

(19)



(11)

EP 1 719 144 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
14.10.2015 Patentblatt 2015/42

(51) Int Cl.:
H01H 59/00 (2006.01) H01P 1/12 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05715021.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2005/000317

(22) Anmeldetag: **25.02.2005**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2005/083734 (09.09.2005 Gazette 2005/36)

(54) HOCHFREQUENZ-MEMS-SCHALTER MIT GEBOGENEM SCHALTELEMENT UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG

HIGH-FREQUENCY MEMS SWITCH COMPRISING A CURVED SWITCHING ELEMENT AND METHOD FOR PRODUCING SAID SWITCH

INTERRUPTEUR MEMS HAUTE FREQUENCE COMPORTANT UN ELEMENT DE COMMUTATION COURBE, ET SON PROCEDE DE PRODUCTION

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

(74) Vertreter: **Willems, Volker**
Airbus Defence and Space GmbH
Patentabteilung
81663 München (DE)

(30) Priorität: **27.02.2004 DE 102004010150**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.11.2006 Patentblatt 2006/45

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 026 718 EP-A- 1 246 216
WO-A-02/073673 WO-A1-86/03879
JP-A- S58 201 218 US-A- 2002 030 566
US-B1- 6 373 682

(73) Patentinhaber: **Airbus Defence and Space GmbH**
85521 Ottobrunn (DE)

(72) Erfinder:
• **PRECHTEL, Ulrich**
81735 München (DE)
• **ZIEGLER, Volker**
85579 Neubiberg (DE)

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 2002, Nr. 08, 5. August 2002 (2002-08-05) & JP 2002 100276 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD), 5. April 2002 (2002-04-05)**

EP 1 719 144 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Hochfrequenz-MEMS-Schalter mit gebogenem Schaltelement gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1 und ein Verfahren zur Herstellung eines Hochfrequenz-MEMS-Schalters mit gebogenem Schaltelement gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 11.

[0002] MEMS-Schalter bzw. Schaltelemente in MEMS-Technologie (MEMS = Micro Electro Mechanical Systems) kommen in den verschiedensten Bereichen zur Anwendung, wie beispielsweise Automobilelektronik, Telekommunikation, Medizintechnik oder Messtechnik. Aufgrund Ihrer Miniaturisierung sind derartige, als mikroelektromechanisches System ausgestaltete Schaltelemente besonders auch für Raumfahrtanwendungen und Satellitensysteme geeignet. Insbesondere auch in Radarsystemen, Satellitenkommunikationssystemen, drahtlosen Kommunikationssystemen und Instrumentensystemen kommen Hochfrequenz-MEMS-Schalter zum Einsatz. Beispielsweise auch in Phasenantennenanlagen und bei Phasenschiebern für satellitenbasierte Radarsysteme, werden Hochfrequenz-MEMS-Schalter benötigt.

[0003] Hochfrequenz-MEMS-Schalter bieten eine Reihe von Vorteilen, wie z.B. einen äußerst geringen Stromverbrauch, eine gute Isolation bzw. geringe Störkapazitäten, eine geringe Einfügedämpfung bzw. geringe Einfügedverluste und geringe Herstellungskosten.

[0004] In dem Artikel "RF-MEMS-Switches, Switch Circuits, and Phase Shifters, von Gabriel M. Rebeiz et al. in Revue HF No. 2/2001 werden MEMS-Schalter beschrieben, die im Hochfrequenzbereich eingesetzt werden, in einem Bereich zwischen 0,1 und 100 GHz. Diese MEMS-Schalter haben als mechanische Federn ausgestaltete freitragende Schaltarme, die durch elektrostatische Krafteinwirkung zum Öffnen oder Schließen eines Schaltkreises betätigt werden. Der freitragende Schaltarm bzw. Cantilever-Balken ist auf einem Substrat befestigt und wird durch eine Elektrode elektrostatisch angezogen, um einen Kontakt zu schließen. Ohne anliegende Spannung geht der Schaltarm durch elastische Rückstellkräfte in seine Ausgangsposition zurück, und der Kontakt wird geöffnet.

[0005] Bei MEMS-Schaltern kann der Schaltvorgang auf verschiedene Arten bewirkt werden, die prinzipiell in den Figuren 3a - f als Beispiele gezeigt sind. Dabei beeinflusst ein Schaltelement das Fortschreiten einer elektromagnetischen Welle auf einer Signalleitung durch Öffnen oder Schließen eines Übertragungspfades. Dies kann in der Art eines Serienschalters, eines Shunt-Schalters oder eines Serien-Shunt-Schalters erfolgen. Allgemein ist im geöffneten Zustand des Schaltelements ein großer Abstand zum Kontaktbereich notwendig, da die Kapazität in diesem Zustand möglichst gering sein soll, um eine ungestörte Leitung zu erhalten. Für den Schaltvorgang selbst ist jedoch ein geringer Abstand erforderlich, da nur geringe elektrostatische Kräfte wirken.

[0006] In dem Artikel von C. Chang und P. Chang, "Innovative Micromachined Microwave Switch with very Low Insertion Loss", Proceedings of the 10th International Conference on Solid-State Sensors Actuators (Transducers 99), June 7 - 10, 1999, Sendai, Japan, S. 1830 - 33, ist ein MEMS-Schalter mit einem gebogenen Schaltelement beschrieben, das in Form eines Cantilever-Balkens als freitragendes Element ausgestaltet ist. Das Schaltelement ist oberhalb einer Bodenelektrode mit einem Ende auf einem Substrat befestigt, wobei der übrige Bereich des Schaltelements bogenförmig nach oben gerichtet ist und vom Substrat wegragt. Beim Anlegen einer Schaltspannung legt sich das nach oben gebogene Schaltelement durch elektrostatische Kräfte an die Bodenelektrode an, so dass das freie Ende des Schaltelements mit einer Signalleitung in Kontakt gerät. Ohne die anliegende Schaltspannung wird das Schaltelement durch eine elastische Zugspannung zurück in die nach oben gerichtete Position gebracht, in der es von der Signalleitung weit entfernt ist. Beim Hin- und Herschalten zwischen den beiden Schaltzuständen bewegt sich das Schaltelement wie die Zunge eines Frosches.

[0007] Allgemein besteht bei den MEMS-Schaltern das Problem, dass die elastischen Rückstellkräfte in der Regel sehr klein sind, so dass die Gefahr besteht, dass das Schaltelement durch Adhäsion an der Oberfläche der Signalleitung anhaftet. Dadurch mangelt es den Schaltelementen oftmals an einer ausreichenden Zuverlässigkeit, die für Langzeiteinsätze beispielsweise im Weltraum notwendig ist.

[0008] Deshalb wurde versucht, das Schaltelement stärker auszugestalten, um dadurch stärkere Rückstellkräfte zu erreichen. Jedoch reichen dabei die elektrostatischen Kräfte in den meisten Fällen nicht aus, um zuverlässig die Schaltvorgänge zu bewirken.

[0009] Die EP-A-1 246 216 beschreibt ein elektrostatisches Mikro-Relais, bei dem auf einem Substrat ein in Form einer Brückenkonstruktion ausgebildetes Schaltelement vorgesehen ist, welches an zwei seitlich bezüglich einer zu schaltenden Signalleitung diagonal versetzt angeordneten Punkten getragen ist. Das Schaltelement ist weder in Form eines freitragenden Arms ausgebildet, noch zeigt es einen bogenförmigen elastischen Biegebereich, welcher sich bei Einwirkung der elektrostatischen Kraft fortschreitend an eine Elektrodenanordnung annähert.

[0010] Aus der JP 2002-100276 A ist ein Mikro-Schalter bekannt, bei welchem ein Signalleiter und ein Schaltelement mit zwei beidseitig parallel zu den Signalleitern angeordneten Schaltarmen vorgesehen ist, wobei die Schaltarme jeweils einen elastischen Biegebereich haben und an einem freien Ende durch eine über dem Signalleiter positionierte Brücke miteinander verbunden sind. Die Schaltarme sind planar, nicht gebogen, ausgebildet. Dieser bekannte Schalter ist auch kein Hochfrequenz-Schalter, da die gezeigte Leitungsführung keiner definierten Impedanzführung entspricht, und zum Schal-

ten von Hochfrequenzen daher nicht geeignet ist.

[0011] Bei einem aus der US 6 373 682 B1 bekannten Mikro-Schalter ist eine zur Erzeugung einer auf das Schaltelement wirkenden elektrostatischen Kraft vorgesehene Elektrodenanordnung zwischen zwei Isolations-

[0012] Bei einer aus WO 02/073673 A bekannten Anordnung eines mikro-elektromechanischen Schalters sind Schaltelement und Steuerelektroden in einer Mikrokammer angeordnet, eine mit dem Gegenstand der vor-

[0013] Bei der US 2002/0030566 A1 sind Schaltelement und eine zur Erzeugung der auf das Schaltelement wirkenden elektrostatischen Kraft vorgesehene Elektrode wiederum auf der Vorderseite des Substrats vorgesehen.

[0014] Im Oberbegriff der Ansprüche 1 bzw. 11 wird ein Stand der Technik als bekannt vorausgesetzt, wie er der EP-A-1 026 718 zu entnehmen ist. Diese beschreibt ein elektrostatisch gesteuertes Mikro-Relais, bei welchem auf einem Basiselement ein Paar von getrennten Elektroden angeordnet sind, die sich zwischen zwei parallel angeordneten Signalleitern erstrecken. Über diesen Elektroden ist ein in Form eines bogenförmiges Blattes ausgebildetes Schaltelement vorgesehen, das mit beiden Enden an den jeweiligen Elektroden befestigt ist und bei Anlegen einer Schaltspannung zwischen einer der Elektroden und dem Schaltelement jeweils zu der einen oder der anderen der Elektroden angezogen wird. Dabei verbinden sich quer über das Schaltelement erstreckende und seitlich über dieses hinausragende Kontaktbereiche die jeweiligen Signalleiter. Bei dieser bekannten elektrostatisch gesteuerten Mikro-Relais-Einrichtung ist die zur Erzeugung der auf das Schaltelement wirkenden elektrostatischen Kraft vorgesehene Elektrodenanordnung gebildet durch eine direkt unter dem Schaltelement angeordnete Bodenelektrode, verbunden mit den oben erläuterten Problemen hinsichtlich Adhäsions- bzw. Rückstellkräften. Das Schaltelement kann auch eine andere Form haben, oder auch nur an einem seiner Enden mit dem feststehenden Teil (Basissubstrat) bzw. Elektroden verbunden sein.

[0015] Als Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen verbesserten Hochfrequenz-MEMS-Schalter zu schaffen, welcher insbesondere eine hohe Langzeitzuverlässigkeit aufweisen soll. Außerdem soll bei geringem Platzbedarf eine höhere mechanische Stabilität und eine größere Schaltkraft erreicht wird.

[0016] Diese Aufgabe wird gelöst durch den Hochfrequenz-MEMS-Schalter mit gebogenem Schaltelement gemäß Patentanspruch 1 und durch das Verfahren zur Herstellung eines Hochfrequenz-MEMS-Schalters mit gebogenem Schaltelement gemäß Patentanspruch 11. Weitere vorteilhafte Merkmale, Aspekte und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

[0017] Der Hochfrequenz-MEMS-Schalter gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst einen Signalleiter, der auf einem Substrat angeordnet ist, ein länglich geformtes Schaltelement, das einen gebogenen elastischen Biegebereich aufweist und freitragend auf dem Substrat befestigt ist, und eine Elektrodenanordnung zur Erzeugung einer auf das Schaltelement wirkenden elektrostatischen Kraft, um das Schaltelement zum Signalleiter hin zu biegen, wobei das Schaltelement in seiner Längsrichtung parallel zum Signalleiter angeordnet ist und einen Kontaktbereich aufweist, der sich quer zum Schaltelement teilweise oder vollständig über den Signalleiter erstreckt, und wobei sich der elastische Biegebereich des Schaltelements bei Einwirkung der elektrostatischen Kraft parallel zur Signalleitung fortschreitend an die Elektrodenanordnung annähert.

[0018] Der erfindungsgemäße MEMS-Schalter umfasst einen Signalleiter, der auf einem Substrat angeordnet ist, ein länglich geformtes Schaltelement, das einen elastischen Biegebereich aufweist und freitragend auf dem Substrat befestigt ist, sowie eine Elektrodenanordnung zur Erzeugung einer auf das Schaltelement wirkenden elektrostatischen Kraft, um das Schaltelement zum Signalleiter hin zu biegen, wobei das Schaltelement in seiner Längsrichtung parallel zum Signalleiter angeordnet ist und einen Kontaktbereich aufweist, der sich quer zum Schaltelement zumindest teilweise über den Signalleiter erstreckt, wobei sich der elastische Biegebereich des Schaltelements bei Einwirkung der elektrostatischen Kraft fortschreitend in einer Richtung parallel zum Signalleiter an die Elektrodenanordnung annähert, und wobei das Schaltelement in seinem elastischen Biegebereich gebogen ausgestaltet ist. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass die zur Erzeugung einer auf das Schaltelement wirkenden elektrostatischen Kraft vorgesehene Elektrodenanordnung durch eine unterhalb des Substrats angeordnete Elektrode gebildet ist.

[0019] Bei dem erfindungsgemäßen Hochfrequenz-MEMS-Schalter wird die erforderliche Spannung zum Schließen des Elements gering gehalten, wobei dennoch ein großer Schaltweg möglich ist, so dass der Abstand im offenen Zustand groß ist und dadurch die Kapazität gering ist. Durch die Anordnung des Schaltelements in seiner Längsrichtung parallel zum Signalleiter wird auch eine weitere Miniaturisierung erreicht, wobei das Schaltelement dennoch relativ lang ausgestaltet werden kann und dadurch eine höhere mechanische Stabilität und eine größere Schaltkraft erreicht wird. Insbesondere ist auch eine größere Rückstellkraft bzw. stärkere Ausgestaltung des Schaltelements möglich. Aufgrund der großen möglichen Länge und Fläche des Schaltelements können größere elektrostatische Kräfte einerseits und größere Rückstellkräfte bzw. eine dickere Ausgestaltung des Schaltelements andererseits erzielt werden.

[0020] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass das Substrat ein hochhohmiges Substrat ist, das auf seiner Rückseite (Unterseite) eine die Elektrodenanordnung bildende Metallisierung trägt.

[0021] Bevorzugt umfasst das Schaltelement mindestens zwei Schaltarme mit gebogenem elastischem Biegebereich, die beidseitig des Signalleiters angeordnet sind und sich in ihrer Längsrichtung parallel zum Signalleiter erstrecken, wobei die Schaltarme durch eine über dem Signalleiter positionierte Brücke miteinander verbunden sind, die durch den jeweiligen Kontaktbereich gebildet wird. Durch die beidseitige Anordnung mit brückenartigem Kontaktbereich wird die Zuverlässigkeit des MEMS-Schalters noch weiter erhöht, da noch größere Rückstellkräfte und elektrostatische Kräfte bei geringem Platz- und Energiebedarf erzielt werden können und dadurch bei geringem Platz- und Energiebedarf eine besonders hohe mechanische Stabilität und Schaltkraft erzielt wird. Vorteilhafterweise wird die Elektrodenanordnung durch mindestens eine Boden- oder Basiselektrode gebildet, die unter dem Schaltelement flächig auf dem Substrat angeordnet ist, um das Schaltelement elektrostatisch anzuziehen. Die Basiselektrode oder Bodenelektrode ist im Fall von beidseitig angeordneten Schaltarmen unterhalb jedes Schaltarmes angeordnet.

[0022] Die Elektrodenanordnung erstreckt sich vorteilhafterweise parallel zur Substratoberfläche, um das Schaltelement durch die elektrostatische Kraft in seinem Biegebereich fortschreitend zur Substratoberfläche hinzuziehen. Der gebogene Biegebereich wird bevorzugt durch bimorphes Material gebildet.

[0023] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung sieht vor, dass der Biegebereich zur Erzeugung einer Zugspannung eine z.B. durch Laserheating angeschmolzene Oberfläche aufweist. Dies hat den Vorteil, dass die Zugspannung durch entsprechende Auswahl der Dauer und Intensität der Laserbestrahlung entsprechend den jeweiligen Anforderungen eingestellt werden kann. Die Zugspannung kann auch durch geeignete Steuerung der Schichtabscheidung bei der Herstellung erreicht werden.

[0024] Vorteilhafterweise ist das Schaltelement in Dünnschichttechnologie gefertigt. Dadurch wird eine kostengünstige Herstellung und kleine Bauweise erreicht.

[0025] Bevorzugt gerät der Kontaktbereich des Schaltelements bei Einwirken der elektrostatischen Kraft in direkten Kontakt mit dem Signalleiter. Alternativ dazu nimmt der Kontaktbereich bei Einwirken der elektrostatischen Kraft einen minimalen Abstand zum Signalleiter ein, d.h. er tritt nicht in direkten Kontakt mit dem Signalleiter. Dadurch ergibt sich eine große Kapazität zwischen dem Signalleiter und dem Schaltelement, so dass die Signalleitung unterbrochen ist. Der minimale Abstand kann z.B. durch eine geeignete dielektrische Isolation erzielt bzw. aufrechterhalten werden. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines Hochfrequenz-MEMS-Schalters mit gebogenem Schaltelement werden nachfolgende Schritte durchgeführt: Ausbilden einer Signalleitung auf einem Substrat; gegebenenfalls Ausbilden einer Elektrodenanordnung an dem Substrat, beispielsweise wenn das Substrat keine Eigenleitung aufweist; Formung eines länglichen Schaltelements

mit einem gebogenen elastischen Biegebereich auf dem Substrat derart, dass es in seinem Biegebereich von der Elektrodenanordnung durch eine elektrostatische Kraft der Länge nach zum Substrat hin gezogen wird und sich durch elastische Rückstellkraft im Biegebereich vom Substrat entfernt; wobei das Schaltelement in seiner Längsrichtung parallel zum Signalleiter derart angeordnet wird, dass sich ein seitlich hervorstehender Kontaktbereich des Schaltelements quer über den Signalleiter erstreckt, so dass sich der elastische Biegebereich des Schaltelements bei Einwirkung der elektrostatischen Kraft parallel zur Signalleitung fortschreitend an die Elektrodenanordnung annähert, um den Kontaktbereich dem Signalleiter anzunähern, wobei das Schaltelement in seinem elastischen Biegebereich gebogen ausgestaltet wird. Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass die Elektrodenanordnung durch eine unterhalb des Substrats angeordnete Elektrode gebildet ist.

[0026] Durch das Verfahren wird auf kostengünstige Weise ein besonders zuverlässiger Hochfrequenz-MEMS-Schalter mit gebogenem Schaltelement hergestellt, der eine erhöhte mechanische Stabilität und erhöhte Schaltkräfte aufweist.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass das Substrat als hochohmiges Substrat hergestellt wird, und dass auf der Rückseite (bzw. "Unterseite") des hochohmigen Substrats eine die Elektrodenanordnung bildende Metallisierung ausgebildet wird.

[0028] Vorteilhafterweise wird das Schaltelement so geformt, dass es mindestens zwei Schaltarme mit gebogenem elastischen Biegebereich aufweist, wobei die Schaltarme beidseitig des Signalleiters angeordnet werden, so dass sie sich in ihrer Längsrichtung parallel zum Signalleiter erstrecken und die Schaltarme durch eine über dem Signalleiter positionierte Brücke miteinander verbunden sind, die durch den jeweiligen Kontaktbereich gebildet wird.

[0029] Die Brücke kann als Kontaktbereich ausgebildet werden.

[0030] Die Oberfläche des Biegebereichs kann zur Erzeugung einer Zugspannung mittels Laserheating angeschmolzen werden.

[0031] Weiter ist geschützt, dass das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines MEMS-Schalters der weiter oben angegebenen Art dient.

[0032] Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren beschrieben, in denen

Fig. 1 als perspektivische Darstellung einen Hochfrequenz-MEMS-Schalters gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung schematisch zeigt;

Fig. 2 eine Draufsicht auf eine Anordnung von MEMS-Schaltern gemäß weiterer bevorzugter Ausführungsformen schematisch zeigt; und

Fig. 3a - f verschiedene Schalter-Konfigurationen von MEMS-Schaltern schematisch darstellen.

[0033] Figur 1 zeigt als besonders bevorzugtes Ausführungsbeispiel einen MEMS-Schalter 10, der für Hochfrequenz-Anwendungen geeignet ist und zwei parallele Schaltarme aufweist. Der MEMS-Schalter 10 umfasst ein Substrat 11, auf dem eine Signalleitung 12 ausgebildet ist, die sich in einer Richtung über das Substrat 11 erstreckt. Auf dem Substrat 11 ist ein nach oben gebogenes Schaltelement 13 befestigt, das in diesem Beispiel zwei länglich ausgestaltete, parallel zueinander verlaufende Schaltarme 13a, 13b umfasst. Die Schaltarme 13a, 13b des Schaltelements 13 sind jeweils mit einem Ende flächig auf der Substratoberfläche und parallel dazu befestigt, während ihr übriger Teil nach oben gebogen ist, so dass das jeweils andere Ende der Schaltarme 13a, 13b von der Substratoberfläche entfernt ist. Zu diesem Zweck weist jeder Schaltarm 13a, 13b des Schaltelements 13 einen zentralen elastischen Biegebereich 131, 132 auf, der in der hier gezeigten Schalterstellung nach oben gebogen bzw. gekrümmt ist.

[0034] Auf der Substratoberfläche ist unterhalb jedes Schaltarms 13a, 13b des Schaltelements 13 eine Elektrodenanordnung vorgesehen, die in diesem Beispiel durch zwei Bodenelektroden 14a, 14b gebildet wird. Die Bodenelektroden 14a, 14b dienen dazu, auf die freitragend befestigten Schaltarme 13a, 13b bei Vorliegen einer Schaltspannung eine elektrostatische Anziehungskraft auszuüben, so dass sie sich zur Substratoberfläche hin bewegen, wobei die elastischen Biegebereiche 131, 132 eine gerade Gestalt annehmen.

[0035] Das Schaltelement 13 umfasst weiterhin einen Kontaktbereich 15, der sich in diesem Beispiel quer über die Signalleitung 12 erstreckt. Wenn durch die Elektrodenanordnung 14a, 14b eine elektrostatische Kraft auf die Biegebereiche 131, 132 und die freien Enden der Schaltarme 13a, 13b ausgeübt wird, nähert sich der Kontaktbereich 15 an die Signalleitung 12 an, um einen direkten elektrischen Kontakt oder eine kapazitive Ankopplung an die Signalleitung 12 zu bewirken. In diesem Fall befindet sich der MEMS-Schalter 10 in seinem geschlossenen Zustand.

[0036] Das Schaltelement 13 ist in seinen Biegebereichen 131, 132 mit einer Zugspannung versehen, die eine Rückstellkraft bewirkt, so dass die Schaltarme 13a, 13b zurück in den gebogenen Zustand gelangen, wenn keine elektrostatische Anziehungskraft durch die Bodenelektroden 14a, 14b auf die Schaltarme 13a, 13b ausgeübt wird. In diesem Fall nimmt der MEMS-Schalter 10 seinen offenen Zustand ein, bei dem der Kontaktbereich 15 von der Signalleitung 12 entfernt ist und somit kein elektrischer Kontakt und keine oder nur eine sehr geringe kapazitive Kopplung an die Signalleitung 12 vorliegt.

[0037] Das Schaltelement 13 ist mit seinen als längliche Balken ausgestalteten, freitragenden Schaltarmen 13a, 13b in seiner Längsrichtung parallel zur Signallei-

tung 12 angeordnet. Dabei bildet der Kontaktbereich 15 eine Brücke, die die beiden Schaltarme 13a, 13b im Bereich ihrer freien Enden miteinander verbindet und sich in diesem Ausführungsbeispiel vollständig über die Signalleitung 12 hinweg quer zu dieser erstreckt. Bei Einwirkung der elektrostatischen Kraft durch die Bodenelektroden 14a, 14b auf die Schaltarme 13a, 13b nähern sich die Schaltarme 13a, 13b schrittweise bzw. fortlaufend von ihren befestigten Enden her an die Bodenelektroden 14a, 14b an, in einer Richtung, die parallel zur Signalleitung 12 verläuft.

[0038] Figur 2 zeigt in einer Draufsicht von oben eine Anordnung von MEMS-Schaltern 20, bei denen die einzelnen Schaltelemente 23 jeweils nur einen länglichen, freitragenden Schaltarm 23a aufweisen, der parallel zur Signalleitung 22 verläuft. Jedes der Schaltelemente 23 hat ein oder mehrere seitlich am jeweiligen Schaltarm 23a angeordneten Kontaktbereich 25, der sich quer über die Signalleitung 22 erstreckt. Dabei kann sich der jeweilige Kontaktbereich 25 entweder vollständig quer über die gesamte Breite der Signalleitung 22 erstrecken oder auch nur teilweise. Es können an einem Schaltelement 23 auch mehrere Kontaktbereiche 25 seitlich angeordnet sein, wie auf der rechten Seite in Figur 2 gezeigt.

[0039] Die Schaltelemente 23, die in Figur 2 im mittleren Bereich auf beiden Seiten der Signalleitung 22 angeordnet sind, sind so ausgerichtet, dass ihre gegenüberliegenden Kontaktbereiche 25 oberhalb der Signalleitung 22 zahnartig ineinander greifen.

[0040] Der in Figur 1 gezeigte Hochfrequenz-MEMS-Schalter 10 ist in einer Shunt-Konfiguration ausgeführt. In der nach oben gerichteten Position der als Cantilever-Elemente bzw. freitragend angeordneten Schaltarme 13a, 13b ist die Kopplungskapazität aufgrund des Abstandes zwischen der Signalleitung 12 und dem Kontaktbereich 15 sehr gering. Daher ist der Einfluss auf das Fortschreiten einer elektromagnetischen Welle auf der Signalleitung 12 ebenfalls gering. Wenn eine Anregungsspannung oder Schaltspannung an der Struktur anliegt, wird das gekrümmte Schaltelement 13 dazu veranlasst, sich nach unten zu biegen, so dass der brückenartige Kontaktbereich 25 an die Signalleitung 12 oder in deren unmittelbarer Nähe gelangt, so dass eine hohe Kapazität zwischen der Signalleitung 12 und dem Schaltelement 13 entsteht, wodurch das Fortschreiten der elektromagnetischen Welle auf der Übertragungs- oder Signalleitung 12 behindert bzw. unterbrochen wird.

[0041] Die gezeigten Schaltelemente 13, 23 mit ihren Schaltarmen 13a, 13b, 23a und Kontaktbereichen 15, 25 sind in Dünnschichttechnologie gefertigt, wobei die gebogenen Schaltelemente mit ihren Schaltarmen parallel zur Signalleitung 12, 22 angeordnet sind und in der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform durch eine Brücke, die durch den Kontaktbereich 15 gebildet wird, verbunden sind. Die Signalleitung 12, 22, die unterhalb der Brücke bzw. dem Kontaktbereich 15, 25 auf dem Substrat 11, 21 verläuft, hat typischerweise einen elektrischen Widerstand von beispielsweise ca. 50 Ω . Sie kann aber auch

mit anderen Widerständen ausgestaltet sein, je nach den Erfordernissen der jeweiligen Anwendung. Der MEMS-Schalter bildet ein HF-Relais.

[0042] Die Figuren 3a - f zeigen als Beispiele verschiedenartige Schalter-Konfigurationen, die mit dem erfindungsgemäßen MEMS-Schalter möglich sind. Figur 3a und 3b zeigen eine Schaltung in Serie mit der Signalleitung 12, wobei in Figur 3a die Signalleitung unterbrochen und in Figur 3b die Signalleitung 12 geschlossen ist.

[0043] Figur 3c und d zeigen eine Shunt-Schalter-Konfiguration, bei der die Schaltung durch einen elektrischen Nebenschluss erfolgt. Dabei ist in Figur 3c die Signalleitung 12 geschlossen, da der Schalter offen ist und somit kein Nebenschluss vorliegt. In Figur 3d ist die Signalleitung 12 unterbrochen, da der Schalter geschlossen ist und ein Nebenschluss vorliegt.

[0044] Die Figuren 3e und f zeigen eine Kombination von Serien- und Shunt-Konfiguration, wobei in Figur 3e der Schalter in der Signalleitung 12 geöffnet ist und in Figur 3f der Nebenschluss geschlossen ist.

[0045] Das Substrat 11, 21 ist aus einem Halbleitermaterial gefertigt, während die Signalleitung 12, 22 und das Schaltelement 13, 23 aus hochleitendem Material gefertigt werden, wie beispielsweise Al, Cu, Au, usw.

[0046] Bei der Herstellung des MEMS-Schalters werden zunächst elektrisch leitende Schichten als Signalleitung und Elektrodenanordnung auf dem Substrat ausgebildet und anschließend wird das Schaltelement 13, 23 freitragend auf der Substratoberfläche befestigt. Zur Erzeugung der Biegung und der Rückstellkraft im Biegebereich des Schaltelements wird seine Oberfläche mittels Laserheating angeschmolzen, um die notwendige Zugspannung im elastischen Biegebereich zu schaffen. Es kann aber auch bimorphes Material verwendet werden, um die Krümmung und die Rückstellkraft in den gebogenen Zustand hervorzurufen. Anstelle einer Bodenelektrode kann zur Erzeugung einer elektrostatischen Anziehungskraft auch ein hochohmiges Substrat verwendet werden, wobei dieses auf seiner Rückseite mit einer Metallisierung 17 versehen ist, die als Masse dient, wobei diese Möglichkeit zur Veranschaulichung ebenfalls in Fig. 1 schematisch dargestellt ist.

[0047] Bei der Herstellung kann die in bekannten Verfahren verwendete sogenannte Opferschicht durch eine geeignete Oberflächenmodifikation, z.B. durch Hydrophobisierung, ersetzt werden. Dadurch wird der Abstand zwischen dem Schaltelement und der Bodenelektrode oder der Substratoberfläche noch geringer, so dass erheblich größere elektrische Felder und entsprechend kleinere Betriebsspannungen erzielt werden.

[0048] Durch die gebogene Form des Schaltelements in seiner Längsrichtung parallel zur Richtung der Signalleitung wird ein besonders großer Schaltweg möglich, so dass der Abstand im offenen Zustand bei geringer Größe des Schaltelements dennoch groß gestaltet werden kann und dadurch die Kapazität im offenen Zustand gering ist. Durch die erfindungsgemäße Anordnung wird eine höhere mechanische Stabilität erreicht. Darüberhinaus

können die Schaltelemente mit einer größeren Rückstellkraft versehen werden, da aufgrund der geometrischen Anordnung der Elektroden und der Schaltelemente eine größere elektrostatische Anziehungskraft erzielt werden kann, wobei dennoch im geöffneten Zustand eine geringe Störkapazität vorliegt. Insbesondere in weitgehend autonomen Systemen und vor allem bei Satellitenanwendungen wird durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Hochfrequenz-MEMS-Schalters eine verbesserte Langzeitstabilität und eine größere Zuverlässigkeit erzielt. Dabei wird auch die Gefahr der Adhäsion oder allgemein eines Hängenbleibens oder Verhakens des Schaltelements an der Substratoberfläche oder der Oberfläche der Signalleitung reduziert bzw. eliminiert.

Patentansprüche

1. MEMS-Schalter, umfassend: einen Signalleiter (12; 22), der auf einem Substrat (11; 21) angeordnet ist, ein länglich geformtes Schaltelement (13; 23), das einen gebogen ausgestalteten elastischen Biegebereich (131, 132) aufweist und auf dem Substrat (11; 21) befestigt ist, und eine Elektrodenanordnung (14a, 14b) zur Erzeugung einer auf das Schaltelement (13; 23) wirkenden elektrostatischen Kraft, um das Schaltelement (13; 23) zum Signalleiter (12; 22) hin zu biegen, welcher an dem Substrat (11; 21) ausgebildet ist, wobei das Schaltelement (13; 23) in seiner Längsrichtung parallel zum Signalleiter (12; 22) angeordnet ist und einen Kontaktbereich (15; 25) aufweist, der sich quer zum Schaltelement zumindest teilweise über dem Signalleiter (12; 22) erstreckt, wobei sich der elastische Biegebereich (131, 132) des Schaltelements (13; 23) bei Einwirkung der elektrostatischen Kraft fortschreitend in einer Richtung parallel zum Signalleiter (12; 22) an die Elektrodenanordnung (14a, 14b) annähert, um den Kontaktbereich (15; 25) dem Signalleiter (12; 22) anzunähern, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schaltelement (13; 23) freitragend auf dem Substrat (11; 21) befestigt ist, einen mit einem Ende flächig auf der Substratoberfläche und parallel dazu befestigten Schaltarm (13a, 13b; 23a) bildet und in seinem elastischen Biegebereich (131, 132) gebogen ausgestaltet ist, und der übrige Teil des durch das Schaltelement (13; 23) gebildeten Schaltarms (13a, 13b; 23a) nach oben gebogen und von der Substratoberfläche entfernt ist, und **dass** die Elektrodenanordnung (14a, 14b) durch eine unterhalb des Substrats angeordnete Elektrode gebildet ist.
2. MEMS-Schalter nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Substrat (11; 21) ein hochohmiges Substrat ist, das auf seiner Rückseite (Unterseite) eine die Elektrodenanordnung bildende

Metallisierung (17) trägt.

3. MEMS-Schalter nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schaltelement (13) mindestens zwei Schaltarme (13a, 13b) mit gebogenem elastischen Biegebereich (131, 132) umfasst, die beidseitig des Signalleiters (12) parallel zu diesem angeordnet sind und an einem freien Ende durch eine über dem Signalleiter (12) positionierte Brücke miteinander verbunden sind. 5
4. MEMS-Schalter nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brücke den Kontaktbereich (15) bildet. 10
5. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der gebogene Biegebereich (131, 132) durch bimorphes Material gebildet ist. 15
6. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Biegebereich (131, 132) zur Erzeugung einer Zugspannung eine durch Laserheating angeschmolzene Oberfläche aufweist. 20
7. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schaltelement (13; 23) in Dünnschichttechnologie gefertigt ist. 25
8. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Einwirken der elektrostatischen Kraft der Kontaktbereich (15; 25) in direkten Kontakt mit dem Signalleiter (12; 22) gerät. 30
9. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei Einwirken der elektrostatischen Kraft der Kontaktbereich (15; 25) einen minimalen Abstand zum Signalleiter (12; 22) einnimmt. 35
10. MEMS-Schalter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der MEMS-Schalter als Hochfrequenz-MEMS-Schalter (10; 20) zum Führen und zeitweise Behindern und/oder Unterbrechen einer darin fortschreitenden elektromagnetischen Welle ausgestaltet ist. 40
11. Verfahren zur Herstellung eines Hochfrequenz-MEMS-Schalters mit den Schritten: 45
 - Ausbilden eines Signalleiters (12; 22) auf einem Substrat (11; 21),
 - Ausbilden einer Elektrodenanordnung (14a, 14b) an dem Substrat (11; 21),
 - Formung eines länglichen Schaltelements (13; 50

23) mit einem elastischen Biegebereich (131, 132) auf dem Substrat (11; 21) derart, dass es in dem Biegebereich (131, 132) von der Elektrodenanordnung (14a, 14b) durch eine elektrostatische Kraft der Länge nach zum Substrat (11; 21) hin gezogen wird und sich durch eine elastische Rückstellkraft im Biegebereich (131, 132) vom Substrat (11, 21) entfernt, wobei das Schaltelement in seiner Längsrichtung parallel zum Signalleiter (12; 22) derart angeordnet wird, dass sich ein seitlich hervorstehender Kontaktbereich (15; 25) des Schaltelements (13; 23) quer über den Signalleiter (12; 22) erstreckt, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schaltelement (13; 23) freitragend auf dem Substrat (11; 21) befestigt ist, einen mit einem Ende flächig auf der Substratoberfläche und parallel dazu befestigten Schaltarm (13a, 13b; 23a) bildet und in seinem elastischen Biegebereich (131, 132) gebogen ausgestaltet wird, und der übrige Teil des durch das Schaltelement (13; 23) gebildeten Schaltarms (13a, 13b; 23a) nach oben gebogen und von der Substratoberfläche entfernt ausgestaltet wird, so dass sich der elastische Biegebereich (131, 132) des Schaltelements (13; 23) bei Einwirkung der elektrostatischen Kraft fortschreitend in einer Richtung parallel zum Signalleiter (12; 22) an die Elektrodenanordnung (14a, 14b) annähert, um den Kontaktbereich (15; 25) dem Signalleiter (12; 22) anzunähern, und **dass** die Elektrodenanordnung (14a, 14b) durch eine unterhalb des Substrats angeordnete Elektrode gebildet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Substrat (11; 21) als hochohmiges Substrat hergestellt wird, und dass auf der Rückseite (Unterseite) des hochohmigen Substrats (11; 21) eine die Elektrodenanordnung bildende Metallisierung (17) ausgebildet wird.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schaltelement (13) mindestens zwei Schaltarme (13a, 13b) mit gebogenem elastischen Biegebereich (131, 132) umfasst, die beidseitig des Signalleiters (12) parallel zu diesem angeordnet werden und an einem freien Ende durch eine über dem Signalleiter (12) positionierte Brücke miteinander verbunden sind.
14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Brücke als Kontaktbereich (15) ausgebildet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Oberfläche des

Biegebereichs (131, 132) zur Erzeugung einer Zugspannung mittels Laserheating angeschmolzen wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zur Herstellung eines MEMS-Schalters nach einem der Ansprüche 1 bis 10 dient.

Claims

1. MEMS switch comprising: a signal conductor (12; 22), which is arranged on a substrate (11; 21), an elongate switching element (13; 23), which has a bent, elastic bending region (131, 132) and is fastened on the substrate (11; 21), and an electrode arrangement (14a, 14b) for generating an electrostatic force acting on the switching element (13; 23) in order to bend the switching element (13; 23) towards the signal conductor (12; 22), which is formed on the substrate (11; 21), wherein the switching element (13; 23) is arranged parallel to the signal conductor (12; 22) in the longitudinal direction of said switching element and has a contact region (15; 25), which extends transversely to the switching element at least partially over the signal conductor (12; 22), wherein the elastic bending region (131, 132) of the switching element (13; 23) progressively, in a direction parallel to the signal conductor (12; 22), moves closer to the electrode arrangement (14a, 14b) in the case of the effect of the electrostatic force in order to move the contact region (15; 25) closer to the signal conductor (12; 22), **characterized in that** the switching element (13; 23) is fastened in self-supporting fashion on the substrate (11; 21), forms a switching arm (13a, 13b; 23a), which is fastened with one end flat on the substrate surface and parallel thereto, and is bent in its elastic bending region (131, 132), and the remaining part of the switching arm (13a, 13b; 23a) formed by the switching element (13; 23) is bent upwards and removed from the substrate surface, and **in that** the electrode arrangement (14a, 14b) is formed by an electrode arranged beneath the substrate.
2. MEMS switch according to Claim 1, **characterized in that** the substrate (11; 21) is a highly resistive substrate, which has a metallization (17) forming the electrode arrangement on the rear side (lower side) of said substrate.
3. MEMS switch according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the switching element (13) comprises at least two switching arms (13a, 13b) having a bent elastic bending region (131, 132), which switching arms are arranged on both sides of the signal conductor (12) parallel to said signal conductor and are

connected to one another at a free end by a link positioned over the signal conductor (12).

4. MEMS switch according to Claim 3, **characterized in that** the link forms the contact region (15).
5. MEMS switch according to one of the preceding claims, **characterized in that** the bent bending region (131, 132) is formed by bimorphous material.
6. MEMS switch according to one of the preceding claims, **characterized in that** the bending region (131, 132) has a surface which is partially fused by laser heating in order to produce a tensile stress.
7. MEMS switch according to one of the preceding claims, **characterized in that** the switching element (13; 23) is manufactured using thin film technology.
8. MEMS switch according to one of the preceding claims, **characterized in that**, in the case of the effect of the electrostatic force, the contact region (15; 25) comes into direct contact with the signal conductor (12; 22).
9. MEMS switch according to one of the preceding claims, **characterized in that**, in the case of the effect of the electrostatic force, the contact region (15; 25) assumes a minimum spacing from the signal conductor (12; 22).
10. MEMS switch according to one of the preceding claims, **characterized in that** the MEMS switch is in the form of a radiofrequency MEMS switch (10; 20) for guiding and temporarily impeding and/or interrupting an electromagnetic wave progressing thereon.
11. Method for producing a radiofrequency MEMS switch having the following steps:
 - forming a signal conductor (12; 22) on a substrate (11; 21), forming an electrode arrangement (14a, 14b) on the substrate (11; 21), forming an elongate switching element (13; 23) with an elastic bending region (131, 132) on the substrate (11; 21) in such a way that it is drawn lengthways towards the substrate (11; 21) by an electrostatic force in the bending region (131, 132) by the electrode arrangement (14a, 14b) and is removed from the substrate (11; 21) by an elastic restoring force in the bending region (131, 132), wherein the switching element is arranged parallel to the signal conductor (12; 22) in the longitudinal direction of said switching element in such a way that a laterally protruding contact region (15; 25) of the switching element (13; 23) extends transversely over the signal

conductor (12; 22),

characterized in that the switching element (13; 23) is fastened in self-supporting fashion on the substrate (11; 21), forms a switching arm (13a, 13b; 23a), which is fastened with one end flat on the substrate surface and parallel thereto, and is configured so as to be bent in its elastic bending region (131, 132), and the remaining part of the switching arm (13a, 13b; 23a) formed by the switching element (13; 23) is configured so as to be bent upwards and removed from the substrate surface, with the result that the elastic bending region (131, 132) of the switching element (13; 23), progressively in a direction parallel to the signal conductor (12; 22), moves closer to the electrode arrangement (14a, 14b) in the case of the effect of the electrostatic force in order to move the contact region (15; 25) closer to the signal conductor (12; 22), and **in that** the electrode arrangement (14a, 14b) is formed by an electrode arranged beneath the substrate.

12. Method according to Claim 11, **characterized in that** the substrate (11; 21) is in the form of a highly resistive substrate, and **in that** a metallization (17) forming the electrode arrangement is formed on the rear side (lower side) of the highly resistive substrate (11; 21).

13. Method according to Claim 11 or 12, **characterized in that** the switching element (13) comprises at least two switching arms (13a, 13b) having a bent elastic bending region (131, 132), which are arranged on both sides of the signal conductor (12) parallel thereto and are connected to one another at a free end by a link positioned over the signal conductor (12).

14. Method according to Claim 13, **characterized in that** the link is in the form of a contact region (15).

15. Method according to one of Claims 11 to 14, **characterized in that** the surface of the bending region (131, 132) is partially fused by means of laser heating in order to produce a tensile stress.

16. Method according to one of Claims 11 to 15, **characterized in that** it is used for producing an MEMS switch according to one of Claims 1 to 10.

Revendications

1. Interrupteur MEMS comprenant : un conducteur de signaux (12 ; 22) qui est disposé sur un substrat (11 ; 21), un élément de commutation (13 ; 23) formé de manière oblongue, lequel présente une zone de cintrage élastique (131, 132) réalisée de manière cintrée,

et lequel est fixé sur le substrat (11 ; 21), et

un agencement d'électrode (14a, 14b) pour générer une force électrostatique agissant sur l'élément de commutation (13 ; 23) afin d'assurer le cintrage de l'élément de commutation (13 ; 23) vers le conducteur de signaux (12 ; 22) qui est réalisé sur le substrat (11 ; 21),

dans lequel l'élément de commutation (13 ; 23) est disposé dans sa direction longitudinale parallèlement au conducteur de signaux (12 ; 22) et présente une zone de contact (15 ; 25) qui s'étend transversalement à l'élément de commutation, au moins partiellement au-dessus du conducteur de signaux (12 ; 22),

dans lequel, sous l'effet de la force électrostatique, la zone de cintrage élastique (131, 132) de l'élément de commutation (13 ; 23) se rapproche progressivement de l'agencement d'électrode (14a, 14b) dans une direction parallèle au conducteur de signaux (12 ; 22) afin que la zone de contact (15 ; 25) se rapproche du conducteur de signaux (12 ; 22),

caractérisé en ce que

l'élément de commutation (13 ; 23) est fixé en porte-à-faux sur le substrat (11 ; 21), forme un bras de commutation (13a, 13b ; 23a) fixé en nappe avec une extrémité sur la surface de substrat et parallèlement à celle-ci, et est réalisé de manière cintrée dans sa zone de cintrage élastique (131, 132), et la partie restante du bras de commutation (13a, 13b ; 23a) formé par l'élément de commutation (13 ; 23) étant cintrée vers le haut et étant éloignée de la surface de substrat,

et **en ce que** l'agencement d'électrode (14a, 14b) est formé par une électrode disposée au-dessous du substrat.

2. Interrupteur MEMS selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le substrat (11 ; 21) est un substrat à valeur ohmique élevée qui porte une métallisation (17) formant l'agencement d'électrode sur sa face arrière (face de dessous).

3. Interrupteur MEMS selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'élément de commutation (13) comprend au moins deux bras de commutation (13a, 13b) avec une zone de cintrage élastique (131, 132) cintrée, lesquels sont disposés des deux côtés du conducteur de signaux (12), parallèlement à celui-ci, et sont reliés l'un à l'autre au niveau d'une extrémité libre grâce à un pont positionné au-dessus du conducteur de signaux (12).

4. Interrupteur MEMS selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** le pont forme la zone de contact (15).

5. Interrupteur MEMS selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la zone de cin-

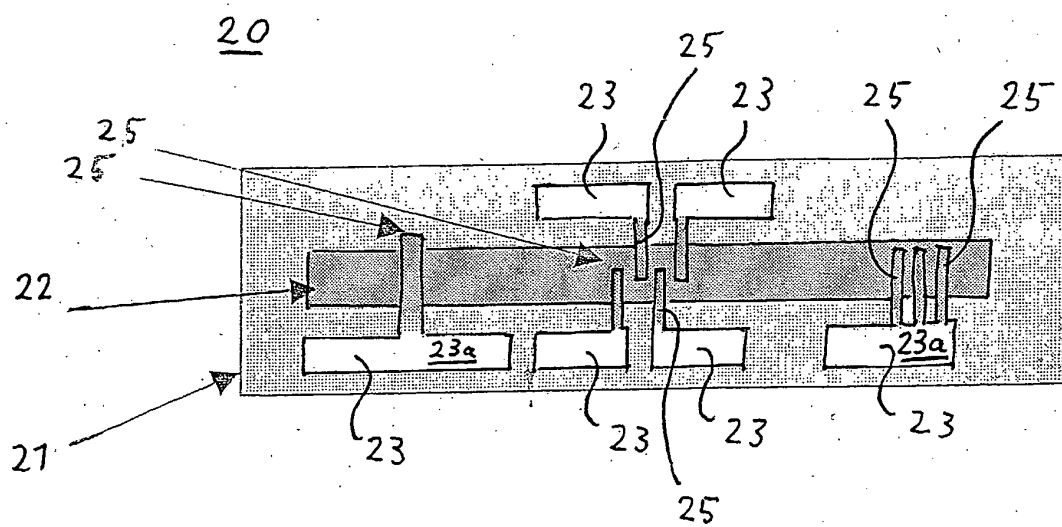
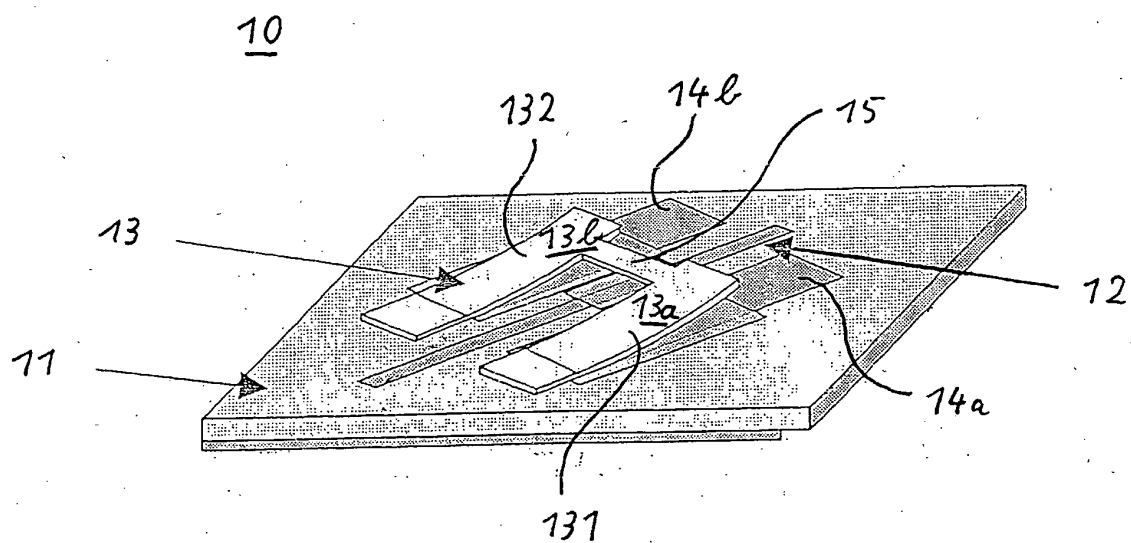
trage (131, 132) cintrée est formée par un matériau bimorphe.

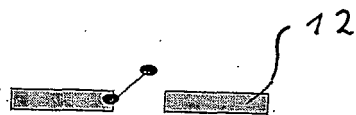
6. Interrupteur MEMS selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la zone de cintrage élastique (131, 132) présente une zone fondue par chauffage laser pour la génération d'un effort de traction. 5
7. Interrupteur MEMS selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'élément de commutation (13 ; 23) est fabriqué selon la technologie à couche mince. 10
8. Interrupteur MEMS selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, sous l'effet de la force électrostatique, la zone de contact (15 ; 25) entre en contact direct avec le conducteur de signaux (12 ; 22). 15
9. Interrupteur MEMS selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, sous l'effet de la force électrostatique, la zone de contact (15 ; 25) adopte un espacement minimal par rapport au conducteur de signaux (12 ; 22). 20
10. Interrupteur MEMS selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'interrupteur MEMS est réalisé en tant qu'interrupteur MEMS haute fréquence (10 ; 20) pour le guidage d'une onde électromagnétique se propageant à l'intérieur de celui-ci et pour l'empêchement temporaire de celle-ci et/ou l'interruption de celle-ci. 30
11. Procédé pour la fabrication d'un interrupteur MEMS haute fréquence avec les étapes suivantes : 35
 - la réalisation d'un conducteur de signaux (12 ; 22) sur un substrat (11 ; 21),
 - la réalisation d'un agencement d'électrode (14a, 14b) au niveau du substrat (11 ; 21),
 - la formation d'un élément de commutation oblong (13 ; 23) avec une zone de cintrage élastique (131, 132) sur le substrat (11 ; 21) de manière à ce que, dans la zone de cintrage (131, 132), il soit tiré sur la longueur vers le substrat (11 ; 21) par l'agencement d'électrode (14a, 14b) grâce à une force électrostatique et que dans la zone de cintrage (131, 132), il s'éloigne du substrat (11, 21) grâce à une force de rappel élastique, 40
 - dans lequel l'élément de commutation est disposé dans sa direction longitudinale parallèlement au conducteur de signaux (12 ; 22) de manière à ce qu'une zone de contact (15 ; 25) dépassant latéralement de l'élément de commutation (13 ; 23) s'étende transversalement au-dessus du conducteur de signaux (12 ; 22), 50

caractérisé en ce que

l'élément de commutation (13 ; 23) est fixé en porte-à-faux sur le substrat (11 ; 21), forme un bras de commutation (13a, 13b ; 23a) fixé en nappe avec une extrémité sur la surface de substrat et parallèlement à celle-ci, et est réalisé de manière cintrée dans sa zone de cintrage élastique (131, 132), et **en ce que** la partie restante du bras de commutation (13a, 13b ; 23a) formé par l'élément de commutation (13 ; 23) est réalisée de manière cintrée vers le haut et est éloignée de la surface de substrat, de sorte que sous l'effet de la force électrostatique, la zone de cintrage élastique (131, 132) de l'élément de commutation (13 ; 23) se rapproche progressivement de l'agencement d'électrode (14a, 14b) dans une direction parallèle au conducteur de signaux (12 ; 22) afin que la zone de contact (15 ; 25) se rapproche du conducteur de signaux (12 ; 22), et **en ce que** l'agencement d'électrode (14a, 14b) est formé par une électrode disposée au-dessous du substrat.

12. Procédé selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** le substrat (11 ; 21) est fabriqué en tant que substrat à valeur ohmique élevée, et **en ce qu'**une métallisation (17) formant l'agencement d'électrode est réalisée sur la face arrière (face de dessous) du substrat (11 ; 21) à valeur ohmique élevée. 25
13. Procédé selon la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** l'élément de commutation (13) comprend au moins deux bras de commutation (13a, 13b) avec une zone de cintrage élastique (131, 132) cintrée, lesquels sont disposés des deux côtés du conducteur de signaux (12), parallèlement à celui-ci, et sont reliés l'un à l'autre au niveau d'une extrémité libre grâce à un pont positionné au-dessus du conducteur de signaux (12). 30
14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** le pont est réalisé en tant que zone de contact (15). 45
15. Procédé selon l'une des revendications 11 à 14, **caractérisé en ce que** la surface de la zone de cintrage (131, 132) est fondue au moyen d'un chauffage laser pour la génération d'un effort de traction. 50
16. Procédé selon l'une des revendications 11 à 15, **caractérisé en ce qu'**il sert à la fabrication d'un interrupteur MEMS selon l'une des revendications 1 à 10. 55

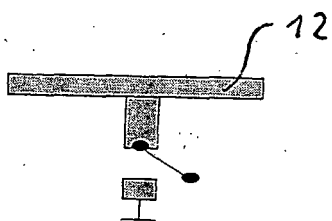




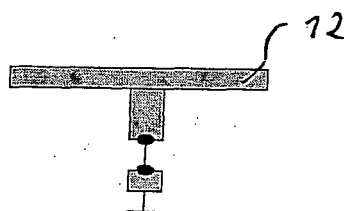
a)



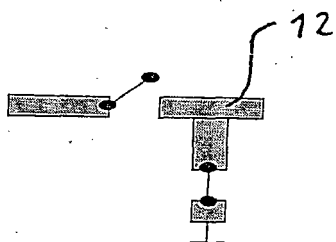
b)



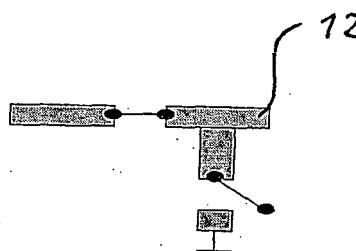
c)



d)



e)



f)

Fig. 3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

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

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 1246216 A [0009]
- JP 2002100276 A [0010]
- US 6373682 B1 [0011]
- WO 02073673 A [0012]
- US 20020030566 A1 [0013]
- EP 1026718 A [0014]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **GABRIEL M. REBEIZ et al.** RF-MEMS-Switches, Switch Circuits, and Phase Shifters. *Revue HF No. 2/2001* [0004]
- **C. CHANG ; P. CHANG.** Innovative Micromachined Microwave Switch with very Low Insertion Loss. *Proceedings of the 10th International Conference on Solid-State Sensors Actuators (Transducers 99)*, 07. Juni 1999, 1830-33 [0006]