



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 52 001 A1** 2005.06.09

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 52 001.5**
(22) Anmeldetag: **07.11.2003**
(43) Offenlegungstag: **09.06.2005**

(51) Int Cl.7: **B81B 3/00**
B81C 1/00

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Fuertsch, Matthias, 72810 Gomaringen, DE; Pinter, Stefan, 72762 Reutlingen, DE; Weber, Heribert, 72622 Nürtingen, DE; Fischer, Frank, 72810 Gomaringen, DE; Metzger, Lars, 72116 Mössingen, DE; Schelling, Christoph, 72762 Reutlingen, DE; Sundermeier, Frieder, 70806 Kornwestheim, DE

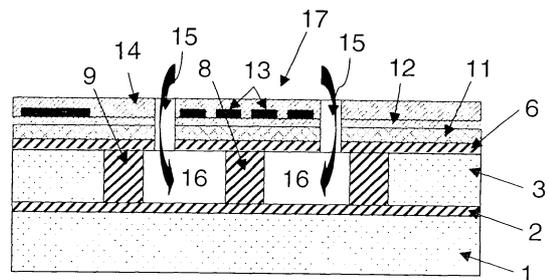
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Mikromechanisches Bauelement mit einer Membran und Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauelements**

(57) Zusammenfassung: Mit der vorliegenden Erfindung wird eine Möglichkeit vorgeschlagen, ein mikromechanisches Bauelement mit einer sehr stabilen Membran (17) in einem reinen Vorderseitenprozess zu realisieren.

Erfindungsgemäß wird die Bauelementstruktur in einem Schichtaufbau auf einem Substrat (1) realisiert. Der Schichtaufbau umfasst dazu mindestens eine Opferschicht (3) und eine Membranschicht über der Opferschicht (3). Zum Freilegen der Membran (17) und zum Erzeugen von Stabilisierungselementen (8) an der Membran (17) wird die Opferschicht (3) strukturiert, wobei mindestens eine Ausnehmung (4) für ein Stabilisierungselement (8) der Membran (17) erzeugt wird.

Die in der Opferschicht (3) erzeugte Struktur wird dann zumindest oberflächlich geschlossen, indem mindestens eine Materialschicht (6) über der strukturierten Opferschicht (3) abgeschieden wird, wobei diese Materialschicht (6) zumindest einen Teil der Membranschicht bildet. Diese Materialschicht (6) wird strukturiert, um mindestens ein Ätzloch (15) für das Ätzen der Opferschicht (3) zu erzeugen. Dann wird die Opferschicht (3) im Bereich unter dem Ätzloch (15) entfernt, wobei die Membran (17) und das mindestens ein Stabilisierungselement (8) freigelegt werden und eine Kaverte (16) unter der Membran (17) entsteht.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches Bauelement mit mindestens einer Membran, wobei die Bauelementstruktur in einem Schichtaufbau auf einem Substrat realisiert ist. Der Schichtaufbau umfasst mindestens eine Opferschicht und eine Membranschicht über der Opferschicht. Die Membran ist in der Membranschicht ausgebildet, indem unter der Membran eine Kaverne in der Opferschicht ausgebildet ist.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines solchen mikromechanischen Bauelements. Zur Freilegung der Membran wird mindestens ein Ätzloch in mindestens einer Materialschicht über der Opferschicht erzeugt, wobei diese mindestens eine Materialschicht zumindest einen Schichtbestandteil der Membranschicht bildet. Das Material der Opferschicht wird dann in einem isotropen Ätzschritt im Bereich unter dem Ätzloch entfernt, wobei eine Kaverne entsteht.

[0003] Mikromechanische Bauelemente mit einer freitragenden Membran können beispielsweise als Sensorbauelemente von Drucksensoren eingesetzt werden.

[0004] Eine weitere aus der Praxis bekannte Anwendungsmöglichkeit für ein Bauelement der eingangs genannten Art stellen Sensoren dar, die auf thermischen Effekten basieren, wie z.B. Massflussensoren, adiabatische Gas-Wärmeableitungssensoren, thermische Neigungswinkelsensoren, Wärmeleitfähigkeits-Gassensoren oder thermische Infrarotdetektoren. Die Sensorbauelemente derartiger Sensoren umfassen in der Regel Temperaturfühler und/oder Heizer, die thermisch möglichst weitgehend von ihrer Umgebung entkoppelt sein sollten. Je besser die thermische Entkopplung ist, um so geringer sind die Wärmeverluste und damit der Energieverbrauch und um so höher ist die Sensorempfindlichkeit. Die freitragende Membran des hier in Rede stehenden mikromechanischen Bauelements dient bei diesen Anwendungen als thermisch isolierter Bereich. Zur Minimierung der Wärmeableitung über das Substrat und, um die Wärmekapazität der Membran klein zu halten, sollte die Membran möglichst dünn ausgeführt sein. Außerdem erweist es sich in diesem Zusammenhang als vorteilhaft, die Membran aus einem dielektrischen Werkstoff mit sehr geringer Wärmeleitfähigkeit und niedriger Wärmekapazität zu realisieren.

Stand der Technik

[0005] In der deutschen Offenlegungsschrift 195 27 861 wird ein mikromechanisches Bauelement mit ei-

ner freitragenden Membran beschrieben, das als Sensorbauelement für einen Massenflusssensor dient. Die Herstellung dieses Sensorbauelements geht von einem Siliziumsubstrat aus, auf dessen Oberseite eine Membranschicht abgeschieden wird. Auf der Membranschicht werden dann Heizelemente und Temperaturfühler in Form von Leiterbahnen erzeugt. Das Freilegen der Membran erfolgt in einem gesonderten Prozessschritt, in dem von der Rückseite ausgehend eine Kaverne in das Siliziumsubstrat geätzt wird. Dieser Rückseitenprozess ist sehr zeitintensiv und ausbeutekritisch, da durch die gesamte Dicke des Siliziumsubstrats durch geätzt werden muss. Die dabei entstehenden Bauelemente sind außerdem sehr fragil.

[0006] In der deutsche Patentanmeldung 103 05 442, angemeldet am 11. Februar 2003, wird ein mikromechanisches Bauelement mit einer freitragenden Membran beschrieben, die in einem reinen Vorderseitenprozess erzeugt werden kann. Dazu wird eine Membranschicht auf einem Substrat abgeschieden. Zum Freilegen der Membran werden Löcher in der Membranschicht erzeugt. Ausgehend von der Vorderseite wird dann in einem isotropen Ätzschritt das Substratmaterial im Bereich unter den Löchern entfernt, wobei das Substrat bis zu der Tiefe der dabei erzeugten Kaverne als Opferschicht bezeichnet werden kann. Eine Strukturierung der Rückseite des Substrats zum Freilegen der Membran ist hier nicht erforderlich.

Aufgabenstellung

Vorteile der Erfindung

[0007] Mit der vorliegenden Erfindung wird eine Möglichkeit vorgeschlagen, ein mikromechanisches Bauelement der eingangs genannten Art durch Vorderseitenprozessierung zu realisieren, dessen Membran eine hohe Stabilität aufweist.

[0008] Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass die Membran durch mindestens ein in die Kaverne hineinragendes Stabilisierungselement stabilisiert wird. Dazu wird die Opferschicht im Rahmen des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens strukturiert, wobei mindestens eine Ausnehmung für ein Stabilisierungselement der Membran erzeugt wird. Die in der Opferschicht erzeugte Struktur wird dann wieder geschlossen, indem mindestens eine Materialschicht über der strukturierten Opferschicht abgeschieden wird, wobei diese Materialschicht zumindest einen Teil der Membranschicht bildet und in dem isotropen Ätzschritt zum Entfernen des Materials der Opferschicht nicht angegriffen wird. Diese Materialschicht wird strukturiert, um mindestens ein Ätzloch für das Ätzen der Opferschicht zu erzeugen. Danach wird die Opferschicht im Bereich unter dem Ätzloch entfernt, wobei die Membran und das min-

destens eine Stabilisierungselement freigelegt werden.

[0009] Erfindungsgemäß ist erkannt worden, dass sich die Stabilität der Membran eines mikromechanischen Bauelements mit Hilfe von Stabilisierungselementen, die in die Kaverne unter der Membran hineinragen, einfach erhöhen lässt, ohne dass dadurch die thermische Isolation der Membran gegenüber anderen Bereichen des Bauelements wesentlich beeinträchtigt wird. Eine höhere Stabilität der Membran, wie sie erfindungsgemäß erzielt wird, erhöht nicht nur die Standzeit des Bauelements im Feld sondern wirkt sich auch positiv auf die Ausbeute bei der Bauelementherstellung und die Robustheit des Bauelements bei einer späteren Montage aus.

[0010] Erfindungsgemäß ist ferner erkannt worden, dass eine Membran mit derartigen Stabilisierungselementen durch ausschließlich oberflächenmikromechanische Prozessierung der Bauelementstruktur realisiert werden kann. In Folge dessen ist die für die Herstellung des erfindungsgemäßen Bauelements erforderliche Prozesszeit relativ kurz. Außerdem kann das erfindungsgemäße Bauelement bei Fertigung in einem reinen Vorderseitenprozess mit relativ kleiner Chipfläche realisiert werden.

[0011] Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten für die Realisierung des erfindungsgemäßen Bauelements, sowohl im Hinblick auf die Materialien des Schichtaufbaus als auch im Hinblick auf die Art, Geometrie und Anordnung der Membran und der Stabilisierungselemente.

[0012] Vorteilhafter Weise besteht die Opferschicht des erfindungsgemäßen Bauelements aus amorphem, poly-kristallinem oder einkristallinem $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, wobei $0 \leq x \leq 1$ ist. In diesem Fall können zur Herstellung der Membran mit den Stabilisierungselementen bekannte Verfahren eingesetzt werden, die im Rahmen der mikromechanischen Prozessierung von Bauteilen bereits erprobt und gut handhabbar sind, wie z.B. Trenchätzprozesse und das isotrope Ätzen mit geeigneten Ätzmedien.

[0013] Wie bereits erwähnt, ist die Membran des erfindungsgemäßen Bauelements in einer Membranschicht ausgebildet, die aus nur einer Materialschicht bestehen kann oder auch mehrere unterschiedliche Materialschichten umfassen kann. Unter der Membran befindet sich eine Kaverne in der Opferschicht. Diese Kaverne wird in der Regel in einem isotropen Ätzschritt erzeugt, wobei die Ausdehnung der Kaverne und damit auch die Größe und Form der Membran einfach über die Dauer des Ätzangriffs bestimmt werden kann. Allerdings lassen sich auf diese Weise lediglich im Wesentlichen runde Membranen erzeugen. Das erfindungsgemäße Bauelement lässt sich aber auch mit einer beliebigen anderen Membrangeometrie

realisieren. In diesem Fall werden die Geometrie und die Abmessungen der Membran durch entsprechende Gräben in der Opferschicht definiert, die mit einem Ätzstoppmaterial verfüllt werden. Nach dem Entfernen des Opferschichtmaterials bildet das verbleibende Ätzstoppmaterial dann die Seitenwandung der Kaverne und begrenzt deren seitliche Ausdehnung. Neben der seitlichen Ausdehnung der Kaverne kann auch die Tiefe der Kaverne über die Dauer des Ätzangriffs bestimmt werden. Der Schichtaufbau des erfindungsgemäßen Bauelements kann dazu aber auch eine Ätzstoppschicht umfassen, die unter der Opferschicht angeordnet ist und die Kaverne in der Tiefe begrenzt.

[0014] Die Anzahl und Art der Stabilisierungselemente eines erfindungsgemäßen Bauelements richten sich in erster Linie nach der jeweiligen Anwendung und den damit verbundenen Stabilitätsanforderungen. Die Stabilisierungselemente können in Form von Säulen, Stegen, Waben oder Netzen ausgebildet sein oder auch in Form eines Rahmens. Außerdem können die Stabilisierungselemente frei in die Kaverne hineinragen oder auch an den Boden der Kaverne angebunden sein. Je nach Art des Herstellungsprozesses können die Stabilisierungselemente massiv ausgebildet sein, aus einem oder auch mehreren unterschiedlichen Materialien bestehen und/oder einen Hohlraum umfassen.

[0015] Die Membran des erfindungsgemäßen Bauelements kann mit Öffnungen versehen sein, so dass in der Kaverne derselbe Druck herrscht wie auf der Außenseite des Bauelements. In einer besonders vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Bauelements ist die Membran jedoch geschlossen, so dass in der Kaverne ein definierter Druck, insbesondere zwischen Vakuum und Atmosphärendruck, herrscht. Dadurch kann beispielsweise eine verbesserte thermische Isolation der Membran gegenüber den übrigen Bereichen des Bauelements erzielt werden.

[0016] In einer weiteren vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Bauelements umfasst der Schichtaufbau, insbesondere im Bereich der Membran, eine weitere Struktur zur Verminderung der vertikalen Wärmeableitung, was nachfolgend im Zusammenhang mit einem Ausführungsbeispiel, [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#), näher erläutert wird.

[0017] An dieser Stelle sei angemerkt, dass ein erfindungsgemäßes Bauelement auch mehrere Membranen umfassen kann. In diesem Fall erweist es sich als vorteilhaft, wenn zwischen den Membranen breite Stützstrukturen ausgebildet sind, die als Wärmesenken ein Übersprechen verhindern.

[0018] Wie eingangs erwähnt, kann das erfindungsgemäße Bauelement in vorteilhafter Weise im Rah-

men von Sensoren eingesetzt werden, die auf thermischen Effekten beruhen. Insbesondere seien in diesem Zusammenhang die Einsatzmöglichkeiten

- in Fluidmassenflusssensoren,
- in thermischen Beschleunigungssensoren,
- in thermischen Drehratensensoren,
- in thermischen Neigungswinkelsensoren,
- in adiabatischen Gas-Wärmeableitungssensoren, insbesondere für H₂-Sensoren und Seitenaufprallsensoren,
- in thermischen chemischen Sensoren,
- in thermischen Heizplattenanwendungen,
- in hochdynamischen Temperatursensoren,
- in Luftfeuchtesensoren,
- in Infrarotdetektoren, insbesondere in Gassensoren oder Infrarotkameras,
- in Thermopiles und
- für HF-Anwendungen

genannt.

Ausführungsbeispiel

Zeichnungen

[0019] Wie bereits voranstehend erörtert, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird einerseits auf die den unabhängigen Patentansprüchen nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Beschreibung von sieben Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Zeichnungen verwiesen.

[0020] Die [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) zeigen die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung eines ersten erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements mit einer Membran.

[0021] [Fig. 2](#) zeigt den Schnitt durch den Schichtaufbau eines zweiten erfindungsgemäßen Bauelements, das in einer modifizierten Variante des in Verbindung mit den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) beschriebenen Verfahrens hergestellt worden ist.

[0022] [Fig. 3](#) zeigt den Schnitt durch den Schichtaufbau eines dritten erfindungsgemäßen Bauelements, das ebenfalls in einer modifizierten Variante des in Verbindung mit den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) beschriebenen Verfahrens hergestellt worden ist.

[0023] Die [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) zeigen die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung eines vierten erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements mit einer Membran.

[0024] Die [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5d](#) zeigen die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung eines fünften erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements

mit einer Membran.

[0025] Die [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) zeigen die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung eines sechsten erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements mit einer Membran.

[0026] Die [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7e](#) zeigen die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung eines siebten erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelements mit einer Membran.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0027] Die in den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) dargestellte Verfahrensvariante zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements mit einer Membran geht entweder von einem Siliziumwafer **1** aus, auf dem zunächst eine Siliziumoxidschicht **2** und dann eine monokristalline oder polykristalline Silizium- oder Germaniumschicht **3** abgeschieden worden ist, oder von einem SOI(Silicon-on-Insulator)-Wafer, dessen Aufbau in der Regel eine monokristalline oder polykristalline Siliziumschicht **3** umfasst, die über eine Siliziumoxidschicht **2** mit einem Siliziumsubstrat **1** verbunden ist. Die Siliziumoxidschicht **2** wird im Folgenden als Ätzstoppschicht **2** bezeichnet und die Silizium- oder Germaniumschicht **3** als Opferschicht **3**.

[0028] Entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Opferschicht **3** strukturiert, wobei mindestens eine Ausnehmung **4** für ein Stabilisierungselement erzeugt wird. Bei der in den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) dargestellten Verfahrensvariante erfolgt die Strukturierung der Opferschicht in einem Trenchprozess. Dabei wird hier neben einer Ausnehmung **4** für eine Säule ein umlaufender Trenchgraben **5** erzeugt, durch den die Größe und Form der zu erzeugenden Membran definiert wird. [Fig. 1a](#), die einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur nach der Strukturierung der Opferschicht **3** zeigt, verdeutlicht, dass sich die Ausnehmung **4** und der Trenchgraben **5** durch die gesamte Opferschicht **3** bis zur Ätzstoppschicht **2** erstrecken. An dieser Stelle sei angemerkt, dass bei der Strukturierung der Opferschicht **3** auch V-Gräben erzeugt werden können. Diese Art der Ausnehmungen kann bei einem nachfolgenden Verfahrensschritt einfacher vollständig aufgefüllt werden.

[0029] [Fig. 1b](#), die eine Draufsicht auf die strukturierte Opferschicht **3** zeigt, verdeutlicht, dass sich mit Hilfe des verwendeten Trenchprozesses Ausnehmungen beliebiger Grundfläche erzeugen lassen, da es sich dabei um ein anisotropes Ätzverfahren handelt. An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass es sich bei den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) nicht um maßstäbliche Darstellungen handelt. So ist die Opferschicht **3** in der Regel mindestens 5µm dick, während der Durchmesser der Ausnehmung **4** und die Breite des

Trenchgrabens **5** in der Regel kleiner als $2\mu\text{m}$ sind, da diese Öffnungen in der Opferschicht **3** bei einer anschließenden thermischen Oxidation zumindest oberflächlich geschlossen werden sollen.

[0030] [Fig. 1c](#) zeigt einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur nach der thermischen Oxidation und/oder nach der Abscheidung einer dielektrischen Schicht $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$, bei der sich sowohl über der strukturierten Opferschicht **3** eine Oxidschicht **6** als auch auf der Waferrückseite eine Oxidschicht **7** gebildet hat. Die Oxidschicht **6** erstreckt sich bis in die Ausnehmung **4**, wodurch eine Oxidsäule **8** entstanden ist, und bis in den Trenchgraben **5**, wodurch ein Oxidrahmen **9** für die zu erzeugenden Membran entstanden ist. Die beiden Oxidschichten **6** und **7** haben jeweils eine Dicke von um die $3\mu\text{m}$. Aufgrund der Strukturierung der Opferschicht **3** ist die Oberfläche der Oxidschicht **6** nicht plan. Deshalb kann die Oxidschicht **6** in der hier beschriebenen Verfahrensvariante nun poliert und bis auf eine Dicke von ca. $0,5\mu\text{m}$ abgedünnt werden, was durch die gestrichelte Schichtgrenze **10** angedeutet wird. Alternativ kann die Oxidschicht **6** auch komplett abgetragen werden. In diesem Fall kann nach dem Polieren eine neue Oxidschicht **6** definierter Dicke erzeugt bzw. abgeschieden werden.

[0031] Über der Oxidschicht **6** wird dann eine Nitridschicht **11** abgeschieden, die oberflächlich reoxidiert werden kann. Die dabei entstehende Reoxschicht **12** dient z.B. als Haftunterlage für eine nachfolgende Metallisierung. [Fig. 1d](#) zeigt einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur nach einer Strukturierung der Metallisierung, bei der die Leiterbahnen **13**, insbesondere Heizer und Temperaturfühler, erzeugt worden sind. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Leiterbahnen auch in einer anderen elektrisch leitfähigen Schicht realisiert werden können, wie beispielsweise in einer Polysiliziumschicht.

[0032] Darüber wird eine dünne Passivierschicht **14**, beispielsweise aus CVD(chemical vapor deposition)-Oxid erzeugt. In diesem Zustand kann nun eine Temperung zum Einstellen des thermischen Widerstandskoeffizienten und zur Driftstabilisierung der Leiterbahnen **13** bzw. Widerstände erfolgen. [Fig. 1e](#) zeigt einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur, nachdem Ätzlöcher **15** zum Freilegen der Membran in dem von dem Oxidrahmen **9** umschlossenen Bereich erzeugt worden sind. Diese Ätzlöcher **15** werden durch trockenchemisches oder nasschemisches Ätzen erzeugt und durchdringen die Passivierschicht **14**, die Reoxschicht **12**, die Nitridschicht **11** und die Oxidschicht **6**, die jeweils einen Schichtbestandteil der Membranschicht des Bauelements im hier erläuterten Ausführungsbeispiel bilden.

[0033] Nachfolgend wird das Material der Opferschicht **3** innerhalb des Oxidrahmens **9** in einem iso-

tropen Gasphasenätzprozess entfernt, was in [Fig. 1f](#) dargestellt ist. Bei diesem Verfahrensschritt wird z.B. eine plasmalose fluorhaltige Gasatzmischung mit Interhalogeniden, wie ClF_3 , BrF_3 oder ClF_5 , und/oder mit Edalgashalogeniden, wie XeF_2 , verwendet, da diese eine hohe Selektivität gegenüber Siliziumoxid besitzen. Dabei entsteht eine Kaverne **16**, die lateral durch den Oxidrahmen **9** und in der Tiefe durch die Ätzstoppschicht **2** begrenzt wird. Die nun freigelegte Membran **17** wird durch die mit der Ätzstoppschicht **2** und dem Substrat **1** verbundene Oxidsäule **8** abgestützt.

[0034] Um die Oberfläche des Bauelements zu planarisieren und um die Ätzlöcher **15** in der Membran **17** zu schließen, wird hier ein PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition)-Oxid **18** abgeschieden. Alternativ kann aber auch ein BPSG-Fließglas abgeschieden werden. Anschließend kann eine weitere Temperung erfolgen und es können auch weitere Passivierschichten und/oder Metallisierungsschichten aufgebracht werden. [Fig. 1g](#) zeigt einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur, nachdem ein Kontaktloch **19** geöffnet worden ist und eine Bondlandmetallisierung **20** aufgebracht und strukturiert worden ist.

[0035] Das in [Fig. 2](#) dargestellte Bauelement wurde in einer modifizierten Variante des in Verbindung mit den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) beschriebenen Verfahrens hergestellt. Die Oxidschicht **6** wurde hier nach dem Abdünnen und vor dem Abscheiden der Nitridschicht **11** strukturiert, wobei die Oxidschicht **6** im Bereich der zu erzeugenden Ätzlöcher **15** geöffnet worden ist. Diese Verfahrensführung ist im Hinblick auf die Ausbildung der Ätzlöcher **15** vorteilhaft, da hier lediglich zwei Schichten aus zwei unterschiedlichen Materialien, nämlich das PECVD-Oxid **18** und die Nitridschicht **11**, durchgeätzt werden müssen, um die Ätzlöcher **15** zu erzeugen. Im Unterschied dazu müssen im Rahmen des in Verbindung mit den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) beschriebenen Verfahrens dazu drei Schichten aus zwei unterschiedlichen Materialien, nämlich das PECVD-Oxid **18**, die Nitridschicht **11** und die Oxidschicht **6**, durchgeätzt werden. Dabei entstehen zwangsläufig relativ große Ätzlöcher **15**, da beim Ätzen der Oxidschicht **6** auch das PECVD-Oxid **18** nochmals mitgeätzt wird.

[0036] Auch das in [Fig. 3](#) dargestellte Bauelement wurde in einer modifizierten Variante des in Verbindung mit den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) beschriebenen Verfahrens hergestellt. In diesem Fall wurde die Oxidschicht **6** bis auf die Opferschicht **3** rückpoliert. Im Anschluss daran wurde direkt über der Opferschicht **3** eine Nitridschicht **11** abgeschieden, so dass lediglich die Ausnehmung **4** und der Trenchgraben **5** mit Oxid verfüllt sind.

[0037] Wie die in den [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1g](#) dargestell-

te Verfahrensvariante zur Herstellung eines mikro-mechanischen Bauelements mit einer Membran geht auch die in den [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) dargestellte Verfahrensvariante entweder von einem Siliziumwafer **1** aus, auf dem zunächst eine Siliziumoxidschicht **2** und dann eine monokristalline oder polykristalline Silizium- oder Germaniumschicht **3** abgeschieden worden ist, oder von einem SOI(Silicon-on-Insulator)-Wafer, dessen Aufbau in der Regel eine monokristalline oder polykristalline Siliziumschicht **3** umfasst, die über eine Siliziumoxidschicht **2** mit einem Siliziumsubstrat **1** verbunden ist. Die Siliziumoxidschicht **2** wird im Folgenden ebenfalls als Ätzstoppschicht **2** bezeichnet und die Silizium- oder Germaniumschicht **3** ebenfalls als Opferschicht **3**. Die Opferschicht **3** wird hier in einem RIE-Ätzprozess strukturiert, wobei Ausnehmungen bzw. Gräben **4** erzeugt werden, die sich durch die gesamte Opferschicht **3** bis zur Ätzstoppschicht **2** erstrecken, was in [Fig. 4a](#) dargestellt ist.

[0038] [Fig. 4b](#) zeigt einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur nach der thermischen Oxidation, bei der die Gräben **4** vollständig aufgefüllt worden sind, da die Breite der Gräben **4** entsprechend gewählt worden ist. Aufgrund der Strukturierung der Opferschicht **3** weist die Oberfläche der Oxidschicht **6** Vertiefungen auf, die in einem nachfolgenden Planarisierungsschritt eingeebnet werden können.

[0039] Bei der hier beschriebenen Verfahrensvariante werden nun auf der Oxidschicht **6** Heizelemente und Temperaturfühler in Form von Leiterbahnen **13** erzeugt. Um eine optimale Wärmeisolation zu erreichen, sollten diese nicht über den Oxidsäulen bzw. Oxidstegen **8** angeordnet sein. Danach wird die Oxidschicht **6** mit Hilfe einer strukturierten Fotolackschicht **21** in einem Oxid-Ätzprozess strukturiert, um Ätzlöcher **15** zum Freilegen der Membran zu erzeugen. [Fig. 4c](#) zeigt einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur nach dem Strukturieren der Oxidschicht **6**.

[0040] [Fig. 4d](#) zeigt den Schichtaufbau der Bauelementstruktur, nachdem das Material der Opferschicht **3** im Bereich der Membran unterhalb der Leiterbahnen **13** mit Hilfe einer plasmalosen fluorhaltigen Gas-Ätzmischung mit Interhalogeniden, wie ClF_3 , BrF_3 oder ClF_5 , und/oder mit Edelgashalogeniden, wie XeF_2 , entfernt worden ist. Dabei ist eine Kaverne **16** entstanden, die in der Tiefe durch die Ätzstoppschicht **2** begrenzt wird. Die nun freigelegte Membran **17** wird durch die mit der Ätzstoppschicht **2** und dem Substrat **1** verbundenen Oxidstege **8** abgestützt. Aufgrund der vergleichsweise geringen Wärmeleitfähigkeit von Luft wird eine gute thermische Isolation der Heizelemente und Temperaturfühler gegenüber dem Substrat **1** erreicht. Nachfolgend kann eine Passivierschicht, wie z.B. PECVD-Oxid oder -Nitrid abgeschieden und strukturiert werden.

[0041] Die in den [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5d](#) dargestellte Verfahrensvariante stellt eine Modifikation der voranstehend in Verbindung mit den [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) beschriebenen Verfahrensvariante dar. Im Unterschied dazu wird bei der in den [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5d](#) dargestellten Verfahrensvariante die Breite der Gräben **4** in der Opferschicht **3** so gewählt, dass die im Rahmen einer thermischen Oxidation erzeugte Oxidschicht **6** nicht ausreicht, um die Gräben **4** oberflächlich zu schließen. Dazu wird hier eine weitere Oxidschicht **22**, beispielsweise aus nichtkonformem PECVD-Oxid, erzeugt, was in [Fig. 5a](#) dargestellt ist. Dabei können auch Stabilisierungselemente mit Hohlräumen entstehen. Falls erforderlich kann die Oberfläche dieser Oxidschicht **22** eingeebnet werden.

[0042] Bei der hier beschriebenen Verfahrensvariante wird dann zunächst die Membran freigelegt, bevor die Leiterbahnen auf der Membran erzeugt werden. Dazu werden die Oxidschichten **22** und **6** mit Hilfe einer strukturierten Fotolackschicht **21** in einem Oxid-Ätzprozess strukturiert, um zunächst Ätzlöcher **15** zu erzeugen, was in [Fig. 5b](#) dargestellt ist.

[0043] [Fig. 5c](#) zeigt den Schichtaufbau der Bauelementstruktur, nachdem das Material der Opferschicht **3** in einem isotropen Ätzprozess über die Ätzlöcher **15** entfernt worden ist, wobei eine Kaverne **16** entstanden ist. Anschließend wurden die Ätzlöcher **15** mittels einer weiteren Oxidschicht **23**, beispielsweise aus nichtkonformem PECVD-Oxid, verschlossen. Die so abgeschlossene Kaverne **16** bildet in diesem Fall eine Luft- bzw. Vakuumkammer, durch die sich eine besonders gute thermische Isolation der Membran erzielen lässt.

[0044] [Fig. 5d](#) zeigt den Schichtaufbau der Bauelementstruktur, nachdem die Membranoberfläche planarisiert worden ist und Heizelemente und Temperaturfühler in Form von Leiterbahnen **13** auf der Membran erzeugt worden sind. Auch hier kann nachfolgend eine Passivierschicht, wie z.B. PECVD-Oxid oder -Nitrid abgeschieden und strukturiert werden.

[0045] Die in den [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) dargestellte Verfahrensvariante zur Herstellung eines mikro-mechanischen Bauelements mit einer Membran geht von einem Substrat **1** aus, in dem ein Siliziumdioxidblock **30** mit einer Mehrzahl von vertikalen spaltenförmigen Hohlräumen **31** ausgebildet ist, die durch eine planarisierte Oxid-Verschlusschicht **32** abgeschlossen sind. Diese Struktur dient zur Verminderung der vertikalen Wärmeableitung. Die Oxid-Verschlusschicht **32** dient in der hier beschriebenen Verfahrensvariante außerdem als Ätzstoppschicht für das Opferschichtätzen. Als Opferschicht **3** wird hier eine Polysiliziumschicht auf die Oxid-Verschlusschicht **32** aufgebracht und strukturiert. Dabei wird die Opferschicht **3** lediglich im Bereich der zu erzeugenden

Heizelemente und Temperaturfühler stehen gelassen. Anschließend werden diese Siliziumbereiche mit einer Oxidschicht **6** ummantelt, was in [Fig. 6a](#) dargestellt ist.

[0046] Die Oxidschicht **6** wird dann mit Hilfe einer strukturierten Fotolackschicht **21** in einem Oxid-Ätzprozess strukturiert, um Ätzlöcher **15** als Ätzzugang zu den Opferschichtbereichen zu erzeugen, was in [Fig. 6b](#) dargestellt ist.

[0047] [Fig. 6c](#) zeigt den Schichtaufbau der Bauelementstruktur nachdem das Material der Opferschicht **3** in den ummantelten Bereichen entfernt worden ist und dadurch Membranen **17** in der Oxidschicht **6** freigelegt worden sind. Dazu wurde auch in diesem Fall eine plasmalose fluorhaltige Gasatzmischung mit Interhalogeniden, wie ClF_3 , BrF_3 oder ClF_5 , und/oder mit Edalgashalogeniden, wie XeF_2 , verwendet. Die Ätzlöcher **15** wurden dann mit einer weiteren Oxidschicht **23**, beispielsweise aus nichtkonformem PECVD-Oxid, verschlossen.

[0048] [Fig. 6d](#) zeigt einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur, nachdem Heizelemente und Temperaturfühler in Form von Leiterbahnen **13** auf der Oxidschicht **23** über den Membranen **17** und damit über Luft- bzw. Vakuumkammern **16** erzeugt worden sind. Diese Luft- bzw. Vakuumkammern **16** tragen zusätzlich zu dem strukturierten Siliziumdioxidblock **30** zur thermischen Isolation der Heizelemente und Temperaturfühler auf den Membranen **17** bei. Auch in diesem Falle kann nachfolgend eine Passivierschicht, wie z.B. PECVD-Oxid oder – Nitrid abgeschieden und strukturiert werden.

[0049] An dieser Stelle sei angemerkt, dass auch bei dem voranstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel Stabilisierungselemente für die Membran **17** vorgesehen werden können, die in die Luft- bzw. Vakuumkammer hineinragen und ggf. an die Oxid-Verschlusschicht **32** angebunden sein können.

[0050] Die in den [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7e](#) dargestellte Verfahrensvariante zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements mit einer Membran geht von einem einfachen Siliziumwafer **1** aus, dessen oberer Schichtbereich als Opferschicht dient. Dementsprechend wird die Oberfläche des Siliziumwafers **1** strukturiert, wobei Ausnehmungen **4** für Stabilisierungselemente erzeugt werden. Die Strukturierung erfolgt hier in einem Trenchprozess, wobei die Tiefe der Ausnehmungen im Wesentlichen durch die Anzahl der Ätzyklen und die Dauer des Ätzangriffs bestimmt wird. Im Anschluss daran erfolgt eine thermische Oxidation bei der eine Oxidschicht **6** erzeugt wird, auf der dann eine Nitridschicht **11** abgeschieden wird. Dabei werden die Ausnehmungen **4** aufgefüllt und geschlossen, was in [Fig. 7a](#) dargestellt ist. Nachfolgend können weitere dielektrische Schichten ab-

geschieden bzw. erzeugt werden, wie z.B. ein Reoxid.

[0051] Zum Erzeugen von Thermofühlern in Form von Leiterbahnen **13** wird eine Metallisierung auf der Nitridschicht **11** abgeschieden und strukturiert. Darüber wird eine dünne Passivierschicht **14** als Zwischenisolator erzeugt, die mit Kontaktlöchern **19** versehen wird. [Fig. 7b](#) zeigt einen Schnitt durch den Schichtaufbau der Bauelementstruktur nach der Erzeugung von Bondlands **20**.

[0052] [Fig. 7c](#) zeigt den Schichtaufbau der Bauelementstruktur, nachdem Ätzlöcher **15** im Schichtaufbau der Membran erzeugt worden sind. Die Ätzlöcher **15** durchdringen die Passivierschicht **14**, die Nitridschicht **11** und die Oxidschicht **6**.

[0053] Im hier erläuterten Ausführungsbeispiel wird dann eine dielektrische Schicht **24** abgeschieden, die für das Ätzmedium, das zum Freilegen der Membran verwendet wird, permeabel ist. Nachfolgend wird die Membran in einem isotropen Gasphasenätzprozess freigelegt, was in [Fig. 7d](#) dargestellt ist. Die Größe und Tiefe der dabei entstehenden Kaverne **16** wird im Wesentlichen durch die Dauer des Ätzangriffs bestimmt. Die nun freigelegte Membran **17** wird durch die in die Kaverne **16** hineinragenden Stabilisierungselemente **8** aus Siliziumoxid mit einem Nitridkern stabilisiert.

[0054] [Fig. 7e](#) zeigt den Schichtaufbau des Bauelements nach dem Abscheiden und Strukturieren einer Verschlusschicht **25**, mit deren Hilfe ein Vakuum in der Kaverne **16** eingeschlossen werden kann.

Bezugszeichenliste

1	Substrat
2	Ätzstoppschicht
3	Opferschicht
4	Ausnehmung – Stabilisierungselement/Graben
5	Trenchgraben
6	Oxidschicht – über der Opferschicht
7	Oxidschicht – Waferrückseite
8	Oxidsäule/Oxidsteg
9	Oxidrahmen
10	Schichtgrenze nach Abdünnen
11	Nitridschicht
12	Reoxschicht
13	Leiterbahnen
14	Passivierschicht
15	Ätzloch
16	Kaverne
17	Membran
18	PECVD-Oxid
19	Kontaktloch
20	Bondlandmetallisierung
21	Fotolackschicht

- 22 Oxidschicht – Grabenverschluss
- 23 Oxidschicht – Ätzlochverschluss
- 24 Dielektrische Schicht – permeabel
- 25 Verschlusschicht
- 30 Siliziumdioxidblock
- 31 Hohlraum – Siliziumdioxidblock
- 32 Oxid-Verschlusschicht – Siliziumdioxidblock

Patentansprüche

1. Mikromechanisches Bauelement mit mindestens einer Membran (17),

– wobei die Bauelementstruktur in einem Schichtaufbau auf einem Substrat (1) realisiert ist,

– wobei der Schichtaufbau mindestens eine Opferschicht (3) und eine Membranschicht über der Opferschicht (3) umfasst und

– wobei die Membran (17) in der Membranschicht ausgebildet ist, indem unter der Membran (17) eine Kaverne (16) in der Opferschicht (3) ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Membran (17) durch mindestens ein in die Kaverne (16) hineinragendes Stabilisierungselement (8) stabilisiert wird.

2. Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Opferschicht (3) aus amorphem, poly-kristallinem oder einkristallinem $Si_{1-x}Ge_x$ besteht, wobei $0 \leq x \leq 1$ ist.

3. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die seitliche Ausdehnung der Kaverne (16) durch mit einem Ätzstoppmaterial verfüllte Gräben (5) in der Opferschicht (3) begrenzt ist.

4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtaufbau eine Ätzstoppschicht (2) umfasst, die unter der Opferschicht (3) angeordnet ist, und dass sich die Kaverne (16) über die gesamte Tiefe der Opferschicht (3) erstreckt und durch die Ätzstoppschicht (2) begrenzt wird.

5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Stabilisierungselement (8) in Form einer Säule, eines Steges oder eines Rahmens oder in Form von Waben oder Netzen ausgebildet ist.

6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Stabilisierungselement (8) an den Boden der Kaverne angebunden ist.

7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Stabilisierungselement (8) nicht an den Boden der Kaverne angebunden ist.

8. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis

7, dadurch gekennzeichnet, dass das Stabilisierungselement (8) massiv ausgebildet ist, insbesondere aus Siliziumoxid und/oder Siliziumnitrid.

9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Stabilisierungselement einen Hohlraum umfasst.

10. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (17) geschlossen ist und dass in der Kaverne (16) ein definierter Druck, insbesondere zwischen Vakuum und Atmosphärendruck, herrscht.

11. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (17) nicht geschlossen ist, so dass in der Kaverne (16) Umgebungsdruck herrscht.

12. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtaufbau, insbesondere im Bereich der Membran (17), mindestens eine weitere Struktur zur Verminderung der vertikalen Wärmeableitung umfasst.

13. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Membran (17) Leiterbahnen (13) ausgebildet sind.

14. Verwendung eines Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 13

– in Fluidmassenflusssensoren,

– in thermischen Beschleunigungssensoren,

– in thermischen Drehratensensoren,

– in thermischen Neigungswinkelsensoren,

– in adiabatischen Gas-Wärmeableitungssensoren, insbesondere für H₂-Sensoren und Seitenaufprallsensoren,

– in thermischen chemischen Sensoren,

– in thermischen Heizplattenanwendungen,

– in hochdynamischen Temperatursensoren,

– in Luftfeuchtesensoren,

– in Infrarotdetektoren, insbesondere in Gassensoren oder Infrarotkameras,

– in Thermopiles,

– für HF-Anwendungen.

15. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements mit mindestens einer Membran (17), insbesondere eines Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 13,

– wobei die Bauelementstruktur in einem Schichtaufbau realisiert wird, der mindestens eine Opferschicht (3) und eine Membranschicht über der Opferschicht (3) umfasst,

– wobei die Membran (17) freigelegt wird, indem mindestens ein Ätzloch (15) in mindestens einer Materialschicht (6) über der Opferschicht (3) erzeugt wird, wobei diese mindestens eine Materialschicht (6) zumindest einen Schichtbestandteil der Membran-

schicht bildet, und

- wobei das Material der Opferschicht (3) im Bereich unter dem Ätzloch (15) in einem isotropen Ätzschritt entfernt wird, wobei eine Kaverne (16) entsteht, dadurch gekennzeichnet,
- dass die Opferschicht (3) strukturiert wird, wobei mindestens eine Ausnehmung (4) für ein Stabilisierungselement (8) der Membran (17) erzeugt wird,
- dass die in der Opferschicht (3) erzeugte Struktur zumindest oberflächlich geschlossen wird, indem mindestens eine Materialschicht (6) über der strukturierten Opferschicht (3) erzeugt wird, wobei diese Materialschicht (6) in dem isotropen Ätzschritt zum Entfernen des Materials der Opferschicht (3) nicht angegriffen wird,
- dass die Materialschicht (6) strukturiert wird, wobei mindestens ein Ätzloch (15) für das Ätzen der Opferschicht (3) erzeugt wird, und
- dass die Opferschicht (3) im Bereich unter dem Ätzloch (15) entfernt wird, wobei die Membran (17) und das mindestens eine Stabilisierungselement (8) freigelegt werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Opferschicht (3) aus amorphem, poly-kristallinem oder einkristallinem $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ besteht, wobei $0 \leq x \leq 1$ ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Strukturierung der Opferschicht (3) die Geometrie der zu erzeugenden Membran (17) durch Ausnehmungen (5) im Randbereich der zu erzeugenden Membran definiert wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Opferschicht (3) in einem Trenchätzprozess strukturiert wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Strukturierung der Opferschicht V-Gräben erzeugt werden.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Opferschicht (3) erzeugte Struktur durch mindestens eine konforme Schicht (6) verschlossen wird, so dass die Struktur in der Opferschicht (3) mit dem Material der konformen Schicht (6) ausgefüllt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Opferschicht (3) erzeugte Struktur durch Abscheiden mindestens einer Siliziumoxidschicht (6) und/oder einer Siliziumnitridschicht (11) geschlossen wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die in der Opferschicht erzeugte Struktur durch mindestens eine nichtkonforme Schicht verschlossen wird, so dass

Hohlräume in der Opferschicht entstehen.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Erzeugen des mindestens einen Ätzlochs (15) mindestens eine weitere Schicht (24) erzeugt wird, die für das Ätzmedium zum Freilegen der Membran (17) permeabel ist, so dass das Entfernen des Materials der Opferschicht (3) durch diese permeable Schicht (24) erfolgt.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass als Ätzmedium zum Entfernen des Materials der Opferschicht (3) eine plasmalose fluorhaltige Gasatzmischung mit Interhalogeniden, wie ClF_3 , BrF_3 oder ClF_5 , und/oder mit Edelgashalogeniden, wie XeF_2 , verwendet wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtaufbau eine Ätzstoppschicht (2) umfasst, die unter der Opferschicht (3) angeordnet ist und eine Ätzstoppgrenze für das isotrope Ätzen der Opferschicht (3) bildet.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Ätzloch (15) nach dem Freilegen der Membran (17) insbesondere durch abgeschiedene Schichten (23), wie SiO_2 - und SiN -Schichten, verschlossen wird.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Ätzloch (15) bei einem definierten Druck, insbesondere zwischen Vakuum und Atmosphärendruck, verschlossen wird.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche des Schichtaufbaus in einem Planarisierungsschritt eingeebnet wird.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass über der Membranschicht (17) mindestens eine elektrisch leitende Schicht abgeschieden und strukturiert wird, wobei Leiterbahnen (13) erzeugt werden, und dass die Leiterbahnen (13) passiviert werden.

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Abscheiden der Leiterbahnpassivierung (14) eine Temperung erfolgt.

31. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Passivieren der Leiterbahnen (13) Kontaktlöcher (19) für die Kontaktierung der Leiterbahnen (13) erzeugt werden und dass eine weitere elektrisch leitende Schicht abgeschieden und strukturiert wird, wobei Bondlands (20) realisiert werden.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiterbahnen (13) vor dem Freilegen der Membran (17) und des mindestens einen Stabilisierungselements (8) erzeugt werden.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiterbahnen (13) nach dem Freilegen der Membran (17) und des mindestens einen Stabilisierungselements (8) erzeugt werden.

Es folgen 14 Blatt Zeichnungen

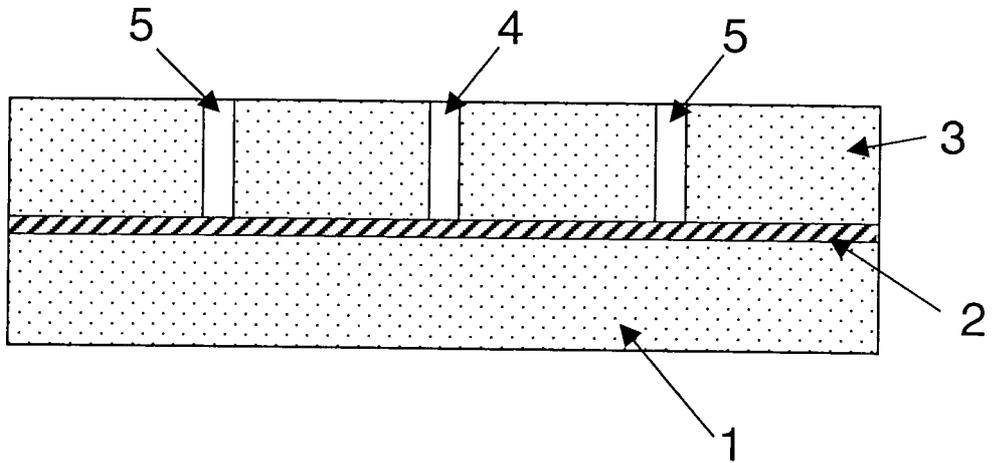


Fig. 1a

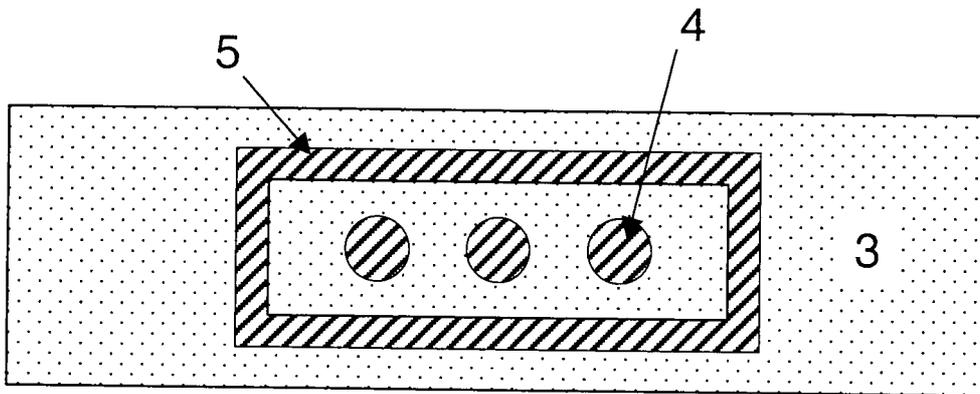


Fig. 1b

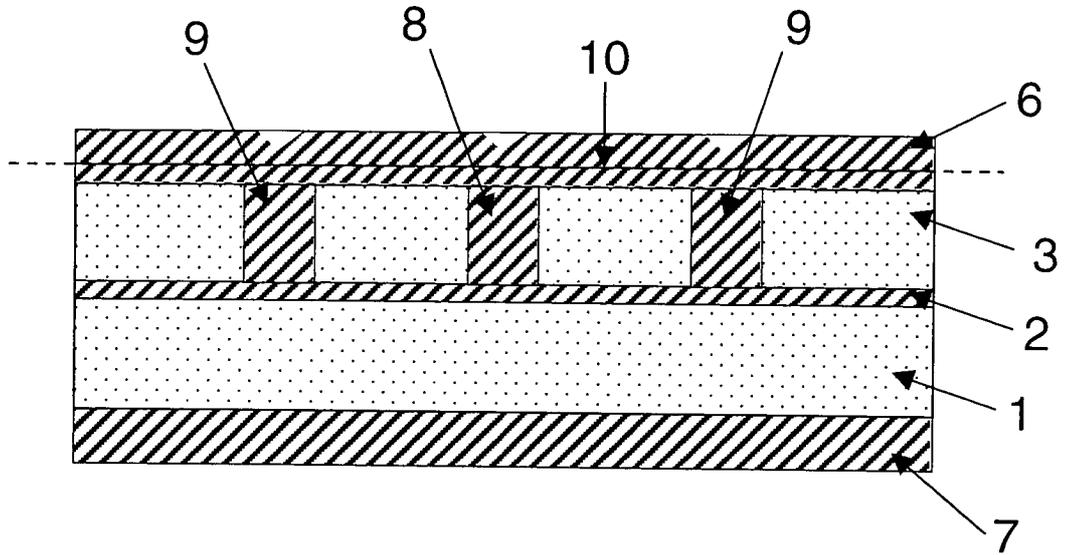


Fig. 1c

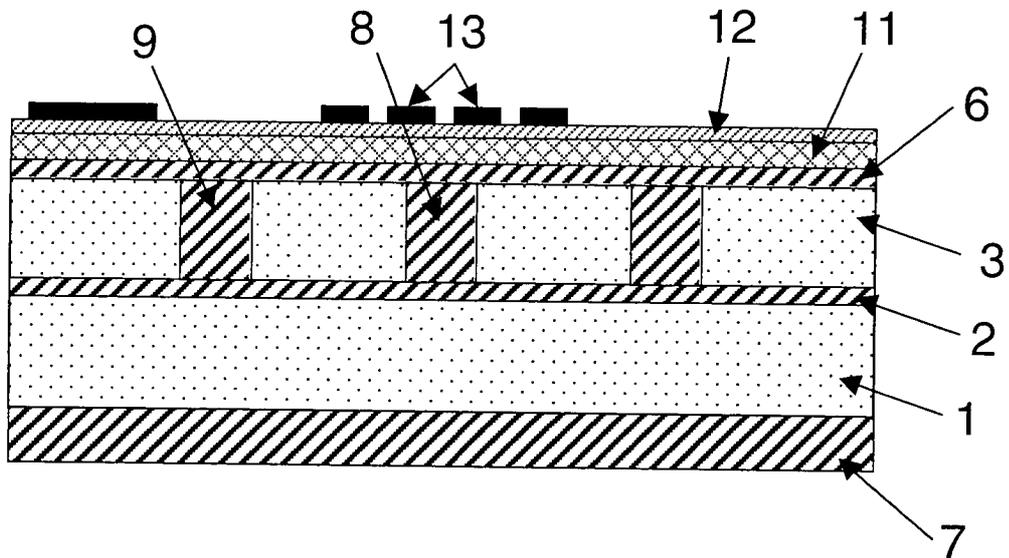


Fig. 1d

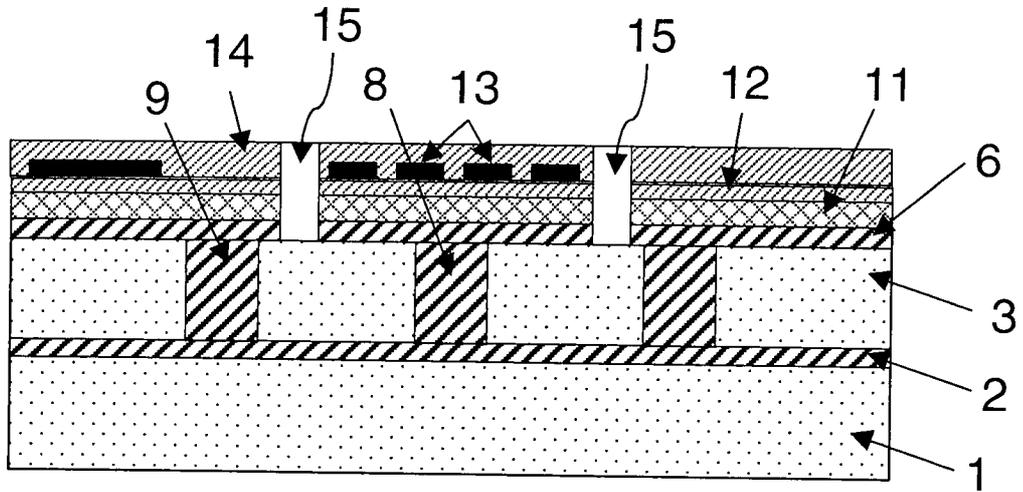


Fig. 1e

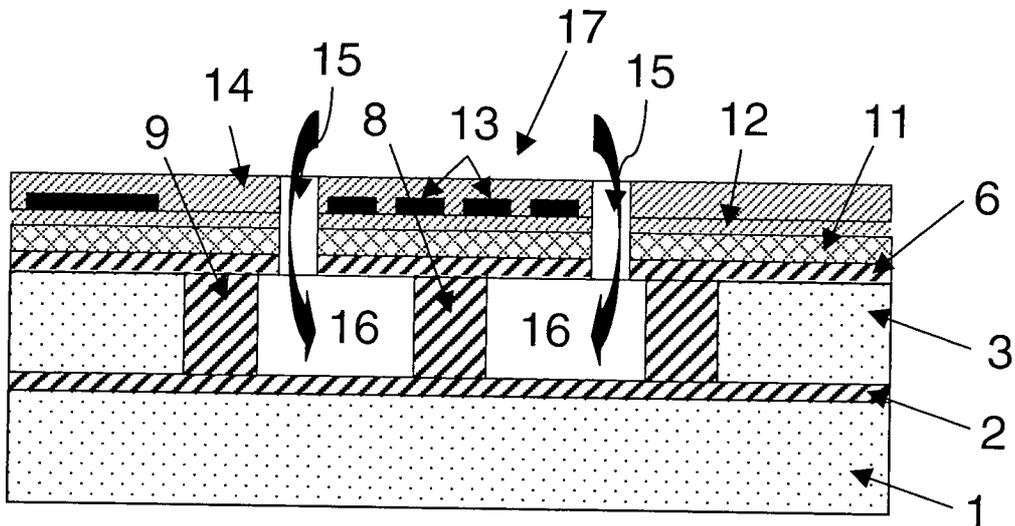


Fig. 1f

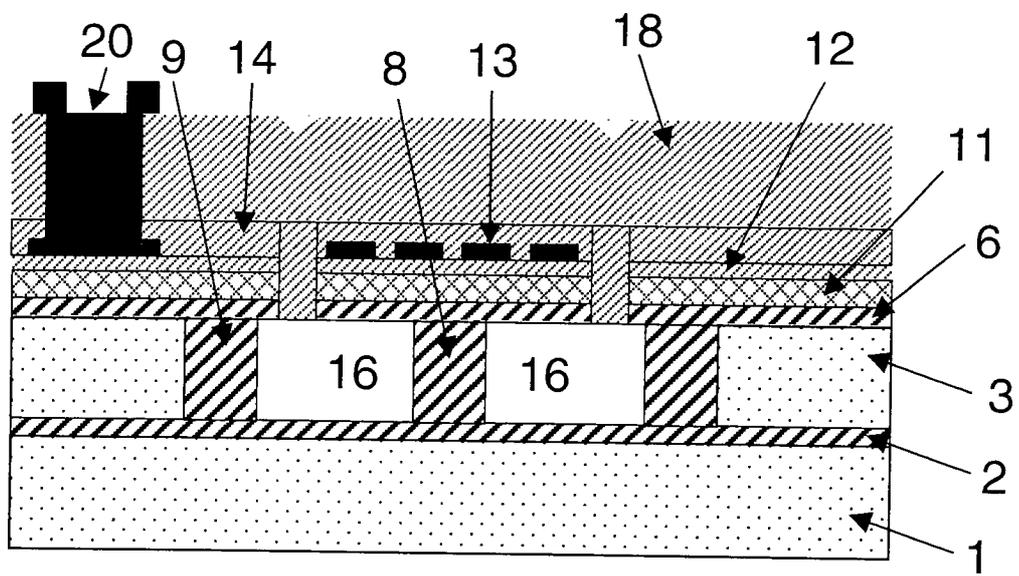


Fig. 1g

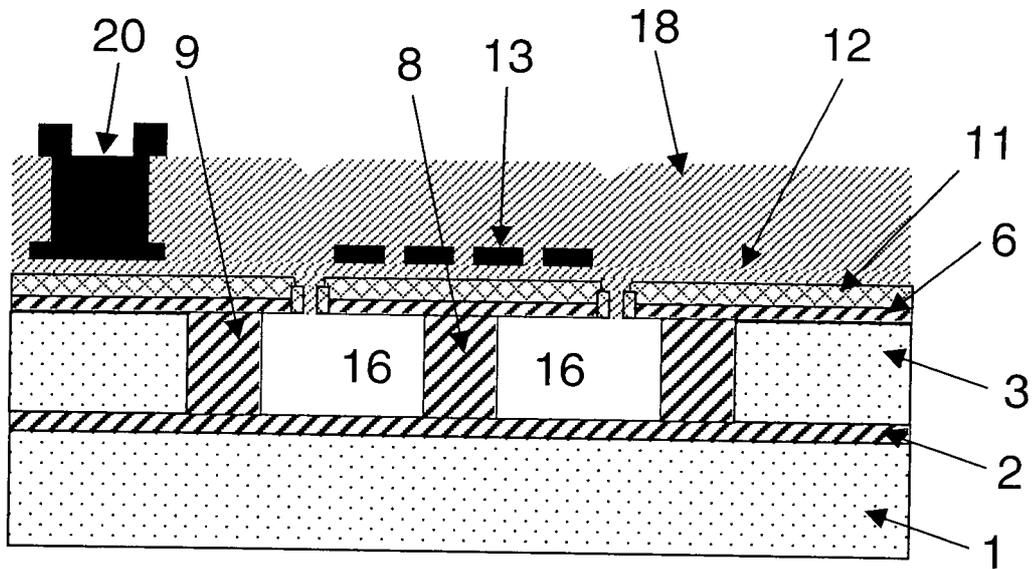


Fig. 2

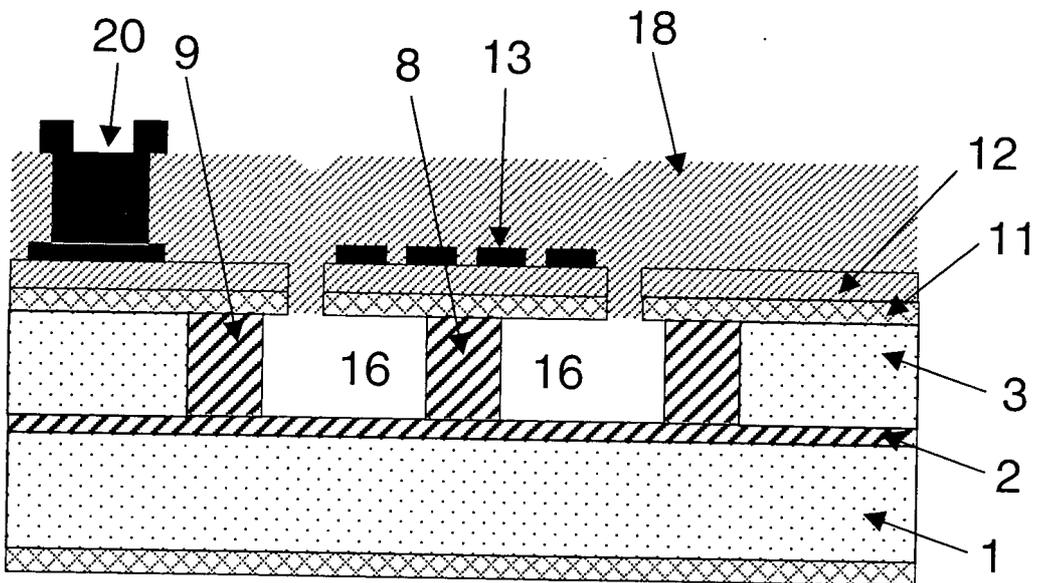


Fig. 3

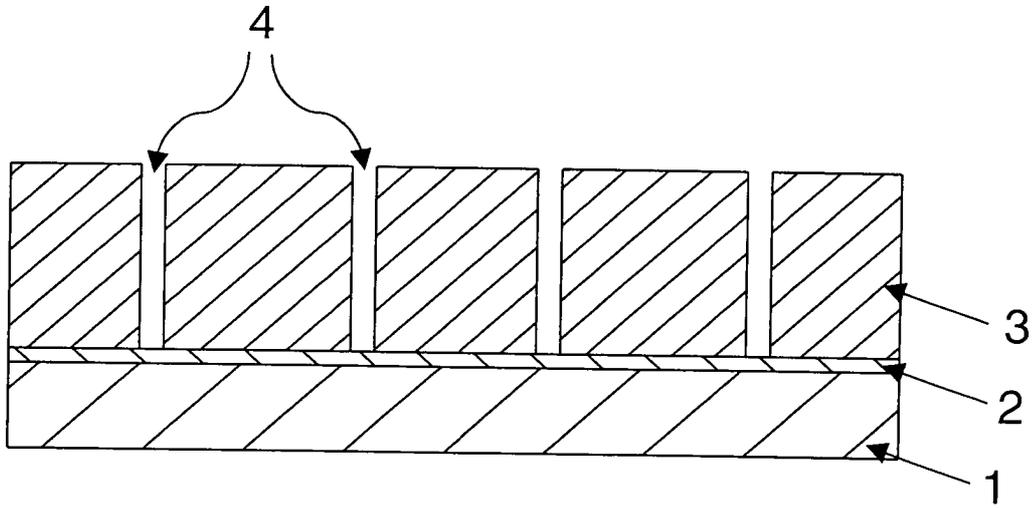


Fig. 4a

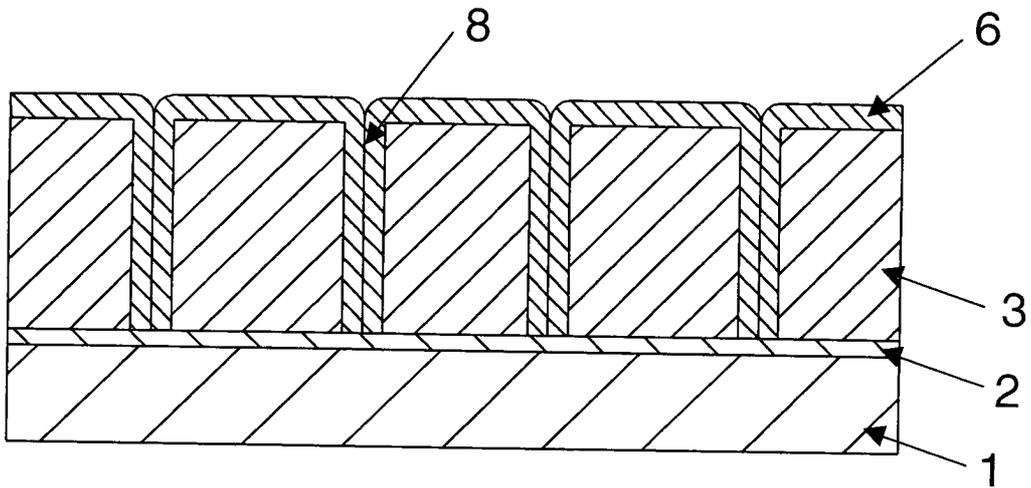


Fig. 4b

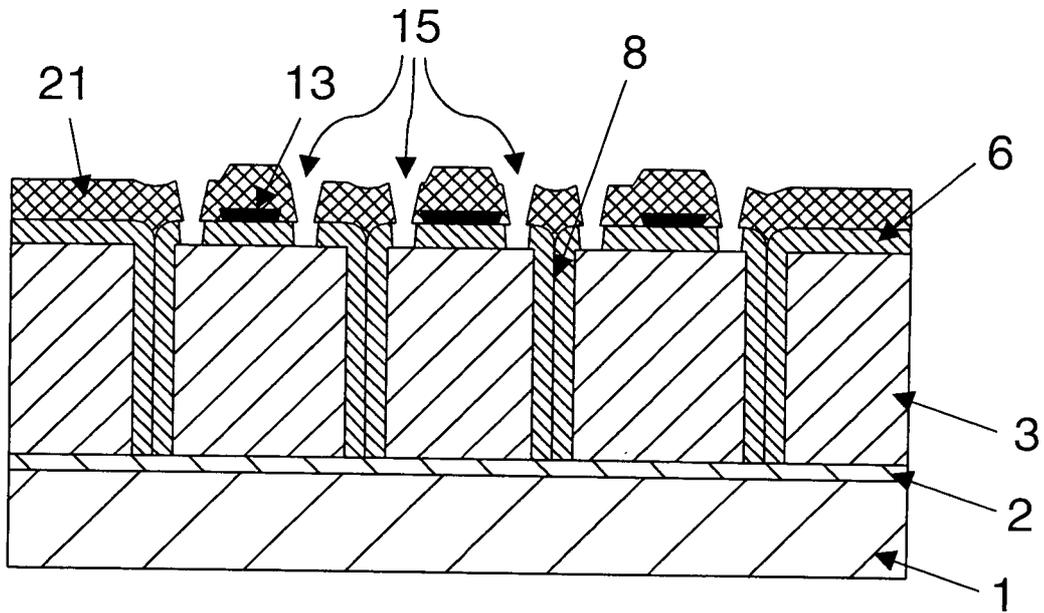


Fig. 4c

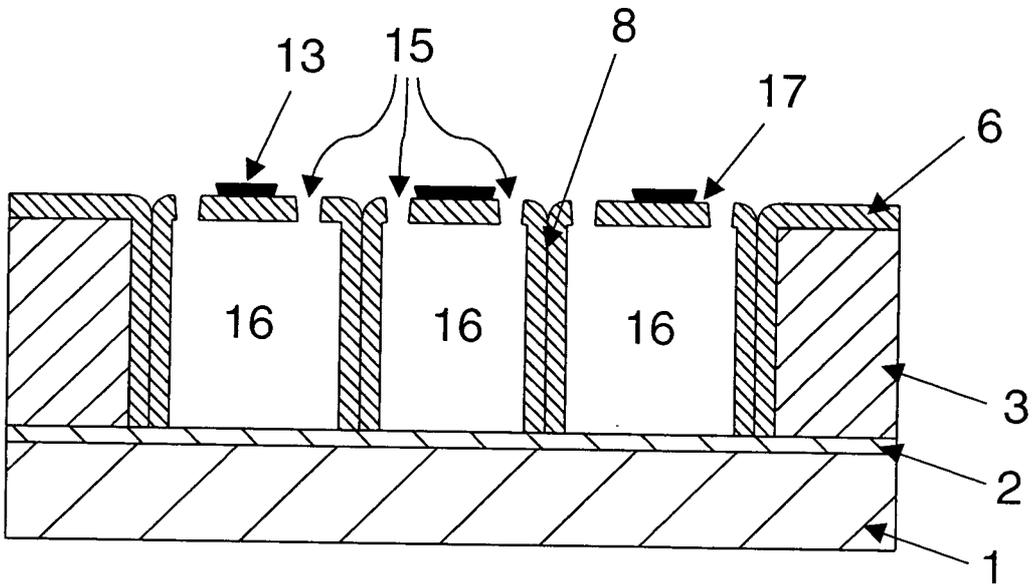


Fig. 4d

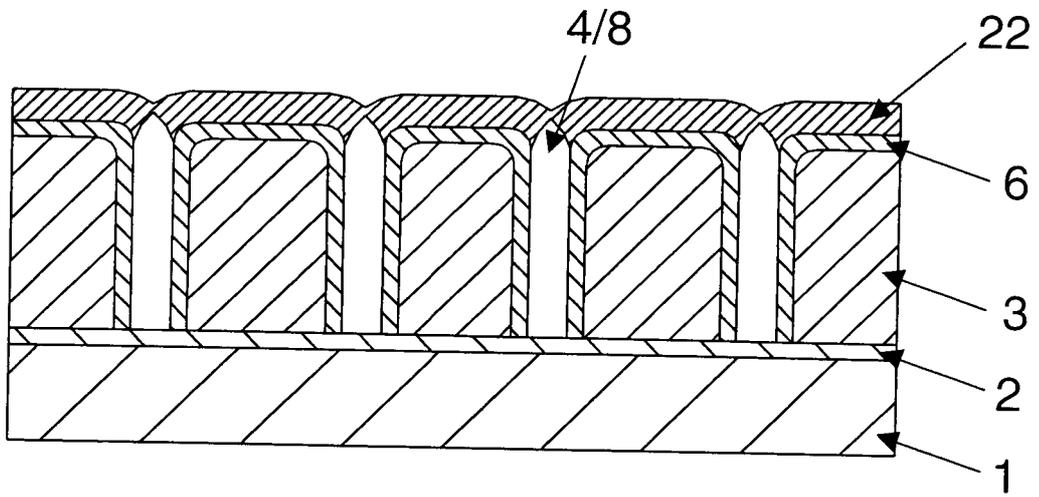


Fig. 5a

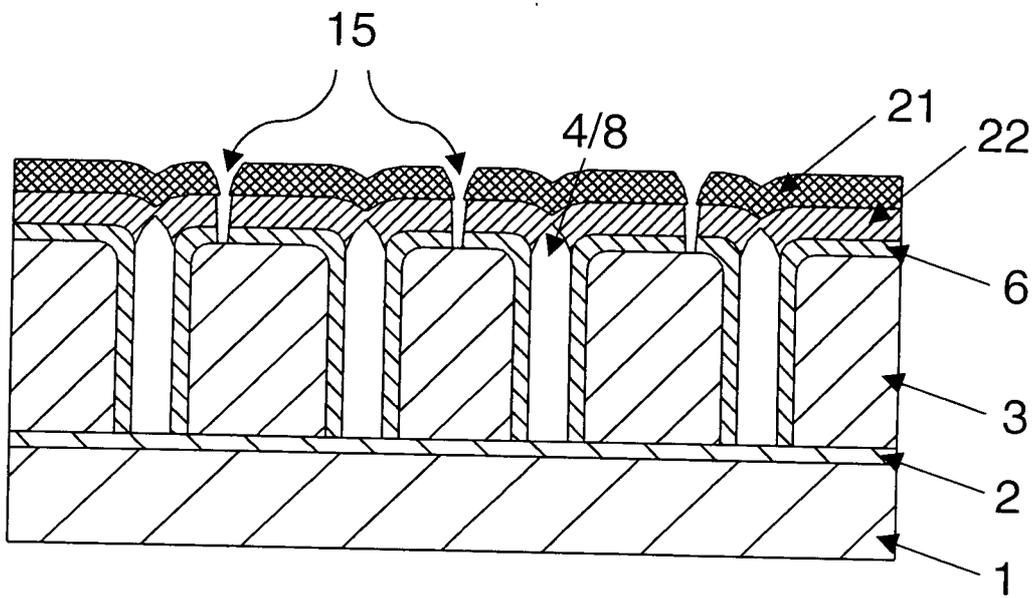


Fig. 5b

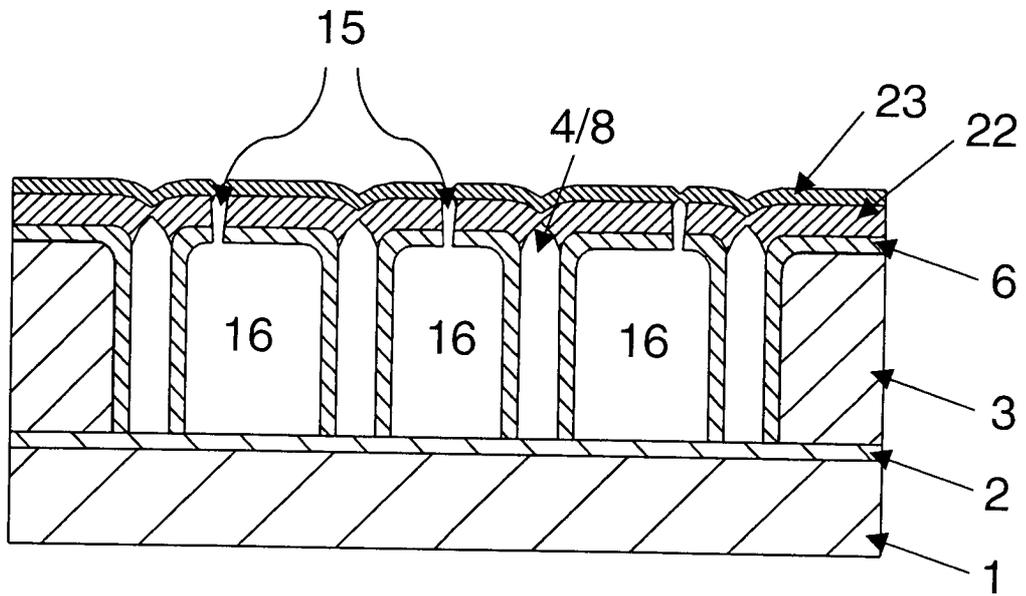


Fig. 5c

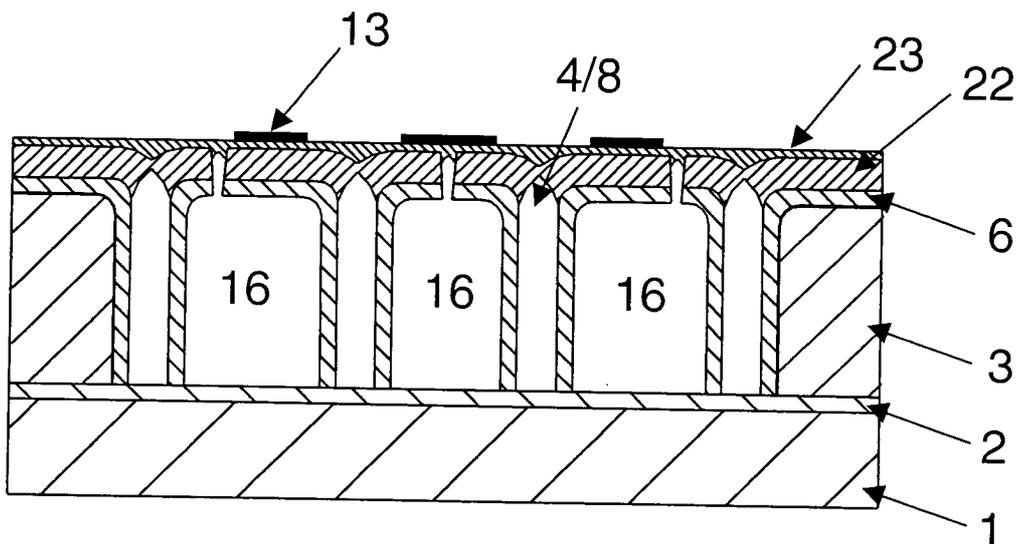


Fig. 5d

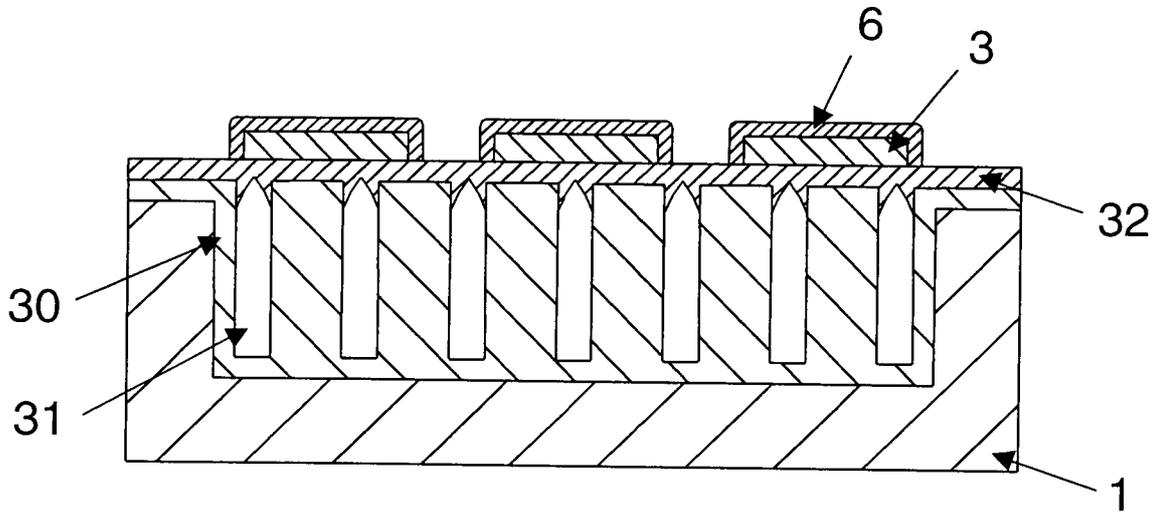


Fig. 6a

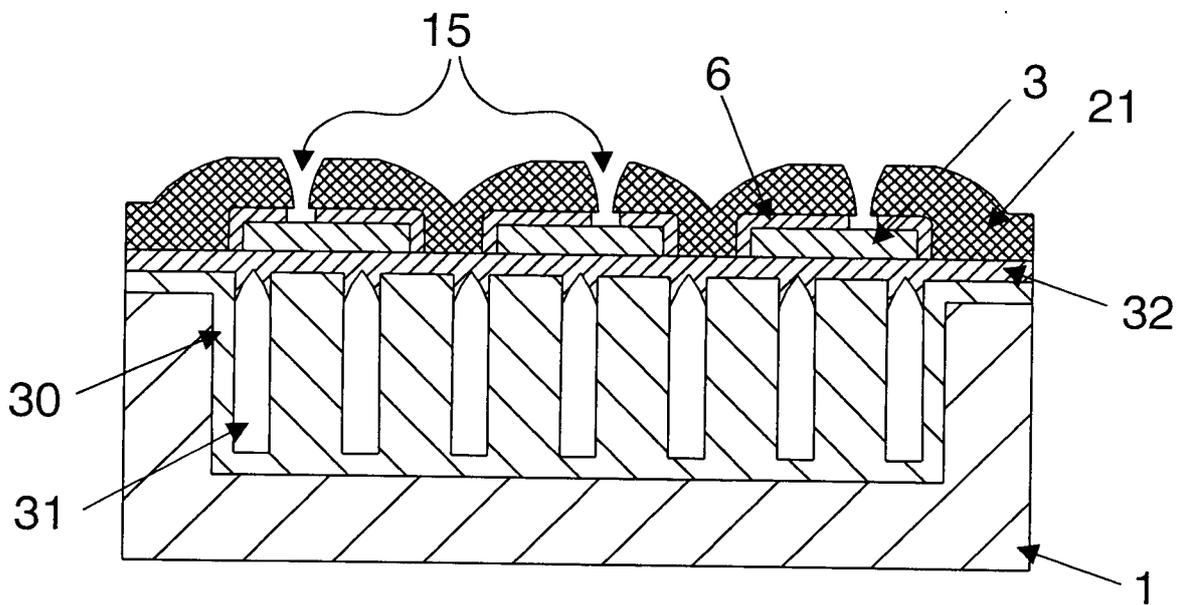


Fig. 6b

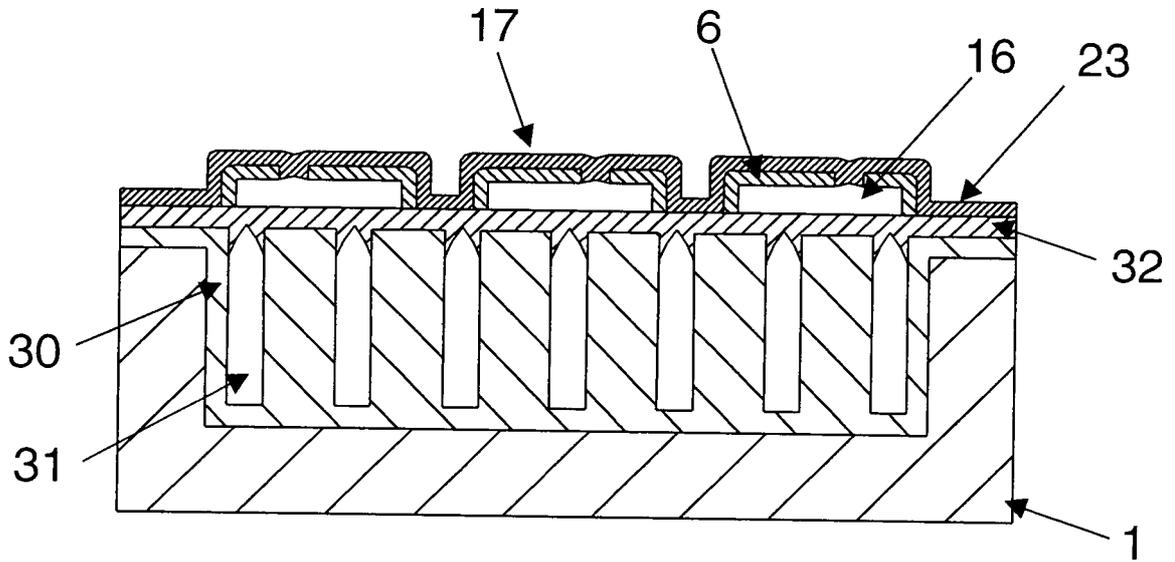


Fig. 6c

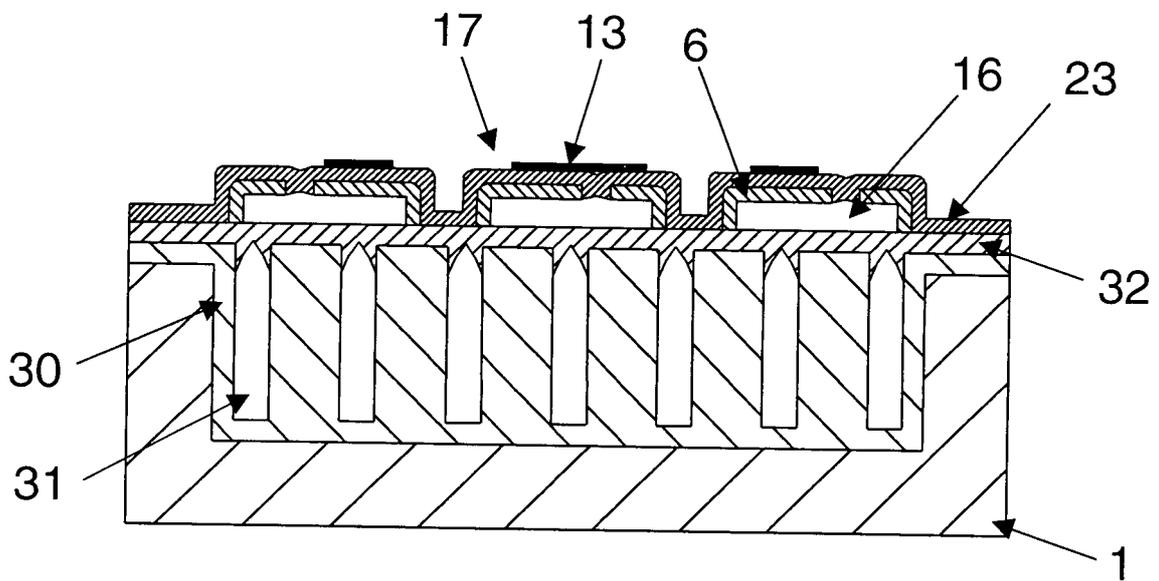


Fig. 6d

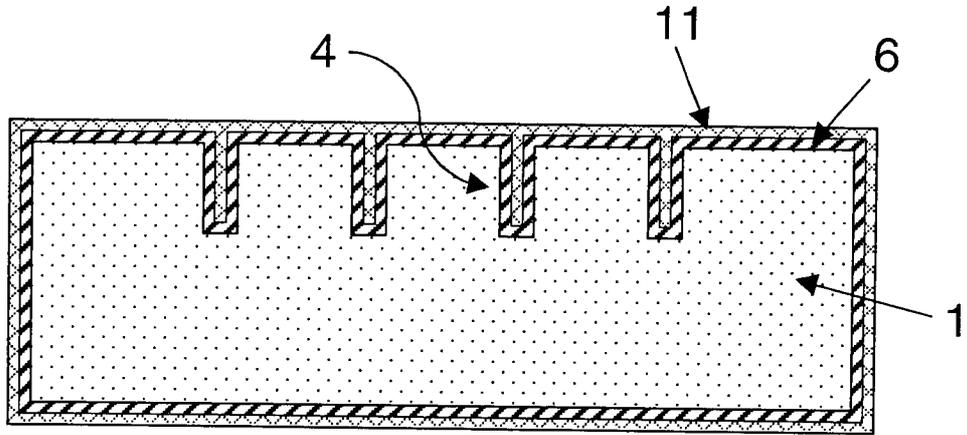


Fig. 7a

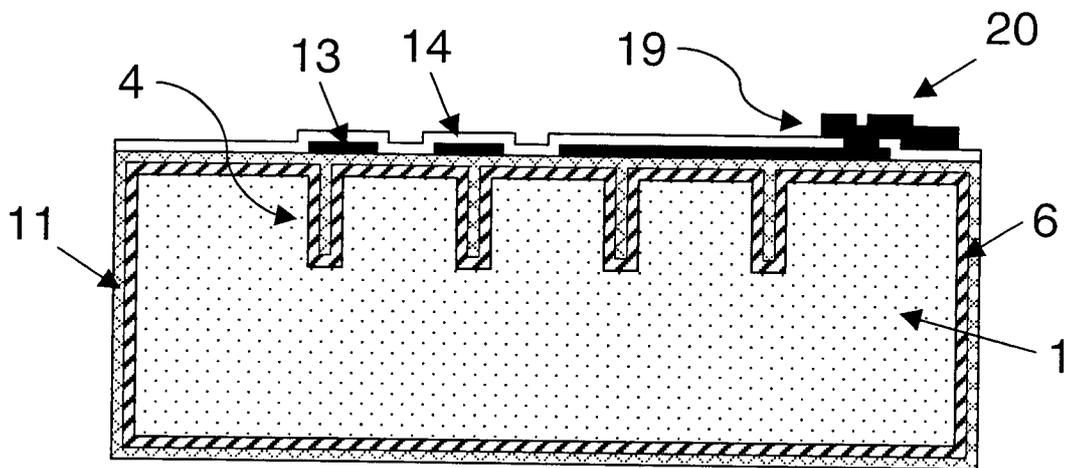


Fig. 7b

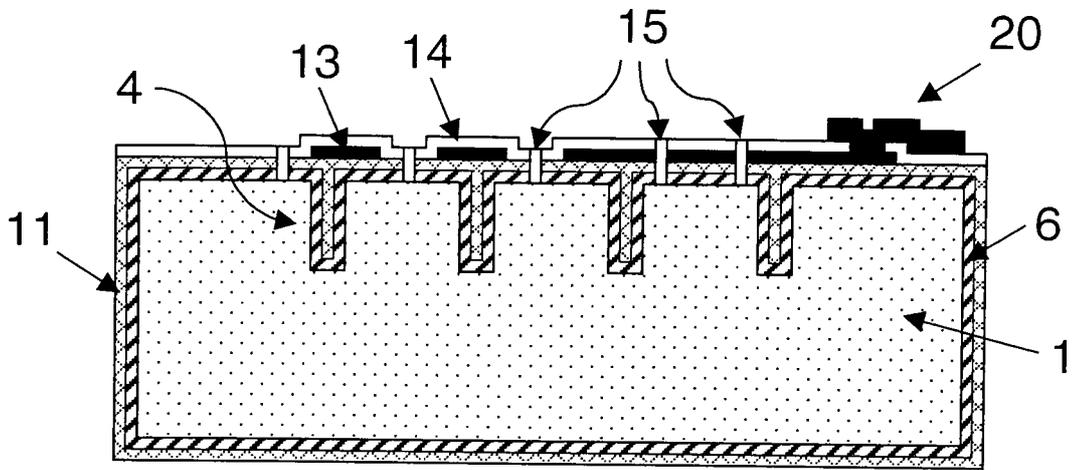


Fig. 7c

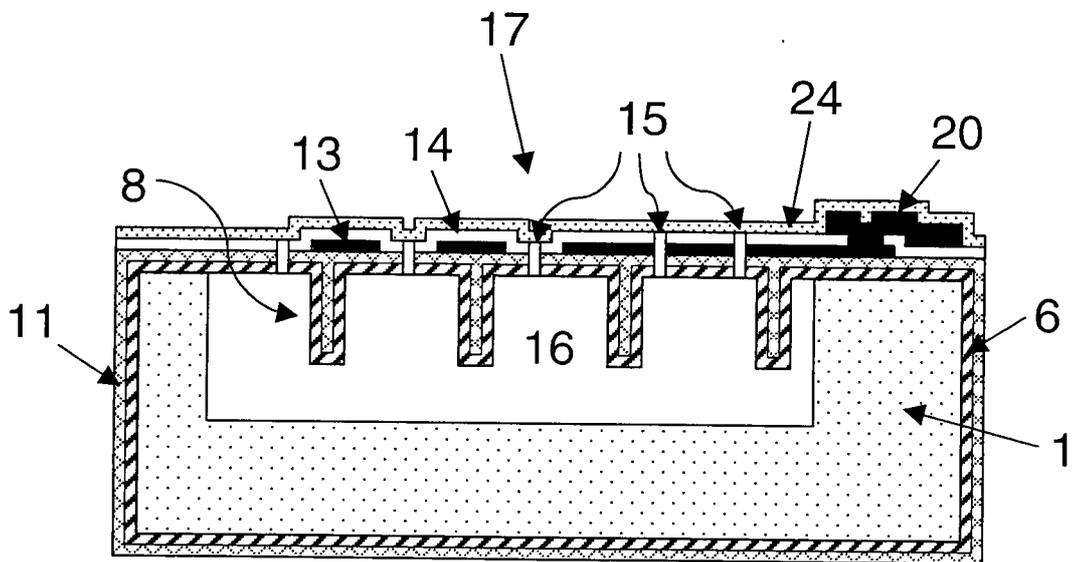


Fig. 7d

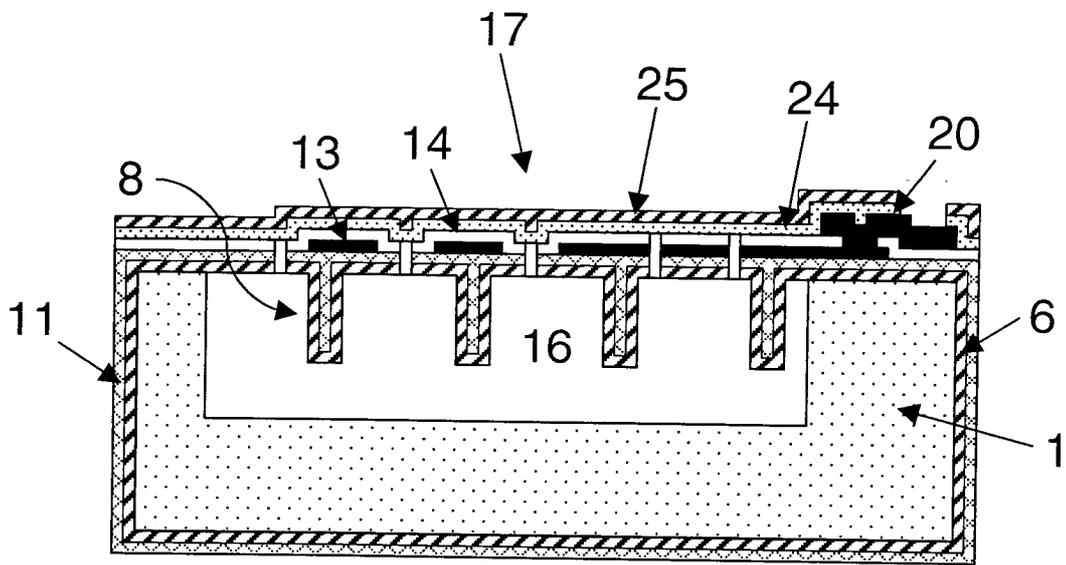


Fig. 7e