



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 08 609 T2** 2007.08.09

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 387 380 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H01H 59/00** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 08 609.8**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 016 626.8**

(96) Europäischer Anmeldetag: **30.07.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.02.2004**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **27.09.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **09.08.2007**

(30) Unionspriorität:

2002221009 30.07.2002 JP

2003021852 30.01.2003 JP

2003279097 24.07.2003 JP

(73) Patentinhaber:

**Matsushita Electric Industrial Co., Ltd., Kadoma,
Osaka, JP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Shimizu, Norisato, Kanagawa 206-0005, JP;

Nakanishi, Yoshito, Tokyo 194-0031, JP;

Nakamura, Kunihiko, Kanagawa 228-0817, JP;

Naito, Yasuyuki, Tokyo 166-0014, JP

(74) Vertreter:

HOFFMANN & EITLE, 81925 München

(54) Bezeichnung: **MEMS Schalter und Herstellungsverfahren**

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

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

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Schalter mit verbesserter Arbeitsgeschwindigkeit beim Ein- und Ausschalten und ein Verfahren zur Herstellung dieses Schalters.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Bekannt sind herkömmliche Signalschalter, wie sie beispielsweise in IEEE IEDM Tech. Digest 01, 2001, S. 921, beschrieben sind. Wie in [Fig. 1A](#) gezeigt, ist dieser Schalter mit einer Signalübertragungsleitung **2502**, die auf einem hochohmigen Siliciumsubstrat **2501** ausgebildet ist, einer beweglichen Erdleitung **2503**, die über der Signalübertragungsleitung **2502** durch einen festgelegten Spalt angeordnet ist, und einer Erdleitung **2504** gestaltet. In diesem Schalter wird eine Spannung über einen Parallelplattenkondensator mit der beweglichen Erdleitung **2503** und der Signalübertragungsleitung **2502** angelegt, wodurch eine elektrostatische Kraft erzeugt wird, um die bewegliche Erdleitung **2503** über einen stark dielektrischen Film **2505** in Kontakt mit der Signalübertragungsleitung **2502** zu bringen, wie in [Fig. 1B](#) gezeigt. Durch den Kontakt wird die zwischen der Signalübertragungsleitung **2502** und der beweglichen Erdleitung **2503** entstehende Kapazität vergrößert, sodass ein Signal mit einer Frequenzkomponente, die von dieser Kapazität abhängig ist, übertragen werden kann.

[0003] Durch Steuern der Spannung zwischen der beweglichen Erdleitung **2503** und der Signalübertragungsleitung **2502** wird die Signalübertragung zwischen der Signalübertragungsleitung **2502** und der beweglichen Erdleitung **2503** ein- und ausgeschaltet. Außerdem kann mit dieser Anordnung ein Signalschalter nach demselben Verfahren wie dem LSI-Herstellungsverfahren ausgebildet werden. Durch Ausbilden eines Signalschalters an derselben Stelle wie der einer Schaltung von Transistoren oder dergleichen kann ein Schalter ausgebildet werden, der hinsichtlich der Frequenzkennlinie und Verkleinerung günstig ist.

[0004] Als Mittel zum Verbessern der Arbeitsgeschwindigkeit bei der Signalverbindung und -trennung wird vorgeschlagen, eine Wippenform bereitzustellen, um die bewegliche Elektrode in zwei Richtungen zu bewegen, wie z. B. in Jpn. J. Appl. Phys., Jg. 40, 2001, S. 2721, beschrieben ist. Aus IEEE MEMS 2002 Tech. Dig., 2002, S. 532, ist außerdem eine Gestaltung bekannt, bei der eine Spannung zwischen eine stationäre Kamm-Elektrode und eine bewegliche Kamm-Elektrode angelegt wird, um einen Reflexionsspiegel zu drehen.

[0005] Der herkömmliche Schalter erfordert eine effiziente Signalübertragung, eine Isolierfähigkeit beim Trennen und einen schnellen Betrieb bei der Signalverbindung und -trennung.

[0006] Bei dem in [Fig. 1](#) gezeigten Aufbau wirkt jedoch nur die Signalübertragungsleitung **1502** so, dass sie die bewegliche Erdleitung **2503** bewegt. Wenn das Signal von der Signalübertragungsleitung **2502** zu der Erdleitung **2503** umgeschaltet wird, wird eine Spannung zwischen die Erdleitung **2503** und die Übertragungsleitung **2505** angelegt. Beim Trennen eines an die Erdleitung **2503** gesendeten Signals ist es jedoch schwierig, die Schaltgeschwindigkeit zu erhöhen, da der Vorgang nur mit der Feder-Rückholkraft des die Erdleitung bildenden Materials durchgeführt wird. Wenn für die Erdleitung **2503** ein Material mit einer großen Federkonstante verwendet wird, kann die Schaltgeschwindigkeit beim Trennen des an die Erdleitung **2503** gesendeten Signals erhöht werden. Das bringt jedoch Probleme mit sich, z. B. eine sinkende Arbeitsgeschwindigkeit beim Umschalten von der Übertragungsleitung **2502** auf die Erdleitung **2503** und eine notwendige Erhöhung der Spannung, die zwischen der Erdleitung **2503** und der Übertragungsleitung **2505** anzulegen ist.

[0007] Bei dem Verfahren zur Herstellung der vorstehenden Struktur wird nach dem Ausbilden der Übertragungsleitung **2502** eine Opferschicht in einer geeigneten Schichtdicke dadurch ausgebildet, dass nur ein vorgegebenes Material geätzt wird, ohne die Übertragungsleitung **2502** und die Erdleitung **2503** zu ätzen. Dann wird die Erdleitung **2502** ausgebildet. Anschließend wird die Opferschicht zwischen der Übertragungsleitung **2502** und der Erdleitung **2503** entfernt, wodurch ein vorgegebener Spalt exakt ausgebildet wird. Das ist ein allgemeines Verfahren in der Praxis. In dem Fall, dass bei diesem Verfahren eine Dreischichtstruktur vorgesehen wird, um eine Leitungssteuerelektrode mit beweglichem Kontakt weiter an der Erdleitung **2503** zu fixieren, kann die Erdleitung **2503** auch dann mit hoher Geschwindigkeit bewegt werden, wenn das an die Erdleitung **2503** gesendete Signal getrennt werden soll.

[0008] Für diese Dreischichtstruktur ist es jedoch erforderlich, bei der Herstellung nicht nur die Unterseite der Erdleitung **1503**, sondern auch eine Opferschicht auf der Erdleitung **2503** exakt auszubilden. Das macht den

Herstellungsprozess schwierig. Außerdem wird bei der Herstellung der Dreischichtstruktur eine Stufe aus fünf Schichten, d. h. der Übertragungsleitung **2502**, einer Opferschicht, der Erdleitung **2503**, einer Opferschicht und einer beweglichen Erdleitungs-Steuerelektrode, erzeugt. Es ist praktisch unmöglich, einen Prozess des Ausbildens einer Struktur oder dergleichen auf einer so hohen Stufe auszuführen.

[0009] Beim Ausbilden eines Schalters mittels der in [Fig. 1B](#) gezeigten Zwischenträgerstruktur wird die mechanische Spannung durch Änderung der Temperatur geändert. Das geschieht, wenn der thermische Ausdehnungskoeffizient des den Zwischenträger bildenden Materials von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des das Substrat bildenden Materials verschieden ist. Die Änderung der mechanischen Spannung des Zwischenträgers bewirkt eine Änderung der Federkonstante des Zwischenträgers, was wiederum zu einer Änderung der Ansprechzeit und Steuerspannung des Schalters führt. Bekanntlich verformt sich der Zwischenträger durch Temperaturänderung im schlimmsten Fall um 2 µm oder mehr. Um ein schnelles Ansprechen zu erreichen, muss der Bewegungsabstand der beweglichen Elektrode auf den geforderten Mindestabstand zum Erzielen der gewünschten Trennung eingestellt werden. Daher muss der Abstand zwischen den Elektroden unter Berücksichtigung der Zwischenträgerverformung durch diese Temperaturänderung ausreichend groß sein. Dadurch verlängert sich jedoch die Ansprechzeit weiter.

[0010] Bei einer Wippe entsteht jedoch eine Kondensatorkapazität aufgrund eines Überlappungsbereichs einer Signalelektrode und einer Kontaktelektrode. Da die Größe der Kapazität die Übertragungssignalfrequenz und den Übertragungswirkungsgrad bestimmt, wird die Größe der Kontaktelektrode von dem Signal bestimmt, das beim Verbinden und Trennen gesteuert wird. Um eine Verbindungs/-Trennungskennlinie eines Signals auf einer bestimmten festen Frequenz zu erhalten, kann die Größe der Kontaktelektrode nicht verringert werden. Außerdem ist es für die Gesamtmasse der beweglichen Elektrode erforderlich, dass zusätzlich zur Masse der Kontaktelektrode der Teil zum Ausbilden des Kondensators von einer Zugelektrode und einer Druckelektrode gebildet wird. Daher muss eine Elektrode an dem Teil ausgebildet werden, der nicht direkt an der Signalverbindung und -trennung beteiligt ist, wodurch die Gesamtmasse der beweglichen Elektrode erhöht wird. Das ist beim Verbinden und Trennen mit hoher Geschwindigkeit ungünstig.

[0011] Bei einem Bewegungssystem, das eine Kammelektrode verwendet, ist ihre Ausbildung zum Bewegen in Richtung innerhalb der Ebene des Substrats relativ einfach. Die Kammelektrode zum Bewegen senkrecht zum Substrat erfordert jedoch die Ausbildung einer Struktur in Höhenrichtung, was den Herstellungsprozess kompliziert macht.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0012] Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, zur Lösung des Problems einen Schalter, der eine bewegliche Elektrode hat, die getrennt auf und ab bewegt werden kann, wodurch der Signal-Übertragungswirkungsgrad und das Isolationsvermögen gewährleistet werden, und der eine Signalverbindung und -trennung mit hoher Geschwindigkeit ausführt, ohne dass eine Strukturhöhe erforderlich ist, zur Verfügung zu stellen.

[0013] Um das vorgenannte Ziel zu erfüllen, weist ein erfindungsgemäßer Schalter Folgendes auf: eine bewegliche Elektrode; eine feste Signalübertragungselektrode, die unter der beweglichen Elektrode angeordnet ist; und eine die bewegliche Elektrode bewegend feste Elektrode, die auf beiden Seiten der beweglichen Elektrode in Längsrichtung der beweglichen Elektrode angeordnet ist. An einer Seitenfläche der beweglichen Elektrode sind konvexe und konkave Teile ausgebildet. Die die bewegliche Elektrode bewegend feste Elektrode ist mit konkaven und konvexen Teilen ausgebildet, die den konvexen bzw. konkaven Teilen an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode entsprechen. Die an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode ausgebildeten konvexen Teile sind so angeordnet, dass sie von den an der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode ausgebildeten konkaven Teilen umgeben sind, während die konvexen Teile der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode so angeordnet sind, dass sie von den konkaven Teilen an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode umgeben sind. Die bewegliche Elektrode wird mit einer elektrostatischen Kraft, die zwischen der festen Signalübertragungselektrode, die unter der beweglichen Elektrode angeordnet ist, und der beweglichen Elektrode wirkt, nach unten bewegt und mit einer elektrostatischen Kraft, die zwischen den konvexen und konkaven Teilen der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode und den an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode ausgebildeten konkaven und konvexen Teilen wirkt, nach oben bewegt. Dadurch ist eine Trennung zwischen der Abwärtsbewegung und der Aufwärtsbewegung möglich, wodurch die Strukturhöhe verringert werden kann, der Signal-Übertragungswirkungsgrad und die Isolation gewährleistet werden können und ein Signal mit hoher Geschwindigkeit verbunden und getrennt werden kann.

[0014] Außerdem sind die bewegliche Elektrode, die konvexen und konkaven Teile an der Seitenfläche der

beweglichen Elektrode, die konkaven und konvexen Teile der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und ein Teil der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode auf einer Resist-Opferschicht ausgebildet, und der Prozess zum Entfernen der Opferschicht kann durch Trockenätzen ausgeführt werden. Dadurch kann eine Adsorption an einen unbeabsichtigten Bereich durch Oberflächenspannung, d. h. das sogenannte Haften, das beim Nassätzen nach dem Entfernen der Opferschicht Probleme verursacht, vermieden werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] Die [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) sind Schnittansichten, die ein Beispiel für einen herkömmlichen Schalter zeigen.

[0016] [Fig. 2](#) ist eine perspektivische Darstellung eines Schalters einer Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung.

[0017] [Fig. 3](#) ist eine Schnittansicht entlang der Linie A-A' in [Fig. 2](#).

[0018] [Fig. 4](#) ist eine Schnittansicht entlang der Linie B-B' in [Fig. 2](#).

[0019] [Fig. 5](#) ist eine Schnittansicht, die den Verbindungszustand des Schalters im Querschnitt A-A' in [Fig. 2](#) zeigt.

[0020] [Fig. 6](#) ist eine Schnittansicht, die den Verbindungszustand des Schalters im Querschnitt B-B' in [Fig. 2](#) zeigt.

[0021] [Fig. 7](#) ist eine Kennlinie, die den Unterschied der Ansprechcharakteristik bei Vorhandensein/Fehlen einer Schalter-Kammstruktur in der Ausführungsform 1 der Erfindung zeigt.

[0022] [Fig. 8](#) ist eine konzeptionelle Darstellung, die einen Parameter zeigt, der das Profil der Schalter-Kammstruktur in der Ausführungsform 1 der Erfindung darstellt.

[0023] [Fig. 9](#) ist eine erläuternde Darstellung, die die Kapazität zeigt, die zwischen den Elektroden entsteht, wenn die Erfindung nicht verwendet wird.

[0024] [Fig. 10A](#) ist eine erläuternde Darstellung, die die Positionen einer beweglichen Elektrode und einer die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode an dem Schalter einer Ausführungsform 3 der Erfindung zeigt.

[0025] [Fig. 10B](#) ist eine erläuternde Darstellung, die die Positionen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und eine auf diese wirkende elektrostatische Kraft für den Fall zeigt, dass der Schalter ohne Verwendung der Erfindung ausgebildet wird.

[0026] Die [Fig. 11A](#) – [Fig. 11C](#) sind Schnittansichten, die einen Schalterherstellungsprozess in einer Ausführungsform 4 der Erfindung zeigen.

[0027] Die [Fig. 12A](#) – [Fig. 12C](#) sind Schnittansichten, die einen Schalterherstellungsprozess in einer Ausführungsform 5 der Erfindung zeigen.

[0028] Die [Fig. 13A](#) – [Fig. 13E](#) sind Schnittansichten, die einen Schalterherstellungsprozess ohne Verwendung der Stufenmodulationsstruktur der [Fig. 12A](#) – [Fig. 12C](#) zeigen.

[0029] Die [Fig. 14A](#) – [Fig. 14E](#) sind Schnittansichten, die einen Schalterherstellungsprozess zum Ausbilden einer Stufenmodulationsstruktur an einer Seitenfläche in Richtung der kürzeren Seite der festen Signalübertragungselektrode in einer Ausführungsform 6 der Erfindung zeigen.

[0030] Die [Fig. 15A](#) – [Fig. 15E](#) sind Schnittansichten, die einen Schalterherstellungsprozess zum Ausbilden einer Stufenmodulationsstruktur an einer Seitenfläche in Richtung der längeren Seite der festen Signalübertragungselektrode in einer Ausführungsform 6 der Erfindung zeigen.

[0031] [Fig. 16](#) ist eine perspektivische Darstellung, die einen Schalter nach einer Ausführungsform 7 der Er-

findung zeigt.

[0032] Die [Fig. 17A](#) – [Fig. 17B](#) sind Schnittansichten, die einen Schalterherstellungsprozess nach einer Ausführungsform 8 der Erfindung zeigen.

[0033] [Fig. 18](#) ist eine erläuternde Darstellung, die die Positionen der beweglichen Elektrode, der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode, der festen Signalübertragungselektrode und der Oxid-Trennschicht des Schalters zeigt.

[0034] [Fig. 19](#) ist eine erläuternde Darstellung, die die Beziehung zwischen den Positionen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und einer zwischen den beiden Elektroden wirkenden Kraft bei einem Schalter nach einer Ausführungsform 10 der Erfindung zeigt.

[0035] [Fig. 20A](#) ist eine Kennlinie, die eine Spannung, die zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Signalübertragungselektrode angelegt wird, ein Signal, das durch die feste Signalübertragungselektrode fließt, und einen Trennungszustand der beweglichen Elektrode bei einem Schalter zeigt, für den die Erfindung verwendet wird.

[0036] [Fig. 20B](#) ist eine Kennlinie, die eine Spannung, die zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Signalübertragungselektrode angelegt wird, ein Signal, das durch die feste Signalübertragungselektrode fließt, und einen Trennungszustand der beweglichen Elektrode bei einem Schalter zeigt, für den die Erfindung nicht verwendet wird.

[0037] [Fig. 21](#) ist ein Schaltplan, der ein Beispiel zeigt, in dem der erfindungsgemäße Schalter zum Empfangen und Senden eines Signals von einer bzw. an eine Antenne verwendet wird.

[0038] [Fig. 22](#) ist eine perspektivische Darstellung, die eine Schalterstromkreis-Anordnung in einer Ausführungsform 12 der Erfindung zeigt.

[0039] [Fig. 23](#) ist eine Kennlinie, die die Beziehung zwischen der inneren Spannung und der Ansprechzeit eines erfindungsgemäßen Schalters zeigt.

[0040] [Fig. 24](#) ist eine konzeptionelle Darstellung, die ein Beispiel für ein Kammteil zeigt, das bei einer Ausführungsform 13 der Erfindung vorkommt.

[0041] [Fig. 25](#) ist eine Darstellung, die ein Beispiel für ein Kammteil zeigt, das bei einer Ausführungsform 14 der Erfindung vorkommt.

Beschreibung der beispielhaften Ausführungsformen

[0042] Nachstehend werden beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

1. Erste beispielhafte Ausführungsform

[0043] [Fig. 2](#) ist eine perspektivische Darstellung eines Schalters in einer Ausführungsform 1 der vorliegenden Erfindung. Dieser Schalter wird von einer beweglichen Elektrode **103**, einer die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode **104** und einer festen Signalübertragungselektrode **105** gebildet, die auf einem hochohmigen Siliciumsubstrat **101** durch eine Siliciumoxidschicht **102** ausgebildet sind. Die bewegliche Elektrode **103** hat an ihren Seitenflächen mehrere konvexe Teile **107**. Bei dieser Ausführungsform 1 wird aus praktischen Gründen unterstellt, dass die konvexen Teile **107** alle die gleiche Form haben und in gleichmäßigen Abständen angeordnet sind. Zwischen einem konvexen Teil **107** und dem benachbarten konvexen Teil **107** sind konkave Teile ausgebildet. Die konkaven Teile sind ebenfalls in gleichmäßigen Abständen angeordnet. Die die bewegliche Elektrode bewegende feste Elektrode **104** hat ebenfalls mehrere konvexe Teile **108**, die an ihren Seitenflächen entsprechend den konkaven Teilen zwischen den konvexen Teilen **107** an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode und von diesen konkaven Teilen umgeben angeordnet sind. Die konkaven Teile **108** (Anm. d. Übers.: muss wohl „die konvexen Teile **108**“ heißen) sind in ähnlicher Weise in gleichmäßigen Abständen angeordnet. Die konkaven Teile zwischen den konvexen Teilen **108** sind ebenfalls in ähnlicher Weise

in gleichmäßigen Abständen angeordnet, da sie zwischen den benachbarten konkaven Teilen **108** (Anm. d. Übers.: muss wohl „konvexen Teilen **108**“ heißen) ausgebildet sind.

[0044] Das konvexe Teil **107** und das konvexe Teil **108** haben die gleiche konvexe Länge. Das konvexe Teil **107** ist von den konkaven Teilen der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **106** (Anm. d. Übers.: muss wohl „**104**“ heißen) umgeben, wobei ein erster vorgegebener Spalt eine kleinere Breite als die Länge des konvexen Teils **107** hat. Außerdem ist das konvexe Teil **108** von den konkaven Teilen an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode **103** umgeben, wobei ein erster vorgegebener Spalt eine kleinere Breite als die Länge des konvexen Teils **108** hat. Daher erfolgt die Anordnung in der Form, dass ein Teil des konvexen Teils **107** in dem konkaven Bereich der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **104** liegt, während ein Teil des konvexen Teils **108** in dem konkaven Bereich der beweglichen Elektrode **103** liegt.

[0045] **Fig. 3** ist eine Schnittansicht entlang der Linie A-A' in **Fig. 2**, die den Zustand zeigt, dass keine Verbindung zwischen der festen Signalübertragungselektrode **105** und der beweglichen Elektrode **103** besteht. Die feste Signalübertragungselektrode **105** ist auf einem hochohmigen Siliciumsubstrat **101** durch eine Siliciumoxidschicht **102** angeordnet. Auf der festen Signalübertragungselektrode **105** ist eine die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht **110** ausgebildet, auf der wiederum eine bewegliche Elektrode **103** durch einen kapazitätsverringenden Zwischenraum **109** angeordnet ist. Die bewegliche Elektrode **103** hat an ihren beiden Enden bewegliche-Elektroden-Befestigungsbereiche **106**, die an dem Substrat **101** befestigt sind.

[0046] **Fig. 4** ist eine Schnittansicht entlang der Linie B-B' in **Fig. 2**, die den Zustand zeigt, dass keine Verbindung zwischen der festen Signalübertragungselektrode **105** und der beweglichen Elektrode **103** besteht. Die die bewegliche Elektrode bewegendes feste Elektrode **104** und die feste Signalübertragungselektrode **105** sind auf dem hochohmigen Siliciumsubstrat **301** durch die Siliciumoxidschicht **102** angeordnet. Auf der festen Signalübertragungselektrode **105** ist die die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht **110** ausgebildet, auf der wiederum die bewegliche Elektrode **103** durch den kapazitätsverringenden Zwischenraum **109** angeordnet ist. Diese Ausführungsform 1 ist so gestaltet, dass das konvexe Teil **108** der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **104** und die bewegliche Elektrode **103**, die durch den kapazitätsverringenden Zwischenraum **309** angeordnet ist, die gleiche Höhe in Bezug auf die Substratoberfläche haben.

[0047] **Fig. 5** ist eine Schnittansicht entlang der Linie A-A' in **Fig. 2**, die den Zustand zeigt, dass es eine Verbindung zwischen der festen Signalübertragungselektrode **405** und der beweglichen Elektrode **103** gibt. Durch Anlegen einer Spannung zwischen der festen Signalübertragungselektrode **105** und der beweglichen Elektrode **103**, die durch die Siliciumoxidschicht **102** auf dem hochohmigen Siliciumsubstrat **101** angeordnet sind, wird die bewegliche Elektrode **103** von einer elektrostatischen Kraft in Kontakt mit der die Elektroden trennenden Siliciumoxidschicht **110** auf der festen Signalübertragungselektrode **105** gebracht, wodurch nur ein Teil des kapazitätsverringenden Zwischenraums **109** an den beweglichen-Elektroden-Befestigungsbereichen oder um diese herum verbleibt. Auch wenn eine Spannung zwischen der festen Signalübertragungselektrode **105** und der beweglichen Elektrode **103** angelegt wird, um dadurch die bewegliche Elektrode **103** in Kontakt mit der festen Elektrode **105** zu bringen, verhindert die die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht **110** auf der festen Signalübertragungselektrode **105**, dass die bewegliche Elektrode **103** aufgrund einer Potentialdifferenz, die wegen des direkten Kontakts zwischen der festen Elektrode **105** und der beweglichen Elektrode **403** nicht gehalten werden kann, getrennt wird.

[0048] Die feste Signalübertragungselektrode **405** und die bewegliche Elektrode **104** bilden eine Kapazität nach Gleichung 1. Das ist die Reihenschaltungskapazität aus einer Kondensatorkapazität mit der die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht **110**, die durch Gleichung 2 dargestellt wird, und einer Kondensatorkapazität mit dem kapazitätsverringenden Zwischenraum, die durch Gleichung 3 dargestellt wird:

$$1/C = 1/C_{\text{Ox}} + 1/C_{\text{Luft}} \quad (\text{Gleichung 1}),$$

$$C_{\text{Ox}} = \epsilon_s \epsilon_0 S/t \quad (\text{Gleichung 2}),$$

$$C_{\text{Luft}} = \epsilon_0 S/d \quad (\text{Gleichung 3}).$$

[0049] In den Gleichungen 2 und 3 ist ϵ_s die relative Dielektrizitätskonstante der Siliciumoxidschicht, ϵ_0 ist die Dielektrizitätskonstante in Vakuum, S ist der Fläche der von der festen Signalübertragungselektrode und der beweglichen Elektrode gebildeten Elektrode, t ist die Dicke der die Elektroden trennenden Siliciumoxidschicht, d ist die Länge des kapazitätsverringenden Zwischenraums **409**, und t ist allgemein ein Wert von einem Zehntel von d oder weniger. Genauer gesagt, Gleichung 3 beruht auf einer Kondensatorkapazität im Vakuum, aber

sie nimmt nahezu den gleichen Wert wie in Luft an. Wenn die bewegliche Elektrode **403** in Kontakt mit der festen Signalübertragungselektrode **405** ist, hat die von dem kapazitätsverringenden Zwischenraum **409** gebildete Kondensatorkapazität einen vernachlässigbaren Wert. Somit kann problemlos angenommen werden, dass es nur eine Kondensatorkapazität der die Elektroden trennenden Siliciumoxidschicht **410** gibt. Wenn die bewegliche Elektrode **403** in einer Position ist, in der der vorgegebene kapazitätsverringende Zwischenraum **409** von der festen Signalübertragungselektrode **405** ferngehalten wird, beruht die Kondensatorkapazität überwiegend auf dem kapazitätsverringenden Zwischenraum.

[0050] **Fig. 6** ist eine Schnittansicht entlang der Linie B-B' in **Fig. 2**, die den Zustand zeigt, dass eine Verbindung zwischen der festen Signalübertragungselektrode **105** und der beweglichen Elektrode **103** besteht. Durch Anlegen einer Spannung zwischen der festen Signalübertragungselektrode **105** und der beweglichen Elektrode **103**, die durch die Siliciumoxidschicht **102** auf dem hochohmigen Siliciumsubstrat **101** angeordnet sind, wird die bewegliche Elektrode **103** von einer elektrostatischen Kraft in Kontakt mit der die Elektroden trennenden Siliciumoxidschicht **110** auf der festen Signalübertragungselektrode **105** gebracht, wodurch der Abstand zwischen der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **504** und der beweglichen Elektrode **103** durch einen vorgegebenen kapazitätsverringenden Zwischenraum vergrößert wird.

[0051] Der Übergang von dem Zustand der Verbindung zwischen der festen Signalübertragungselektrode **105** und der beweglichen Elektrode in den Zustand der Trennung zwischen ihnen geschieht wie folgt. Und zwar wird die Spannung, die zwischen der festen Signalübertragungselektrode **105** und der beweglichen Elektrode **103** angelegt wird, auf null abgesenkt, und es wird eine Spannung zwischen der beweglichen Elektrode **103** und der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **104** angelegt. Aufgrund dessen wirkt die elektrostatische Kraft so, dass sie die Größe des vorgegebenen kapazitätsverringenden Zwischenraums, der zwischen der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **504** (Anm. d. Übers.: muss wohl „**104**“ heißen) und der beweglichen Elektrode **103** entsteht, auf null verringert. Dadurch wirkt außer der Federkraft, mit der die bewegliche Elektrode **103** aus der Verformung zurückkehren soll, die elektrostatische Kraft so, dass sie die bewegliche Elektrode **103** bewegt. Dadurch kann sich die bewegliche Elektrode **103** in kurzer Zeit von der festen Signalübertragungselektrode **105** entfernen, wodurch eine Verbesserung der Trennungseigenschaften bewirkt wird.

[0052] **Fig. 7** zeigt die Ansprechkennlinie für den Fall, dass die bewegliche Elektrode **103** beispielsweise eine Breite von 5 µm, eine Länge von 400 µm und eine Dicke von 0,7 µm hat, wobei ein zweiter festgelegter Spalt zwischen der beweglichen Elektrode **103** und der festen Signalübertragungselektrode **105** eine Breite von 0,6 µm hat. **Fig. 7** zeigt, wie im Zustand des Kontakts zwischen der beweglichen Elektrode **103** und der festen Signalübertragungselektrode **105** die elektrostatische Kraft zum Zeitpunkt 0 weggenommen wird und die feste Elektrode **105** in die vorhergehende Position zurückgebracht wird. Zum Vergleich ist der Fall gezeigt, dass die bewegliche Elektrode **103** die gleiche Form, aber keine Kammzähne hat.

[0053] **Fig. 8** zeigt eine vergrößerte Darstellung des Kammzahns. Der Kamm hat eine Zahnbreite a von 1 µm, eine Zahnhöhe h von 5 µm und einen Zahnabstand von 1 µm. Da die bewegliche Elektrode **103** nur durch ihre Federkraft in die vorhergehende Position zurückgebracht wird, wenn die Zahnstruktur fehlt, hat sie natürlich eine längere Ansprechzeit. Bei der Zahnstruktur wird beim Anlegen einer Spannung zwischen der beweglichen Elektrode **103** und der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **105** zusätzlich eine elektrostatische Kraft auf die bewegliche Elektrode aufgebracht, um sie in die vorhergehende Position zurückzubringen. Dadurch ist ein viel besseres Ansprechen möglich.

[0054] In Ausführungsform 1 sind die Schalterteile auf dem hochohmigen Siliciumsubstrat durch eine Siliciumoxidschicht angeordnet, aber es kann auch ein anderes Isoliermaterial, z. B. eine Siliciumnitridschicht, verwendet werden. Es wird zwar hochohmiges Siliciumsubstrat verwendet, aber eine ähnliche Wirkung kann auch erzielt werden, wenn ein anderes Material als Silicium, z. B. ein Verbindungshalbleiter-Substrat, wie etwa ein Gallium-Arsen-Substrat, oder ein Isolatorsubstrat aus Quarz, Aluminiumoxid oder dergleichen, verwendet wird. Außerdem kann die Siliciumoxidschicht oder ein entsprechendes Isoliermaterial weggelassen werden, wenn das Substrat einen elektrischen Widerstand hat, der so hoch ist, dass er nicht zu einer elektrischen Beeinträchtigung zwischen der beweglichen Elektrode, der festen Signalübertragungselektrode und der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode führt.

[0055] Bei der in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsform 1 der Erfindung sind rechteckige konkave und konvexe Teile an der Seitenfläche des beweglichen Teils ausgebildet, und rechteckige konkave und konvexe Teile sind an der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode ausgebildet. Wenn sie eine gewölbte Form haben, zeigen ihre Ecken eine ähnliche Wirkung.

2. Zweite beispielhafte Ausführungsform

[0056] Die auf die Elektroden mit einer Kombination aus konvexen und konkaven Teilen wirkende Kraft ist z. B. in IEEE MEMS 2002 Tech. Dig., 2002, S. 532, beschrieben. Bei der z-Verschiebung ist die in z-Richtung wirkende Kraft durch Gleichung 4 gegeben:

$$F_z = \delta (CV^2/2)/\delta z \quad (\text{Gleichung 4}).$$

[0057] In Gleichung 4 ist V die an die Elektrode angelegte Spannung, C ist die zwischen den Elektroden entstehende Kapazität und z ist die Verschiebung. Aus Gleichung 4 ist zu erkennen, dass in dem Fall, dass sich die zwischen den Elektroden entstehende Kapazität nicht ändert, wenn sich die Verschiebung in z-Richtung ändert, keine elektrostatische Kraft entsteht. Daher wird in dem Fall, dass beispielsweise die bewegliche Elektrode bewegend feste Elektrode **104** eine größere Dicke als die bewegliche Elektrode **103** hat, wie in [Fig. 9](#) gezeigt, die Fläche eines Kapazitätsbereichs **901** an der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **104** und der beweglichen Elektrode **103** durch eine geringe Bewegung der beweglichen Elektrode **103** in z-Richtung nicht geändert, sodass keine Kraft in z-Richtung entsteht. In dem Bereich der Schichtdicke der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **104** ist keine Bewegung durch die elektrostatische Kraft möglich.

[0058] Wenn die bewegliche Elektrode **103** eine Schichtdicke t_m hat, die die bewegliche Elektrode bewegend feste Elektrode eine Schichtdicke t_d hat und zwischen beiden die Beziehung $t_d > t_m$ besteht, gibt es eine nicht-steuerbare Position l_u , d. h. $l_u = t_d - t_m$.

[0059] Wenn die die bewegliche Elektrode bewegend feste Elektrode **104** und die bewegliche Elektrode **103** in derselben Schichtdicke ausgebildet sind, gibt es keine nichtsteuerbare Position l_u . Die bewegliche Elektrode **103** kann durch Anlegen einer Spannung und zusätzliche Verwendung einer elektrostatischen Kraft zwischen der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **601** (Anm. d. Übers.: muss wohl „**104**“ heißen) und der beweglichen Elektrode **103** stets so gesteuert werden, dass sie eine konstante Position hat.

3. Dritte beispielhafte Ausführungsform

[0060] Wie in [Fig. 10A](#) gezeigt, bilden ein konvexer Teil **1004** an der Seitenfläche einer beweglichen Elektrode **1002** und ein konkaver Teil **1005** einer die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **1001** einen ersten vorgegebenen Spalt **1003** mit einem einheitlichen Abstand d dazwischen. Wenn es jedoch beim Ausbilden der beweglichen Elektrode **1002** und der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **1001** durch Verwendung verschiedener Masken zu einer Fehlanpassung zwischen der Maske zur Ausbildung der beweglichen Elektrode und der Maske zur Ausbildung der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode kommt, entsteht das in [Fig. 10B](#) gezeigte Ergebnis. Und zwar wird der Spalt auf einer Seite zwischen dem konvexen Teil **1004** an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode und dem konkaven Teil **1005** der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **1001** auf d – e verengt, d. h., es entsteht ein schmaler Spalt **1013**. Der Spalt zwischen dem konkaven Teil **1005** und dem konkaven Teil **1005** auf der gegenüberliegenden Seite wird hingegen auf d + e verbreitert, das heißt, es entsteht ein breiter Spalt **1014**. [Fig. 10B](#) zeigt also die Beziehung zwischen dem konvexen Teil **1004** der beweglichen Elektrode **1002** und dem konkaven Teil **1005** der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **1001** bei einer Masken-Fehlanpassung um eine Strecke e nach oben in der Figur.

[0061] Es ist bekannt, dass wenn bei einer solchen Masken-Fehlanpassung eine Spannung zwischen der beweglichen Elektrode **1002** und der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **1001** angelegt wird, um dadurch eine elektrostatische Kraft zu erzeugen, die elektrostatische Anziehungskraft vertikal in der Figur wirkt. Angaben zur Größe der elektrostatischen Anziehungskraft werden in IEEE MEMS 1996 Tech. Dig. 1996, S. 216, gemacht. Und zwar wirkt eine Anziehungskraft **1012** auf die bewegliche Elektrode in der in Gleichung 5 angegebenen Größe, und eine Anziehungskraft **1015** wirkt auf die die bewegliche Elektrode bewegend feste Elektrode **1001**. Wenn eine elektrostatische Kraft erzeugt wird, die größer als die Kraft ist, die sich aus der Federkonstante der beweglichen Elektrode **1002** ermittelt, wird die bewegliche Elektrode **1002** in Kontakt mit der die bewegliche Elektrode bewegend feste Elektrode **1001** gebracht. Das führt zu dem Problem, dass die bewegliche Elektrode **1002** nicht nur in ihrer Bewegung behindert wird, sondern sogar bricht. Durch Verwendung dieser Ausführungsform beim Ausbilden der beweglichen Elektrode **1002** und der die bewegliche Elektrode bewegend festen Elektrode **1001** mit derselben Maske kann die Masken-Fehlanpassung auf null verringert werden.

$$F(x) = -\left(\frac{V^2}{2}\right) \frac{\partial C}{\partial x} = \left(\frac{n}{2}\right) h \epsilon_0 \left\{ \frac{1}{(d-e-x)^2} - \frac{1}{(d+e+x)^2} \right\} V^2$$

(Gleichung 5),

worin C die zwischen der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und der beweglichen Elektrode entstehende Kapazität ist, X die Kraft ist, die an einem Punkt entsteht, der um eine Strecke x von einer Masken-Fehlanpassungsposition verschoben ist, V die zwischen der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und der beweglichen Elektrode angelegte Spannung ist, n die Anzahl der konvexen Teile an der beweglichen Elektrode ist, h die kleinere Schichtdicke der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und der beweglichen Elektrode ist, l die Überlappungslänge der konvexen Teile der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und der beweglichen Elektrode ist, ϵ_0 die Dielektrizitätskonstante in der Luft ist, d der zulässige Wert eines ersten vorgegebenen Spalts zwischen dem jeweiligen konvexen Teil der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und der beweglichen Elektrode und dem jeweiligen benachbarten konkaven Teil ist und e die Größe der Fehlanpassung bei der Maskenüberdeckung ist.

4. Vierte beispielhafte Ausführungsform

[0062] Fig. 11 ist eine Schnittansicht, die den Herstellungsprozess für einen erfindungsgemäßen Schalter zeigt. In Fig. 11A wird ein hochohmiges Siliciumsubstrat 901 thermisch oxidiert, um eine Siliciumoxidschicht 902 auf dem hochohmigen Siliciumsubstrat 901 auszubilden. Anschließend wird auf der Siliciumoxidschicht 902 eine Metallschicht zur Herstellung einer festen Signalübertragungselektrode 903 ausgebildet, auf der eine Siliciumoxidschicht zur Herstellung einer die Elektroden trennenden Siliciumoxidschicht 904 ausgebildet wird. Anschließend wird eine Photoresist-Struktur durch Photolithographie so ausgebildet, dass das Resist nur in einem vorgegebenen Bereich verbleibt, um die Siliciumoxidschicht auf dem Metall unter Verwendung des Photoresists als Maske trocken zuätzen. Dann wird das Metall geätzt, um dadurch die feste Signalübertragungselektrode 903 und die die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht 904 auszubilden. Nach dem Entfernen der Resistmaske wird ein Opferschicht-Material aufgebracht und so strukturiert, dass eine Opferschicht auf der beweglichen Elektrode, den konvexen und konkaven Teilen an einer Seitenfläche der beweglichen Elektrode, den konvexen und konkaven Teilen der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode und einem Bereich verbleibt, der teilweise an die konkaven und konvexen Teile der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode angrenzt, wodurch eine Opferschicht 905 ausgebildet wird. Wie in Fig. 11B gezeigt, wird anschließend eine Metallschicht 906 auf der gesamten Oberfläche ausgebildet. Dann wird eine Resistmaske 907 in einem vorgegebenen Bereich ausgebildet, um die bewegliche Elektrode und die die bewegliche Elektrode bewegende feste Elektrode anzuordnen.

[0063] Anschließend wird, wie in Fig. 11C gezeigt, das Metall unter Verwendung der Resistmaske 907 als Maske geätzt, um eine bewegliche Elektrode 908 und eine die bewegliche Elektrode bewegende feste Elektrode 909 auszubilden. Nach dem Entfernen der Resistmaske 907 wird die Opferschicht 905 entfernt, wodurch ein kapazitätsverringender Spalt 910 entsteht.

[0064] Diese Ausführungsform verwendet zwar ein Metall als Material für die feste Signalübertragungselektrode, die bewegliche Elektrode und die die bewegliche Elektrode bewegende feste Elektrode, aber alternativ kann auch ein Halbleiter, der mit einer Verunreinigung in hoher Konzentration dotiert ist, ein leitfähiges Polymermaterial oder dergleichen verwendet werden.

[0065] Es wird zwar eine Siliciumoxidschicht als Isolierschicht auf dem hochohmigen Siliciumsubstrat 901 verwendet, aber das Substrat kann wie bei Ausführungsform 1 auch aus einem anderen Isoliermaterial bestehen. Ebenso kann ein anderes Substratmaterial, wie etwa ein Gallium-Arsen-Substrat, verwendet werden. Außerdem ist es selbstverständlich, dass die Siliciumoxidschicht entfallen kann, wenn das Substrat einen genügend hohen Widerstand hat.

5. Fünfte beispielhafte Ausführungsform

[0066] Fig. 12A zeigt eine Schnittansicht eines Herstellungsprozesses für einen Schalter für den Fall, dass keine Stufenmodulationsstruktur ausgebildet wird. Auf einem hochohmigen Siliciumsubstrat 1201 werden nach einem ähnlichen Verfahren wie dem bei Ausführungsform 4 eine Siliciumoxidschicht 1202, eine feste Signalübertragungselektrode 1203 und eine die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht 1204 ausgebildet. Dann wird eine Opferschicht 1205 aus Polyimid ausgebildet. Im Unterschied zur Ausführungsform 4 ist bei der vorliegenden Ausführungsform die Opferschicht 1205 mit einer kleinen Breite gestaltet, sodass die Opferschicht 1205 leicht entfernt werden kann. Anschließend wird durch Zerstäuben eine Al-Schicht 1206 auf der gesamten

Oberfläche ausgebildet, wie in [Fig. 12B](#) gezeigt. Durch die Zerstäubung kann eine Al-Schicht auch in einem Prozess mit einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur stabil ausgebildet werden. Die Abscheidung auf die Seitenfläche einer Stufe ist jedoch nicht einfach. Beim Aufdampfen ist die Abscheidung auf die Seitenfläche einer Stufe ebenfalls nicht einfach. Beim Tiefdruck-CVD-Verfahren ist zwar die Abscheidung auf die Seitenfläche der Stufe möglich, aber wegen seiner hohen Prozesstemperatur gibt es Einschränkungen bei der Anwendung. Daher wird die Al-Schicht mit einem dickenreduzierten Bereich **1207** an einer Stufe ausgebildet. Wie in [Fig. 12C](#) gezeigt, wird anschließend eine Resistmaske in einem festgelegten Bereich ausgebildet, in dem die bewegliche Elektrode und die die bewegliche Elektrode bewegendende feste Elektrode angeordnet sind. Das Al wird unter Verwendung der Resistmaske als Maske geätzt, um die bewegliche Elektrode **1208** und die die bewegliche Elektrode bewegendende feste Elektrode **1209** auszubilden. Durch Entfernen der Resistmaske und der Opferschicht **1205** entsteht ein kapazitätsverringender Zwischenraum **1210**. Hingegen bleibt der dickenreduzierte Bereich an der Stufe der Opferschicht **1205** unverändert ein Bereich **1211** mit unzureichender Festigkeit an der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **1209**.

[0067] [Fig. 13](#) zeigt eine Schnittansicht bei einem Herstellungsprozess für einen Schalter für den Fall, dass eine Stufenmodulationsstruktur zur Stufenüberdeckungskompensation ausgebildet wird. In [Fig. 13A](#) werden mit einem Verfahren, das dem der Ausführungsform 4 ähnlich ist, eine Siliciumoxidschicht **1202**, eine feste Signalübertragungselektrode **1203** und eine die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht **1204** auf einem hochohmigen Siliciumsubstrat **1201** ausgebildet. Dann wird, wie in [Fig. 13B](#) gezeigt, ein Photoresist durch Schleuderbeschichtung aufgebracht. Dieser wird belichtet und entwickelt und dann auf einer heißen Platte gehärtet, sodass eine Stufenmodulationsstruktur **1212** in einem festgelegten Bereich entsteht. Die Stufenmodulationsstruktur **1212** wird an einer solchen Position und in einer solchen Schichtdicke ausgebildet, dass eine Stufe, die von einer die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode in einem späteren Prozess und von der Opferschicht gebildet wird, geteilt werden kann.

[0068] Dann wird, wie in [Fig. 13C](#) gezeigt, eine Opferschicht **1205** aus Polyimid ausgebildet. Die Stufenmodulationsstruktur **1212** befindet sich außerhalb einer Opferschicht-Stirnfläche **1213**. Wenn keine Stufenmodulationsstruktur **1212** vorhanden ist, wird an der Stirnfläche der Opferschicht eine Stufe mit einer Länge von der Oberfläche der Opferschicht **1205** bis zur Oberfläche der Siliciumoxidschicht **1202** ausgebildet. Andererseits wird durch die Stufenmodulationsstruktur **1212** die Stufe in zwei Stufen geteilt, d. h. eine Stufe von der Oberfläche der Opferschicht bis zur Oberfläche der Stufenmodulationsstruktur und eine Stufe von der Oberfläche der Stufenmodulationsstruktur bis zur Oberfläche der Siliciumoxidschicht. Dadurch kann vermieden werden, dass eine große Stufe an einem einzigen Punkt entsteht. Anschließend wird durch Zerstäuben eine Al-Schicht **1206** auf der gesamten Oberfläche ausgebildet, wie in [Fig. 13D](#) gezeigt. Wie in [Fig. 13E](#) gezeigt, wird nach einem Verfahren, das dem der Ausführungsform 4 ähnlich ist, in einem festgelegten Bereich, in dem die bewegliche Elektrode und die die bewegliche Elektrode bewegendende feste Elektrode angeordnet sind, eine Resistmaske ausgebildet. Das Al wird unter Verwendung der Resistmaske als Maske geätzt, um die bewegliche Elektrode **1208** und die die bewegliche Elektrode bewegendende feste Elektrode **1209** auszubilden. Durch Entfernen der Resistmaske, der Opferschicht **1205** und der Stufenmodulationsstruktur entsteht ein kapazitätsverringender Zwischenraum **1210**. Da die Stufe in der Opferschicht für den kapazitätsverringenden Zwischenraum von der Opferschicht und der Stufenmodulationsstruktur moduliert wird, entsteht an der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **1110** kein Bereich einer extrem geringen Schichtdicke, der eine unzureichende Festigkeit hat.

[0069] Im Gegensatz zum Nassätzen in einem Lösungsmittel kann beim Sauerstoffplasmaverfahren die Verarbeitung in einer Atmosphäre niedrigen Drucks erfolgen. Die Adsorption beim Nassätzen ist z. B. in J. Vac. Sci. Technol., Bd. B, 1997, S. 1, beschrieben. Bekanntlich kann es beim Trockenätzen durch den Einfluss der Oberflächenspannung oder dergleichen zu einer Adsorption in einem unbeabsichtigten Bereich kommen. Durch Verwendung einer Opferschicht, die aus einem Resist besteht, kann die Notwendigkeit entfallen, nach dem Entfernen der Opferschicht einen Nassätzprozess durchzuführen. Dadurch kann eine Adhäsion zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Signalübertragungselektrode vermieden werden.

[0070] Als Stufenmodulationsstruktur der Ausführungsform wird zwar ein Photoresist verwendet, aber es kann auch Polyimid problemlos verwendet werden. Bei der Ausführungsform wird als Stufenmodulationsstruktur ein Material verwendet, das mit einem Opferschicht-Entfernungsprozess entfernt werden soll. Bei einem Material, das nicht mit einem Opferschicht-Entfernungsprozess entfernt werden soll, ist die Festigkeit der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode noch größer.

6. Sechste beispielhafte Ausführungsform

[0071] Fig. 14 zeigt eine Schnittansicht entlang der Linie A-A' in Fig. 2 bei einem Herstellungsprozess für einen Schalter für den Fall, dass eine Stufenmodulationsstruktur auf beiden Seiten der festen Signalübertragungselektrode in Richtung ihrer kürzeren Seite ausgebildet wird. In Fig. 14A werden mit einem Verfahren, das dem der Ausführungsform 4 ähnlich ist, eine Siliciumoxidschicht **102**, eine feste Signalübertragungselektrode **105** und eine die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht **1304** auf einem hochohmigen Siliciumsubstrat **101** ausgebildet.

[0072] Dann wird, wie in Fig. 14B gezeigt, lichtempfindliches Polyimid auf beide Seiten der festen Signalübertragungselektrode in Richtung ihrer kürzeren Seite durch Schleuderbeschichtung aufgebracht. Nach der Belichtung und Entwicklung erfolgt das Härten auf einer heißen Platte, sodass eine Stufenmodulationsstruktur **1305** entsteht. Die Stufenmodulationsstruktur **1305** wird an einer solchen Position und in einer solchen Schichtdicke ausgebildet, dass eine Stufe, die von einer beweglichen Elektrode und einer Opferschicht in einem späteren Prozess gebildet wird, geteilt werden kann. Dann wird, wie in Fig. 14C gezeigt, eine Polyimid-Opferschicht **1306** ausgebildet. Da sich die Stufenmodulationsstruktur **1305** unter der Opferschicht-Stirnfläche **1307** befindet, wird die Stufe von der Opferschicht-Oberfläche in mehrere Teilstufen geteilt, wodurch vermieden werden kann, dass eine große Stufe an einem einzigen Punkt entsteht. Anschließend wird eine Al-Schicht **1308** auf der gesamten Oberfläche durch Zerstäuben ausgebildet, wie in Fig. 14D gezeigt. Obwohl diese Al-Schicht wie bei Ausführungsform 5 bei einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur abgeschieden werden kann, kann sie nicht ohne weiteres auf eine Stufen-Seitenfläche abgeschieden werden. Dieser Nachteil besteht auch beim Aufdampfen.

[0073] Wie in Fig. 14E gezeigt, wird nach einem Verfahren, das dem der Ausführungsform 4 ähnlich ist, in einem festgelegten Bereich, in dem die bewegliche Elektrode angeordnet ist, eine Resistmaske ausgebildet. Das Al wird unter Verwendung der Resistmaske als Maske geätzt, um eine bewegliche Elektrode **1309** auszubilden. Durch Entfernen der Resistmaske, der Opferschicht **1205** und der Stufenmodulationsstruktur entsteht ein kapazitätsverringender Zwischenraum **1310**. Da die Stufe in der Opferschicht für den kapazitätsverringenden Zwischenraum von der Opferschicht und der Stufenmodulationsstruktur moduliert wird, wird die bewegliche Elektrode **1309** nicht mit einem Bereich einer extrem geringen Schichtdicke, in dem die Festigkeit unzureichend ist, ausgebildet. Die Stufenmodulationsstruktur bei dieser Ausführungsform wird zwar aus Polyimid ausgebildet, aber wie bei Ausführungsform 5 ist es nicht problematisch, wenn sie nach dem Entfernen der Opferschicht verbleibt.

[0074] Fig. 15 zeigt eine Schnittansicht entlang der Linie B-B' in Fig. 2 bei einem Herstellungsprozess für einen Schalter für den Fall, dass eine Stufenmodulationsstruktur auf beiden Seiten der festen Signalübertragungselektrode in Richtung ihrer längeren Seite ausgebildet wird. In Fig. 15A werden mit einem Verfahren, das dem der Ausführungsform 4 ähnlich ist, eine Siliciumoxidschicht **102**, eine feste Signalübertragungselektrode **105** und eine die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht **1304** auf einem hochohmigen Siliciumsubstrat **101** ausgebildet.

[0075] Dann wird, wie in Fig. 15B gezeigt, ein Photoresist durch Schleuderbeschichtung aufgebracht. Nach der Belichtung und Entwicklung erfolgt das Härten auf einer heißen Platte, sodass auf beiden Seiten der festen Signalübertragungselektrode in Richtung ihrer längeren Seite eine Stufenmodulationsstruktur **1305** entsteht. Die Stufenmodulationsstruktur **1305** wird unter den konvexen und konkaven Teilen an einer Seitenfläche der beweglichen Elektrode und den konkaven und konvexen Teilen einer die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode ausgebildet, die in einem späteren Prozess ausgebildet werden. Die Stufenmodulationsstruktur wird in einer Schichtdicke ausgebildet, die durch Addieren der Schichtdicke der festen Signalübertragungselektrode und der Schichtdicke der die Elektroden trennenden Siliciumoxidschicht erhalten wird. Mit anderen Worten, die Stufenmodulationsstruktur hat in Bezug auf die Substrat-Oberfläche die gleiche Höhe wie die die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht.

[0076] Dann wird, wie in Fig. 14C gezeigt, eine Polyimid-Opferschicht **1306** ausgebildet. Durch Ausbilden der Stufenmodulationsstruktur **1305** in einer Schichtdicke, die durch Addieren der Schichtdicke der festen Signalübertragungselektrode **105** und der Schichtdicke der die Elektroden trennenden Siliciumoxidschicht **1304** entsteht, hat die Opferschicht eine konstante Oberflächenhöhe in Bezug auf die Substrat-Oberfläche in dem Bereich von der festen Signalübertragungselektrode bis fast zur Stirnfläche der Stufenmodulationsstruktur **1305**.

[0077] Anschließend wird durch Zerstäuben eine Al-Schicht **1308** auf der gesamten Oberfläche ausgebildet, wie in Fig. 15D gezeigt. Mit einem Prozess, der dem der Ausführungsform 4 ähnlich ist, werden an einer fest-

gelegten Position, an der die bewegliche Elektrode und die die bewegliche Elektrode bewegendende feste Elektrode angeordnet sind, eine Photoresistmaske **1311** zum Ausbilden der beweglichen Elektrode und eine Photoresistmaske **1312** zum Ausbilden einer die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode ausgebildet. Die Maske zum Ausbilden der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode befindet sich teilweise über der Stufenmodulationsstruktur **1305**, um einen Bereich **1313** zu bilden, in dem konvexe und konkave Teile der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode ausgebildet sind. Diese hat aufgrund der Stufenmodulationsstruktur **1305** die gleiche Höhe wie die Oberfläche der Maske der beweglichen Elektrode.

[0078] Die konvexen und konkaven Teile, die an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode ausgebildet sind, sind zwar in [Fig. 15D](#) nicht dargestellt, aber sie haben die gleiche Position wie die konvexen und konkaven Teile, die an der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode ausgebildet sind. Dadurch haben die konvexen und konkaven Teile der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode und die konvexen und konkaven Teile, die an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode ausgebildet sind, in ihren Ausbildungsbereichen die gleiche Höhe. Dadurch kann eine solch feine Struktur, wie sie wegen des Problems der Fokustiefe eines Kopiergeräts nicht in verschiedenen Höhen ausgebildet werden kann, als Struktur mit der gleichen Höhe ausgebildet werden, sodass eine genauere Struktur ausgebildet werden kann.

[0079] Dann wird, wie in [Fig. 15E](#) gezeigt, die Resistmaske als Maske verwendet, um das Al zu ätzen, um dadurch eine bewegliche Elektrode **1309** und eine die bewegliche Elektrode bewegendende feste Elektrode **1314** auszubilden. Dann entsteht durch Entfernen der Resistmaske, der Opferschicht und der Stufenmodulationsstruktur ein kapazitätsverringender Zwischenraum **1310**. Auf diese Weise können durch Verwenden der vorliegenden Ausführungsform die konvexen und konkaven Teile an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode und die konvexen und konkaven Teile an der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode mit einer feineren Struktur ausgebildet werden.

7. Siebente beispielhafte Ausführungsform

[0080] [Fig. 16](#) ist eine perspektivische Darstellung, die einen Schalter für den Fall zeigt, dass Opferschicht-Entfernungsöffnungen in einer beweglichen Elektrode ausgebildet sind. In einer beweglichen Elektrode **1503** sind mehrere Opferschicht-Entfernungsöffnungen **1508** ausgebildet. Wenn keine Opferschicht-Entfernungsöffnungen vorhanden sind, kann die Opferschicht nur aus dem Spalt, der von den konvexen und konkaven Teilen an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode und den konkaven und konvexen Teilen an der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **1504** gebildet wird, sowie von den beiden Enden **1509** der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode entfernt werden. Um bei einem realen Schalter eine schnelle Verbindung und Trennung bei einer niedrigen Spannung durchzuführen, muss die Opferschicht so entfernt werden, dass ein Spalt, der von den konvexen und konkaven Teilen an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode und den konkaven und konvexen Teilen der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **1504** definiert wird, von 1 µm oder weniger und ein Spalt in der Opferschicht an beiden Enden **1509** der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode von 1 µm oder weniger entstehen. Die bewegliche Elektrode **1503** hat eine Länge von ca. 400 µm. Wenn die Opferschicht aus einem so schmalen Bereich nur über einen Spalt, der von den konvexen und konkaven Teilen an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode und den konkaven und konvexen Teilen der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode **1504** gebildet wird, sowie an den beiden Enden der die bewegliche Elektrode bewegendenden festen Elektrode entfernt wird, entsteht das Problem, dass die Opferschicht nicht vollständig entfernt werden kann und viel Zeit zum Entfernen der Opferschicht benötigt wird. Durch Ausbilden der Opferschicht-Entfernungsöffnungen an der beweglichen Elektrode **1503** kann die Opferschicht leicht entfernt werden. Insbesondere ist bei dieser Ausführungsform die die bewegliche Elektrode bewegendende feste Elektrode **1504** auf einer Seite der beweglichen Elektrode angeordnet. Daher ist es im Unterschied zu dem Fall, dass es keine Hindernisse beim Entfernen der Opferschicht auf der Seite der beweglichen Elektrode gibt, schwieriger, die Opferschicht zu entfernen, wenn keine Opferschicht-Entfernungsöffnungen vorgesehen sind. Selbst wenn die Opferschicht-Entfernungsöffnungen nur eine Größe von 1 µm haben, zeigen sie eine ausreichende Wirkung. Die Löcher werden vorzugsweise in einer Größe gestaltet, die keinen Einfluss auf das durch die bewegliche Elektrode fließende Signal hat.

[0081] Nach dem Entfernen der Opferschicht dienen die Opferschicht-Entfernungsöffnungen **1508** beim Betätigen des Schalters während des Kontakts der beweglichen Elektrode mit der festen Signalübertragungselektrode als Entweichungsweg für das Gas in dem zweiten festgelegten Spalt unter der beweglichen Elektrode. Sie dienen auch als Gaseinlass, wenn sich die in Kontakt gebrachte bewegliche Elektrode von der festen Signalübertragungselektrode zurückzieht. Dadurch kann vermieden werden, dass die Bewegung der beweglichen Elektrode durch die Gasviskosität behindert wird.

8. Achte beispielhafte Ausführungsform

[0082] Fig. 17 ist eine Prozess-Schnittansicht, die einen Schalter zeigt, der mit Opferschicht-Entfernungsöffnungen in der die bewegliche Elektrode bewegendes feste Elektrode ausgebildet wird. Mit einem Prozess, der dem der Ausführungsform 4 der Erfindung ähnlich ist, werden eine Siliciumoxidschicht **1602**, eine feste Signalübertragungselektrode **1603**, eine die Elektroden trennende Siliciumoxidschicht **1604** und eine Opferschicht **1605** auf einem hochohmigen Siliciumsubstrat **1601** ausgebildet. Wie in Fig. 17A gezeigt, wird nach dem Ausbilden einer Metallschicht **1606** auf der gesamten Oberfläche des Substrats eine Resistmaske **1607** in einem festgelegten Bereich ausgebildet, in dem eine bewegliche Elektrode und eine die bewegliche Elektrode bewegendes feste Elektrode angeordnet sind. Die Resistmaske **1607** hat eine die Opferschicht-Entfernungsöffnungen ausbildende Struktur **1608** zum Ausbilden der Opferschicht-Entfernungsöffnungen in einem festgelegten Bereich, in dem die die bewegliche Elektrode bewegendes feste Elektrode ausgebildet ist. Anschließend wird das Metall unter Verwendung der Resistmaske als Maske geätzt, um eine bewegliche Elektrode **1609** und eine die bewegliche Elektrode bewegendes feste Elektrode **1610** auszubilden. Wie in Fig. 17B gezeigt, wird nach dem Entfernen der Resistmaske durch weiteres Entfernen der Opferschicht ein kapazitätsverringender Zwischenraum **1611** ausgebildet. Da die Opferschicht auch über die Opferschicht-Entfernungsöffnungen **1612** entfernt werden kann, kann die Opferschicht problemlos ohne Rückstände entfernt werden.

9. Neunte beispielhafte Ausführungsform

[0083] Fig. 18 ist eine Darstellung, die die Positionen einer beweglichen Elektrode **1702** und einer die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **1701** für den Fall veranschaulicht, dass die bewegliche Elektrode **1702** über eine Oxid-Trennschicht **1704** in Kontakt mit der festen Signalübertragungselektrode **1703** gebracht wird. Die bewegliche Elektrode **1702** hat auch in dem Zustand, dass sie in Kontakt mit der festen Signalübertragungselektrode **1703** ist, einen vertikal überlappten Bereich, sodass ein Parallelplatten-Kapazitätsbereich **1705** entsteht. Wie bei Ausführungsform 2 ermittelt sich in dem Parallelplatten-Kapazitätsbereich **1705** die elektrostatische Kraft, die erzeugt wird, wenn eine Spannung zwischen der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **1701** und der beweglichen Elektrode **1702** angelegt wird, nach Gleichung 4. Wenn jedoch keine Parallelplattenkapazität entsteht, ist keine nach Gleichung 4 ermittelte Kraft vorhanden, wodurch die Kraft zum Bewegen der beweglichen Elektrode **1702** sehr klein ist. Dadurch, dass auf diese Weise eine Struktur bereitgestellt wird, bei der mehrere konvexe und konkave Teile, die an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode ausgebildet sind, und mehrere konvexe und konkave Teile, die an der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **1701** ausgebildet sind, auch dann einen vertikal überlappten Bereich haben, wenn die bewegliche Elektrode **1702** in Kontakt mit der festen Signalübertragungselektrode **1704** ist, kann eine große elektrostatische Kraft erzeugt werden.

10. Zehnte beispielhafte Ausführungsform

[0084] Fig. 19 ist eine Darstellung, die die Positionen einer beweglichen Elektrode **1802** und einer die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **1801** für den Fall veranschaulicht, dass die bewegliche Elektrode in Längsrichtung um g abweicht, wenn die bewegliche Elektrode in Kontakt mit der festen Signalübertragungselektrode gebracht wird. Die abweichende bewegliche Elektrode macht einen ersten normal festgelegten Spalt d, der von dem konvexen Teil an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode und dem konkaven Teil an der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode gebildet wird, um d – g schmaler. In diesem Zustand kann ein ähnliches Konzept wie bei Ausführungsform 3 für die zwischen der beweglichen Elektrode **1802** und der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **1801** wirkende Kraft verwendet werden. Wenn eine Spannung V zwischen der beweglichen Elektrode **1802** und der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **1801** angelegt wird, wirkt eine Kraft nach Gleichung 6 auf beide Elektroden an einem Punkt, der um eine Strecke x in Richtung innerhalb der Ebene des Substrats verschoben ist:

$$F(x) = - (V^2 / 2) \partial C / \partial x = (n / 2) h \epsilon_0 \{ 1 / (d - g - x)^2 - 1 / (d + g + x)^2 \} V^2$$

(Gleichung 6).

[0085] Wenn eine Spannung kontinuierlich zwischen der beweglichen Elektrode **1802** und der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **1801** angelegt wird, entsteht wie bei Ausführungsform 3 das Problem, dass die Bewegung der beweglichen Elektrode **1802** behindert wird und die bewegliche Elektrode **1802** sogar bricht. Durch Verkürzen der Zeit des Anlegens der Spannung zwischen der beweglichen Elektrode **1802** und der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode **1801** auf die Zeit, die erforderlich ist, um die bewegliche Elektrode **1802** in dem kürzesten Abstand eines ersten vorgegebenen Spalts, der von dem konvexen Teil an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode und dem konkaven Teil an der die bewegliche Elektrode

bewegenden festen Elektrode **1801** gebildet wird, und eines festgelegten Spalts, der von dem konvexen Teil der beweglichen Elektrode bewegenden festen Elektrode **1801** und dem konkaven Teil an der Seitenfläche der beweglichen Elektrode gebildet wird, d. h. in einem Abstand $d - g$ bei dieser Ausführungsform, zu bewegen, oder auf eine kürzere Zeit als diese Zeit kann jedoch die Bewegungsbehinderung oder der Bruch aufgrund der Elektrodenadsorption auch dann vermieden werden, wenn die bewegliche Elektrode **1802** bei einer Abweichung in Längsrichtung in Kontakt mit der festen Signalübertragungselektrode gebracht wird.

11. Elfte beispielhafte Ausführungsform

[0086] [Fig. 20A](#) zeigt den Vorgang der Schaltertrennung für den Fall, dass die Erfindung angewendet wird, und [Fig. 20B](#) zeigt den Vorgang der Schaltertrennung für den Fall, dass die Erfindung nicht angewendet wird. Wenn, wie in [Fig. 20A](#) gezeigt, die Erfindung angewendet wird, bleibt die bewegliche Elektrode auch dann getrennt, wenn ein starkes Signal auf die feste Signalübertragungselektrode gegeben wird. Wenn jedoch die Erfindung nicht angewendet wird, wie in [Fig. 20B](#) gezeigt, wird nur dann eine Spannung zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode in Form eines Impulses angelegt, wenn der Zustand, dass eine Spannung zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Signalübertragungselektrode angelegt ist, in einen Zustand geändert wird, in dem keine Spannung angelegt ist. Von da an wird die bewegliche Elektrode auch dann getrennt gehalten, wenn keine Spannung zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode angelegt wird. Wenn jedoch ein Signal, das zu der festen Signalübertragungselektrode fließt, einen bestimmten konstanten Spannungswert erreicht oder überschreitet, wirkt eine elektrostatische Kraft, die aus dem Signal resultiert, auf die bewegliche Elektrode und die feste Signalübertragungselektrode. Das führt möglicherweise zu einer Störung, d. h. die bewegliche Elektrode ist im Verbindungszustand. Auf diese Weise kann durch Anwenden der vorliegenden Erfindung vermieden werden, dass die bewegliche Elektrode aufgrund eines durch die feste Signalübertragungselektrode fließenden Signals in Kontakt mit der festen Signalübertragungselektrode kommt.

12. Zwölfte beispielhafte Ausführungsform

[0087] [Fig. 21](#) ist ein Beispiel für einen Schaltplan für den Fall, dass der erfindungsgemäße Schalter als Send-/Empfangsschalter einer Antenne verwendet wird. Um zwischen einer Antenne **2007**, einem eingangsseitigen Verstärker und einem ausgangsseitigen Verstärker umzuschalten, sind Serienschalter **2003**, **2005** und Erdungsschalter **2004**, **2006** zwischen die einzelnen Verstärkerausgänge geschaltet. Bei einer Verbindung zwischen einem Anschlusspunkt **2001** des ausgangsseitigen Verstärkers und der Antenne **2007** ist der Schalter **2003** im Verbindungszustand und gleichzeitig ist der Schalter **2004** im Trennungszustand, sodass eine Verbindung zwischen dem ausgangsseitigen Verstärker und der Antenne hergestellt wird. Zwischen einem Anschlusspunkt **2002** des eingangsseitigen Verstärkers und der Antenne **2007** wird durch den Trennungszustand des Schalters **2005** sowie durch den Verbindungszustand des Schalters **2006** ein noch vollständigerer Trennungszustand erreicht.

[0088] Während der Verbindung zwischen dem Anschlusspunkt **2002** des eingangsseitigen Verstärkers und der Antenne **2007** ist der Schalter ... (Anm. d. Übers.: Bezugssymbol fehlt) im Verbindungszustand und der Schalter **2006** ist im Trennungszustand, sodass der eingangsseitige Verstärker mit der Antenne verbunden wird. Zwischen dem Anschlusspunkt des ausgangsseitigen Verstärkers und der Antenne **2007** wird durch den Trennungszustand des Schalters **2003** sowie durch den Verbindungszustand des Schalters **2004** ein noch vollständigerer Trennungszustand erreicht.

[0089] Bei dieser Ausführungsform ist bei den Schaltern **2003**, **2005** auf der Eingangs- und der Ausgangsseite jeweils die feste Signalübertragungselektrode mit der Antennenseite verbunden. Durch Verbinden der beweglichen Elektroden der Schalter **2004**, **2006** mit der Erdseite können der Verlust und die schlechte Trennung aufgrund der parasitären Kapazität zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode auf ein Minimum reduziert werden.

[0090] [Fig. 22](#) ist eine perspektivische Darstellung eines Schalterstromkreises nach dieser Ausführungsform. [Fig. 22](#) zeigt nur eine der Eingangs- und Ausgangsseiten. Bei einem Serienschalter **2101** wird eine feste Signalübertragungselektrode mit einer Antenne verbunden, und eine bewegliche Elektrode wird mit einer festen Elektrode eines Erdungsschalters **2102** und mit einem Verstärker verbunden. Bei dem Erdungsschalter **2102** ist eine bewegliche Elektrode mit der Erdseite verbunden.

[0091] Beim Verbinden zwischen dem Verstärker und der Antenne stellt der Serienschalter **2101** den Verbindungszustand zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Signalübertragungselektrode her, während

der Erdungsschalter **2102** den Trennungszustand zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Signalübertragungselektrode herstellt. In diesem Zustand ist nur der Anstieg der parasitären Kapazität zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode des Erdungsschalters **2102** an dem Signalverlust beteiligt. Wenn jedoch der Verstärker und die Antenne getrennt werden, besteht bei dem Serienschalter **2101** ein Trennungszustand zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Signalübertragungselektrode, während bei dem Erdungsschalter **2102** ein Verbindungszustand zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Signalübertragungselektrode besteht. Die parasitäre Kapazität, die am Signalverlust oder an der schlechten Trennung beteiligt ist, nimmt nicht zu. Auf diese Weise nimmt durch Anwenden dieser Ausführungsform die parasitäre Kapazität nur an einem Punkt zu, sodass der Verlust und die schlechte Trennung auf ein Minimum reduziert werden können.

13. Dreizehnte beispielhafte Ausführungsform

[0092] Im Allgemeinen kommt es beim Gestalten eines mechanischen Schalters wie bei der Erfindung oft vor, dass eine Zwischenträgerstruktur aus einem leiffähigen Material und ein Substrat aus einem Halbleitermaterial, wie etwa Silicium, ausgebildet werden. Daher wird, wie im Stand der Technik dargelegt, in dem Fall, dass sich die Betriebsumgebung und die Temperatur ändern, die mechanische Spannung durch den Unterschied in den Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen dem Zwischenträgermaterial und dem Substratmaterial geändert. Die Spannungsänderung wird durch Gleichung 7 dargestellt. (S'_{11}) und (S'_{12}) stellen jeweils die Auslenkung in Kristallrichtung dar. $\Delta\alpha$ stellt die Differenz der Wärmeausdehnungskoeffizienten dar, und Δt stellt die Temperaturänderung dar.

$$\sigma_1 = [1/\{(S'_{11}) + (S'_{12})\}] \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta t \quad (\text{Gleichung 7}).$$

[0093] Wenn der Zwischenträger aus Aluminium besteht und das Substrat aus Silicium besteht, betragen die Wärmeausdehnungskoeffizienten 2×10^{-6} [1/K] bzw. $3,0 \times 10^{-6}$ [1/K]. Wenn es zu einem Temperaturunterschied von 100 °C kommt, beträgt also die Spannungsänderung 238 MPa. Diese Ausführungsform soll diese Temperaturänderung ausgleichen.

[0094] [Fig. 23](#) zeigt die Beziehung zwischen der inneren Spannung eines Zwischenträgers und der Ansprechzeit. Hier ist der Fall dargestellt, dass der Zwischenträger eine Breite von 5 µm, eine Länge von 400 µm und eine Dicke von 0,7 µm hat. Wenn sich die innere Spannung ändert, ändert sich auch die Federkonstante des Zwischenträgers. Die elektrostatische Kraft dominiert jedoch in einem Bereich, in dem die Federkraft gegenüber der elektrostatischen Kraft so klein ist, dass sie keinen Einfluss auf die Ansprechzeit hat. Wenn sich jedoch die innere Spannung ändert und sich die Restspannung 0 nähert, kann die Wirkung der Schwerkraft nicht vernachlässigt werden, und der Zwischenträger wird verformt. In diesem Fall muss bei einer Struktur, die nur mit einer Signalleitungselektrode und einer beweglichen Elektrode gestaltet ist, ein zweiter festgelegter Spalt zwischen der beweglichen Elektrode und der festen Elektrode unter Berücksichtigung der maximalen Durchbiegung vorgesehen werden. Daher müssen der Zwischenträger und die Elektrode durch einen so großen Abstand voneinander getrennt werden, dass der gewünschte Spalt auch bei einer Temperatur erhalten wird, bei der die innere Spannung auf null verringert wird. Daher ist bei einer bestimmten Temperatur der Spalt größer als erforderlich, wodurch sich natürlich die Ansprechzeit verlängert.

[0095] Daher wird bei der vorliegenden Ausführungsform eine Steuerspannung zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode angelegt, um eine elektrostatische Kraft so bereitzustellen, dass der Spalt bei einer Temperaturänderung nicht verkleinert wird. Bei einer Temperaturänderung wird die bewegliche Elektrode stets von der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode nach oben gezogen, sodass eine Temperaturkompensationsfunktion vorliegt. [Fig. 23](#) zeigt die Kennlinien für den Fall, dass die Steuerspannung auf 3 V, 5 V bzw. 7 V geändert wird.

14. Vierzehnte beispielhafte Ausführungsform

[0096] Die Ausführungsformen 1 bis 13 haben jeweils eine Struktur, bei der ein Signal auf die feste Signalübertragungselektrode gegeben wird. Das ist darauf zurückzuführen, dass ein Kapazitätsbereich **1705** zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode entsteht, wenn die bewegliche Elektrode in Kontakt mit der festen Signalübertragungselektrode gebracht wird, wie in [Fig. 18](#) gezeigt. Angenommen, es wird eine Struktur verwendet, bei der ein Signal auf die bewegliche Elektrode gegeben wird und das Signal an die feste Elektrode gesendet wird. In diesem Fall wird die bewegliche Elektrode auch dann mit der die bewegliche Elektrode bewegenden festen Elektrode verbunden, wenn die bewegliche Elektrode in Kontakt mit der festen Elektrode ist, was zu einem Signalverlust führt. Um jedoch die Gestaltungsfrei-

heit zu verbessern, muss eine Struktur bereitgestellt werden, bei der ein Signal auf die bewegliche Elektrode gegeben wird. In diesem Fall wird die Breite a einer Kammelektrode **2401** verkleinert, wie in [Fig. 24](#) gezeigt. Durch Vergrößern der Impedanz des Kamms, von der Linie aus gesehen, wird vermieden, dass ein Hochfrequenzsignal zu der Kammelektrode geht. Um eine elektrostatische Kraft zwischen der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode bewegendes festen Elektrode zu erzeugen, wird ein Gleichspannungspotential angelegt, und entsprechend wird ein Potential an die Kammzähne angelegt. Da jedoch der Kammbereich eine erhöhte Impedanz hat, gelangt das Hochfrequenzsignal nicht in die Struktur der Kammzähne. Daher können die bewegliche Elektrode und die die bewegliche Elektrode bewegendes feste Elektrode keine Kopplung des Hochfrequenzsignals durch den Kammzahnbereich bewirken.

[0097] Wenn die Kammelektrode **24** (Anm. d. Übers.: muss wohl „**2401**“ heißen) beispielsweise eine Breite a von $10\text{ }\mu\text{m}$, eine Länge b von $20\text{ }\mu\text{m}$ und einen Zahnabstand c von $0,6\text{ }\mu\text{m}$ hat, liegt in dem Fall von [Fig. 25](#), wo die Zahnwurzel mit einer Leitungsstruktur mit einer Breite von $0,5\text{ }\mu\text{m}$ versehen ist, damit eine stufenweise Impedanz entsteht, obwohl die Kammzähne die gleiche Form haben, eine Kopplung des Hochfrequenzsignals zwischen den Zähnen vor, was zu einer Änderung des Verlusts führt. Wenn die Anzahl der Zähne **200** beträgt, kommt es zu einer Differenz von etwa $0,1\text{ dB}$. Diese Wirkung wird natürlich mit steigender Anzahl der Zähne besser. Die Impedanz kann auch durch Verringern der Zahnbreite anstatt durch Verwenden der Stufenstruktur vergrößert werden. Außerdem können nur die Kammzähne aus einem Material mit einer hochohmigen Komponente hergestellt werden, um eine Kopplung des Hochfrequenzsignals zu vermeiden.

Figuren

[Fig. 7](#)

Position der beweglichen Elektrode, $\times 10^{-7}\text{ m}$
 Kammstruktur
 Keine Kammstruktur
 Zeit, $\times 10^{-5}\text{ s}$

[Fig. 23](#)

Ansprechzeit (s)
 Innere Spannung (Pa)

Patentansprüche

1. Schalter mit:
 einer beweglichen Elektrode (**103**);
 einer ersten festen Elektrode (**104**), die auf beiden Seiten der beweglichen Elektrode (**103**) mit einem ersten vorgegebenen Spalt positioniert ist; und
 einer zweiten festen Elektrode (**105**), die unter der beweglichen Elektrode (**103**) mit einem zweiten vorgegebenen Spalt an der beweglichen Elektrode (**103**) positioniert ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
 eine Vielzahl von konvexen Teilen (**107**) und konkaven Teilen an vorgegebenen Positionen in einer Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**103**) vorgesehen ist,
 eine Vielzahl von konkaven Teilen und konvexen Teilen (**108**) in der ersten festen Elektrode (**104**), die den konvexen Teilen (**107**) bzw. den konkaven Teilen in der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**103**) entsprechen, vorgesehen ist,
 die in der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**103**) ausgebildeten konvexen Teile (**107**) so angeordnet sind, dass sie von den in der ersten festen Elektrode (**104**) ausgebildeten konkaven Teilen umgeben sind, und
 die konvexen Teile (**108**) der ersten festen Elektrode (**104**) so angeordnet sind, dass sie von den konkaven Teilen in der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**103**) umgeben sind.

2. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**103**) ausgebildeten konvexen Teile (**107**) so angeordnet sind, dass sie von dem konkaven Teil umgeben sind, das in der ersten festen Elektrode (**104**) mit einem vorgegebenen Spalt mit einer Breite, die kürzer als eine Länge des konvexen Teils (**107**) ist, ausgebildet ist.

3. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die konvexen Teile (**108**) der ersten festen Elektrode (**104**) so angeordnet sind, dass sie von den konkaven Teilen in der Seitenfläche der beweglichen

Elektrode (**103**) mit einem vorgegebenen Spalt mit einer Breite, die kürzer als eine Länge des konvexen Teils (**108**) der ersten festen Elektrode (**104**) ist, umgeben sind.

4. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die bewegliche Elektrode (**103**) und die erste feste Elektrode (**104**) dieselbe Schichtdicke haben.

5. Schalter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die bewegliche Elektrode (**908**) und die erste feste Elektrode (**909**) durch Ätzen einer in demselben Prozess ausgebildeten Schicht ausgebildet sind.

6. Schalter nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die bewegliche Elektrode (**908**) und die erste feste Elektrode (**909**) durch denselben Schichtabscheidungsprozess ausgebildet sind.

7. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die bewegliche Elektrode (**908**), die konvexen und konkaven Teile in der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**908**) und die konkaven und konvexen Teile der ersten festen Elektrode (**909**) auf derselben Opferschicht (**905**) ausgebildet sind.

8. Schalter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die bewegliche Elektrode (**1208**), die konvexen und konkaven Teile in der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**1208**) und die konkaven und konvexen Teile der ersten festen Elektrode (**1209**) auf einer Opferschicht (**1205**) aus Resist ausgebildet sind.

9. Schalter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die bewegliche Elektrode (**1208**), die konvexen und konkaven Teile in der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**1208**) und die konkaven und konvexen Teile der ersten festen Elektrode (**1209**) auf einer Opferschicht (**1205**) aus Polyimid ausgebildet sind.

10. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stufenmodulationsmuster an einer vorgegebenen Position in einer Seitenfläche der zweiten festen Elektrode (**1203**) ausgebildet ist.

11. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite feste Elektrode (**1203**) konvexe und konkave Teile in ihrer Seitenfläche hat, die einer Vielzahl von konvexen und konkaven Teilen entsprechen, die an vorgegebenen Positionen auf einer Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**1208**) in Bezug auf die Längsseitenrichtung ausgebildet sind.

12. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite feste Elektrode (**1203**) eine Breite hat, die größer als ein Abstand zwischen den konkaven Teilen der ersten festen Elektrode (**1209**) ist, die auf beiden Seiten der beweglichen Elektrode (**1208**) positioniert ist.

13. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite feste Elektrode (**1293**) (Anm. d. Übers.: muss wohl „**1203**“ heißen) eine Breite hat, die kleiner als ein Abstand zwischen den konvexen Teilen auf beiden Seiten der beweglichen Elektrode (**1208**) ist, aber größer als ein Abstand zwischen den konkaven Teilen auf beiden Seiten der beweglichen Elektrode (**1208**) ist.

14. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite feste Elektrode (**1203**) eine Breite hat, die kleiner als ein Abstand zwischen den konkaven Teilen auf beiden Seiten der beweglichen Elektrode (**1208**) ist.

15. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Löchern (**1508**) an vorgegebenen Positionen auf einer Oberfläche der beweglichen Elektrode (**1503**) vorgesehen ist.

16. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Löchern (**1612**) an vorgegebenen Positionen an der ersten festen Elektrode (**1610**) vorgesehen ist.

17. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Zustand, in dem die bewegliche Elektrode (**1702**) in Kontakt mit der zweiten festen Elektrode (**1703**) ist, die mehreren konvexen und konkaven Teile, die an vorgegebenen Positionen in einer Längsseitenrichtungs-Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**1702**) ausgebildet sind, einen Teil haben, der mit den in der ersten festen Elektrode (**1701**) ausgebildeten konkaven und konvexen Teilen vertikal überlappt ist.

18. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mehreren konvexen Teile in einer Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**103**) eine Impedanz haben, die größer als die der beweglichen Elektrode (**103**) an anderen Stellen als denen der mehreren konvexen Teile ist.

19. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Fall, dass sich die bewegliche Elektrode (**103**) aus einem Zustand, in dem sie in Kontakt mit der zweiten festen Elektrode (**105**) ist, zu einer Position, die von der zweiten festen Elektrode (**105**) mit einem vorgegebenen Spalt entfernt ist, bewegt, ein Zeitraum des Anlegens einer Spannung zwischen der ersten festen Elektrode (**104**) und der beweglichen Elektrode (**103**) gleich einer oder kleiner als eine Zeit ist, die die bewegliche Elektrode (**103**) benötigt, um sich aus einem Zustand, in dem sie in Kontakt mit der ersten festen Elektrode (**104**) ist, über eine kleinste Breite eines vorgegebenen Spalts, der von dem auf der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**103**) ausgebildeten konvexen Teil und dem auf der ersten festen Elektrode (**104**) ausgebildeten konkaven Teil gebildet wird, und eines vorgegebenen Spalts, der von dem konvexen Teil der ersten festen Elektrode (**104**) und dem konkaven Teil auf der Seitenfläche der beweglichen Elektrode (**103**) gebildet wird, zu bewegen.

20. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Fall, dass sich die bewegliche Elektrode (**103**) aus einem Zustand, in dem sie in Kontakt mit der zweiten festen Elektrode (**105**) ist, zu einer Position, die von der zweiten festen Elektrode (**105**) mit einem vorgegebenen Spalt entfernt ist, bewegt, ein Zeitraum des Anlegens einer Spannung zwischen der ersten festen Elektrode (**104**) und der beweglichen Elektrode (**103**) eine Zeit ist, die die bewegliche Elektrode (**103**) benötigt, um sich aus einem Zustand, in dem sie in Kontakt mit der zweiten festen Elektrode (**105**) ist, zu einer vorgegebenen Spaltbreite, die von der zweiten festen Elektrode (**105**) weggenommen wird, zu ändern.

21. Schalter nach Anspruch 1, der weiterhin Folgendes aufweist:
 einen Verstärker zum Verstärken eines Signals;
 eine Antenne (**2007**);
 eine zweite feste Elektrode als Reihenschaltungsschalter (**2101**) zum Verbinden des Verstärkers mit der Antenne; und
 eine bewegliche Elektrode als Erdungsschalter (**2102**) zum Verbinden mit Erde,
 wobei der Reihenschaltungsschalter (**2101**) und der Erdungsschalter (**2102**) abwechselnd ein- und ausgeschaltet werden, um dadurch die Eingangs-/Ausgangssteuerung eines Signals durchzuführen.

22. Schalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Zustand, in dem die bewegliche Elektrode nicht in Kontakt mit der zweiten festen Elektrode ist, eine elektrostatische Kraft zwischen der beweglichen Elektrode und der ersten festen Elektrode aufgebracht wird, wenn die Temperatur geändert wird.

23. Verfahren zur Herstellung eines Schalters nach Anspruch 1 mit den folgenden Schritten:
 einem Schritt des Ausbildens einer Siliciumoxidschicht (**902**) auf einem Substrat (**901**);
 einem Schritt des Ausbildens eines Metalls auf der Siliciumoxidschicht (**902**);
 einem Schritt des Ausbildens einer weiteren Siliciumoxidschicht auf dem Metall;
 einem Schritt des Trockenätzens der weiteren Siliciumoxidschicht auf dem Metall;
 einem Schritt des Ätzens des Metalls, um eine feste Signalübertragungselektrode (**903**) und eine Elektroden-Elektroden-Siliciumoxid-Isolierschicht (**904**) auszubilden; und
 einem Schritt des Ausbildens einer beweglichen Elektrode (**908**) mit konvexen und konkaven Teilen auf einer Seitenfläche und einer festen Elektrode (**909**) mit konkaven und konvexen Teilen, die den konvexen und konkaven Teilen der beweglichen Elektrode (**908**) gegenüberliegen, auf einer Seitenfläche auf derselben Opferschicht (**905**) zum Ansteuern der beweglichen Elektrode (**908**).

24. Verfahren zur Herstellung eines Schalters nach Anspruch 23, das weiterhin Folgendes aufweist:
 einen Schritt des Ausbildens einer Abdeckmaske (**907**) in einem Bereich, in dem die bewegliche Elektrode (**908**) und die feste Elektrode (**909**) angeordnet sind;
 einen Schritt des Ausbildens der beweglichen Elektrode (**908**) und der festen Elektrode (**909**); und
 einen Schritt des Entfernens der Abdeckmaske (**907**) und der Opferschicht (**905**) und des Ausbildens eines Kapazitätsverringerspalts (**910**).

25. Verfahren zur Herstellung eines Schalters nach Anspruch 23, das weiterhin Folgendes aufweist:
 einen Schritt des Ausbildens der Opferschicht (**1205**) aus Polyimid; und
 einen Schritt des Ausbildens einer Al-Schicht (**1206**) auf der gesamten Oberfläche mit einem Zerstäubungsverfahren.

26. Verfahren zur Herstellung eines Schalters nach Anspruch 23, das weiterhin mindestens Folgendes aufweist:
 einen Schritt des Ausbildens eines Stufenmodulationsmusters (**1212**) an einer vorgegebenen Position einer Seitenfläche einer festen Signalübertragungselektrode (**1203**).

27. Verfahren zur Herstellung eines Schalters nach Anspruch 26, das weiterhin Folgendes aufweist:
einen Schritt des Ausbildens einer Opferschicht (**1205**);
einen Schritt des Ausbildens einer Al-Schicht (**1206**) auf der gesamten Oberfläche mit einem Zerstäubungsverfahren; und
nach dem Ausbilden der beweglichen Elektrode (**1208**) einen Schritt des Entferns der Opferschicht (**1205**) und des Stufenmodulationsmusters, um dadurch einen Kapazitätsverringerungsraum (**1210**) herzustellen.

28. Verfahren zur Herstellung eines Schalters nach Anspruch 26, das weiterhin Folgendes aufweist:
einen Schritt des Ausbildens einer Opferschicht (**1306**);
einen Schritt des Ausbildens einer Al-Schicht (**1308**) auf der gesamten Oberfläche mit einem Zerstäubungsverfahren;
einen Schritt des Erzeugens einer Maske (**1311**) zum Ausbilden einer beweglichen Elektrode (**1309**) und einer Maske (**1312**) zum Ausbilden einer die bewegliche Elektrode ansteuernden festen Elektrode (**1314**) in einem Bereich, in dem die bewegliche Elektrode (**1309**) und die die bewegliche Elektrode ansteuernde feste Elektrode (**1314**) angeordnet sind; und
nach dem Ausbilden der beweglichen Elektrode und der die bewegliche Elektrode ansteuernden festen Elektrode (**1314**) einen Schritt des Entferns der Opferschicht (**1306**) und des Stufenmodulationsmusters (**1305**), um dadurch einen Kapazitätsverringerungsraum (**1310**) herzustellen.

Es folgen 19 Blatt Zeichnungen

Fig.1A

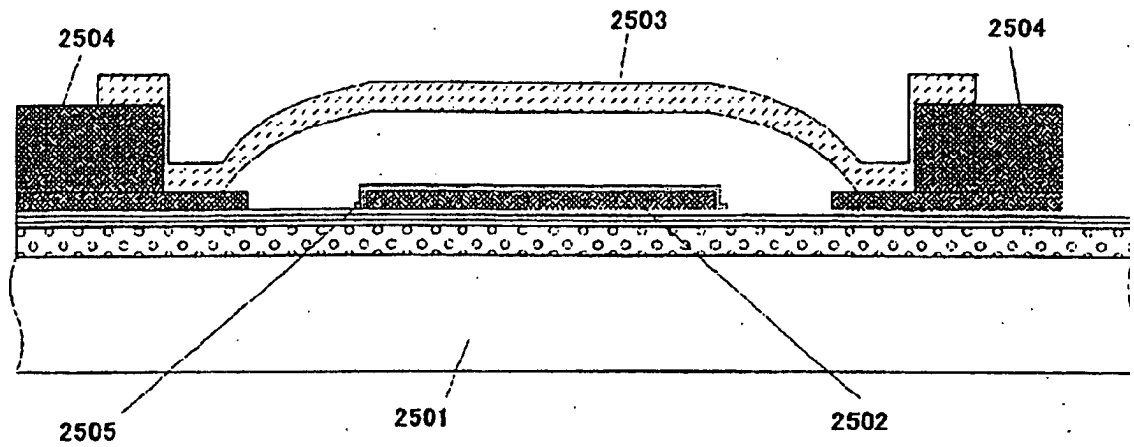
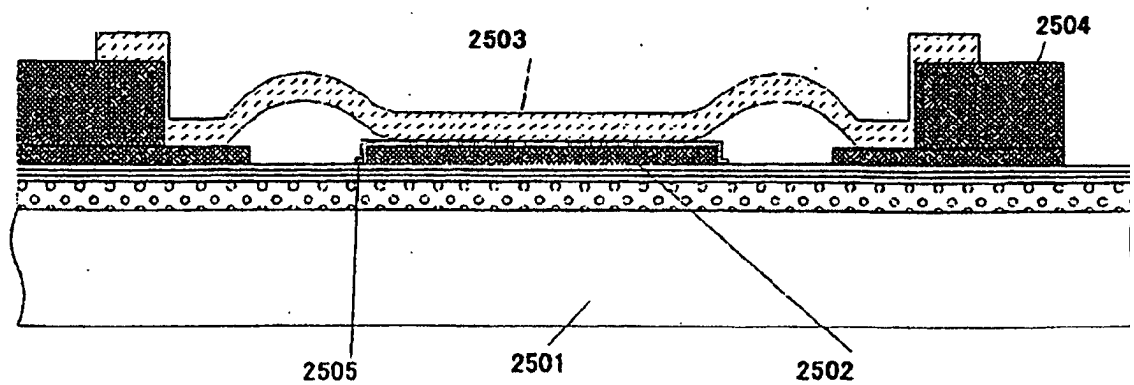


Fig.1B



F i g. 2

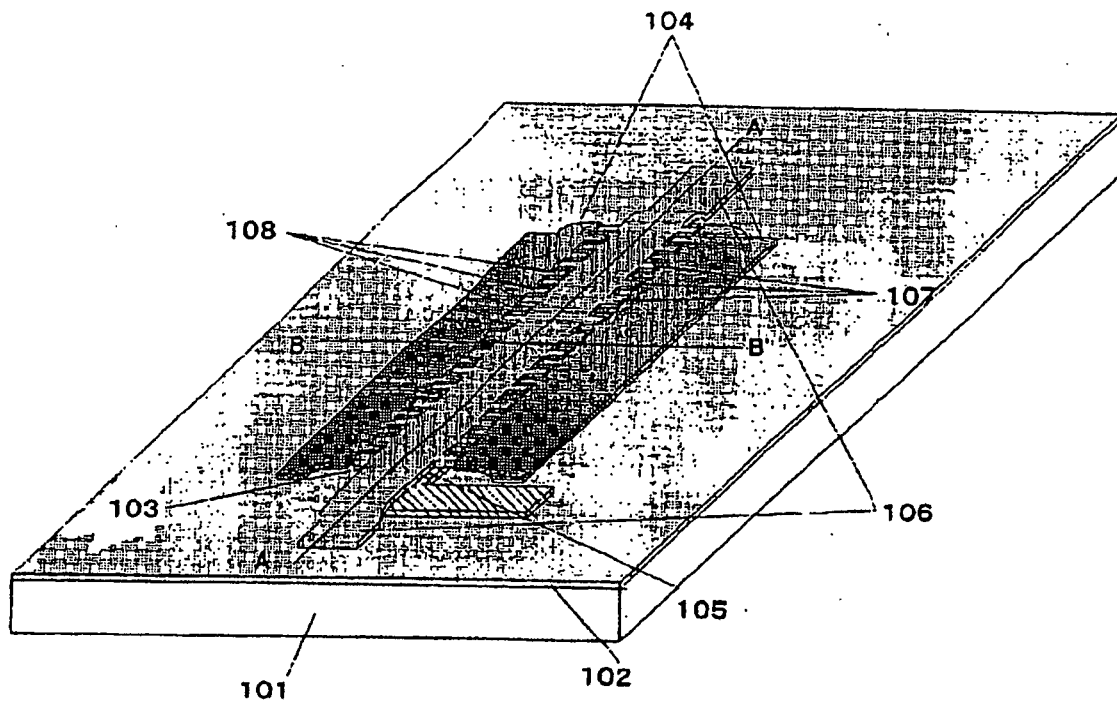


Fig. 3

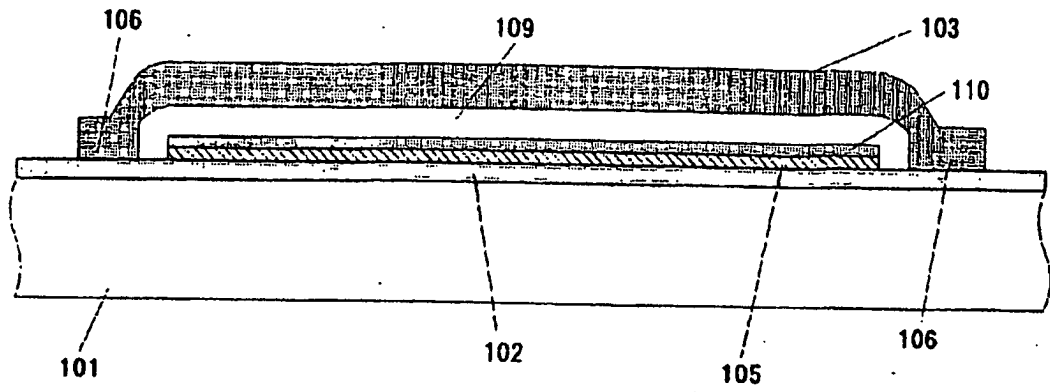


Fig. 4

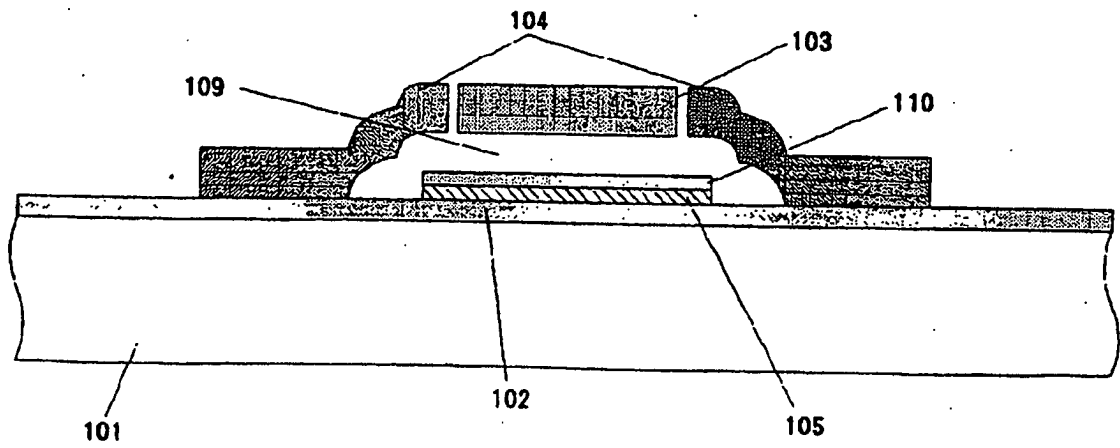


Fig.5

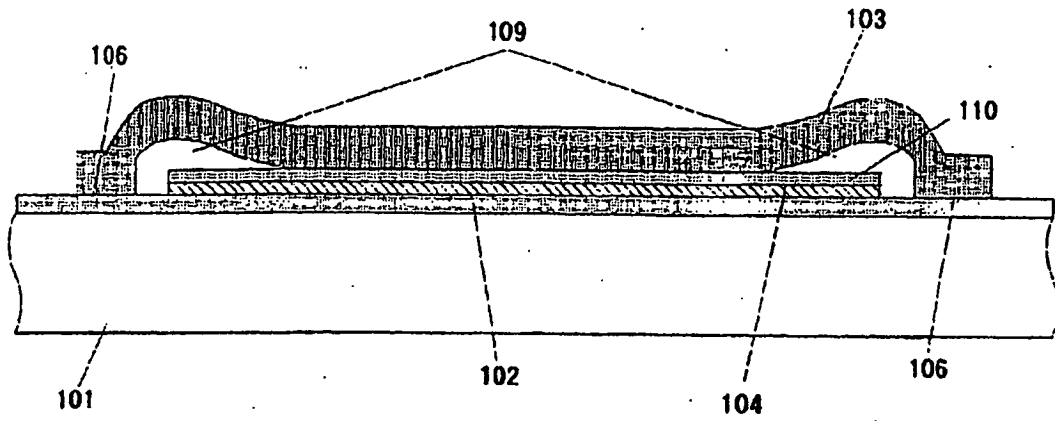


Fig.6

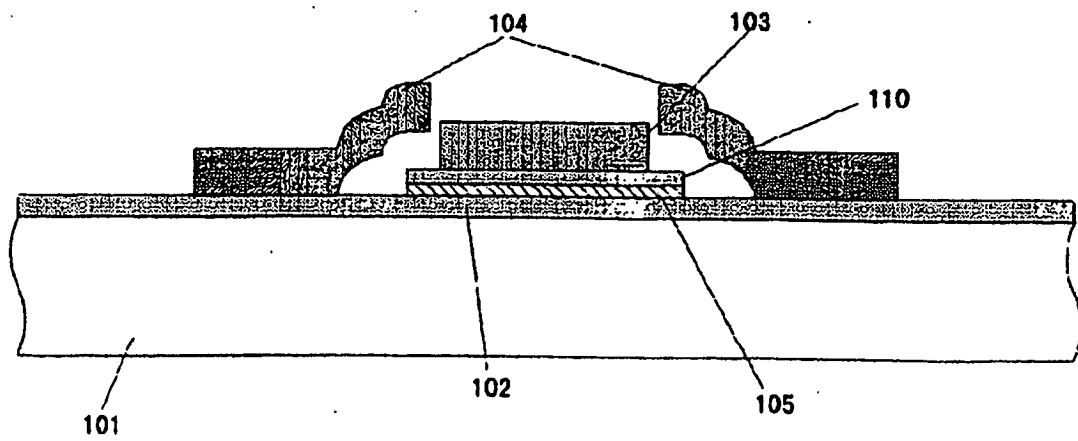


Fig.7

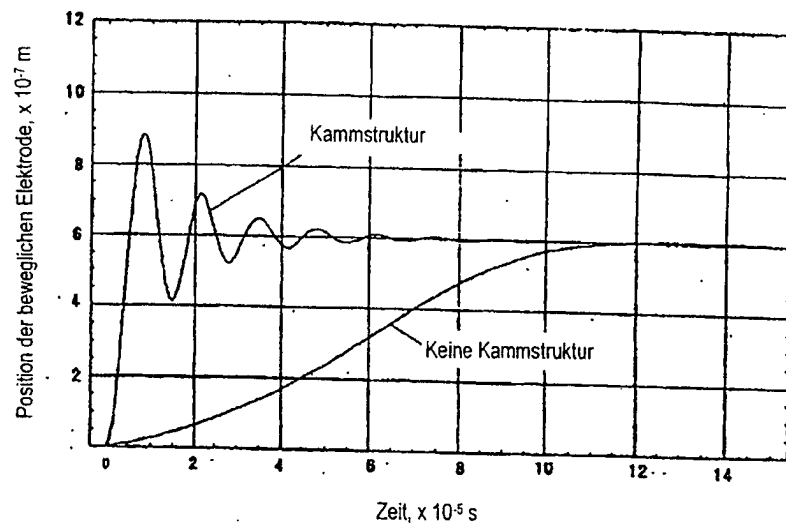


Fig.8

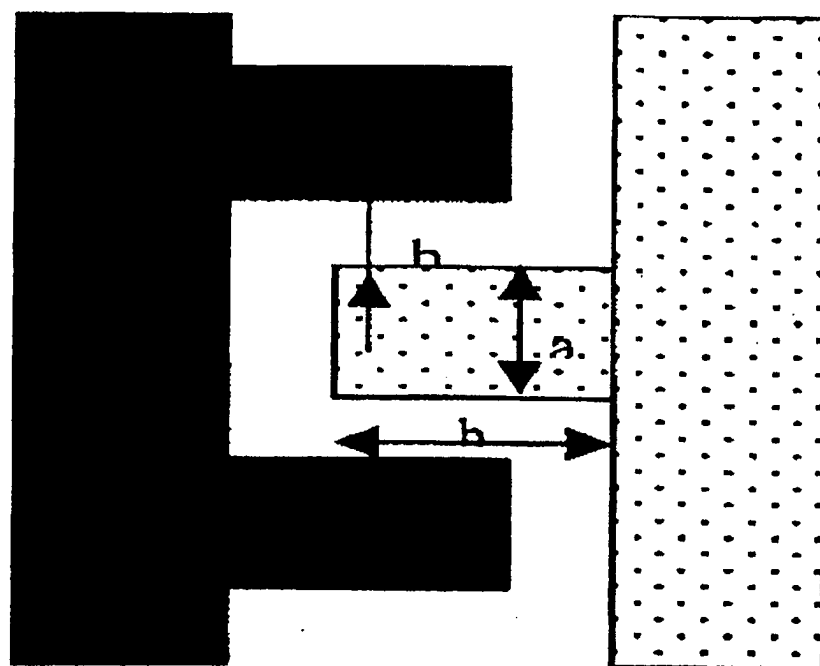


Fig.9

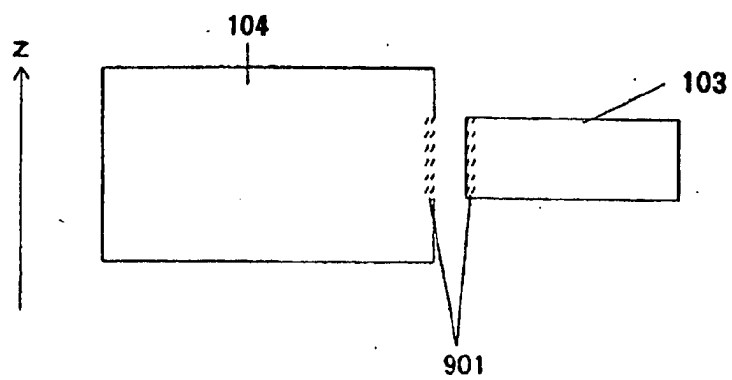


Fig.10A

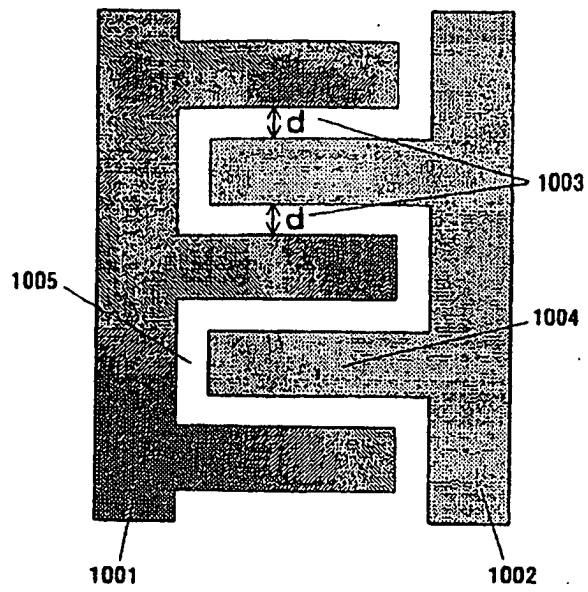
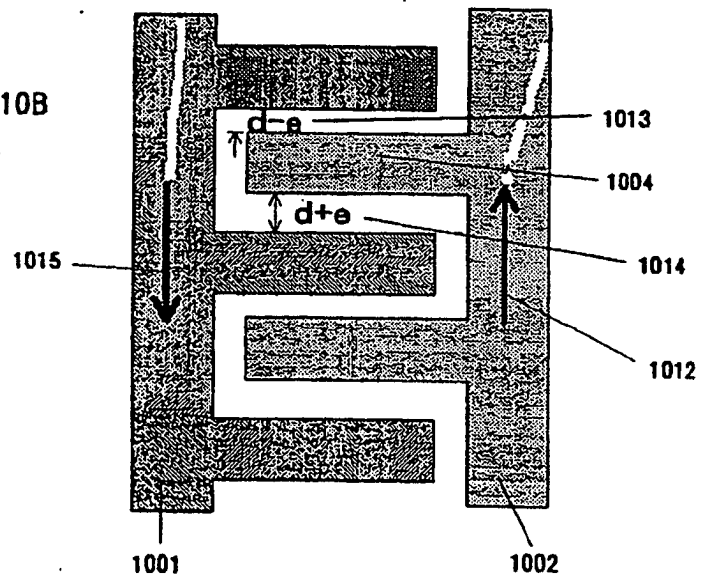
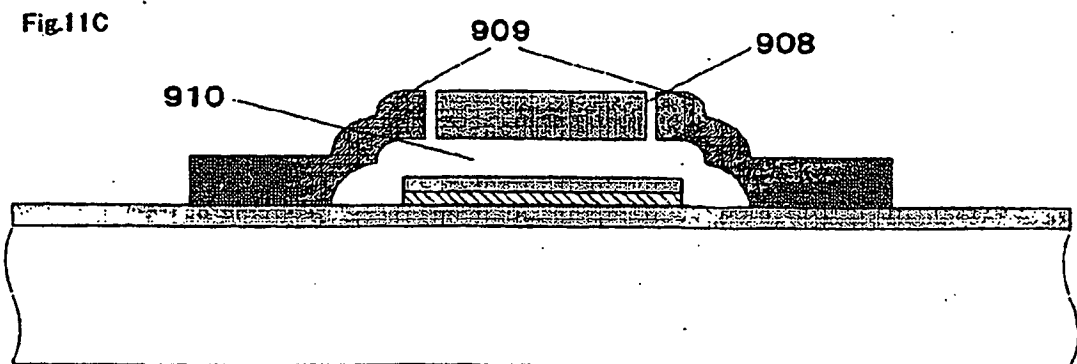
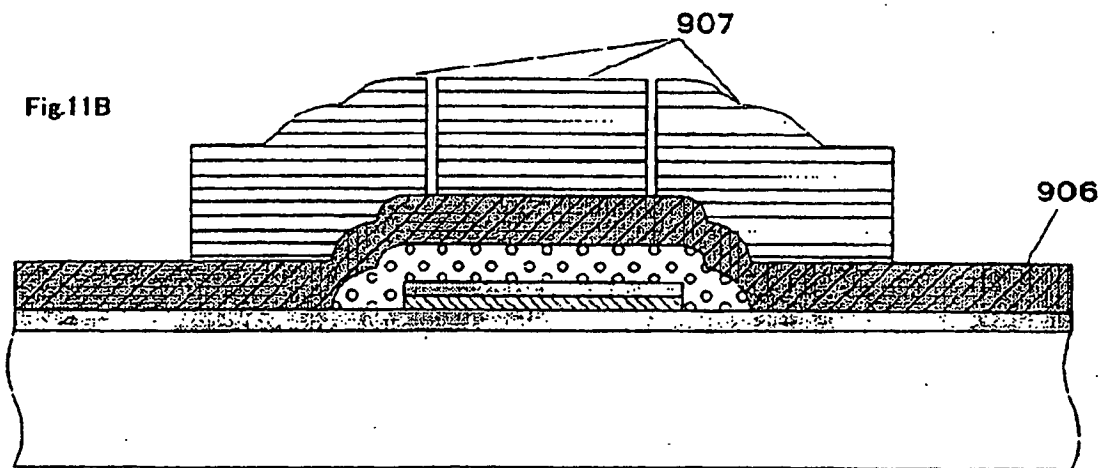
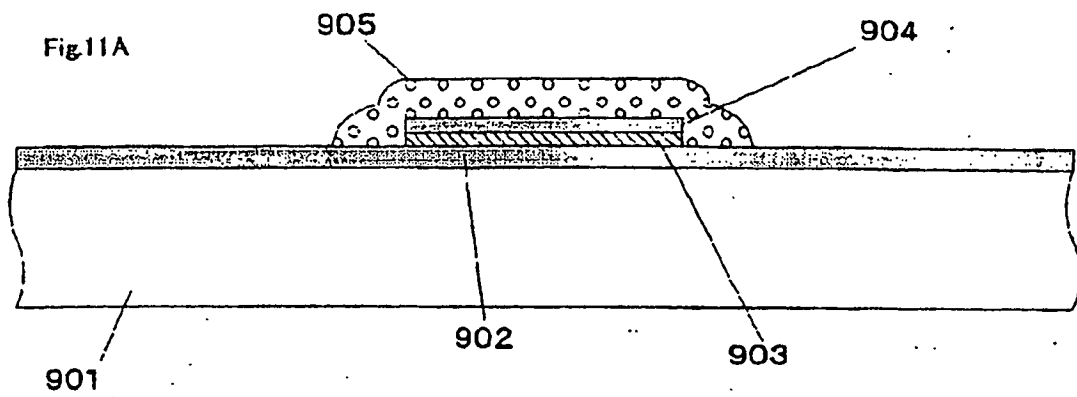


Fig.10B





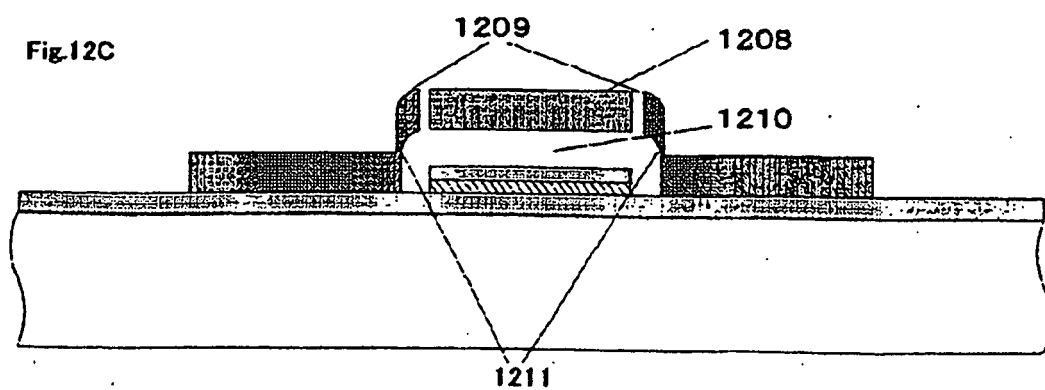
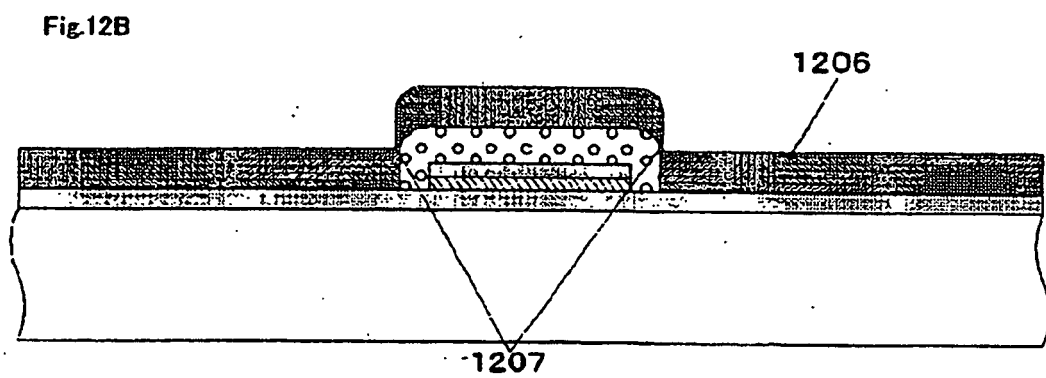
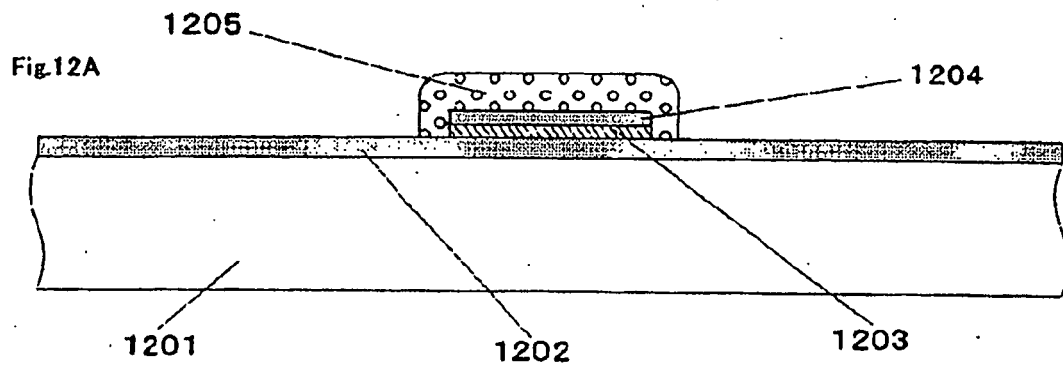


Fig.13A

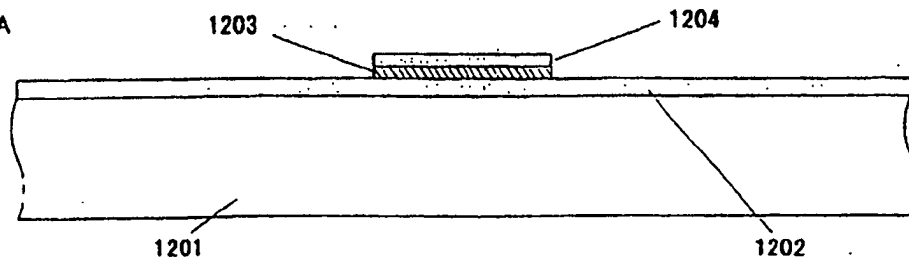


Fig.13B

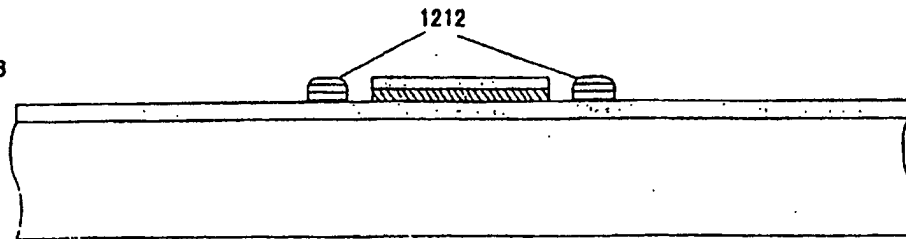


Fig.13C

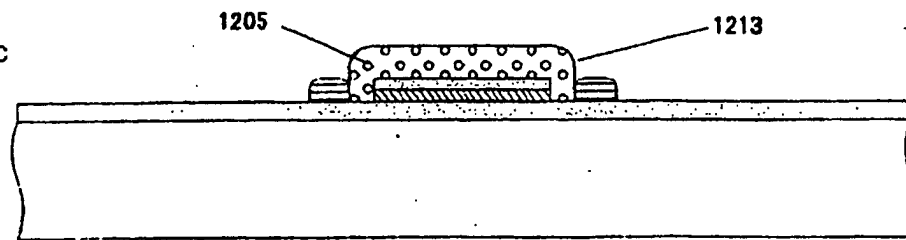


Fig.13D

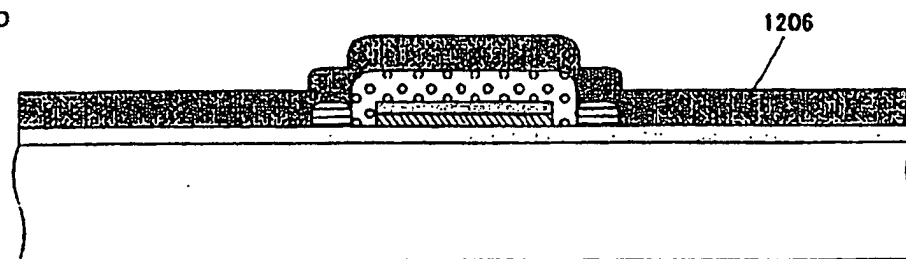


Fig.13E

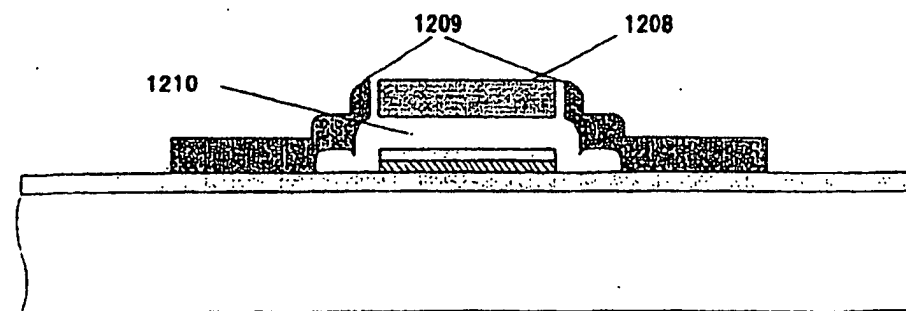


Fig.14A

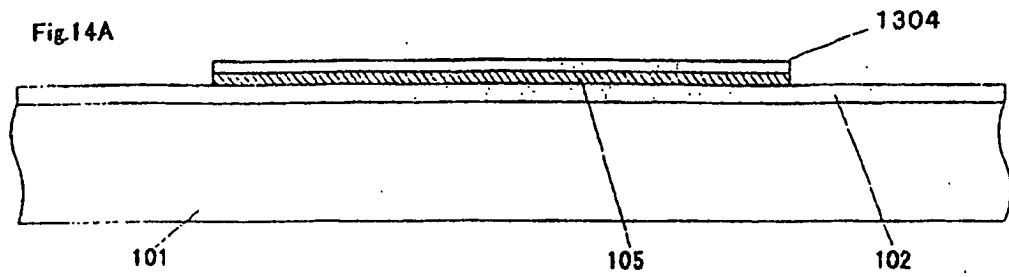


Fig.14B

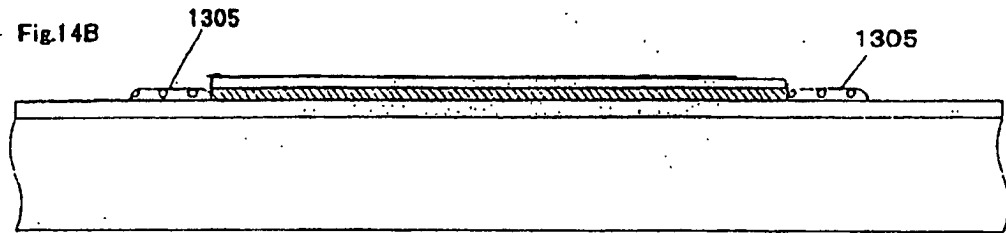


Fig.14c

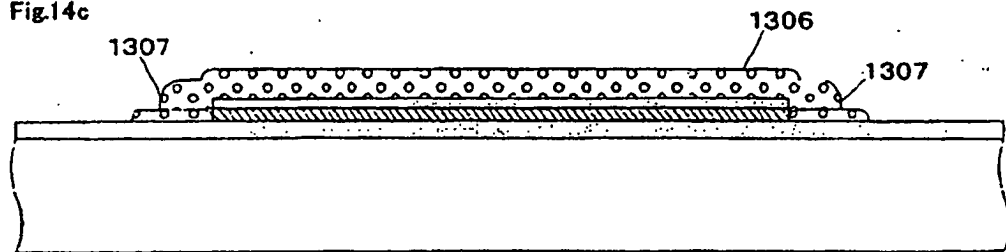


Fig.14D

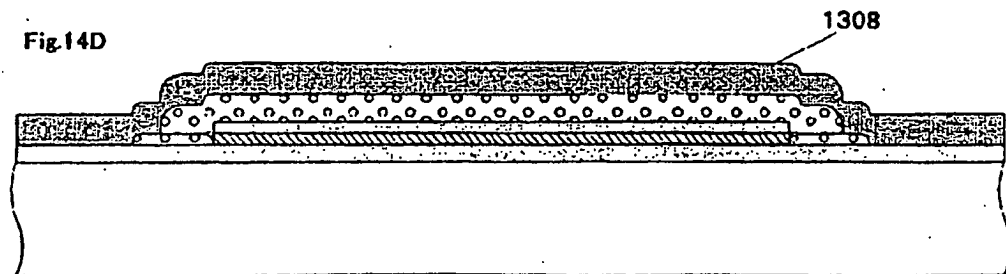


Fig.14E

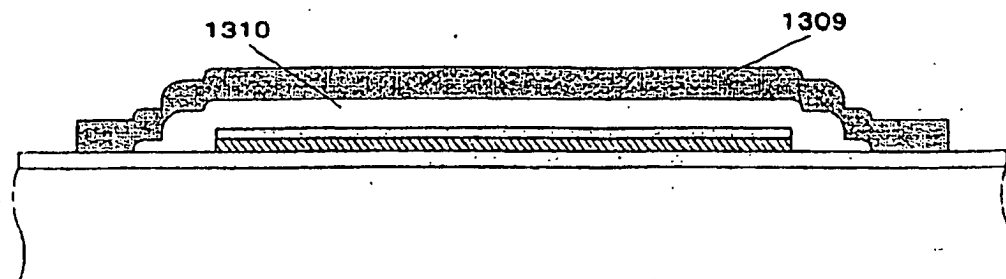


Fig.15A

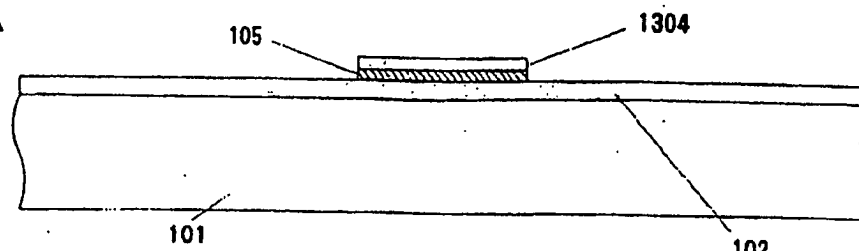


Fig.15B

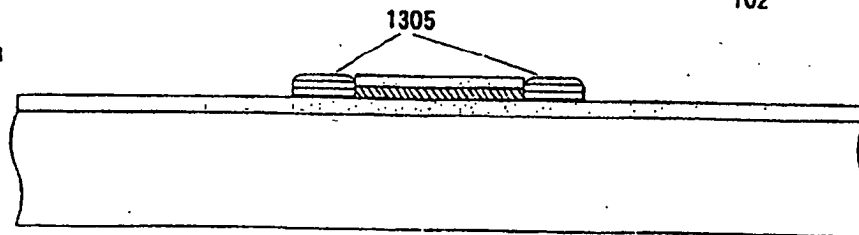


Fig.15C

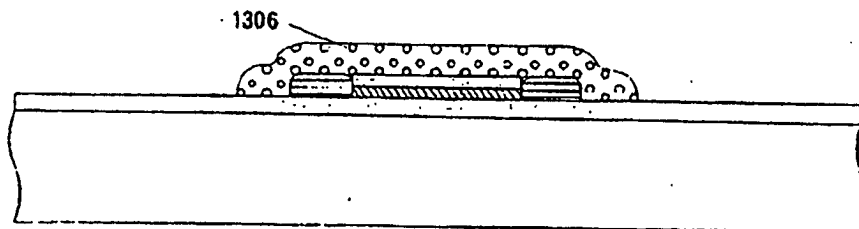


Fig.15D

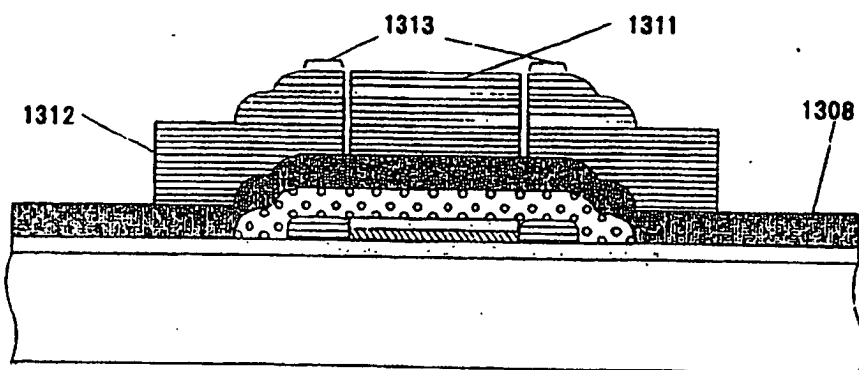


Fig.15E

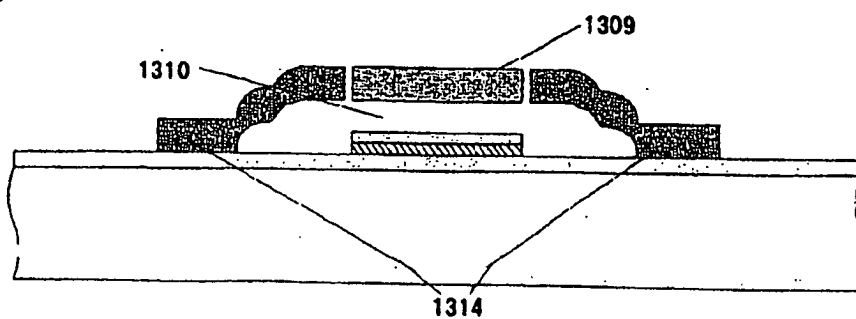
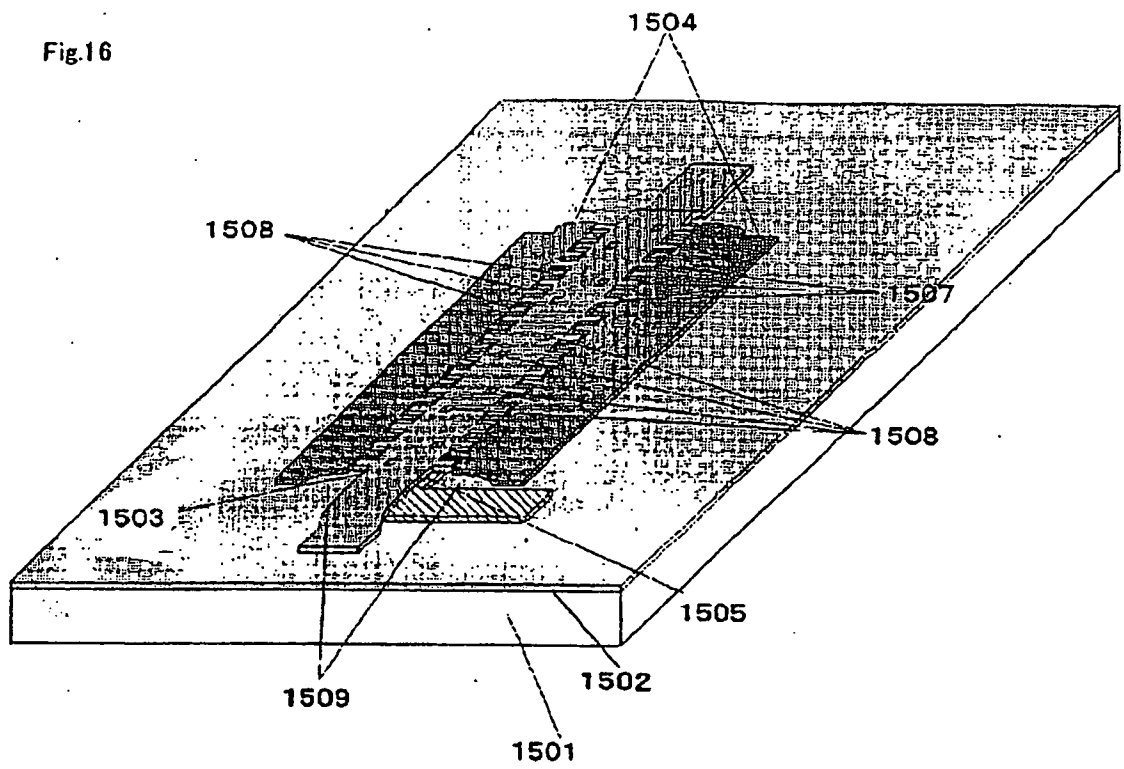


Fig.16



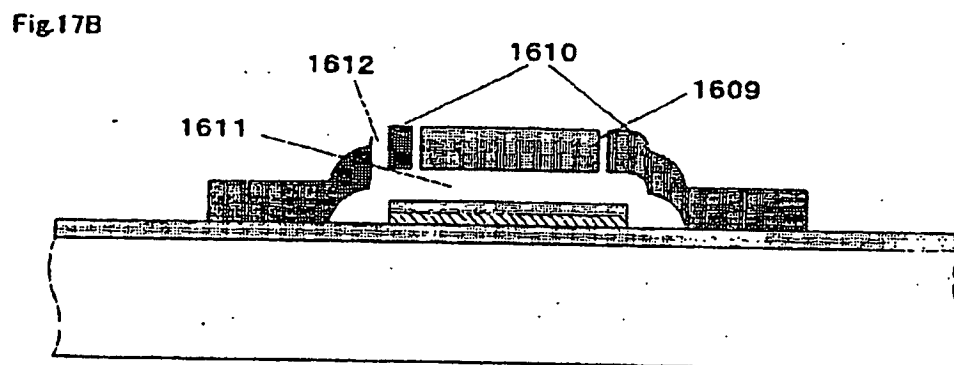
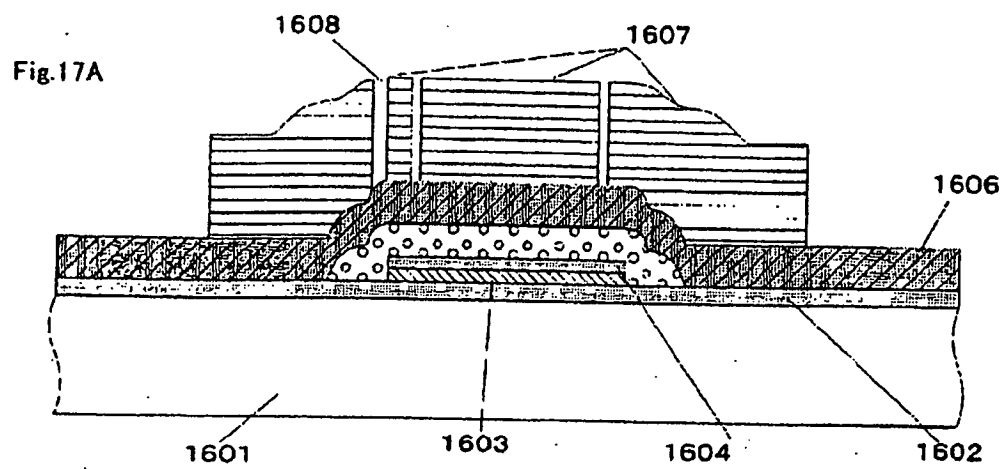


Fig.18

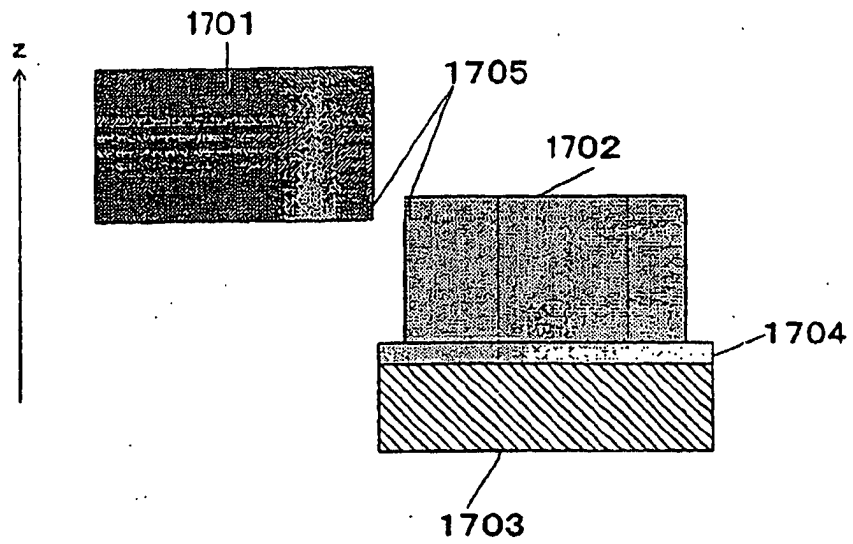


Fig.19

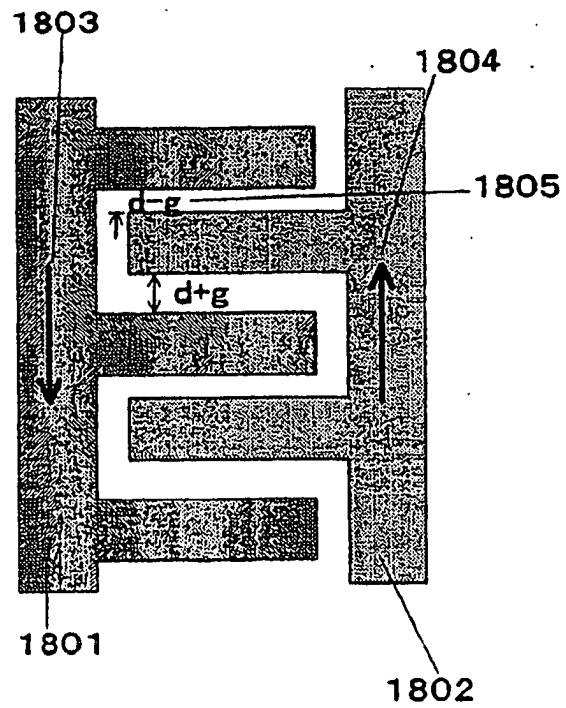


Fig.20A

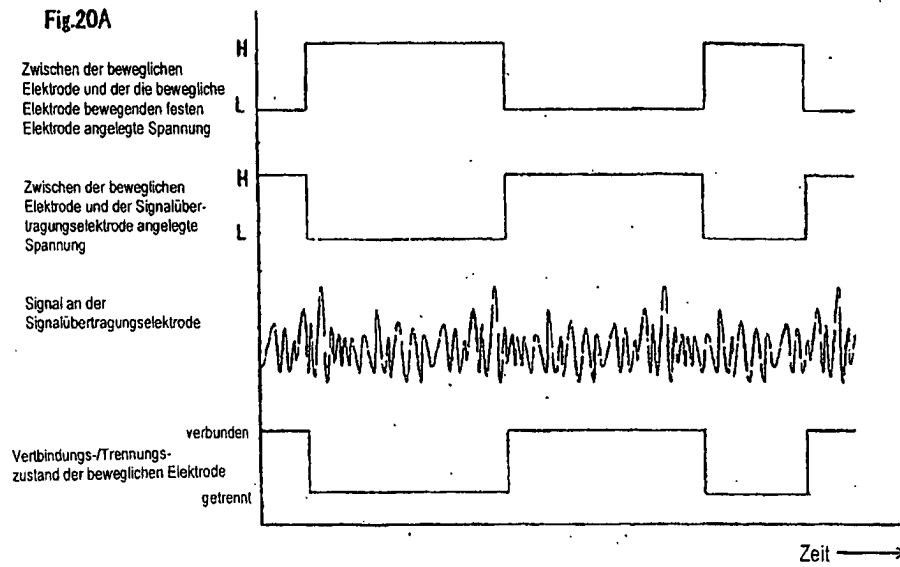


Fig.20B

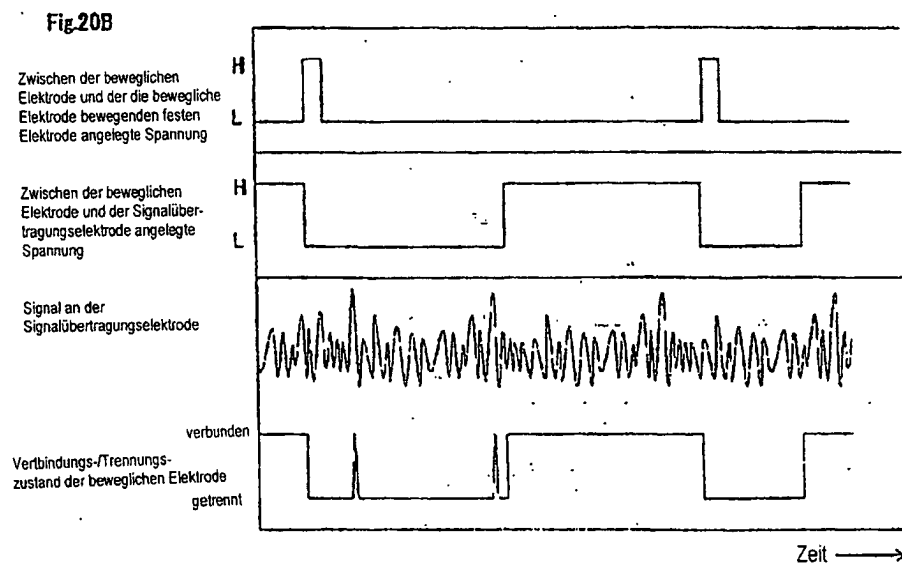


Fig.21

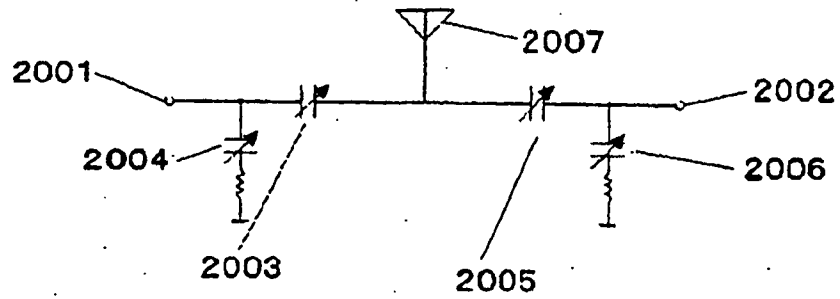


Fig.22

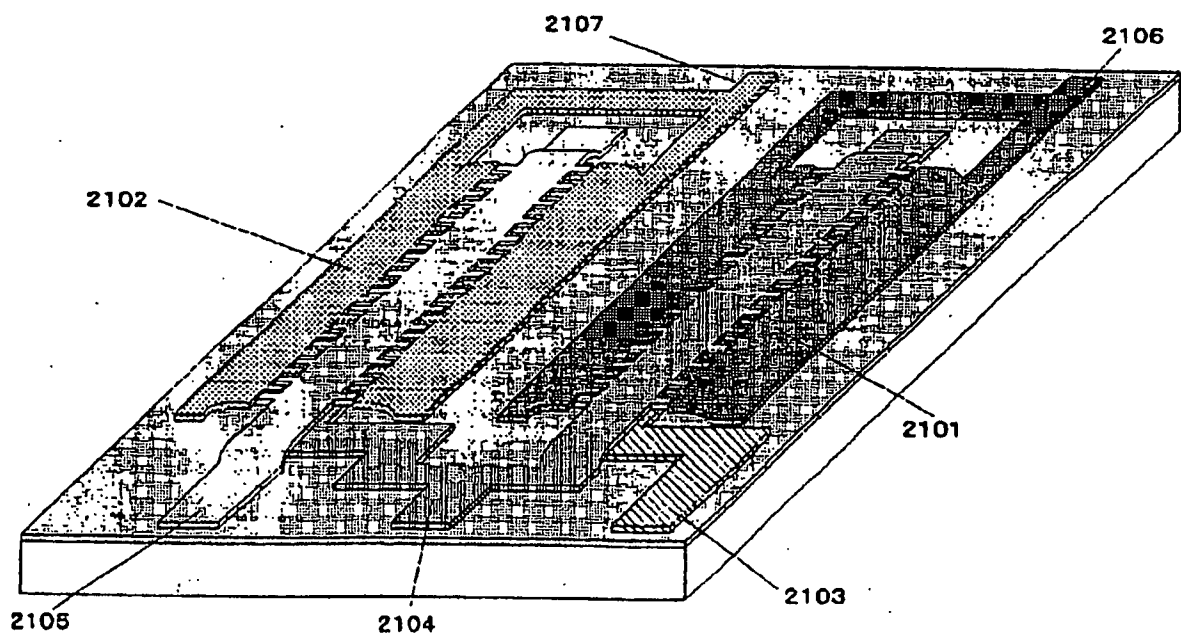


Fig.23

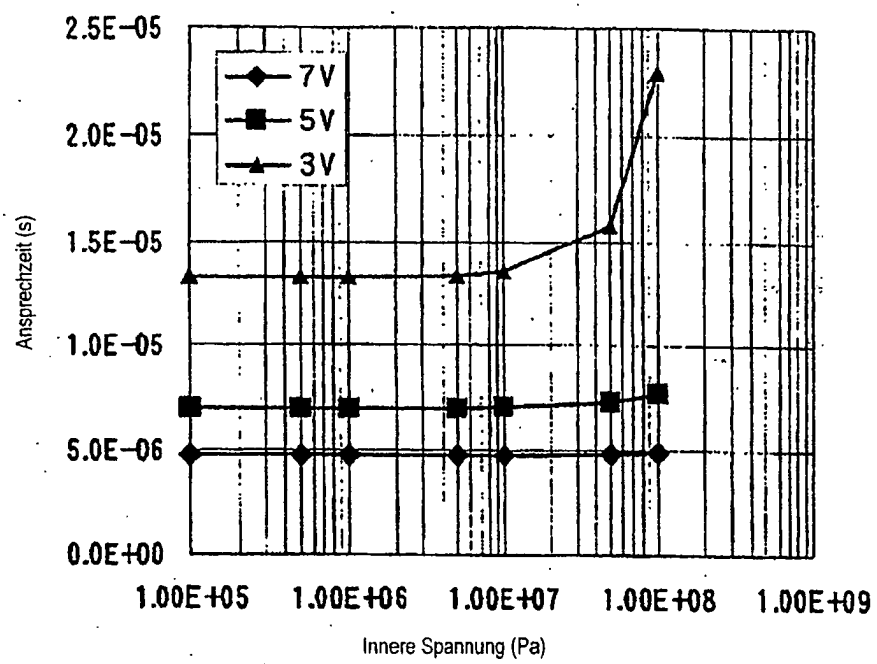


Fig.24

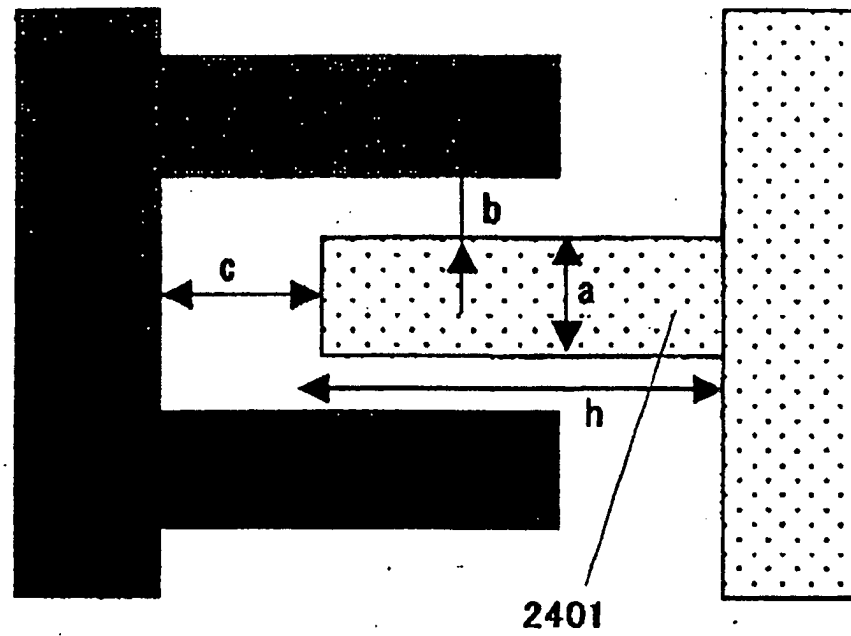


Fig.25

