



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 02 145 T2 2005.12.01**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 397 936 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 02 145.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/DK02/00365**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 742 842.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 02/098166**

(86) PCT-Anmeldetag: **29.05.2002**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **05.12.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **01.12.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **01.12.2005**

(51) Int Cl.7: **H04R 1/00**
H04R 1/02

(30) Unionspriorität:
867606 31.05.2001 US

(73) Patentinhaber:
Sonion Lyngby A/S, Kongens Lyngby, DK

(74) Vertreter:
Vossius & Partner, 81675 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:
**JOHANNSEN, Ib, DK-3500 Vrlse, DK; LARSEN,
Bent, Niels, DK-2400 Copenhagen NV, DK;
MÜLLENBORN, Matthias, DK-2800 Lyngby, DK;
ROMBACH, Hermann, Pirmin, DK-2800 Lyngby,
DK**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Bereitstellung einer hydrophoben Schicht und Konsatormikrophon mit einer solchen Schicht**

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

Technischer Bereich

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer hydrophoben Schicht auf Innenflächen einer Mikrostruktur, insbesondere auf die Innenflächen eines Kondensatormikrofons, zum Verhindern der Haftung oder Verklebung zwischen den Innenflächen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Es ist bekannt, daß sowohl bei der Herstellung als auch beim Betrieb von MEMS- (Micro Electromechanical System) Bauelementen Störungen aufgrund von Adhäsion zwischen Oberflächen der Bauelemente auftreten können, z. B. zwischen einer beweglichen Oberfläche und einer im wesentlichen stationären oder unbeweglichen Oberfläche. Diese Erscheinung wird als Haftung (Stiction) bezeichnet. Haftung tritt mit einer höheren Wahrscheinlichkeit in Mikrostrukturen auf, die typischerweise Abmessungen in der Größenordnung von 1–3 µm haben, weil das Oberfläche/Volumen-Verhältnis größer ist und Oberflächenkräfte, die für die Haftung verantwortlich sind, entsprechend größer sind. Haftung kann während oder nach dem Fertigungsprozeß (d. h. während des Betriebs) auftreten, nachdem die Mikrostruktur freigegeben wurde, wenn die Oberflächenspannung einer Spülflüssigkeit ausreichend stark ist, um die herabhängenden Mikrostrukturen mit einem Substrat oder einer anderen nachgiebigen oder steifen Gegenfläche in Kontakt zu ziehen, was zu einer permanenten Adhäsion führt.

[0003] Diese Art der Haftung wird als "Haftung nach der Freigabe" bezeichnet. Alternativ oder zusätzlich kann Haftung auch nach einer erfolgreichen Freigabe auftreten, wenn z. B. eine Mikrostruktur einer Umgebung mit erhöhter Feuchtigkeit oder Temperaturänderungen ausgesetzt ist. Wenn die Mikrostruktur zunächst einer feuchten Umgebung ausgesetzt ist, kann Wasserdampf auf den Bauelementoberflächen kondensieren und einen Wasserfilm bzw. Wassertropfchen bilden. Wenn der Abstand zwischen den beiden Oberflächen während des Betriebs des Bauelements abnimmt und ein Wasserfilm bzw. Wassertropfchen auf einer Oberfläche mit der Gegenfläche in Kontakt kommt (kommen), werden die beiden Oberflächen aneinander anhaften. Diese Erscheinung kann während des Normalbetriebs des Bauelements auftreten und wird daher als "Haftung im Betrieb" bezeichnet. Die Haftung im Betrieb ist insbesondere bei Mikrostrukturen problematisch, bei denen gegenüberliegende Flächen, z. B. eine Membran und eine Gegenelektrode, in Kombination miteinander Kondensatoren bilden. Dies ist z. B. bei Kondensatormikrofonen und Kondensator-Drucksensoren der Fall.

[0004] Die vorliegende Erfindung betrifft die Verhinderung von Haftung in Mikrostrukturen, insbesondere in MEMS-Kondensatormikrofonen.

[0005] Es ist ferner bekannt, daß durch Aufbringen einer hydrophoben Schicht auf die in Frage kommenden Oberflächen das Problem gelöst oder zumindest reduziert werden kann. Dies ist z. B. im US-Patent Nr. 5822170 mit dem Titel "Anti-Stiction Hydrophobic Surfaces for Microsystems" von P. Voumard et al., CSEM scientific and technical report 1998, Neuchâtel, Schweiz, 26 in "The property of plasma polymerized fluorocarbon film in relation to CH₄/C₄F₈ ratio and substrate temperatur" von Y. Matsumoto et al., Proc. of Transducers '99, 7.–10. Juni 1999, Sendai, Japan, 34–37, in "Self-Assembled Monolayer Films as Durable Anti-Stiction Coatings for Polysilicon Microstructures" von M. R. Houston et al., Solid-State Sensor and Actuator Workshop Hilton Head, South Carolina, 2.–6. Juni 1996, 42–47, in "Elimination of Post-Release Adhesion in Microstructures Using Conformal Fluorocarbon Coatings" von P. F. Man et al., Journal of Microelectromechanical Systems, Bd. 6, Nr. 1, März 1997, in "Anti-Stiction Methods for Micromechanical Devices: A Statistical Comparison of Performance" von S. Tatic-Lucid et al., Proc. of Transducers '99, 7.–10. Juni 1999, Sendai, Japan, 522–525, in "A New Class of Surface Modification for Stiction Reduction" von C.-H. Oh et al., Proc. of Transducers '99, 7.–10. Juni 1999, Sendai, Japan, 30–33, in "Self-Assembled Monolayers as Anti-Stiction Coatings for Surface Microstructures" von R. Maboudin, Proc. of Transducers '99, 7.–10. Juni 1999, Sendai, Japan, 22–25 und in "Anti-Stiction Silanization Coating to Silicon Micro-Structures by a Vapor Phase Deposition Process" von J. Sakata et al., Proc. of Transducers '99, 7.–10. Juni 1999, Sendai, Japan, 26–29 beschrieben.

[0006] In den vorstehend erwähnten Referenzen ist das Aufbringen einer hydrophoben Schicht, z. B. einer selbstorganisierenden Monoschicht (SAM), auf Oberflächen einer Mikrostruktur beschrieben, wobei die Mikrostruktur vorzugsweise aus einem Siliziummaterial hergestellt ist, z. B. aus einem Siliziumwafer oder aus Polysiliziumschichten. Der Aufbring- oder Beschichtungsprozeß wird primär durch aufeinanderfolgendes Anordnen der Mikrostruktur in verschiedenen Flüssigkeiten ausgeführt. In "Anti-Stiction Silanization Coating to Silicon Micro-Structures by a Vapor Phase Deposition Process", J. Sakata et al., Proc. of Transducers '99, 7.–10. Juni 1999, Sendai, Japan, 26–29, ist der Aufbringprozeß ein Aufdampfprozeß (Trockenprozeß), in dem die Mikrostruktur in einem ein Gas oder einen Dampf enthaltenden Behälter angeordnet wird. Der Vorteil dieses Prozesses besteht darin, daß eine homogene Beschichtung auch im Inneren einer komplizierten Mikrostruktur und auch im Inneren schmaler Zwischenräume erhalten werden kann. Es hat sich jedoch gezeigt, daß durch einen

Aufdampfprozeß eine hydrophobe Schicht mit einer Oberfläche erhalten wird, die in geringerem Maße strukturiert ist als die Oberfläche einer hydrophoben Schicht, die durch einen Flüssigphasenbeschichtungsprozeß aufgebracht worden ist. Dies ergibt sich aus der Tatsache, daß die die Monoschicht bildenden Moleküle zusätzlich zu Bindungen mit der Oberfläche Querverbindungen bilden. Mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit tritt diese Reaktion bereits in der Gasphase auf. Daher werden Molekülcluster aufgebracht, die sich nicht mehr chemisch mit der Oberfläche verbinden können oder sich nur teilweise chemisch mit der Oberfläche verbinden können. Dies führt zu einer in geringerem Maße strukturierten Schicht und damit zu einer rauen Oberfläche, wodurch Wassertröpfchen auch durch die Materialoberfläche, die eigentlich hochgradig hydrophob sein sollte, an der Oberfläche anhaften können. Daher wird die hydrophobe Eigenschaft der Oberflächen teilweise reduziert oder möglicherweise vollständig aufgehoben. Außerdem ist für den in dieser Referenz beschriebenen Prozeß eine spezielle Vorrichtung erforderlich. Außerdem muß eine Opferschicht entfernt werden, und die Struktur muß freigegeben werden, bevor die hydrophobe Schicht aufgebracht werden kann. Der Freigabeprozeß ist ein kritischer Prozeß mit einer bestimmten Ausbeute, wodurch die Gesamtausbeute des Fertigungsprozeß vermindert und die Fertigungskosten erhöht werden. Für den Gasphasenbeschichtungsprozeß sind außerdem Pumpschritte erforderlich, die aufgrund schneller Druckausgleichvorgänge und Druckübergänge ein Anhaftungsrisiko beinhalten. Daher ist der auf einem flüssigen Material basierende Beschichtungsprozeß bevorzugt.

[0007] Daher ist es wünschenswert, ein Verfahren bereitzustellen, durch das eine hydrophobe Schicht auf Innenabschnitte einer Mikrostruktur derart aufgebracht wird, daß die hydrophobe Eigenschaft der Schicht beibehalten wird.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0008] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Aufbringen einer hydrophoben Schicht auf eine Mikrostruktur bereitzustellen, wobei auf Mikrostrukturen eine hochgradig strukturierte Schicht aufgebracht werden kann, auch auf Mikrostrukturen mit schmalen Innenräumen.

[0009] Es ist eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Aufbringen einer hydrophoben Schicht auf eine Mikrostruktur bereitzustellen, wobei die hydrophobe Schicht als normaler Teil des Fertigungsprozesses für die Mikrostruktur eingefügt werden kann.

[0010] Es ist eine noch andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Aufbringen ei-

ner hydrophoben Schicht auf eine Mikrostruktur bereitzustellen, wobei die Anzahl von Fertigungsschritten für die Mikrostruktur vermindert wird.

[0011] Es ist eine noch andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Kondensatormikrofon bereitzustellen, in dem das Haftungsproblem vermieden wird.

[0012] Erfindungsgemäß werden die vorstehenden und andere Aufgaben durch ein Verfahren gelöst, in dem auf mindestens einem Teil einer Membran und mindestens einem Teil einer Gegenelektrode eines Kondensatormikrofons eine hydrophobe Schicht aufgebracht wird, um die Haftung zwischen der Membran und der Gegenelektrode zu vermeiden, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines Kondensatormikrofons mit einer Membran und einer Gegenelektrode, wobei eine Innenfläche der Membran in Kombination mit einer Innenfläche der Gegenelektrode einen Kondensator bildet; und
- Bereitstellen der hydrophoben Schicht auf den Innenflächen der Membran und der Gegenelektrode über mehrere Öffnungen, wobei die Öffnungen in der Gegenelektrode, in der Membran und/oder zwischen der Membran und der Gegenelektrode ausgebildet sind.

[0013] Das Mikrofon kann ein Mikrofon zum Aufnehmen normaler Schallwellen sein, die sich z. B. in Atmosphärenluft ausbreiten. Es kann jedoch zusätzlich oder alternativ ein Mikrofon sein, das dazu geeignet ist, Messungen in einer aggressiven Umgebung auszuführen, z. B. in einer feuchten, extrem heißen oder extrem kalten Umgebung. In diesem Fall muß das Kondensatormikrofon in der Lage sein, unter diesen extremen Bedingungen zu funktionieren. Es ist insbesondere wichtig, daß Wasserdampf (oder andere Dämpfe, mit denen das Mikrofon in Kontakt kommen kann) an den Innenabschnitten des Mikrofons nicht leicht kondensieren kann, weil dies zu Wassertröpfchen und einer vorübergehenden Haftung zwischen der Membran und der Gegenelektrode führen würde, wodurch veranlaßt würde, daß die Funktionsfähigkeit des Mikrofons abnimmt. Wenn Wasser im Luftspalt trocknet, müssen die Gegenelektrode und die Membran wieder getrennt werden. Erfindungsgemäß wird eine derartige Kondensation durch Aufbringen einer hydrophoben Schicht auf der Membran und mindestens einem Teil der Gegenelektrode verhindert oder mindestens reduziert.

[0014] Das Mikrofon ist vorzugsweise ein MEMS-Mikrofon, d. h. mindestens die Membran und/oder die Gegenelektrode werden unter Verwendung einer Halbleitertechnik hergestellt.

[0015] Eine Innenfläche der Membran und eine Innenfläche der Gegenelektrode des Mikrofons bilden

einen Kondensator. Weil die Membran bezüglich der im wesentlichen unbeweglichen Gegenelektrode beweglich ist, ist die Kapazität des Kondensators vom Zwischenabstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode abhängig.

[0016] Die hydrophobe Schicht wird über mehrere Öffnungen auf die Innenflächen der Membran bzw. der Gegenelektrode aufgebracht. Die Öffnungen sind in der Gegenelektrode, in der Membran und/oder zwischen der Membran und der Gegenelektrode angeordnet. Daher kann das Beschichtungsmaterial auf eine homogene und strukturierte Weise auf den Innenflächen des Mikrofons aufgebracht werden, auch wenn das Mikrofon kleine Hohlräume aufweist, die ansonsten nicht leicht zugänglich sind. Außerdem kann dieser Beschichtungsprozeß vorteilhaft im Anschluß an den normalen Fertigungsprozeß ausgeführt werden. Daher muß das Mikrofon nach den normalen Fertigungsschritten vor dem Beschichtungsprozeß weder getrocknet werden, noch muß eine spezielle Vorrichtung für den Prozeß verwendet werden. Infolgedessen ist der erfindungsgemäße Beschichtungsprozeß kosteneffizient und leicht durchführbar, so daß er für kommerzielle Zwecke sehr attraktiv ist.

[0017] Für den Aufdampfprozeß und noch stärker für den Flüssigphasenbeschichtungsprozeß muß die Dynamik des Beschichtungsprozesses berücksichtigt werden. Es ist sehr schwierig, das Beschichtungsmaterial in den Luftspalt eines MEMS-Mikrofons mit typischen lateralen Abmessungen (Gegenelektroden- oder Membranradius bzw. -seitenlänge) von 0,5 mm bis 2 mm und typischen Luftspalthöhen von 0,3 µm bis 10 µm aufzubringen. Durch diese großen Längen- oder Schlankheitsverhältnisse wird die Aufbringungsrate reduziert und wird der Prozeß sehr zeitaufwendig und ineffizient. Um einen direkten Zugang zum Mittelabschnitt des Luftspalts zu erhalten, muß der Beschichtungsprozeß durch mehrere Öffnungen in der Gegenelektrode, in der Membran und/oder in Zwischenräumen am Umfang der Gegenelektrode und der Membran ausgeführt werden. Dadurch wird der Prozeß schneller und damit kosteneffizienter.

[0018] Mindestens die Innenflächen der Membran und der Gegenelektrode können aus einem hydrophilen Material hergestellt sein. Wenn die Membrinnenfläche und/oder die Innenfläche der Gegenelektrode hydrophil sind, würde diese Eigenschaft zu einer Anhaftung führen, falls Wasser im Luftspaltvolumen austrocknen würde. Der Ausdruck "hydrophiles Material" könnte als ein Material mit einer Oberfläche interpretiert werden, die einen Kontaktwinkel für Wasser von weniger als 90° bildet. Dadurch können sich auf einer hydrophilen Oberfläche leicht Wassertropfchen bilden. Materialien, die hydrophile Oberflächen bilden, sind beispielsweise Silizium, Polysilizi-

um, SiO₂, Si_xN_y (z. B. Si₃N₄) und/oder jegliches andere geeignete Material.

[0019] Die Innenfläche der Membran und/oder die Innenfläche der Gegenelektrode können jedoch hydrophobe Eigenschaften besitzen, die verbessert werden können.

[0020] In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die kleinste Abmessung jeder der Öffnungen nicht größer als 10 µm, z. B. nicht größer als 7 µm, z. B. nicht größer als 5 µm, z. B. nicht größer als 3 µm, z. B. nicht größer als 1 µm, z. B. nicht größer als 0,7 µm oder z. B. nicht größer als 0,5 µm. Die kleinste Abmessung jeder Öffnung kann daher etwa 3 µm betragen, z. B. etwa 2 µm, etwa 4 µm, etwa 2,5 µm, etwa 3,5 µm, etwa 2,7 µm oder etwa 3,2 µm. Die kleinste Abmessung jeder Öffnung kann alternativ größer sein. Die kleinste Abmessung jeder Öffnung kann auch noch kleiner sein.

[0021] Eine oder mehrere Öffnungen können als im wesentlichen kreisförmige Öffnung(en) ausgebildet sein, wobei die kleinste Abmessung jeder Öffnung in diesem Fall den Durchmesser einer derartigen Öffnung bezeichnet. Alternativ oder zusätzlich kann eine oder können mehrere Öffnung(en) als längliche Nut(en) ausgebildet sein, wobei die kleinste Abmessung jeder Öffnung in diesem Fall die Querabmessung einer derartigen Nut bezeichnet. Alternativ oder zusätzlich kann eine oder können mehrere Öffnung(en) in einer quadratischen, rechteckigen oder in einer beliebigen polygonalen Form ausgebildet sein, und/oder eine oder mehrere der Öffnungen kann (können) auf eine beliebige andere geeignete Weise ausgebildet sein.

[0022] Der statische Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode ist vorzugsweise kleiner als 10 µm, z. B. kleiner als 7 µm, z. B. kleiner als 5 µm, z. B. kleiner als 3 µm, z. B. kleiner als 1 µm, z. B. kleiner als 0,7 µm, z. B. kleiner als 0,5 µm, z. B. kleiner als 0,3 µm, z. B. etwa 0,2 µm. Der statische Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode kann daher etwa 1 µm betragen, z. B. etwa 0,5 µm, etwa 0,7 µm, etwa 0,9 µm, etwa 1,2 µm oder etwa 1,5 µm.

[0023] Der Ausdruck "statischer Abstand" sollte als Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode in einem Zustand interpretiert werden, in dem die Membran sich in einem statischen Gleichgewicht befindet. In diesem Fall werden die Innenflächen der Membran und der Gegenelektrode normalerweise näherungsweise parallel zueinander ausgerichtet sein, und der Ausdruck "statischer Abstand" sollte als der Abstand zwischen diesen Innenflächen entlang einer Richtung aufgefaßt werden, die sich normal zu den beiden parallelen Innenflächen erstreckt.

[0024] Der Schritt zum Aufbringen einer hydrophoben Schicht kann durch chemische Bindung der hydrophoben Schicht an Polysilizium-, Siliziumoxid-, Siliziumnitrid- und/oder siliziumreichen Siliziumnitridoberflächen und Ausbilden hydrophober Ketten von der hydrophoben Schicht ausgeführt werden, wobei die hydrophoben Ketten von der Oberfläche, mit der die Bindung hergestellt wird, weg ausgerichtet sind.

[0025] In diesem Fall kann die Membran und/oder die Gegenelektrode aus einem oder mehreren der vorstehend erwähnten Materialien hergestellt werden.

[0026] Der Schritt zum Bereitstellen der hydrophoben Schicht kann die Schritte aufweisen:
Ausbilden einer molekularen Monoschicht; und
Veranlassen einer Vernetzung zwischen Molekülen und von Mehrfachbindungen an Oberflächen.

[0027] In dieser Ausführungsform ist die hydrophobe Schicht sehr langlebig bzw. haltbar und stabil.

[0028] Das Basismaterial der hydrophoben Schicht kann ein Alkylsilan aufweisen, z. B.:

$C_nH_{2n+1}C_2H_4SiX_3$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $n = 1, 2, 3, \dots$

$C_nH_{2n+1}C_2H_4SiX_2Y$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $Y = C_mH_{2m+1}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3, \dots$ oder

$C_nH_{2n+1}C_2H_4SiXY_2$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $Y = C_mH_{2m+1}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3, \dots$

[0029] Alternativ kann das Basismaterial der hydrophoben Schicht ein Perhaloalkylsilan aufweisen, wie beispielsweise ein Perfluoroalkylsilan, z. B.:

$C_nF_{2n+1}C_2H_4SiX_3$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $n = 1, 2, 3, \dots$

$C_nF_{2n+1}C_2H_4SiX_2Y$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $Y = C_mH_{2m+1}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3, \dots$ oder

$C_nF_{2n+1}C_2H_4SiXY_2$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $Y = C_mH_{2m+1}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3, \dots$

[0030] Das Verfahren kann ferner den Schritt zum Anordnen mindestens eines Teils der Membran und mindestens eines Teils der Gegenelektrode in einer Flüssigkeit aufweisen, die eine flüssige Phase des auf die Innenflächen aufzubringenden Materials der hydrophoben Schicht enthält. In dieser Ausführungsform wird die hydrophobe Schicht unter Verwendung eines Flüssigphasenbeschichtungsverfahrens aufgebracht. Wie vorstehend erwähnt wurde, führt dies normalerweise zu einer hochgradig strukturierten aufzubringenden Monoschicht.

[0031] Das Verfahren kann alternativ den Schritt zum Anordnen mindestens eines Teils der Membran und mindestens eines Teils der Gegenelektrode in einem Behälter aufweisen, der eine gasförmige Phase des auf die Innenflächen aufzubringenden Basismaterials der hydrophoben Schicht enthält. Der Behälter

kann alternativ oder zusätzlich einen Dampf des Basismaterials der hydrophoben Schicht enthalten. In dieser Ausführungsform wird die hydrophobe Schicht unter Verwendung eines Aufdampfverfahrens aufgebracht.

[0032] Vorzugsweise weist die aufgebrachte hydrophobe Schicht einen Kontaktwinkel für Wasser zwischen 90° und 130° auf, z. B. zwischen 100° und 110° .

[0033] Die aufgebrachte hydrophobe Schicht ist vorzugsweise bei Temperaturen zwischen -40°C und 130°C stabil, z. B. bei Temperaturen zwischen -30°C und 110°C . Sie ist am bevorzugtesten für mindestens 5 Minuten bei Temperaturen bis zu 400°C stabil.

[0034] Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Kondensatormikrofon mit einer Membran und einer Gegenelektrode bereitgestellt, wobei eine Innenfläche der Membran in Kombination mit einer Innenfläche der Gegenelektrode einen Kondensator bildet, wobei die Gegenelektrode und/oder die Membran mehrere Öffnungen aufweist (aufweisen), wobei eine hydrophobe Schicht auf die Innenflächen aufgebracht ist, und wobei der statische Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode kleiner ist als $10\text{ }\mu\text{m}$.

[0035] Das erfindungsgemäße Kondensatormikrofon ist daher eine Mikrostruktur, bei der auf die Innenflächen eines schmalen Raums oder Hohlraums (d. h. des durch die Innenflächen der Gegenelektrode bzw. der Membran definierten Raums oder Hohlraums) eine hydrophobe Schicht aufgebracht worden ist. Die hydrophobe Schicht wird am bevorzugtesten gemäß dem vorstehend beschriebenen Verfahren durch die mehreren Öffnungen aufgebracht.

[0036] Mindestens die Innenflächen der Membran und der Gegenelektrode können, wie vorstehend beschrieben wurde, aus einem hydrophilen Material ausgebildet sein. Die Innenfläche der Membran und/oder die Innenfläche der Gegenelektrode kann (können) jedoch in einem gewissen Grad hydrophobe Eigenschaften besitzen, die verbessert werden sollten.

[0037] Vorzugsweise ist die kleinste Abmessung jeder der Öffnungen nicht größer als $10\text{ }\mu\text{m}$, z. B. nicht größer als $5\text{ }\mu\text{m}$, z. B. nicht größer als $1\text{ }\mu\text{m}$ oder z. B. nicht größer als $0,5\text{ }\mu\text{m}$. Die kleinste Abmessung jeder Öffnung kann daher etwa $3\text{ }\mu\text{m}$ betragen.

[0038] Das Basismaterial der hydrophoben Schicht kann ein Alkylsilan aufweisen, z. B.:

$C_nH_{2n+1}C_2H_4SiX_3$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $n = 1, 2, 3, \dots$

$C_nH_{2n+1}C_2H_4SiX_2Y$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $Y = C_mH_{2m+1}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3, \dots$ oder

$C_nH_{2n+1}C_2H_4SiXY_2$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ;
 $Y = C_mH_{2m+1}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3 \dots$

[0039] Alternativ kann das Basismaterial der hydrophoben Schicht ein Perhaloalkylsilan aufweisen, wie beispielsweise ein Perfluoralkylsilan, z. B.:

$C_nF_{2n+1}C_2H_4SiX_3$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ; $n = 1, 2, 3, \dots$

$C_nF_{2n+1}C_2H_4SiX_2Y$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ;
 $Y = C_mH_{2m+1}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3 \dots$ oder

$C_nF_{2n+1}C_2H_4SiXY_2$; $X = OCH_3$ oder OCH_2CH_3 oder Cl ;
 $Y = C_mH_{2m+1}$; $n = 1, 2, 3, \dots$; $m = 1, 2, 3 \dots$

[0040] Der statische Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode kann kleiner sein als 5 μm , z. B. kleiner als 1 μm , z. B. kleiner als 0,5 μm oder z. B. kleiner als 0,3 μm . Der statische Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode kann daher etwa 1 μm betragen, z. B. etwa 0,9 μm .

[0041] Die hydrophobe Schicht weist vorzugsweise einen Kontaktwinkel für Wasser zwischen 90° und 130° auf, z. B. zwischen 100° und 110°, und ist vorzugsweise bei Temperaturen zwischen -40°C und 130°C stabil, z. B. bei Temperaturen zwischen -30°C und 110°C. Die hydrophobe Schicht ist am bevorzugtesten für mindestens 5 Minuten bei Temperaturen bis zu 400°C stabil.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0042] [Fig. 1](#) zeigt eine Querschnittsansicht eines Kondensatormikrofons während eines Fertigstellungsprozesses, bevor eine SiO_2 -Opferschicht geätzt wird;

[0043] [Fig. 2](#) zeigt die gleiche Querschnittsansicht des Kondensatormikrofons wie in [Fig. 1](#), nachdem die SiO_2 -Opferschicht geätzt worden ist; und

[0044] [Fig. 3](#) zeigt die gleiche Querschnittsansicht des Kondensatormikrofons wie in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#), nachdem eine hydrophobe Beschichtung aufgebracht worden ist.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0045] Die [Fig. 1–Fig. 3](#) zeigen den letzten Teil eines Herstellungsprozesses für ein Kondensatormikrofon **1** mit einem erfindungsgemäßen Prozeß zum Aufbringen einer hydrophoben Schicht auf das Mikrofon **1**.

[0046] Das Mikrofon **1** weist eine Stütz- oder Halterungsstruktur **2**, eine Gegenelektrode **3** und eine Membran **4** auf. Die Halterungsstruktur **2** ist vorzugsweise aus einem Siliziumsubstrat hergestellt, die Gegenelektrode **3** ist vorzugsweise aus Polysilizium hergestellt, und die Membran **4** ist vorzugsweise aus einer Sandwichstruktur aus Polysilizium und siliziumreichem Siliziumnitrid (**5** Lagen) hergestellt. Die Ge-

genelektrode **3** weist mehrere Öffnungen **6** auf, durch die das hydrophobe Beschichtungsmaterial eingebracht werden kann (wie nachstehend beschrieben wird). In den Figuren sind für Erläuterungszwecke lediglich fünf Öffnungen **6** dargestellt. In der Realität werden jedoch in einer Gegenelektrode mit einer Fläche von $1 \times 1 \text{ mm}^2$ typischerweise etwa 30000 Öffnungen ausgebildet sein. Die Membran **4** ist durch Schalldruck beweglich, und die Gegenelektrode **3** ist im wesentlichen unbeweglich oder stationär, und die Membran **4** und die Gegenelektrode **3** bilden in Kombination einen Kondensator, dessen Kapazität vom Zwischenabstand zwischen den beiden Elementen abhängt.

[0047] Während der Herstellung des Mikrofons **1** wird eine Opferschicht **7** auf das Mikrofon **1** aufgebracht, um die Luftspalthöhe zu definieren. Die Opferschicht **7** ist vorzugsweise aus SiO_2 , $SiON$ oder $Si-GeON$ hergestellt. Wenn die Prozeßschritte, die normalerweise vorgesehen sind, ausgeführt worden sind, muß die Opferschicht **7** mindestens teilweise entfernt werden, um zu ermöglichen, daß die Membran **4** sich bezüglich der Gegenelektrode **3** bewegen kann. Die Opferschicht **7** kann durch einen Ätzprozeß unter Verwendung von HF (Fluorwasserstoffsäure) und anschließendes Spülen mit Wasser entfernt werden. [Fig. 1](#) zeigt das Mikrofon **1**, bevor der Opferschichtätzprozeß ausgeführt wird, und [Fig. 2](#) zeigt das Mikrofon **1**, nachdem der Opferschichtätzprozeß ausgeführt worden ist. Daraus wird deutlich, daß die in [Fig. 1](#) dargestellte Opferschicht **7** in [Fig. 2](#) vom Mikrofon **1** entfernt worden ist.

[0048] Das Mikrofon **1** wird anschließend durch einen sogenannten "Piranha Clean"-Reinigungsprozeß gereinigt. Das Mikrofon **1** wird in einen Behälter eingetaucht, der eine Flüssigkeit aus drei Teilen H_2O_2 und sieben Teilen H_2SO_4 aufweist. Anschließend wird das Mikrofon **1** mit Wasser gespült.

[0049] Nach dem Wasserspülvorgang wird das Mikrofon **1** in einen Behälter angeordnet, der Isopropanol (IPA, 2-Propanol) enthält, um einen IPA-Spülvorgang auszuführen. Dieser Schritt wird zweimal wiederholt, d. h., das Mikrofon **1** wird anschließend zu zwei anderen Behältern transportiert, die eine frische IPA-Lösung enthalten. Daraufhin wird das Mikrofon **1** zu einem Behälter transportiert, der Heptan enthält, um einen Heptan-Spülvorgang auszuführen. Dieser Schritt ebenfalls zweimal wiederholt, wie vorstehend beschrieben wurde.

[0050] Dann wird der eigentliche Beschichtungsschritt unter Verwendung eines Silan-Beschichtungsprozesses ausgeführt. Dies wird durch Transportieren des Mikrofons zu einem Behälter erreicht, der Heptan mit Perhaloalkylsilan enthält, z. B. Perfluoralkylsilanen oder Alkylsilan, d. h. das eigentliche hydrophobe Beschichtungsmaterial. Aufgrund der in der

Gegenelektrode **3** ausgebildeten Öffnungen **6** kann das Beschichtungsmaterial in die inneren Abschnitte des Mikrofons **1** eintreten, d. h. in die durch die gegenüberliegenden Flächen der Gegenelektrode **3** bzw. der Membran **4** definierten Abschnitte. Das Beschichtungsmaterial kann daher auf die Oberflächen dieser inneren Abschnitte aufgebracht werden, z. B. auf die Innenflächen der Gegenelektrode **3** bzw. der Membran **4**. Außerdem ist, weil der Beschichtungsprozeß unter Verwendung eines Flüssigphasenbeschichtungsverfahrens ausgeführt wird, die erhaltene hydrophobe Schicht eine strukturierte Monoschicht. Daher werden die hydrophoben Eigenschaften des Materials auf einem hohen Niveau beibehalten.

[0051] Anschließend werden zunächst die vorstehend beschriebenen Heptan-Spülschritte und dann die IPA-Spülschritte wiederholt. Daraufhin wird das Mikrophon **1** mit Wasser gespült, getrocknet und nachgebrannt, um die Beschichtung zu stabilisieren.

[0052] Die vorstehend beschriebenen IPA-Spülschritte, die Heptan-Spülschritte, der Beschichtungsprozeß und/oder die Wasserspülschritte können alternativ durch kontinuierliches Erneuern der Lösung im Behälter ausgeführt werden, wodurch der Transport des Mikrofons **1** von einem Behälter zu einem anderen Behälter während des betrachteten Spülschritts vermieden wird. Dadurch wird das Mikrophon **1** in geringerem Maße Luft ausgesetzt, so daß die Wahrscheinlichkeit des Trocknens vor dem Abschluß des Beschichtungsprozesses vermindert wird. Dadurch ist der Beschichtungsprozeß einfacher handhabbar, d. h. für kommerzielle Zwecke attraktiver.

[0053] [Fig. 3](#) zeigt das Mikrophon, nachdem der vorstehend beschriebene Beschichtungsprozeß ausgeführt worden ist. Die erhaltene Beschichtung ist als gestrichelte Linie dargestellt.

[0054] Der vorstehend beschriebene Beschichtungsprozeß kann vorteilhaft im Anschluß an den normalen Fertigstellungsprozeß ausgeführt werden.

[0055] Daher wird erfindungsgemäß ein Verfahren zum Aufbringen einer hydrophoben Schicht auf mindestens einen Teil einer Membran und mindestens einen Teil einer Gegenelektrode eines Kondensatormikrofons bereitgestellt, das einfach ausführbar und damit für kommerzielle Zwecke attraktiv ist. Außerdem wird erfindungsgemäß ein Kondensatormikrophon bereitgestellt, in dem die Haftung zwischen der Membran und der Gegenelektrode im Betrieb vermieden oder zumindest erheblich reduziert wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bereitstellen einer hydrophoben Schicht auf mindestens einem Teil einer Membran und mindestens einem Teil einer Gegenelektrode

eines Kondensatormikrofons, um Haftreibung zwischen der Membran und der Gegenelektrode zu vermeiden, wobei das Verfahren die Schritte aufweist: Bereitstellen eines Kondensatormikrofons mit einer Membran und einer Gegenelektrode, wobei eine Innenfläche der Membran in Kombination mit einer Innenfläche der Gegenelektrode einen Kondensator bildet; und

Bereitstellen der hydrophoben Schicht auf den Innenflächen der Membran und der Gegenelektrode über mehrere Öffnungen, wobei die Öffnungen in der Gegenelektrode, in der Membran und/oder zwischen der Membran und der Gegenelektrode ausgebildet sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei mindestens die Innenflächen der Membran und der Gegenelektrode aus einem hydrophilen Material hergestellt sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Schritt zum Bereitstellen der hydrophoben Schicht durch Bereitstellen der hydrophoben Schicht über die mehreren Öffnungen ausgeführt wird, wobei die kleinste Abmessung jeder der Öffnungen nicht größer ist als 10 µm, z. B. nicht größer als 5 µm, z. B. nicht größer als 1 µm oder z. B. nicht größer als 0,5 µm.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei ein statischer Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode kleiner ist als 10 µm, z. B. kleiner als 5 µm, z. B. kleiner als 1 µm, z. B. kleiner als 0,5 µm oder z. B. kleiner als 0,3 µm.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Schritt zum Bereitstellen der hydrophoben Schicht durch eine chemische Bindung der hydrophoben Schicht mit Polysilizium-, Siliziumoxid-, Siliziumnitrid- und/oder siliziumreichen Siliziumnitridoberflächen und Ausbilden hydrophober Ketten von der hydrophoben Schicht ausgeführt wird, wobei die hydrophoben Ketten von der Oberfläche, mit der die Bindung hergestellt wird, weg ausgerichtet sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Schritt zum Bereitstellen der hydrophoben Schicht die Schritte aufweist: Ausbilden einer molekularen Monoschicht; und Veranlassen einer Vernetzung zwischen Molekülen und von Mehrfachbindungen an Oberflächen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Basismaterial der hydrophoben Schicht ein Alkylsilan aufweist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Basismaterial der hydrophoben Schicht ein Perhaloalkylsilan aufweist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,

ferner mit dem Schritt zum Anordnen mindestens eines Teils der Membran und mindestens eines Teils der Gegenelektrode in einer Flüssigkeit, die eine flüssige Phase des auf die Innenflächen aufzubringenden Basismaterials der hydrophoben Schicht enthält.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, ferner mit dem Schritt zum Anordnen mindestens eines Teils der Membran und mindestens eines Teils der Gegenelektrode in einem Behälter, der eine gasförmige Phase des auf die Innenflächen aufzubringenden Basismaterials der hydrophoben Schicht enthält.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die hydrophobe Schicht einen Kontaktwinkel für Wasser zwischen 90° und 130° , z. B. zwischen 100° und 110° , aufweist.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die hydrophobe Schicht bei Temperaturen zwischen -40°C und 130°C , z. B. zwischen -30°C und 110°C , stabil ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die hydrophobe Schicht für mindestens 5 Minuten bei Temperaturen bis mindestens 400°C stabil ist.

14. Kondensatormikrofon mit einer Membran und einer Gegenelektrode, wobei eine Innenfläche der Membran in Kombination mit einer Innenfläche der Gegenelektrode einen Kondensator bildet, wobei die Gegenelektrode und/oder die Membran mehrere Öffnungen aufweist (aufweisen), wobei eine hydrophobe Schicht auf die Innenflächen aufgebracht ist, und wobei der statische Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode kleiner ist als $10\text{ }\mu\text{m}$.

15. Kondensatormikrofon nach Anspruch 14, wobei mindestens die Innenflächen der Membran und der Gegenelektrode aus einem hydrophilen Material hergestellt sind.

16. Kondensatormikrofon nach Anspruch 14 oder 15, wobei die kleinste Abmessung der Öffnungen nicht größer ist als $10\text{ }\mu\text{m}$, z. B. nicht größer als $5\text{ }\mu\text{m}$, z. B. nicht größer als $1\text{ }\mu\text{m}$ oder z. B. nicht größer als $0,5\text{ }\mu\text{m}$.

17. Kondensatormikrofon nach Anspruch 14 oder 15, wobei die kleinste Abmessung jeder der Öffnungen etwa $3\text{ }\mu\text{m}$ beträgt.

18. Kondensatormikrofon nach einem der Ansprüche 14 bis 17, wobei das Basismaterial der hydrophoben Schicht ein Alkylsilan aufweist.

19. Kondensatormikrofon nach einem der Ansprüche 14 bis 17, wobei das Basismaterial der hy-

drophoben Schicht ein Perhaloalkylsilan aufweist.

20. Kondensatormikrofon nach einem der Ansprüche 14 bis 19, wobei der statische Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode kleiner ist als $5\text{ }\mu\text{m}$, z. B. kleiner als $1\text{ }\mu\text{m}$, z. B. kleiner als $0,5\text{ }\mu\text{m}$ oder z. B. kleiner als $0,3\text{ }\mu\text{m}$.

21. Kondensatormikrofon nach einem der Ansprüche 14 bis 19, wobei der statische Abstand zwischen der Membran und der Gegenelektrode etwa $0,9\text{ }\mu\text{m}$ beträgt.

22. Kondensatormikrofon nach einem der Ansprüche 14 bis 21, wobei die hydrophobe Schicht einen Kontaktwinkel für Wasser zwischen 90° und 130° , z. B. zwischen 100° und 110° , aufweist.

23. Kondensatormikrofon nach einem der Ansprüche 14 bis 22, wobei die hydrophobe Schicht bei Temperaturen zwischen -40°C und 130°C , z. B. zwischen -30°C und 110°C , stabil ist.

24. Kondensatormikrofon nach einem der Ansprüche 14 bis 23, wobei die hydrophobe Schicht für mindestens 5 Minuten bei Temperaturen bis mindestens 400°C stabil ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

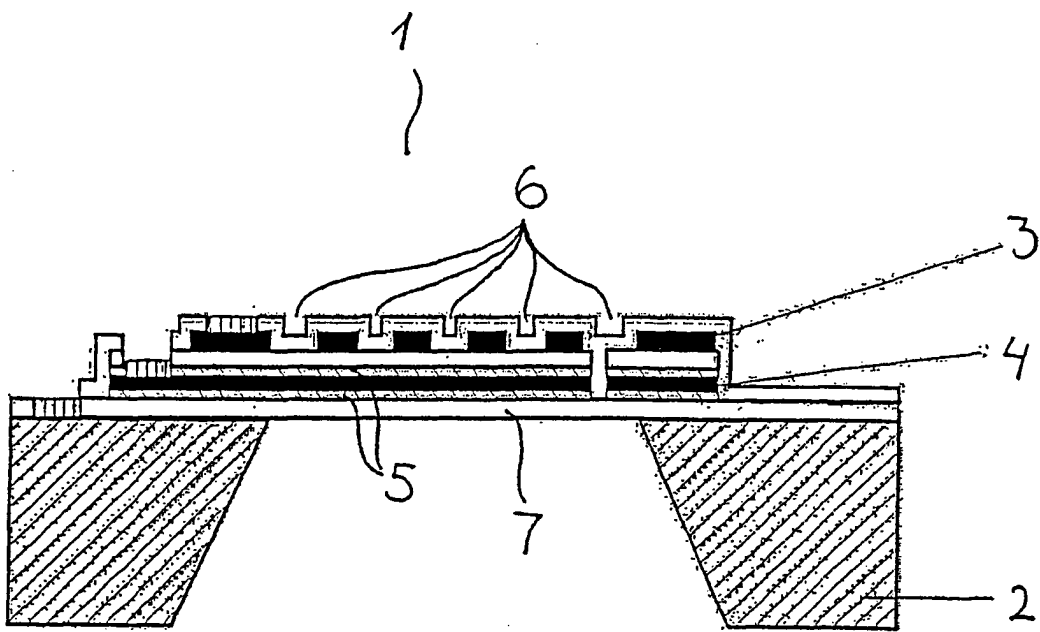


Fig. 1

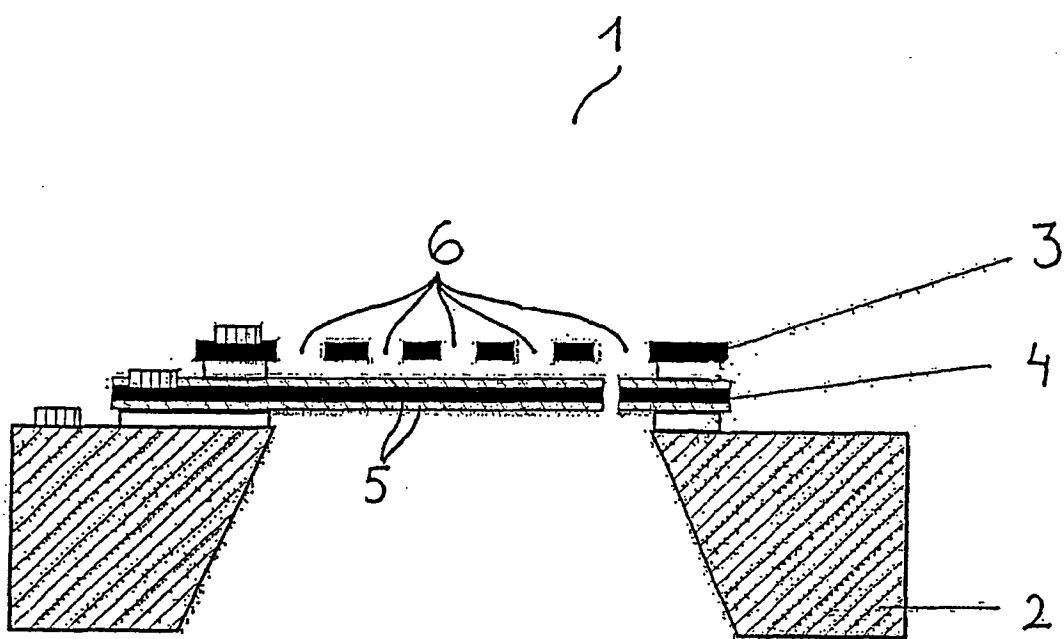


Fig. 2

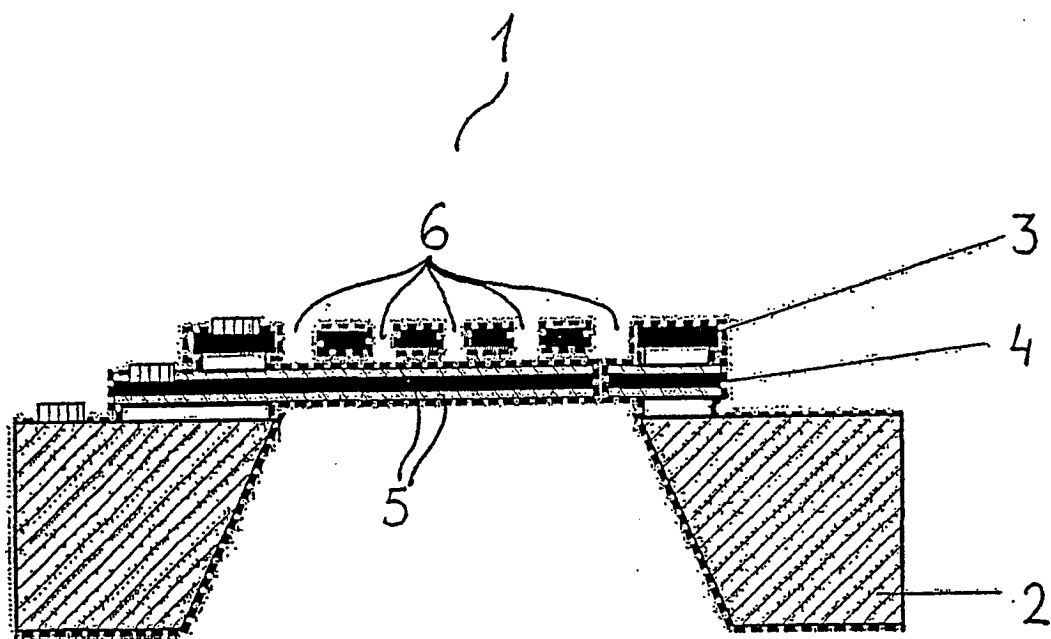


Fig. 3