

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. Februar 2002 (14.02.2002)

PCT

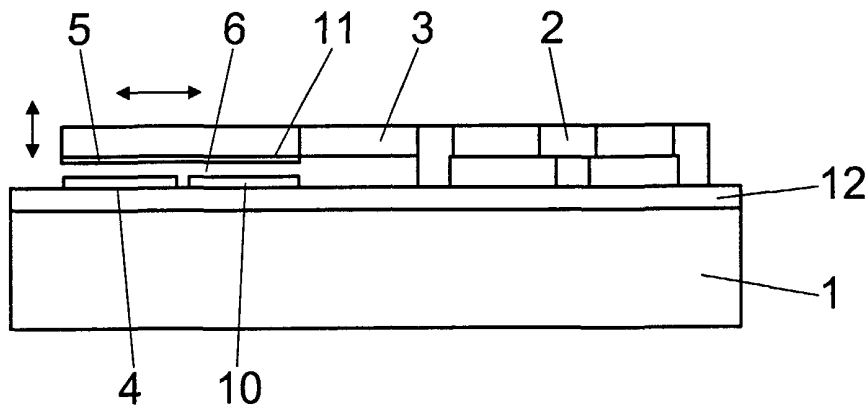
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/12117 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: B81B 3/00, H01G 5/14 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E. V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, 80636 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/02960 (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): QUENZER, Hans-Joachim [DE/DE]; Edendorfer Strasse 170, 25524 Itzehoe (DE). WAGNER, Bernd [DE/DE]; Hohe Strasse 11, 25582 Looft (DE). WENK, Beatrice [DE/DE]; Gartenstrasse 2, 25524 Oelixedorf (DE).
- (22) Internationales Anmeldedatum: 2. August 2001 (02.08.2001) (74) Anwalt: GAGEL, Roland; Landsberger Strasse 480a, 81241 München (DE).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 100 38 723.3 9. August 2000 (09.08.2000) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ASSEMBLY HAVING A VARIABLE CAPACITANCE

(54) Bezeichnung: ANORDNUNG MIT VARIABLER KAPAZITÄT



(57) Abstract: The invention relates to an assembly having a variable capacitance and to a method for operating said assembly. In the assembly, a modifiable covering or a modifiable distance of at least one first (4) and one second electrically conductive region (5) forms a variable capacitance. The first electrically conductive region (4) is formed on or inside a substrate (1) and the second electrically conductive region (5) is formed on or in an actuator element (3) of a first micromechanical actuator (2). Said actuator (2) is arranged on the substrate (1) in such a manner that it can displace the actuator element (3) with the second region (5) along a surface of the substrate (1) to different positions in relation to the first region (4), at which the second region (5) at least partially overlaps the first region (4). In addition, holding means (6, 10, 11) are provided, which pull or push the actuator element (3) into different positions against the substrate (1) or against a mechanical stop (13) on the substrate (1), and they hold said actuator element (3) in these positions. The inventive assembly permits a variable capacitance to be realized which, according to its respective adjustment, exhibits a high level of stability against external influences.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung mit variabler Kapazität sowie ein Verfahren zum Betreiben der Anordnung. Bei der Anordnung wird durch eine veränderbare Überdeckung oder einen veränderbaren Abstand zumindest eines ersten (4) und eines zweiten elektrisch leitfähigen Bereiches (5) eine variable Kapazität gebildet. Der erste elektrisch leitfähige Bereich (4) ist an oder in einem Substrat (1) und der zweite elektrisch leitfähige Bereich (5) an oder in einem Aktorelement (3) eines ersten mikromechanischen Aktors (2) ausgebildet. Der Aktor (2) ist derart am Substrat (1) angeordnet, dass er eine Bewegung des Aktorelementes (3) mit dem zweiten Bereich (5) entlang

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/12117 A1



(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, DE, JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

einer Oberfläche des Substrates (1) an unterschiedliche Positionen relativ zum ersten Bereich (4) ausführen kann, an denen der zweite Bereich (5) den ersten Bereich (4) zumindest teilweise überdeckt. Weiterhin sind Haltemittel (6, 10, 11) vorgesehen, die das Aktorelement (3) in den unterschiedlichen Positionen gegen das Substrat (1) oder einen mechanischen Anschlag (13) am Substrat (1) ziehen oder drücken und in diesen Positionen halten können. Mit der erfindungsgemäßen Anordnung wird eine variable Kapazität realisiert, die nach ihrer jeweiligen Einstellung eine hohe Stabilität gegenüber äußeren Einflüssen aufweist.

Anordnung mit variabler Kapazität

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung
5 mit variabler Kapazität gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1 sowie ein Verfahren zum Einstellen einer vorgebbaren Kapazität unter Einsatz dieser Anordnung.

Das Hauptanwendungsgebiet der vorliegenden Anordnung
10 liegt im Bereich der Hochfrequenztechnik, insbesondere bei Applikationen in der Kommunikationstechnik. In diesem Bereich besteht eine zunehmende Nachfrage nach einstellbaren Hochfrequenzkapazitäten mit einer möglichst großen Güte. Bisher werden hierfür Halbleiterbauelemente, sogenannte Varaktoren, eingesetzt, die
15 jedoch maximale Q-Faktoren zwischen 20 und 40 erreichen. Gerade für den Einsatz in Mobiltelefonen bzw. Handy's sind jedoch Q-Faktoren von mindestens 100 wünschenswert. Diese hohen Q-Faktoren in einem Schwingkreis
20 lassen sich derzeit nur mit mikromechanischen Kondensatoren erreichen.

Stand der Technik

Bei mikrotechnisch hergestellten Kondensatoren
25 handelt es sich um mechanisch bewegliche Elemente, mit denen der Abstand oder Überdeckungsgrad zweier Kondensatorplatten verändert werden kann, um unterschiedliche Kapazitäten einzustellen. Beim Einsatz derart beweglicher
30 Elemente lässt sich jedoch eine Reaktion des Bau-

- 2 -

elementes auf äußere Beschleunigungen nicht vollständig ausschließen. Hinzu kommt, dass bei den im Hochfrequenzbereich gerade bei Mobiltelefonen eingesetzten Frequenzen von 0,8 - 2 GHz und den angestrebten niedrigen Dämpfungen in erster Linie metallische Werkstoffe als Grundmaterial für die beweglichen Elemente eingesetzt werden. Deren spezifische Dichte ist deutlich größer als etwa die von Silizium, so dass die Masse des beweglichen Elements durch diese Materialien zusätzlich erhöht wird. Niedrige Antriebsspannungen und daraus resultierende niedrige Antriebskräfte für die beweglichen Elemente machen in Verbindung mit den erwünschten Stellwegen von einigen 10 µm vergleichsweise weiche Aufhängungen notwendig.

Auf der anderen Seite sollte eine einstellbare Kapazität für den mobilen Einsatz möglichst stabil sein, so dass sowohl thermische als auch mechanische Einwirkungen von außen nicht zu einer Drift der Kapazität führen können. Diese Widerstandsfähigkeit insbesondere gegen Beschleunigungen ist mit den obigen Eigenschaften der bekannten mikromechanischen Anordnungen nicht zu erreichen.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Anordnung mit variabler Kapazität sowie ein Verfahren zum Betrieb dieser Anordnung anzugeben, die eine hohe Stabilität der jeweils eingestellten Kapazität gegenüber äußeren Einflüssen gewährleisten.

30 Darstellung der Erfindung

Die Aufgabe wird mit der Anordnung nach Anspruch 1 sowie mit dem Verfahren nach Anspruch 18 gelöst. Vor-

- 3 -

teilhafte Ausgestaltungen der Anordnung sowie des Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche.

Bei der erfindungsgemäßen Anordnung wird die variable Kapazität durch eine veränderbare Überdeckung oder einen veränderbaren Abstand zumindest eines ersten und eines zweiten elektrisch leitfähigen Bereiches gebildet. Unter einer Überdeckung ist in der vorliegenden Patentanmeldung eine zumindest teilweise gegenseitige Überdeckung der beiden Bereiche bei einer Blickrichtung im Wesentlichen senkrecht oder parallel zur Oberfläche des Substrates der Anordnung zu verstehen.

Der erste elektrisch leitfähige Bereich ist hierbei auf oder in dem Substrat und der zweite elektrisch leitfähige Bereich an oder in einem Aktorelement eines ersten mikromechanischen Aktors ausgebildet. Beide Bereiche sind vorzugsweise durch ebene Schichten oder plattenförmige Elemente gebildet und stehen bei jeder Einstellung der Kapazität im Wesentlichen parallel zueinander. Dies ist jedoch keine notwendige Voraussetzung für die Funktion der Anordnung.

Der erste mikromechanische Aktor ist derart ausgebildet und am Substrat angeordnet, dass er eine Bewegung des Aktorelementes mit dem zweiten Bereich entlang der Oberfläche des Substrates an unterschiedliche Positionen relativ zum ersten Bereich ausführen kann, an denen der zweiten Bereich den ersten Bereich zumindest teilweise überdeckt. Der erste Bereich ist hierbei vorzugsweise in oder unterhalb der Substratoberfläche und parallel zu dieser angeordnet. Der erste Bereich kann sich jedoch auch in Form eines separaten Aufbaus senkrecht zur Substratoberfläche erstrecken.

- 4 -

In den unterschiedlichen Positionen, die vom Aktorelement eingenommen werden können, liegen somit unterschiedliche Abstände und/oder Überdeckungsgrade zwischen erstem und zweitem Bereich vor, woraus eine unterschiedliche Kapazität resultiert. Erfindungsgemäß sind auf dem Substrat weiterhin Haltemittel vorgesehen, die das Aktorelement in den unterschiedlichen Positionen gegen das Substrat oder einen mechanischen Anschlag am Substrat ziehen oder drücken und in dieser Position halten können. Diese Haltefunktion der vorliegenden Anordnung verhindert eine Veränderung der jeweils eingestellten Positionen und somit der eingestellten Kapazität bei Einwirkung äußerer Einflüsse. Hierdurch wird ein Maximum an Stabilität der eingestellten Kapazität erreicht.

Die Fixierung des Aktorelementes gegenüber dem Substrat bzw. dem ersten Bereich kann sowohl durch eine elektrostatische Haltekraft als auch durch ein weiteres rein mechanisch auf das Aktorelement einwirkendes Halteelement sichergestellt werden.

Die Haltemittel für die Realisierung einer elektrostatischen Haltefunktion können hierbei sehr einfach durch Ausbildung weiterer elektrisch leitfähiger Bereiche am oder im Aktorelement und am oder im Substrat erreicht werden, die sich bei den unterschiedlichen einzustellenden Positionen jeweils gegenüberliegen, so dass das Aktorelement durch Anlegen einer Spannungsdifferenz zwischen diesen weiteren elektrisch leitfähigen Bereichen gegen die Substratoberfläche gezogen wird. Selbstverständlich muss zur Vermeidung eines Kurzschlusses entweder eine Isolationsschicht über dem zusätzlichen elektrisch leitfähigen Bereich am Aktorele-

ment oder am Substrat ausgebildet sein, oder die jeweiligen Bereiche werden durch Abstandshalter oder Anschlüsse am Substrat oder am Aktorelement auf Abstand gehalten. Dies gilt auch für den ersten und den zweiten
5 elektrisch leitfähigen Bereich, die die variable Kapazität bilden. Auch diese Bereiche dürfen sich bei einer Realisierung der Haltestellung nicht direkt berühren.

Die Haltemittel können auch durch einen thermomechanischen Mikroaktor realisiert werden. Dieser Mikroaktor ist relativ zum ersten mikromechanischen Aktor derart ausgebildet und angeordnet, dass er bei einer thermischen Anregung im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche des Substrates ausgelenkt wird und ein erster Abschnitt des Aktorelementes des ersten mikromechanischen Aktors in den unterschiedlichen einzustellenden oder einstellbaren Positionen bis unter einen
15 zweiten Abschnitt des thermomechanischen Aktors - wenn dieser sich in einem ausgelenkten Zustand befindet - reicht. Durch Abschalten des thermomechanischen Aktors wird dann das Aktorelement des ersten mikromechanischen Aktors zwischen dem zweiten Abschnitt des thermomechanischen Aktors und dem Substrat eingeklemmt. Durch diese Klemmwirkung lässt sich in vorteilhafter Weise eine
20 Haltefunktion realisieren, die keine Energiezufuhr beim Halten erfordert. Zum Lösen dieser Haltestellung wird der thermomechanische Aktor wiederum beheizt, so dass er sich ausdehnt bzw. ausgelenkt wird und somit den ersten mikromechanischen Aktor wieder freigibt.

30 Zusätzlich können die jeweils übereinanderliegenden Abschnitte der beiden Aktoren entsprechende Strukturen aufweisen, die ein Ineinandergreifen bzw. Ineinanderhaken bei den jeweiligen Haltepositionen ermögli-

chen. Dies stellt eine besonders stabile Haltestellung sicher.

Der erste mikromechanische Aktor kann beispielsweise als elektrostatischer oder als thermomechanischer Aktor ausgeführt sein. Selbstverständlich sind bei entsprechender Eignung auch nach anderen Antriebsprinzipien arbeitende Mikroaktoren einsetzbar. Elektrostatische Mikroaktoren eignen sich jedoch gerade für den Einsatz in einem netzunabhängigen Gerät wie beispielsweise einem Mobiltelefon aufgrund ihres geringen Energieverbrauchs in besonderer Weise. Weiterhin können mit einem elektrostatischen Antrieb sehr schnelle Schaltzeiten im Bereich von 100 μ s realisiert werden.

Dem Fachmann ist der Aufbau geeigneter mikromechanischer Aktoren geläufig, die für den Einsatz in der erfindungsgemäßen Anordnung geeignet sind. Zur Herstellung derartiger Mikroaktoren sowie der vorliegenden Anordnung sind die bekannten Verfahren der Mikrostrukturtechnik einsetzbar. Für die Herstellung der variablen Kondensatoren kommen hierbei insbesondere Verfahren in Frage, die entweder Polysilizium oder Metalle für die Realisierung der eigentlichen mechanischen Komponenten einsetzen. Beide Herstellungstechniken gehören zum Bereich der Oberflächenmikromechanik.

Beim Betrieb der erfindungsgemäßen Anordnung werden der erste mikromechanische Aktor bestimmungsgemäß ausgelenkt und bei Erreichen der gewünschten Position bzw. Kapazität die Haltemittel zum Halten dieser Position angesteuert. Die jeweils aktuelle Position des Aktorelementes kann dabei vorzugsweise durch die Messung einer geeigneten Vergleichskapazität (bzw. Differenz-

Kapazität) auf dem Substrat erfolgen. Die Messung dieser Vergleichskapazität während der Auslenkung ermöglicht eine sehr hohe Auflösung bzw. sehr genaue Einstellung der variablen Kapazität. Die Vergleichskapazität kann durch zusätzliche kleine Kapazitäten, die beispielsweise neben der eigentlichen variablen Kapazität (Hochfrequenz-Kapazität) liegen, gebildet werden. Diese zusätzlichen Kapazitäten können als positionsempfindliche Sensoren eingesetzt werden. Die eigentliche Zielkapazität wird allerdings erst beim Aktivieren der Haltefunktion erreicht, da diese Haltefunktion zumindest in der bevorzugten Ausführungsform der Anordnung den Abstand zwischen dem ersten und dem zweiten elektrisch leitfähigen Bereich nochmals verändert. Beim Betreiben der vorliegenden Anordnung in einer Closed-Loop-Anordnung unter Einbeziehung der zusätzlichen Vergleichskapazität bzw. Vergleichskapazitäten kann somit die gewünschte Kapazität der Anordnung mit hoher Genauigkeit eingestellt werden.

20 In einer vorteilhaften Betriebsweise wird der erste mikromechanische Aktor mit seiner Eigenfrequenz periodisch angesteuert. Dies lässt sich insbesondere bei einem elektrostatischen Antrieb dieses Aktors auf einfache Weise realisieren. Der zweite elektrisch leitfähige Bereich überstreicht dabei periodisch den ersten elektrisch leitfähigen Bereich und wird bei Erreichen der gewünschten Position durch Ansteuern der Haltemittel fixiert, so dass der gewünschte Kapazitätswert festgehalten wird. Durch die periodische Ansteuerung lassen sich große Auslenkungen des Aktorelementes mit vergleichsweise niedrigen Antriebsspannungen erreichen. Weiterhin wird bei dieser Betriebsvariante der Anord-

nung vorzugsweise die oben dargelegte Closed-Loop-Anordnung zur Positionsbestimmung eingesetzt.

Der Arbeitsbereich der erfindungsgemäßen Anordnung lässt sich dadurch erweitern, dass eine Reihe von zusätzlichen schaltbaren Kapazitäten auf dem Substrat angeordnet wird. Diese schaltbaren Zusatzkapazitäten bestehen beispielsweise aus festen Kapazitäten, die über geeignete Hochfrequenzschalter der variablen Kapazität hinzugeschaltet werden können. Die zusätzlich schaltbaren diskreten Kapazitäten können dabei auch in deren Kapazitäten in einer binären Anordnung ausgeführt werden. Durch die Kombination eines solchen Kapazitätsnetzwerks mit der eigentlichen variablen Kapazität kann ein weiter Bereich an Kapazitätswerten eingestellt werden.

In einer weiteren alternativen Ausgestaltung werden mehrere der erfindungsgemäßen Anordnungen auf einem Substrat angeordnet, deren variable Kapazitäten parallel geschaltet werden.

Die erfindungsgemäße Anordnung sowie das zugehörige Verfahren werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens nochmals beispielhaft erläutert. Hierbei zeigen:

Figur 1 ein erstes Beispiel für die Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Anordnung mit elektrostatischen Antrieben;

Figur 2 eine 3D-Ansicht des Beispiels der Figur 1;

Figur 3 ein zweites Beispiel für eine Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung mit thermomechanischen Antrieben; und

Figur 4 ein weiteres Beispiel einer Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung.

Wege zur Ausführung der Erfindung

10 Figur 1 zeigt ein erstes Beispiel für eine Ausgestaltungsmöglichkeit der erfindungsgemäßen Anordnung. Bei dieser Ausgestaltung werden elektrostatisch betriebene Aktoren zur Veränderung der Kapazität und zur Realisierung der Haltefunktion eingesetzt. Der erste mikro-
15 kromechanische Aktor 2, im Folgenden als lateraler Aktor bezeichnet, erzeugt einen Hub seines Aktorelementes 3 parallel zur Oberfläche des Substrates 1. Mit diesem lateralen Aktor 2 wird somit die Einstellung der Überdeckung des ersten elektrisch leitfähigen Bereiches 4
20 und des zweiten elektrisch leitfähigen Bereichs 5 zur Bildung der Kapazität erreicht. Der erste elektrisch leitfähige Bereich 4 ist hierbei auf einer Isolations-schicht 12 auf der Oberfläche des Substrates 1 angeordnet. Der zweite elektrisch leitfähige Bereich 5 ist an
25 der Unterseite des Aktorelementes 3 ausgebildet.

Die Haltefunktion wird durch einen zweiten mikro-mechanischen Aktor 6 erreicht, der durch zwei sich gegenüberliegende elektrisch leitfähige Bereiche 10, 11 auf der Oberfläche des Substrates 1 bzw. an der Unter-
30 seite des Aktorelementes 3 gebildet wird. Dieses im Folgenden als vertikaler Aktor bezeichnete Haltemittel zieht das Aktorelement 3 nach Erreichen seiner Sollposition auf das Substrat 1 herunter und fixiert auf die-

- 10 -

se Weise die Position des Aktorelementes 3 bzw. des zweiten Bereiches 5 relativ zum ersten Bereich 4. Die Bewegungsrichtungen des vertikalen und des lateralen Aktors sind in der Abbildung durch die Pfeile angedeutet. Bei beiden Aktoren handelt es sich um Aktoren mit elektrostatischen Antrieben. Das Anziehen des ersten Aktorelementes 3 an das Substrat 1 mit dem vertikalen Aktor 6 erfolgt bis auf entsprechende Anschlagstrukturen auf dem Substrat, die in der Figur nicht dargestellt sind. Diese isolierten Auflagen verhindern einen elektrischen Kurzschluss der durch die beiden elektrisch leitfähigen Bereiche 4, 5 gebildeten variablen Kapazität.

Figur 2 zeigt eine dreidimensionale Ansicht einer erfindungsgemäßen Anordnung, wie sie in Figur 1 dargestellt ist. Auch in dieser Figur ist wiederum das Substrat 1 mit dem ersten elektrisch leitfähigen Bereich 4 zu erkennen, auf dem der laterale Aktor 2 mit einem entsprechenden Aktorelement 3 angeordnet ist. Das Aktorelement 3 wird hierbei durch balkenförmige Elemente gebildet, die an ihrem Ende ein plattenförmiges Element 5 als zweiten elektrisch leitfähigen Bereich tragen. Neben diesem zweiten Bereich 5 sind elektrisch leitfähige Bereiche 11 vorgesehen, die zusammen mit am Substrat 1 befindlichen elektrisch leitfähigen Bereichen 10 den vertikalen Aktor 6 bilden. Der laterale elektrostatische Antrieb des ersten Aktors 2 erfolgt über Parallelplatten-Kondensatoren 8, die kammförmig angeordnet sind. Damit wird eine Bewegung längs der y-Achse erreicht, wie sie durch zwei Pfeile angedeutet ist. Um einen möglichst großen lateralen Hub mit dem elektrostatischen Antrieb zu erreichen, ist das Aktorele-

- 11 -

ment 3 im vorliegenden Beispiel mit einer mechanischen Umsetzung ausgestattet, die den erreichbaren Hub etwa um einen Faktor 5 - 6 steigert. Diese Umsetzung wird durch zwei Biegegelenke 9 erreicht, die die Bewegung in y-Richtung in eine Bewegung in x-Richtung umsetzen und zugleich vergrößern. Die resultierende Bewegung in x-Richtung ist wiederum durch einen Pfeil angedeutet. Durch diese mechanische Umsetzung ist es möglich, mit elektrostatischen Antriebsspannungen von unter 12 V Hübe von 20 - 30 μm zu erreichen.

Die Zuführungen 7 zu den Aktoren 2, 6 bzw. der variablen Kapazität 4, 5 sind in der Figur schematisch angedeutet.

Figur 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel für eine Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung. Bei diesem Beispiel werden thermomechanische Aktoren sowohl zur Erzeugung der lateralen Auslenkung wie auch zur Realisierung der Haltefunktion eingesetzt. In der Figur ist wiederum das Substrat 1 mit dem darauf befindlichen ersten elektrisch leitfähigen Bereich 4 zu erkennen. Auf dem Substrat sind weiterhin der horizontale thermomechanische Aktor 2 sowie der vertikale thermomechanische Aktor 6 dargestellt. Der erste thermomechanische Aktor 2 bewegt die obere Platte 5 des Hochfrequenz-Kondensators in horizontaler Richtung über das Substrat 1. Durch Änderung der Überdeckung der beiden Kondensatorplatten 4, 5 können die unterschiedlichen Kapazitäten eingestellt werden. Der laterale Aktor 2 besteht hierbei aus einer Anordnung von Biegeelementen 3, die höher als breit sind. Bei einer Erwärmung durch einen integrierten Heizer unterhalb dieser Biegeelemente 3 bewegt sich der gesamte Aktor bzw. das gesamte Biege-

lement parallel zur Substratoberfläche. An dem Akto-
relement 3 ist der plattenförmige zweite elektrisch
leitfähige Bereich 5 unter einem sich in Bewegungsrich-
tung erstreckenden weiteren plattenförmigen Ausleger 14
5 angeordnet.

Der vertikale Aktor 6 besteht aus einem platten-
förmigen Element, dessen Breite deutlich größer als
dessen Dicke ist, und das an zwei Enden am Substrat 1
eingespannt ist. Durch diese Ausgestaltung biegt sich
10 die Platte bei Erwärmung senkrecht zur Oberfläche des
Substrates 1 aus. Die Erwärmung erfolgt durch einen
Stromfluss durch in die Platte integrierte Heizleiter
oder Heizschichten.

15 Durch das Einhalten einer bestimmten Reihenfolge
beim Ein- bzw. Ausschalten der beiden Aktoren 2, 6 kann
der laterale Aktor 2 durch Absenken des vertikalen Ak-
tors 6 in seiner Position festgehalten werden. Für das
Einstellen eines gewünschten Kapazitätswertes wird da-
20 her der laterale Aktor 2 aktiviert und in eine bestimm-
te Position gefahren, so dass der erforderliche Über-
deckungsgrad der beiden Kondensatorflächen 4, 5 vor-
liegt. Der laterale Aktor wird bei dieser Auslenkung
mit seinem Ausleger 14 bis unter einen Ausleger 15 des
25 vertikalen Aktors 6 geschoben, der sich zu diesem Zeit-
punkt ebenfalls in einer ausgelenkten Position befinden
muss. Durch Ausschalten des vertikalen Aktors 6 senkt
sich dieser auf den Ausleger 14 des lateralen Aktors 2
und klemmt ihn auf dem Substrat bzw. auf entsprechenden
30 Auflageflächen 13 auf dem Substrat fest. Die Auflage-
flächen 13 sind in der vergrößerten Darstellung im lin-
ken oberen Bereich der Figur zu erkennen. Durch die
Nutzung dieser mechanischen Klemmung entfällt der Nach-

teil des hohen Energiebedarfs thermomechanischer Aktoren. Die elektrische Leistung muss bei dieser Anordnung lediglich während der vergleichsweise kurzen Umschaltphasen zugeführt werden.

5 Die Verwendung thermomechanischer Aktoren hat andererseits den besonderen Vorteil, dass sich damit relativ große laterale Bewegungen und damit vergleichsweise große Einstellbereiche für die Kapazität erreichen lassen. In der Figur sind auch schematisch Strukturen zu erkennen, die ein Verhaken des Auslegers 14
10 des lateralen Aktors 2 mit dem Ausleger 15 des vertikalen Aktors 6 ermöglichen.

Figur 4 zeigt schließlich ein weiteres Ausführungsbeispiel für die Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Anordnung, bei der ein Deckelchip 16 als Schutz der Anordnung auf dem Substrat 1 angebracht wird. Die Anordnung selbst mit dem lateralen Aktor 2, dem Aktorelement 3 sowie der Kapazität 4, 5 entspricht der der
15 Figuren 1 und 2. In diesem Beispiel sind die Zuleitungen zur Hochfrequenz-Kapazität 4, 5 als Mikrostripleitungen 17 ausgeführt, um eine möglichst dämpfungsarme Zuleitung zu erreichen. Hierzu wird das Innere des Deckels 16, das im oberen Teil der Abbildung nochmals von
20 unten dargestellt ist, mit einer geeigneten Metallschicht 19 belegt. Diese Metallschicht 19 kann beispielsweise aus Kupfer, Gold oder Silber gefertigt werden. Der Deckel 16 kann bei der Herstellung der Anordnung entweder auf Wafer- oder auf Chipebene montiert
25 werden. In jedem Fall sollte der Deckel jedoch vor dem Vereinzeln des Wafers montiert werden, um ein Verschmutzen der Anordnung zu verhindern. Die Metall-

schicht 19 ist in diesem Beispiel von einem Glaslotrahmen 18 umgeben.

5

Bezugszeichenliste

	1	Substrat
	2	erster bzw. lateraler Mikroaktor
10	3	Aktorelement
	4	erster elektrisch leitfähiger Bereich
	5	zweiter elektrisch leitfähiger Bereich
	6	zweiter bzw. vertikaler Mikroaktor
	7	Zuleitungen
15	8	Parallelplatten-Kondensatoren
	9	Biegeelenke
	10	dritter elektrisch leitfähiger Bereich
	11	vierter elektrisch leitfähiger Bereich
	12	Isolationsschicht
20	13	Auflageflächen
	14	Ausleger am lateralen Aktor
	15	Ausleger am vertikalen Aktor
	16	Deckelchip
	17	Mikrostripleitung
25	18	Glaslotrahmen
	19	metallische Beschichtung

Patentansprüche

1. Anordnung mit variabler Kapazität, die durch eine veränderbare Überdeckung oder einen veränderbaren Abstand zumindest eines ersten (4) und eines zweiten elektrisch leitfähigen Bereiches (5) gebildet wird, wobei der erste elektrisch leitfähige Bereich (4) auf oder in einem Substrat (1) und der zweite elektrisch leitfähige Bereich (5) an oder in einem Aktorelement (3) eines ersten mikromechanischen Aktors (2) ausgebildet ist, der derart am Substrat (1) angeordnet ist, dass er eine Bewegung des Aktorelementes (3) mit dem zweiten Bereich (5) entlang einer Oberfläche des Substrates (1) an unterschiedliche Positionen relativ zum ersten Bereich (4) ausführen kann, an denen der zweite Bereich (5) den ersten Bereich (4) zumindest teilweise überdeckt, dadurch gekennzeichnet, dass Haltemittel (6, 10, 11) vorgesehen sind, die das Aktorelement (3) in den unterschiedlichen Positionen gegen das Substrat (1) oder einen mechanischen Anschlag (13) am Substrat (1) ziehen oder drücken und in diesen Positionen halten können.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Haltemittel (6, 10, 11) durch zumindest einen dritten elektrisch leitfähigen Bereich (10) am oder im Substrat (1) und einen vierten elektrisch leitfähigen Bereich (11) am oder im Akto-

relement (3) gebildet werden, die sich in den unterschiedlichen Positionen des Aktorelementes (3) zumindest teilweise überdecken und mit einer elektrischen Spannungsdifferenz beaufschlagbar sind.

5

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Haltemittel (6, 10, 11) durch einen zweiten mikromechanischen Aktor (6) gebildet werden.

10

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite mikromechanische Aktor (6) ein thermomechanischer Aktor ist, der derart ausgebildet und relativ zum ersten mikromechanischen Aktor (2) angeordnet ist, dass er bei einer thermischen Anregung im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche des Substrates (1) ausgelenkt wird und ein erster Abschnitt des Aktorelementes (3) des ersten mikromechanischen Aktors (2) in den unterschiedlichen Positionen bis unter einen zweiten zweiten Abschnitt des zweiten mikromechanischen Aktors (6) in einem ausgelenktem Zustand reicht.

15

20

- 25 5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass sich der zweite mikromechanische Aktor (6) aus ein oder mehreren balkenförmigen Elementen zusammensetzt, die beidseitig am Substrat (1) eingespannt sind.

30

6. Anordnung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet,

- dass der erste Abschnitt des Aktorelementes (3) des ersten mikromechanischen Aktors (2) als plattenförmiger Ausleger (14) ausgestaltet ist, der sich in Bewegungsrichtung des Aktorelementes (3) erstreckt.
- 5
7. Anordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Abschnitt des zweiten mikromechanischen Aktors (6) als plattenförmiger Ausleger (15) ausgestaltet ist, der sich entgegen der Bewegungsrichtung des Aktorelementes (3) des ersten mikromechanischen Aktors (2) erstreckt.
- 10
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der erste und der zweite Abschnitt derart ausgestaltet sind, dass sie ineinander greifen, wenn die thermische Anregung des zweiten mikromechanischen Aktors (6) beendet wird, während sich das Aktorelement (3) des ersten mikromechanischen Aktors (2) in den unterschiedlichen Positionen befindet.
- 15
- 20
9. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der erste mikromechanische Aktor (2) als elektrostatischer Mikroaktor ausgebildet ist.
- 25
10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der erste mikromechanische Aktor (2) einen
- 30

- 18 -

Antrieb mit kammartig angeordneten Parallelplattenkondensatoren (8) aufweist.

11. Anordnung nach Anspruch 9 oder 10,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass das Aktorelement (3) Biegegeelenke (9) zur
Vergrößerung eines mit dem Aktor (2) erreichbaren
Bewegungshubs aufweist.
- 10 12. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass der erste mikromechanische Aktor (2) als
thermomechanischer Mikroaktor ausgebildet ist.
- 15 13. Anordnung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass sich der erste mikromechanische Aktor (2) aus
ein oder mehreren balkenförmigen Elementen zusam-
mensetzt, die beidseitig am Substrat (1) einge-
20 spannt sind.
14. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass der erste (4) und der zweite Bereich (5) als
25 plattenförmige Bereiche oder Elemente ausgebildet
sind.
15. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass elektrische Zuführungen (7) zum ersten (4)
und zweiten Bereich (5) als Mikrostripleitungen
(17) ausgeführt sind und eine Schutzabdeckung (16)
für den oder die mikromechanischen Aktoren (2, 6)

- 19 -

auf dem Substrat (1) an einer Innenfläche eine Metallisierung (19) aufweist.

16. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass zusätzliche feste Kapazitäten auf dem Substrat (1) ausgebildet sind, die einzeln über Schaltelemente parallel zu der durch den ersten (4) und zweiten Bereich (5) gebildeten variablen
10 Kapazität schaltbar sind.
17. Anordnung, bestehend aus mehreren Anordnungen nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, deren variable Kapazitäten parallel geschaltet
15 sind.
18. Verfahren zum Einstellen einer vorgebbaren Kapazität mit einer Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, bei dem das Aktorelement (3) des ersten
20 mikromechanischen Aktors (2) auf eine Position bewegt wird, bei der der zweite elektrisch leitfähige Bereich (5) einen Abstand zu und eine zumindest teilweise Überdeckung mit dem ersten elektrisch leitfähigen Bereich (4) aufweist, die der vorgebbaren Kapazität entsprechen, und an dieser Position die Haltemittel (6, 10, 11) zum Halten angesteuert werden.
19. Verfahren nach Anspruch 18,
30 dadurch gekennzeichnet,
dass die jeweils aktuelle Position des Aktorelementes (3) über eine Messung einer Vergleichskapazität zwischen einem oder mehreren am Aktorelement

- 20 -

(3) und am Substrat (1) vorgesehenen Bereichen erfasst wird.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass der erste mikromechanische Aktor (2) mit seiner Resonanzfrequenz betrieben wird.

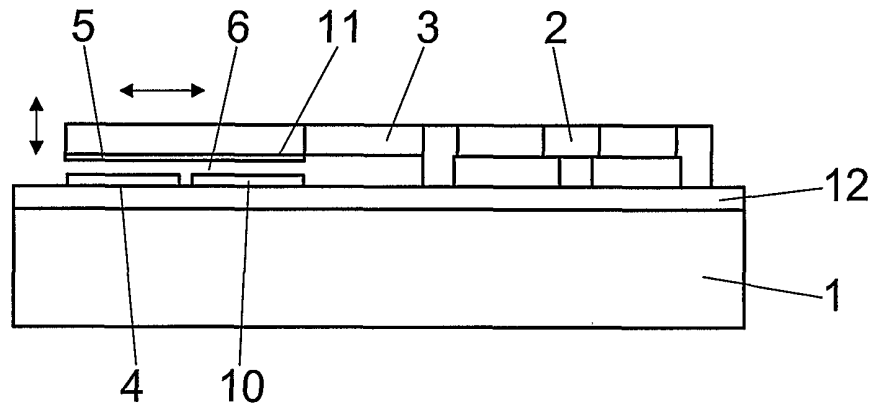


Fig. 1

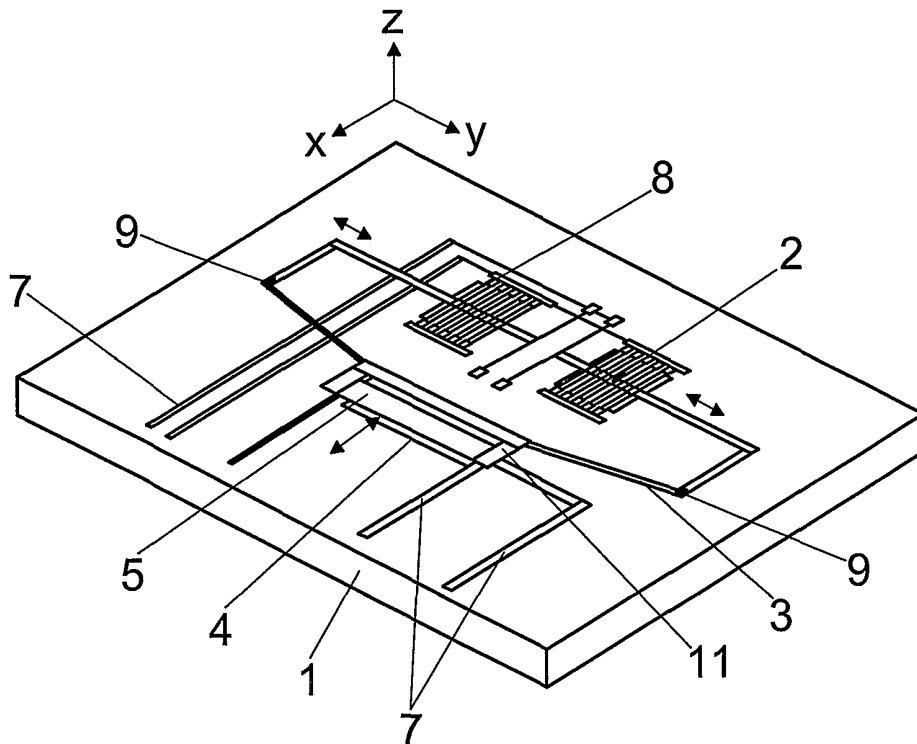


Fig. 2

2 / 3

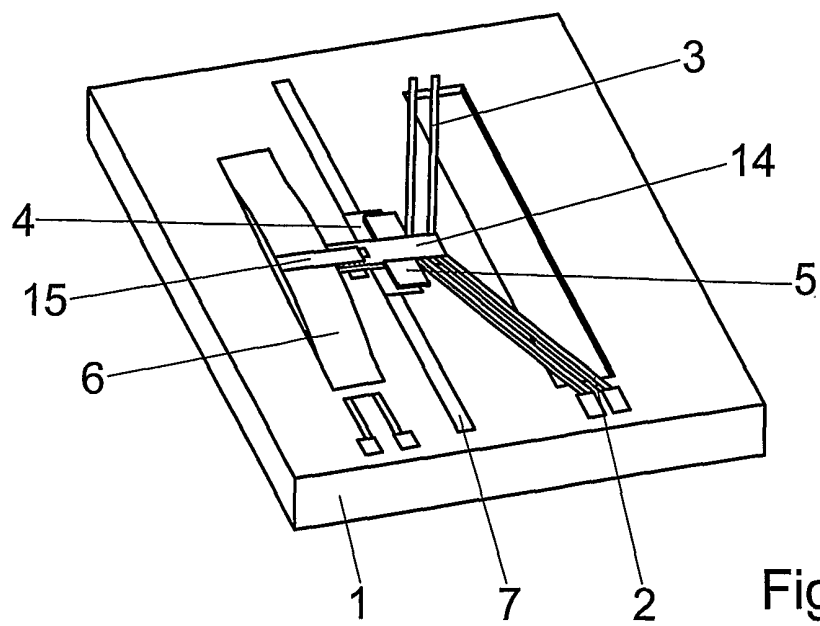
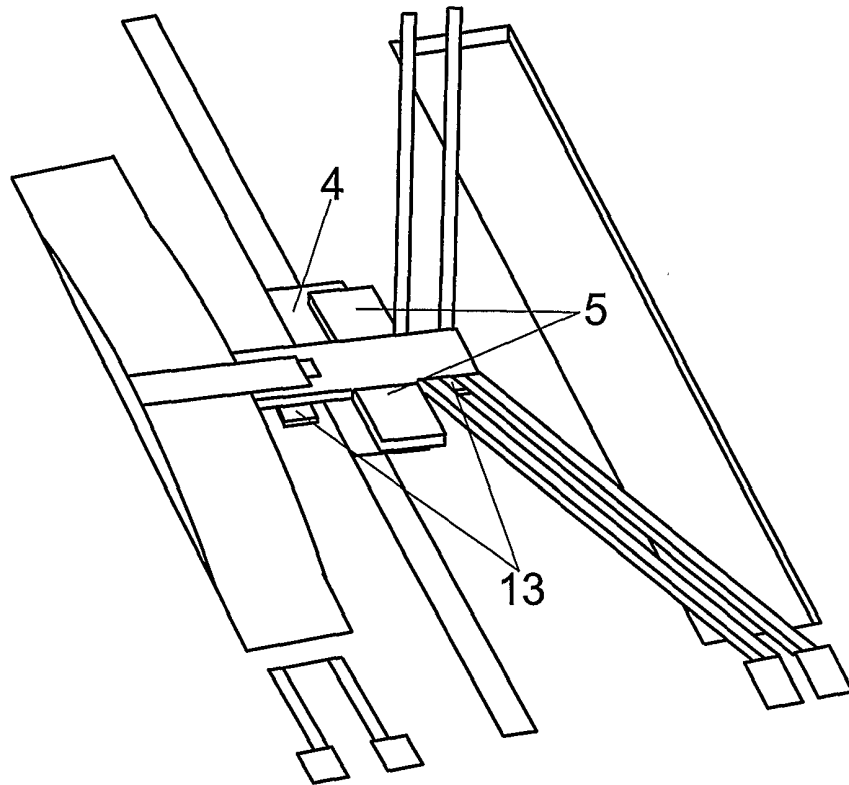


Fig. 3

ERSATZBLATT (REGEL 26)

3 / 3

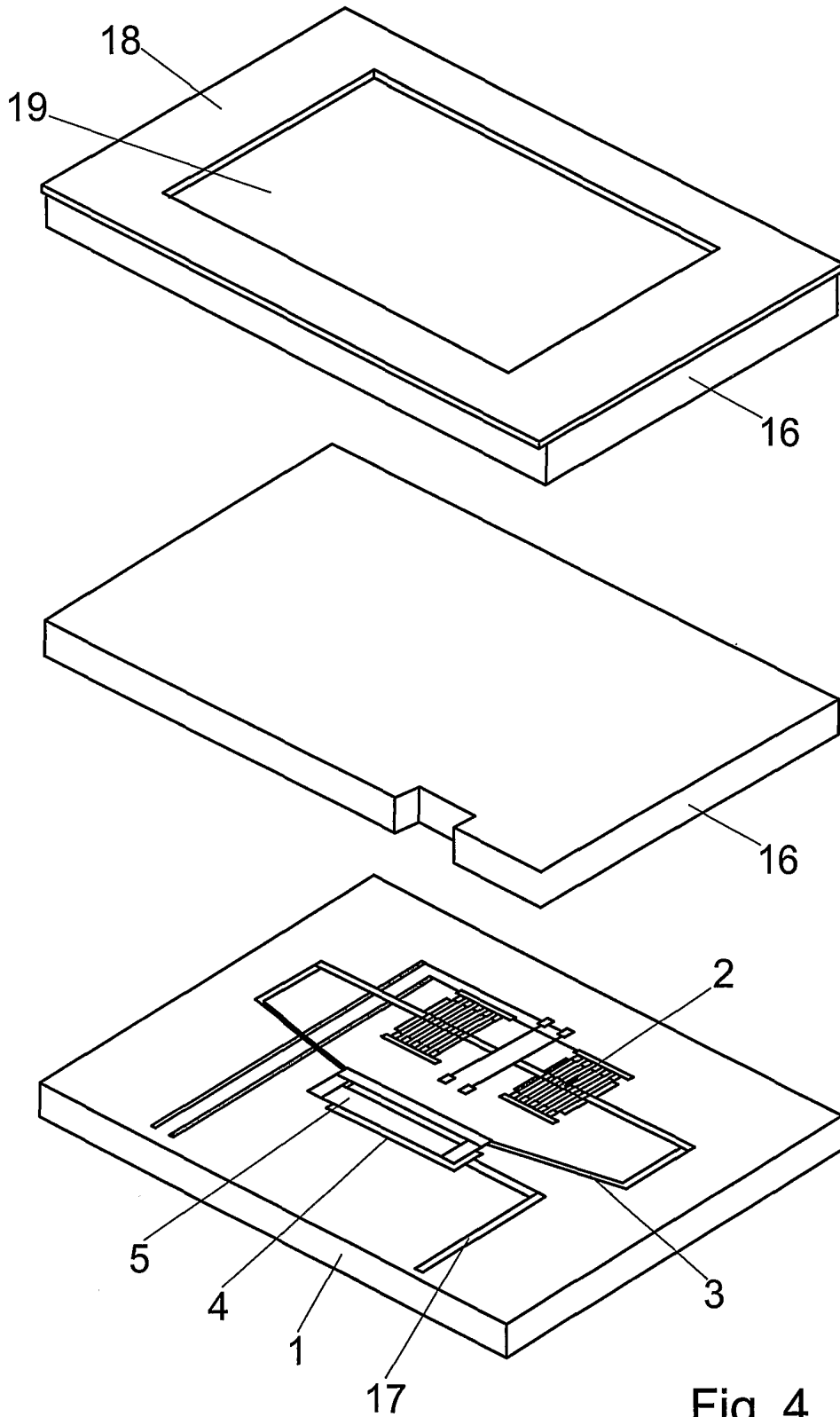


Fig. 4

ERSATZBLATT (REGEL 26)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Patent Application No
PCT/DE 01/02960

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B81B3/00 H01G5/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H01G B81B H01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 0 516 174 A (HUGHES AIRCRAFT CO) 2 December 1992 (1992-12-02) figures 1-5 column 3, line 21 -column 10, line 21 -----	1,9, 17-20 2-8, 10-16
X	FR 2 704 357 A (THOMSON CSF) 28 October 1994 (1994-10-28) figure 5 page 6, line 6 -page 7, line 10 -----	1,9, 18-20
A	WO 99 16096 A (MAHADEVAN RAMASWAMY ;WOOD ROBERT L (US); MCNC (US); DHULER VIJAYAK) 1 April 1999 (1999-04-01) figures 7-18 page 4, line 13 -page 8, line 33 page 22, line 8 -page 39, line 2 -----	1-20
	-/--	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search <p style="text-align: center; font-weight: bold;">7 December 2001</p>	Date of mailing of the international search report <p style="text-align: center; font-weight: bold;">18/12/2001</p>
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer <p style="text-align: center; font-weight: bold;">Polesello, P</p>

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 01/02960

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 391 126 A (IFM ELECTRONIC GMBH) 10 October 1990 (1990-10-10) figures 1,2 column 2, line 53 -column 5, line 20 -----	1,18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 01/02960

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0516174	A	02-12-1992	US 5164688 A	17-11-1992
			DE 69222977 D1	11-12-1997
			DE 69222977 T2	10-06-1998
			EP 0516174 A2	02-12-1992
			IL 102040 A	27-11-1995
			JP 2107397 C	06-11-1996
			JP 5199017 A	06-08-1993
			JP 7105651 B	13-11-1995

FR 2704357	A	28-10-1994	FR 2704357 A1	28-10-1994
			EP 0621652 A1	26-10-1994
			US 5543765 A	06-08-1996

WO 9916096	A	01-04-1999	US 5994816 A	30-11-1999
			AU 9212798 A	12-04-1999
			CN 1277731 T	20-12-2000
			EP 1008161 A1	14-06-2000
			JP 2001518677 T	16-10-2001
			WO 9916096 A1	01-04-1999
			US 5955817 A	21-09-1999
			US 6114794 A	05-09-2000
			US 6023121 A	08-02-2000

EP 0391126	A	10-10-1990	DE 3911009 A1	11-10-1990
			DE 59004847 D1	14-04-1994
			EP 0391126 A1	10-10-1990
			JP 2033170 C	19-03-1996
			JP 2288123 A	28-11-1990
			JP 7070280 B	31-07-1995

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/02960

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 B81B3/00 H01G5/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01G B81B H01P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 516 174 A (HUGHES AIRCRAFT CO) 2. Dezember 1992 (1992-12-02) Abbildungen 1-5 Spalte 3, Zeile 21 -Spalte 10, Zeile 21	1,9, 17-20
A	---	2-8, 10-16
X	FR 2 704 357 A (THOMSON CSF) 28. Oktober 1994 (1994-10-28) Abbildung 5 Seite 6, Zeile 6 -Seite 7, Zeile 10	1,9, 18-20
A	---	1-20
	WO 99 16096 A (MAHADEVAN RAMASWAMY ;WOOD ROBERT L (US); MCNC (US); DHULER VIJAYAK) 1. April 1999 (1999-04-01) Abbildungen 7-18 Seite 4, Zeile 13 -Seite 8, Zeile 33 Seite 22, Zeile 8 -Seite 39, Zeile 2	
	---	-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Dezember 2001

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

18/12/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pollesello, P

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/02960

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 391 126 A (IFM ELECTRONIC GMBH) 10. Oktober 1990 (1990-10-10) Abbildungen 1,2 Spalte 2, Zeile 53 -Spalte 5, Zeile 20 -----	1,18

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 01/02960

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0516174 A	02-12-1992	US 5164688 A	17-11-1992
		DE 69222977 D1	11-12-1997
		DE 69222977 T2	10-06-1998
		EP 0516174 A2	02-12-1992
		IL 102040 A	27-11-1995
		JP 2107397 C	06-11-1996
		JP 5199017 A	06-08-1993
		JP 7105651 B	13-11-1995
FR 2704357 A	28-10-1994	FR 2704357 A1	28-10-1994
		EP 0621652 A1	26-10-1994
		US 5543765 A	06-08-1996
WO 9916096 A	01-04-1999	US 5994816 A	30-11-1999
		AU 9212798 A	12-04-1999
		CN 1277731 T	20-12-2000
		EP 1008161 A1	14-06-2000
		JP 2001518677 T	16-10-2001
		WO 9916096 A1	01-04-1999
		US 5955817 A	21-09-1999
		US 6114794 A	05-09-2000
		US 6023121 A	08-02-2000
		EP 0391126 A	10-10-1990
DE 59004847 D1	14-04-1994		
EP 0391126 A1	10-10-1990		
JP 2033170 C	19-03-1996		
JP 2288123 A	28-11-1990		
JP 7070280 B	31-07-1995		