunden ist und dieses aufgrund seiner Länge (l) und Schmalheit(h) elastisch in der Bewegungsrichtung bewegbar hält.

4. Mikrorelais nach Anspruch 3, bei dem die elastische Aufhängung (2, 2') zumindest zwei der beschriebenen Träger (2) aufweist, die in der Bewegungsrichtung zueinander parallel versetzt sind.

5. Mikrorelais nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem das bewegliche Kontaktstück (1) zwischen zwei Gegenkontaktstücken (6, 7) hin- und geschaltet werden kann.

6. Mikrorelais nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der/ die Träger (2') an einer Seite des bewegbaren Kontaktstücks (1) angebracht ist/sind, welche von der die elektrisch leitfähige Fläche (4') tragenden Seite abgewandt ist/sind, und dass der/die Träger (2') sich entlang seiner/ihrer Länge (l) leicht krümmt/krümmen und durch den Antriebskondensator (4', 5', 4", 5") bei der Bewegung des bewegbaren Kontaktstücks (1) gestreckt werden kann/können.

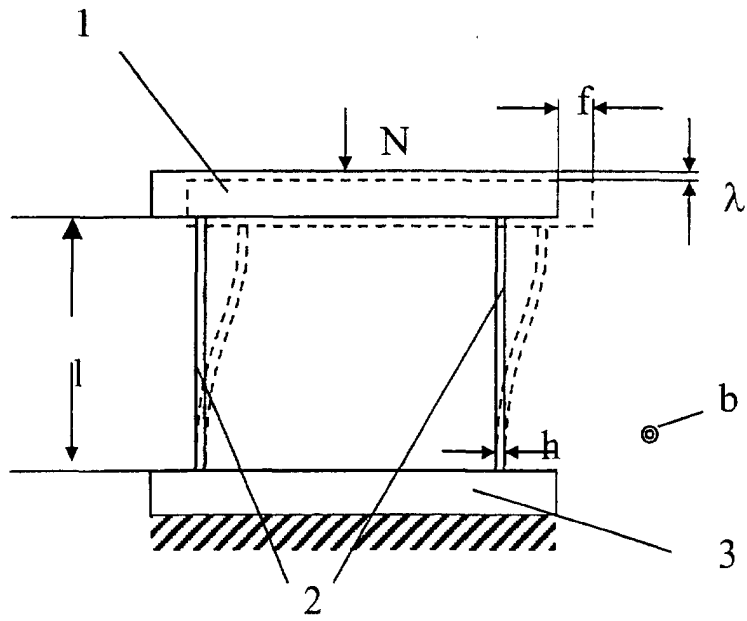


Fig. 1

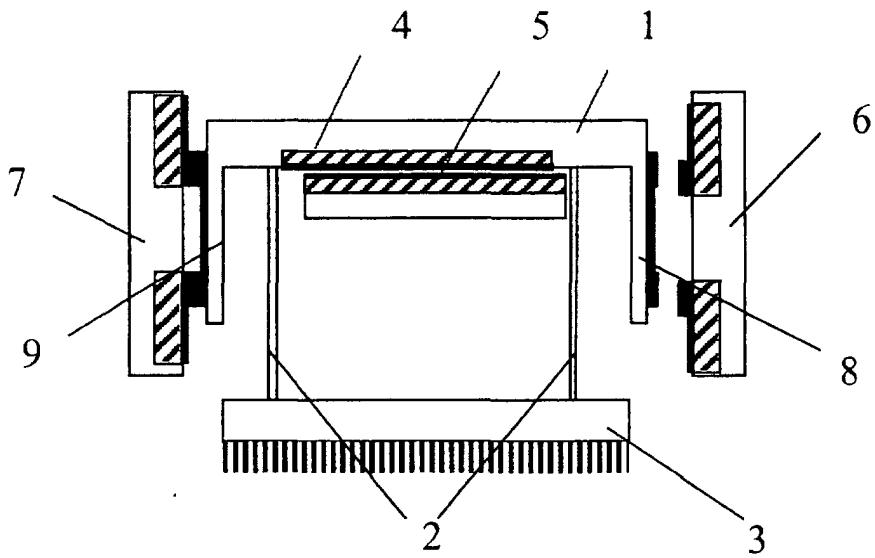


Fig. 2

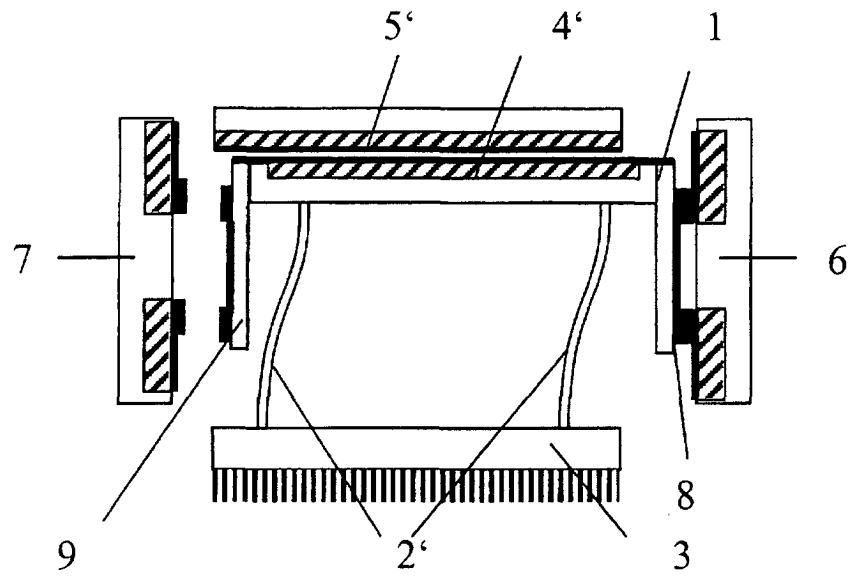


Fig. 3

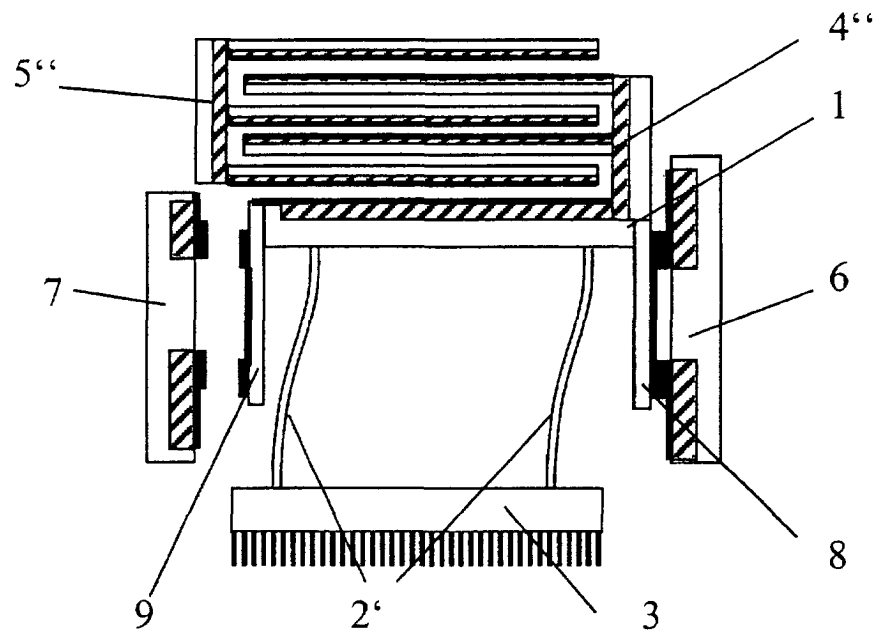


Fig. 4



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 01 81 0322

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	EP 1 020 984 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD) 19. Juli 2000 (2000-07-19) * Seite 4, letzter Absatz - Seite 5, Absatz 2; Abbildung 4 *	1	H01H59/00
A	WO 93 03385 A (BOSCH GMBH ROBERT) 18. Februar 1993 (1993-02-18) * Seite 6, Absatz 1; Abbildung 5 *	1	
A	US 5 375 033 A (MACDONALD NOEL C) 20. Dezember 1994 (1994-12-20) * Spalte 8, Absätze 2-4; Abbildung 1 *	1	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 28. August 2001	Prüfer Janssens De Vroom, P
RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) H01H			
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patendokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03/82 (Rev.03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 81 0322

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

28-08-2001

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1020984 A	19-07-2000	JP 2000205939 A	28-07-2000
WO 9303385 A	18-02-1993	DE 4126107 A	18-02-1993
		EP 0597879 A	25-05-1994
		JP 6509642 T	27-10-1994
		US 5415043 A	16-05-1995
US 5375033 A	20-12-1994	US 5179499 A	12-01-1993
		WO 9321657 A	28-10-1993

EPO FORM P/461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82