

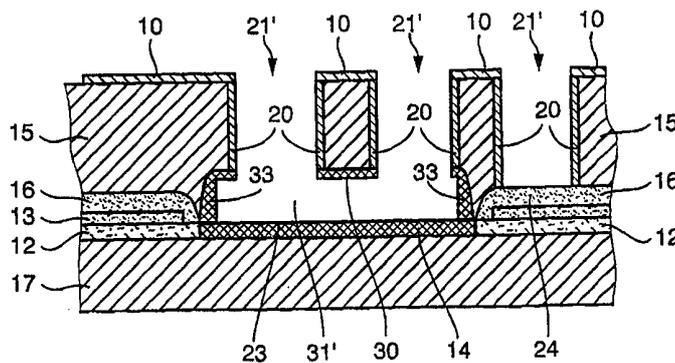


PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

| | | |
|--|------------------|--|
| <p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : B81B 3/00</p> | <p>A1</p> | <p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/23376</p> <p>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 27. April 2000 (27.04.00)</p> |
| <p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/03018</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 22. September 1999 (22.09.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 47 455.5 15. Oktober 1998 (15.10.98) DE</p> <p>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D-70442 Stuttgart (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BECKER, Volker [DE/DE]; Im Wiesele 7, D-76359 Marxzell (DE). LAERMER, Franz [DE/DE]; Witikoweg 9, D-70437 Stuttgart (DE). SCHILP, Andrea [DE/DE]; Seelenbachweg 15, D-73525 Schwäbisch Gmünd (DE).</p> | | <p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i></p> |

(54) Title: METHOD FOR PROCESSING SILICON USING ETCHING PROCESSES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BEARBEITUNG VON SILIZIUM MITTELS ÄTZPROZESSEN



(57) Abstract

The invention relates to a method for etching a first silicon layer (15) which is provided with an etching mask (10) for defining lateral recesses (21). Trenches (21') are produced in the area of the lateral recesses (21) in a first plasma etching process by means of anisotropic etching. As soon as a barrier layer (12, 14, 14', 16) buried between the first silicon layer (15) and another silicon layer (17) is reached, the first etching process virtually comes to a stop (17). This barrier layer is then etched through in the exposed areas (23, 23') using a second etching process. An etching of the other silicon layer (17, 17') is then effected in a subsequent third etching process. This enables the production of free-standing structures for sensor elements using a simplified process which is fully compatible with the process steps in IC integration technology.

(57) Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren zum Ätzen einer ersten Siliziumschicht (15) vorgeschlagen, die mit einer Ätzmaskierung (10) zur Definition lateraler Aussparungen (21) versehen ist. In einem ersten Plasmaätzprozeß werden im Bereich der lateralen Aussparungen (21) durch anisotrope Ätzung Trenchgräben (21') erzeugt. Der erste Ätzprozeß kommt nahezu zum Erliegen, sobald eine zwischen der ersten Siliziumschicht (15) und einer weiteren Siliziumschicht (17) vergrabene Trennschicht (12, 14, 14', 16) erreicht wird. Danach wird diese Trennschicht in freiliegenden Bereichen (23, 23') mittels eines zweiten Ätzprozesses durchgeätzt. Ein nachfolgender dritter Ätzprozeß bewirkt dann eine Ätzung der weiteren Siliziumschicht (17, 17'). Dadurch können in einem einfachen Prozeß freistehende Strukturen für Sensorelemente erzeugt werden, die zu den Verfahrensschritten in der IC-Integrationstechnik voll kompatibel ist.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

| | | | | | | | |
|----|------------------------------|----|-----------------------------------|----|---|----|--------------------------------|
| AL | Albanien | ES | Spanien | LS | Lesotho | SI | Slowenien |
| AM | Armenien | FI | Finnland | LT | Litauen | SK | Slowakei |
| AT | Österreich | FR | Frankreich | LU | Luxemburg | SN | Senegal |
| AU | Australien | GA | Gabun | LV | Lettland | SZ | Swasiland |
| AZ | Aserbaidtschan | GB | Vereinigtes Königreich | MC | Monaco | TD | Tschad |
| BA | Bosnien-Herzegowina | GE | Georgien | MD | Republik Moldau | TG | Togo |
| BB | Barbados | GH | Ghana | MG | Madagaskar | TJ | Tadschikistan |
| BE | Belgien | GN | Guinea | MK | Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | TM | Turkmenistan |
| BF | Burkina Faso | GR | Griechenland | ML | Mali | TR | Türkei |
| BG | Bulgarien | HU | Ungarn | MN | Mongolei | TT | Trinidad und Tobago |
| BJ | Benin | IE | Irland | MR | Mauretanien | UA | Ukraine |
| BR | Brasilien | IL | Israel | MW | Malawi | UG | Uganda |
| BY | Belarus | IS | Island | MX | Mexiko | US | Vereinigte Staaten von Amerika |
| CA | Kanada | IT | Italien | NE | Niger | UZ | Usbekistan |
| CF | Zentralafrikanische Republik | JP | Japan | NL | Niederlande | VN | Vietnam |
| CG | Kongo | KE | Kenia | NO | Norwegen | YU | Jugoslawien |
| CH | Schweiz | KG | Kirgisistan | NZ | Neuseeland | ZW | Zimbabwe |
| CI | Côte d'Ivoire | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | PL | Polen | | |
| CM | Kamerun | KR | Republik Korea | PT | Portugal | | |
| CN | China | KZ | Kasachstan | RO | Rumänien | | |
| CU | Kuba | LC | St. Lucia | RU | Russische Föderation | | |
| CZ | Tschechische Republik | LI | Liechtenstein | SD | Sudan | | |
| DE | Deutschland | LK | Sri Lanka | SE | Schweden | | |
| DK | Dänemark | LR | Liberia | SG | Singapur | | |
| EE | Estland | | | | | | |

5

10 Verfahren zur Bearbeitung von Silizium mittels Ätzprozessen

Stand der Technik

15 Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Ätzen eines Siliziumschichtkörpers nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Die Offenlegungsschrift DE 195 37 814 A1 offenbart ein Verfahren zur Herstellung von Siliziumschichtsystemen, mit dem oberflächenmikromechanische Sensoren hergestellt werden können. Dazu wird auf einem Siliziumsubstrat zunächst ein thermisches Oxid abgeschieden, auf das eine dünne Schicht hochdotierten Polysiliziums zur Verwendung als vergrabene Leiterbahn aufgebracht wird. Daraufhin wird auf der Polysiliziumschicht eine weitere Oxidschicht und hierauf beispielsweise eine dicke Epipolysiliziumschicht abgeschieden. Zuletzt erfolgt die Abscheidung und Strukturierung einer oberflächlichen Aluminiummetallisierung. Anschließend werden die freizulegenden Sensorstrukturen, vorzugsweise mit einem in der Patentschrift DE 42 41 045 beschriebenen fluorbasierten Siliziumtiefenätzverfahren herausgeätzt. Die Freilegung des Sensorelementes geschieht mittels einer Opferschichtätzung, bei der durch flußsäurehaltige Medien über ein Dampfätzverfahren das Oxid unter den Sensorbereichen entfernt wird. Nachteilig bei dieser Unterätztechnik ist, daß das Oxid nicht nur unter dem freizulegenden Sensorbereich entfernt

wird, sondern auch über und teilweise auch unter den Polysiliziumleiterbahnen, so daß die Gefahr von Nebenschlüssen und Kriechströmen besteht. Ein Schutz der Oxidbereiche, deren Unterätzung verhindert werden soll, etwa durch Schutzlacke ist nur mit erheblichem Aufwand möglich, da dampfförmige Flußsäure nahezu alle praktikablen polymeren Schutzschichten sehr schnell durchdringt und überdies stark korrosiv wirken kann.

Ein Trockenätzverfahren in Silizium zur Herstellung von Sensorstrukturen durch Kombination von anisotroper und isotroper Plasmaätztechnik wird in DE 44 20 962 A1 offenbart. Ein nachträglicher Naßätzschritt oder ein Ätzen in der Dampfphase ist dabei nicht erforderlich. Alle Prozeßschritte können in einer einzigen Plasmaätzanlage durchgeführt werden. Dazu wird zunächst mit Hilfe des in der DE 42 41 045 beschriebenen anisotropen Tiefenätzverfahrens die Sensorstruktur mit vertikalen Wänden erzeugt. Dabei wechseln Depositionsschritte, bei denen auf der Seitenwand ein teflonartiges Polymer abgeschieden wird, und an sich isotrope, fluorbasierte Ätzschritte, die durch Vorwärtstreiben des Seitenwandpolymers während der Ätzung lokal anisotrop gemacht werden, einander ab. Anschließend wird mit einem fluorbasierten Ätzschritt das Siliziumsubstrat so lange isotrop eingeätzt, bis die Siliziumstruktur für das Sensorelement vollständig freigelegt ist. Dieses Verfahren hat jedoch zwei gravierende Nachteile. Einerseits kommt es infolge des sogenannten „Microloading-Effektes“ dazu, daß schmale Ätzgräben langsamer als breite Ätzgräben geätzt werden, was dann auch für die Geschwindigkeit der nachfolgenden lateralen Unterätzung gilt, d.h. die Unterätzung schreitet bei schmalen Gräben langsamer voran als bei breiten Gräben. Zum anderen werden die freizulegenden Strukturen auch von ihrer Unterseite bzw. Boden angegriffen. Dies hat zur Folge, daß Strukturen, die von breiten Trenchgräben umgeben sind, eine geringere Resthöhe haben als Strukturen, die

von schmalen Trenchgräben umgeben sind, was häufig zu irreproduzierbaren und unbefriedigenden mechanischen Eigenschaften der hergestellten Sensorelemente führt.

5 Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Ätzen von Silizium oder Siliziumschichten bereitzustellen, mit dem in einer Siliziumschicht zunächst über eine Ätzmaske definierte Trenchgräben anisotrop geätzt werden können. Dabei soll die in den Trenchgräben erreichte Ätztiefe nicht von der Breite der
10 Trenchgräben abhängig sein, sondern lediglich von der Ätzzeit. Außerdem soll eine definierte Unterätzung, insbesondere freistehender, durch Trenchgräben eingeschlossener Strukturen, beispielsweise zur Herstellung von Sensorelementen, ermöglicht werden. Während der Unterätzung soll zudem eine Ätzung des
15 Bodens der freistehenden Strukturen unterbleiben.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat gegenüber dem Stand der Technik
20 den Vorteil, daß definierte Unterätzungen möglich sind, die es erlauben, freistehende Strukturen reproduzierbar und definiert herzustellen, wobei alle mikromechanischen Strukturierungsschritte in einer Ätzkammer ausgeführt werden können, ohne daß der Siliziumkörper zwischendurch ausgeschleust
25 werden muß. Ein Ätzangriff auf die freistehenden Strukturen, ausgehend von deren Boden oder den Seitenwänden, erfolgt nicht. Überdies wird erreicht, daß alle Strukturen eine definierte Höhe aufweisen, die durch die Dicke der aufgetragenen Siliziumschicht definiert wird, unabhängig von Microloading-Effekten, Trenchgrabenbreiten und dem Grad einer
30 isotropen Unterätzung.

Daneben werden durch das erfindungsgemäße Verfahren Korrosionsprobleme beispielsweise durch Flußsäuredämpfe und elektrische Nebenschlüsse durch Unterätzen von Leiterbahnen vermieden. Vergrabene Leitschichten können vollständig durch
5 eine ausreichend dicke Siliziumdioxidschicht eingeschlossen werden, um sie vor Unterätzungen und Ätzangriffen zu schützen.

Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist auch, daß tiefe Unterätzungen realisiert werden können und damit große Abstände zwischen Struktur und Siliziumsubstratschicht möglich sind. Dies reduziert bei einem Sensor beispielsweise die Gefahr eines ungewollten Aufschlagens der Sensorelemente auf die darunter befindliche Schicht im Überlastfall mit anschließendem irreversiblen Ankleben aneinander (sog. „sticking“). Der Abstand zwischen Sensorelement und Siliziumschicht kann dabei so groß gewählt werden, daß diese sich
10 auch im Überlastfall niemals berühren.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann sehr vorteilhaft in bestehenden Siliziumtiefenätzanlagen gemäß DE 42 41 045 durchgeführt werden, so daß keine zusätzlichen Investitionskosten anfallen. Dabei können mit diesem zunächst anisotropen Plasmatrockenätzverfahren durch das Ausschalten der Ionenbeschleunigung zum Substrat während eines Ätzschrittes Siliziumstrukturen auch isotrop eingeätzt werden, um so ein Unterätzen der freizulegenden Siliziumstrukturen zu erreichen.
20

Da die während der Ätzprozesse aufgebrauchte Ätzmaskierung beispielsweise in Form einer Photolackmaske auf der Siliziumschicht erst nach Abschluß aller Ätzungen entfernt wird, sind beispielsweise Aluminiumkontaktflächen an der Oberfläche der Siliziumschicht während der Ätzungen vollständig vor Korrosion ge-
30

schützt, die ansonsten bei fluorhaltigen Ätzgasen häufig unvermeidlich ist. Damit kann in besonders vorteilhafter Weise auch eine Systemintegration erreicht werden, d.h. eine Herstellung eines Sensorelementes mit integrierter Schaltung auf ein und demselben Chip. Überdies ist das erfindungsgemäße Verfahren beispielsweise zur Herstellung von Sensorelementen zu Verfahrensschritten in der IC-Integrationstechnik voll kompatibel.

Da ein Unterätzen von Leitschichten und eine unkontrollierte Entstehung von Ätztaschen in der geätzten Siliziumschicht durch das erfindungsgemäße Verfahren vermieden wird, ist auch eine Einschwemmung von Partikeln in diese Taschen, die ansonsten kaum wieder zu entfernen sind und die zu mechanischen und elektrischen Fehlern in Sensorelementen führen, verfahrenstechnisch bereits unterbunden.

Weitere Vorteile und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen.

Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Figur 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Siliziumschichtkörpers mit einer Ätzmaskierung, Figur 2 den Siliziumschichtkörper nach Figur 1 mit Trenchgräben und Figur 3 den Siliziumschichtkörper nach Figur 1 und 2 mit einer Unterätzung ausgehend vom freiliegenden Bereich der Trenchgräben. Figur 4 zeigt den Aufbau eines Siliziumschichtkörpers mit einer vollständig eingeschlossenen Zwischenschicht als Opferschicht, Figur 5 den Siliziumschichtkörper nach Figur 4

mit geätzten Trenchgräben, Figur 6 den Siliziumschichtkörper nach Figur 4 bzw. 5 mit einer Unterätzung ausgehend vom freiliegenden Bereich der Trenchgräben, die durch Trennschichten lateral und vertikal begrenzt ist, und Figur 5 7 eine Variante des Aufbaus des Siliziumschichtkörpers entsprechend Figur 6, wobei die Trennschicht mit einer darin eingeschlossenen strukturierten dünnen Leitschicht durchgehend ausgebildet ist. Die Figuren 8 bis 11 erläutern ein weiteres Ausführungsbeispiel als Weiterbildung des 10 Ausführungsbeispiels gemäß Figur 7, wobei eine Unterätzung ausgehend von einer Zwischenschicht in freistehende Strukturen hinein durch Unterbrechung der Trennschicht gezielt zugelassen wird.

15 **Ausführungsbeispiele**

Die Figur 1 zeigt einen Siliziumschichtkörper mit einer Siliziumschicht, die im folgenden als weitere Siliziumschicht 17 bezeichnet wird, auf der eine Trennschicht aufgebracht ist, die 20 selbst aus mehreren Trennschichtabschnitten 12, 14, 16 besteht. Ein erster Trennschichtabschnitt 12 besteht aus thermisch oxidiertem Silizium (sogenanntes Siliziumdioxid). Auf diesem befindet sich bereichsweise eine dünne, gegebenenfalls strukturierte Leitschicht 13 aus leitfähigem hochdotierten 25 Polysilizium, der ein zweiter Trennschichtabschnitt 16 aus Siliziumdioxid folgt, das über eine Abscheidung von Silanen aus der Gasphase erzeugt wurde. In den von der Leitschicht 13 freien Bereichen, die gemäß Figur 1 von einem dritten Trennschichtabschnitt 14 eingenommen werden, erfolgte eine 30 vollständige Rückätzung des ersten und zweiten Trennschichtabschnittes 12, 16 bis auf die weitere Siliziumschicht 17 und ein anschließendes Aufwachsen des dritten Trennschichtabschnittes 14 mit einer Dicke von lediglich 10 nm bis

100 nm an gleicher Stelle, der aus Siliziumdioxid besteht. Oberhalb der Trennschichtabschnitte 12, 14, 16 befindet sich eine erste Siliziumschicht 15 aus Epipolysilizium. Die erste Siliziumschicht 15 ist oberflächlich metallisiert und mit einer Ätzmaskierung 10 zur Definition lateraler Aussparungen 21 strukturiert.

Figur 2 verdeutlicht das Ergebnis eines ersten anisotropen Plasmaätzprozesses mit alternierenden Depositions- und Ätzschritten, der im Bereich der lateralen Aussparungen 21 Trenchgräben 21' ätzt, wobei sich an den Seitenwänden der Trenchgräben 21' ein teflonartiger Film 20 aufbaut. Beim Erreichen der Trennschichtabschnitte 12, 14, 16 kommt der erste Ätzprozeß nahezu vollständig zum Erliegen, da dieser eine sehr hohe Selektivität für Silizium gegenüber Siliziumdioxid aufweist und somit Siliziumdioxid nahezu nicht geätzt wird. Die erreichte Tiefe der Trenchgräben 21' wird somit jeweils durch die Tiefe der vergrabenen Trennschichtabschnitte 12, 14, 16 d.h. die Dicke der ersten Siliziumschicht 15 definiert. Am Boden der Trenchgräben 21' befinden sich freiliegende Bereiche 23 bzw. 24.

Figur 3 erläutert, wie in einem zweiten, beispielsweise anisotropen Plasmaätzprozeß unter starkem Ionenbeschuß freiliegende Bereiche 23 des dünnen dritten Trennschichtabschnittes 14 durchbrochen bzw. entfernt werden. Da der zweite Trennschichtabschnitt 16 oberhalb der Leitschicht 13 in den freiliegenden Bereichen 24 erheblich dicker ausgebildet ist, als der dritte Trennschichtabschnitt 14, wird der zweite Schichtabschnitt 16 beim Durchbrechen des Trennschichtabschnittes 14 lediglich geringfügig abgedünnt. Dadurch bleibt die Leitschicht 13 vollständig von den Trennschichtabschnitten 12, 16 umschlossen. Nach dem Durchbrechen des dünnen dritten Trennschichtabschnittes 14 im freiliegenden Bereich 23 erfolgt eine weitere, vorzugsweise

isotrope Ätzung der weiteren Siliziumschicht 17 zur Erzeugung einer Mulde 31. Dabei kommt es zu einer Unterätzung und Erzeugung einer freistehenden Struktur 32 mit einem Boden 30, der aus dem Material des Trennschichtabschnittes 14 besteht. Dieser Boden 30 verhindert gegebenenfalls zusammen mit einem
5 Trennschichtrest 25 des dritten Trennschichtabschnittes 14 sowie mit den teflonartigen Filmen 20 eine Rückätzung und einen Strukturverlust der freistehenden Struktur 32.

10 Nachfolgend werden weitere Details der einzelnen Verfahrensschritte entsprechend ihrer Reihenfolge beispielhaft erläutert.

Zunächst wird auf der weiteren Siliziumschicht 17 ein dicker erster Trennschichtabschnitt 12 abgeschieden. Der erste
15 Trennschichtabschnitt 12 enthält vorzugsweise Siliziumdioxid, ein sonstiges Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Glas, eine Keramik oder eine Mischung davon und wird über an sich bekannte Abscheideverfahren aus der Halbleitertechnik und insbesondere durch thermische Oxidation entsprechend der Lehre der DE 195 37
20 814 A1 abgeschieden. Die weitere Siliziumschicht 17 ist ein Siliziumwafer.

Die Dicke des Trennschichtabschnittes 12 beträgt beispielsweise 2,5 μm . Die abgeschiedene und gegebenenfalls strukturierte dünne
25 Leitschicht 13 enthält vorzugsweise leitfähiges Polysilizium, das zur Verbesserung der Leitfähigkeit stark dotiert sein kann. Auf diesem Schichtsystem wird danach ein weiteres Oxid, vorzugsweise Siliziumdioxid, als Trennschichtabschnitt 16 abgeschieden. Diese Abscheidung erfolgt beispielsweise aus der Gasphase über
30 Silane gemäß dem an sich aus DE 195 37 814 A1 bekannten Verfahren und weist eine Schichtdicke von ca. 1,5 μm auf. Dabei wird die Leitschicht 13 bevorzugt vollständig eingeschlossen bzw. vergraben.

Nachfolgend wird im Bereich des drittes Trennschichtabschnittes 14, in dem später eine freistehende Struktur 32 durch Unterätzung erzeugt werden soll, das sich dort befindliche Oxid auf eine Dicke von ca. 10 nm bis 100 nm abgedünnt. Dies kann durch zeitkontrolliertes Rückätzen der Trennschichtabschnitte 12 und 16 erfolgen. In einem weiteren Ausführungsbeispiel erfolgt das Rückätzen der Trennschichtabschnitte 12 und 16 im dritten Trennschichtabschnitt 14 vollständig bis zum Erreichen der weiteren Siliziumschicht 17, um anschließend eine gewünschte Dicke des dritten Trennschichtabschnittes 14 von beispielsweise 10 nm bis 100 nm wieder aufwachsen zu lassen. Dieses Aufwachsen des dritten Trennschichtabschnittes 14 kann entweder nur in den zuvor rückgeätzten Bereichen oder aber ganzflächig in den rückgeätzten Bereichen und auf dem verbliebenen zweiten Trennschichtabschnitt 16 erfolgen, da die Dicke des aufgewachsenen dritten Trennschichtabschnittes 14 gegenüber der Dicke des zweiten Trennschichtabschnittes 16 nahezu vernachlässigbar ist. Bei dieser Verfahrensvariante des vollständigen Rückätzens und nachfolgenden Aufwachsens ist die Dicke des dritten Trennschichtabschnittes 14, der vorzugsweise aus thermisch aufgewachsenem Siliziumdioxid besteht, sehr genau definiert.

Der erste Trennschichtabschnitt 12 weist in bevorzugter Ausführung eine größere Dichte auf, als der zweite Trennschichtabschnitt 16. Weiterhin sollte die Dicke des zweiten Trennschichtabschnittes 16 erheblich größer, insbesondere mehr als zehnmal bis tausendmal größer als die Dicke des rückgeätzten Trennschichtabschnittes oder des aufgewachsenen dritten Trennschichtabschnittes 14 sein. Die Dicke des ersten und zweiten Trennschichtabschnittes 12 bzw. 16 liegt absolut jeweils zwischen 500 nm bis 50 µm, insbesondere zwischen 1 µm bis 10 µm.

Im anschließenden Verfahrensschritt wird auf die Trennschichtabschnitte 12, 14, 16 eine dicke erste Siliziumschicht 15, vorzugsweise aus Epipolysilizium aufgewachsen, die oberflächlich gegebenenfalls metallisiert ist und beispielsweise mit der Ätzmaskierung 10 zur Definition der lateralen Aussparungen 21

5 strukturiert. Die erste Siliziumschicht 15 kann außerdem dotiert sein. Die metallisierte Oberfläche der ersten Siliziumschicht 15 kann eine Aluminiumkontaktschicht sein, die durch die Ätzmaskierung 10, beispielsweise in Form einer Photolackmaske,

10 gleichzeitig vor dem Angriff fluorhaltiger Gase geschützt wird.

Danach werden mittels eines aus DE 42 41 045 oder DE 44 20 962 A1 an sich bekannten, anisotropen Tiefenätzprozesses als erstem Ätzprozeß Trenchgräben 21' an den Stellen der lateralen

15 Aussparungen 21 geätzt. Dieser erste Ätzprozeß kommt beim Erreichen der Trennschichtabschnitte 12, 14, 16 in den freiliegenden Bereichen 23 bzw. 24 nahezu vollständig zum Erliegen, da das aus DE 42 41 045 bekannte Ätzverfahren, auf das sich dieses Ausführungsbeispiel bezieht, eine sehr hohe Selektivität

20 von ca. 200-300:1 gegenüber Siliziumdioxid aufweist, was bedeutet, daß auf den Trennschichtabschnitten 12, 14, 16, die bevorzugt aus Siliziumdioxid bestehen, nahezu ein Ätzstopp eintritt. Das Eintreten des Ätzstopps wird neben der Zusammensetzung der Trennschicht insbesondere vom gewählten Ätzprozeß

25 bestimmt. Die Wahl der Verfahrensparameter ist immer derart zu gestalten, daß mit Erreichen der Trennschichtabschnitte 12, 14, 16 nahezu ein Ätzstopp eintritt.

Der bevorzugte erste Ätzprozeß gemäß DE 42 41 045 ist ein Trockenätzverfahren, bei dem Depositionsschritte alternierend mit an sich isotropen Ätzschritten ausgeführt werden, wobei während der Depositionsschritte ein polymerbildende Monomere lieferndes

30 Depositionsgas, vorzugsweise Octafluorocyclobutan C_4F_8 oder

Perfluoropropylen C_3F_6 , einem hochdichten Plasma, insbesondere einem PIE-Plasma (propagation ion etching) oder einem ICP-Plasma (inductively coupled plasma) ausgesetzt wird, das auf den Seitenwänden der Trenchgräben 21' den teflonartigen Film 20 von
5 $(CF_2)_n$ aufbaut und bei dem während der Ätzprozesse ein Fluorradikale lieferndes Ätzgas, insbesondere Schwefelhexafluorid SF_6 , eingesetzt wird, dem zur Unterdrückung einer Schwefel-
ausscheidung im Abgasbereich Sauerstoff beigemischt sein kann. Durch Vorwärtstreiben des teflonartigen Seitenwandfilmes 20
10 während der an sich isotropen Ätzschritte werden diese lokal anisotrop.

In einem zweiten Ätzprozeß werden nun die Trennschichtabschnitte 12, 14, 16 in den freiliegenden Bereichen 23 bzw. 24 mit einem
15 für die Ätzung der Trennschichtzusammensetzung geeigneten Ätzprozeß weitergeätzt. Diese Weiterätzung erfolgt so lange, bis der Trennschichtabschnitt 14 in den freiliegenden Bereichen 23 vollständig durchgeätzt ist. Dies geschieht vorzugsweise durch ein Plasmaätzverfahren mit einer Ätzvorrichtung gemäß der Lehre
20 der DE 42 41 045 unter Verwendung der Ätzgase CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , CHF_3 , C_3F_6 oder C_4F_8 unter Einsatz von starkem Ionenbeschuss d.h. hoher Substratbiasspannung. Speziell bei Einsatz der
fluorreichen Ätzgase CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 oder einem Gemisch von CF_4 und CHF_3 ist dieser Oxidätzprozeß unproblematisch für den
25 Zustand der Plasmaätzkammer hinsichtlich anschließender Siliziumätzungen. Falls die fluorärmeren Oxidätzgase CHF_3 , C_3F_6 oder C_4F_8 , beispielsweise aus Gründen einer höheren Selektivität, verwendet werden sollen, müssen die
Prozeßparameter sehr sorgfältig optimiert werden, um zu
30 verhindern, daß spätere Siliziumätzungen in der Kammer durch Querkontaminationen vergiftet werden. Es ist jedoch auch möglich, die Oxidätzung in einer eigens dafür vorgesehenen Ätzanlage durchzuführen. Hierzu verwendet man insbesondere eine

Clusteranlage, bei der ein einziges Handlingsystem mehrere Plasmaätzkammern bedient und bei der der Siliziumkörper stets im Vakuum verbleibt.

5 In weiteren Verfahrensvarianten kann die Oxidätzung der freiliegenden Bereiche 23 bzw. 24 der Trennschichtabschnitte 12, 14, 16 auch naßchemisch erfolgen, indem die beispielsweise auf einem Wafer hergestellte Schichtabfolge aus der Plasmaätzkammer ausgeschleust wird und dann eine Siliziumdioxidschicht in den
10 freiliegenden Bereichen 23 bzw. 24 mit verdünnter Flußsäure oder einer hinreichend gepufferten Flußsäurelösung geätzt und in den freiliegenden Bereichen 23 vollständig entfernt wird. Die bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung ist jedoch die Ätzung trockenchemisch mittels eines Plasmas, da diese Methode insbesondere die Oxidkanten des Bodens 30 oder der Trennschichtreste
15 25 nicht hinterschneidet.

Während der Durchätzung des dritten Trennschichtabschnittes 14 in den freiliegenden Bereichen 23 werden unvermeidlich auch die
20 Trennschichtabschnitte in dem freiliegenden Bereich 24 des zweiten Trennschichtabschnittes 16 teilweise mitabgetragen, da dieser zweite Ätzprozeß unmaskiert und damit ganzflächig auf allen freiliegenden Bereichen 23 bzw. 24 erfolgt. Da der zweite Trennschichtabschnitt 16 jedoch eine erheblich größere Dicke von
25 beispielsweise 1,5 µm gegenüber lediglich ca. 50 nm des dritten Trennschichtabschnittes 14 aufweist, ist diese Ätzung des zweiten Trennschichtabschnittes 16 bei der Durchätzung der freiliegenden Bereiche des dünnen dritten
Trennschichtabschnittes 14, selbst bei einer zweifachen
30 Überätzung beim Durchätzen aus Gründen der Prozeßsicherheit, nicht von Bedeutung. Damit bleibt insbesondere die vergrabene Leitschicht 13 überall durch eine dicke, intakte Siliziumdioxidschicht geschützt.

Nach Abschluß des Durchätzens des dritten Trennschichtabschnittes 14 in den freiliegenden Bereichen 23, wird gemäß Figur 3 in einem dritten Ätzprozeß eine isotrope Ätzung der weiteren Siliziumschicht 17 vorgenommen. Vor dieser Ätzung kann eine zusätzliche Passivierung der Seitenwände der Trenchgräben 21' mit einem teflonartigen Plasmapolymer gemäß der Lehre von DE 44 20 962 A1 vorgenommen werden, sofern diese Seitenwandpassivierung nicht bereits während des Ätzens der Trenchgräben 21' gemäß Figur 2 entstanden und während des Durchätzens des dritten Trennschichtabschnittes 14 in den freiliegenden Bereichen 23 unversehrt und vollständig erhalten geblieben ist. Die isotrope Ätzung der weiteren Siliziumschicht 17 ist vorzugsweise eine Unterätzung im Bereich 31, die zum Freilegen der freizulegenden Struktur 32 führt. Während dieser Ätzung der weiteren Siliziumschicht 17 kann eine Ätzung des Bodens 30 oder der Seitenwände der freistehenden Struktur 32 nicht auftreten, da der Boden 30 beispielsweise durch eine dünne Siliziumdioxidschicht aus dem dritten Trennschichtabschnitt 14 geschützt ist und die Seitenwände durch den teflonartigen Film 20 geschützt werden. Gleiches gilt für eine Rückätzung in die erste Siliziumschicht 15 oder eine Rückätzung in die Leitschicht 13, die ebenfalls durch im zweiten Ätzprozeß nicht durchgeätzten Trennschichtreste 25 geschützt sind.

Im einzelnen erfolgt der dritte Ätzprozeß zur isotropen Ätzung der weiteren Siliziumschicht 17 indem zunächst möglicherweise noch vorhandene Reste eines Fluorpolymers auf der weiteren Siliziumschicht 17 nach dem Durchätzen des dritten Trennschichtabschnittes 14 entfernt werden. Dies geschieht indem kurzzeitig Argon und/oder Sauerstoff in die Ätzkammer eingelassen und das Plasma erneut gezündet wird. Dabei wird in an sich bekannter Weise durch Ioneneinwirkung selektiv auf dem

Ätzgrund ein sehr schneller Polymerabtrag erreicht, so daß sich eine polymerfreie weitere Siliziumschicht 17 und eine weiterhin intakte Seitenwandpassivierung durch die teflonartigen Filme 20 ergibt. Die Gegenwart von Sauerstoff fördert diesen

5 physikalischen Ätzabtrag durch gerichtete Ionen, indem chemische Reaktionen zwischen Fluorkohlenwasserstoffen und Sauerstoff induziert werden. Danach wird in an sich bekannter Weise gemäß DE 42 41 045 ein isotropes Siliziumätzverfahren mit einem Fluorplasma durchgeführt, wobei in einer induktiven Plasmaquelle

10 ein SF₆-Plasma gezündet wird und gleichzeitig der aus DE 42 41 045 bekannte Seitenwandfilmtransportmechanismus unterbunden wird, indem man einen hohen Prozeßdruck verwendet und keine Substratbiasspannung anlegt. Ein geeigneter Gasfluß für diesen Teil des dritten Ätzprozesses ist beispielsweise 100 sccm SF₆ bei

15 einem Druck von 50 bis 100 mTorr. In einer Variante dieses Ätzprozesses kann der initiale Abtrag der Reste eines Fluorpolymers auf der weiteren Siliziumschicht 17 auch dadurch erfolgen, daß man das Siliziumätzverfahren gemäß DE 42 41 045 mit einem Fluorplasma und den genannten Parametern für einige Sekunden mit

20 einer hohen Substratbiasleistung von 50 bis 100 W startet, und diese Substratbiasleistung dann vollständig abschaltet. Damit werden innerhalb der wenigen Sekunden die Reste des Fluorpolymers auf der weiteren Siliziumschicht 17 abgetragen, während die teflonartigen Seitenwandfilme 20 im wesentlichen unverändert

25 bleiben.

Alternativ kann der isotrope Fluorätzschritt im dritten Ätzprozeß zur isotropen Ätzung der weiteren Siliziumschicht 17 nach der Entfernung von Resten des Fluorpolymers auf der weiteren Siliziumschicht 17 auch ohne Plasmaunterstützung mit Ätzgasen wie

30 beispielsweise Xenondifluorid, Chlortrifluorid, Bromtrifluorid oder Iodpentafluorid durchgeführt werden, die bekanntermaßen freie Siliziumflächen unter Bildung von flüchtigem

Siliziumtetrafluorid sofort isotrop in heftiger Reaktion angreifen. Die Selektivität dieser Gase gegenüber Nicht-Silizium ist extrem hoch, so daß bereits dünnste Passivierschichten zum Schutz vor Ätzangriffen ausreichen.

5

Da das Siliziumdioxid beim isotropen Unterätzen am Boden 30 der freizulegenden Struktur 32 verbleibt, muß der dritte Trennschichtabschnitt 14 möglichst dünn sein, um die mechanischen Eigenschaften der freistehenden Struktur 32, die beispielsweise als Sensorelement verwendet werden kann, nicht nachteilig zu beeinflussen. Eine praktikable untere Grenze der Dicke ist ca. 10 nm. Durch die Siliziumdioxidschicht am Boden 30 der freistehenden Struktur 32 wird zudem eine Druckspannung induziert, die eine geringfügige Verwölbung des Bodens 30 nach oben bewirkt. Diese Verwölbung ist bei einer Schichtdicke von ca. 10 nm in den meisten Fällen vernachlässigbar. Es ist jedoch auch möglich, diese Druckspannung durch eine Dotierung der ersten Siliziumschicht 15 von oben vollständig zu kompensieren.

10

15

20

Durch das erfindungsgemäße Verfahren haben die freistehenden Strukturen 32 insbesondere eine Höhe, die nur durch die Dicke der ersten Siliziumschicht 15 bestimmt ist und die unabhängig von Microloading-Effekten, dem Grad an isotroper Ätzung bzw. Unterätzung und den Trenchgrabenbreiten ist.

25

30

Nach Ausschleusen aus der Plasmaätzanlage wird der geätzte Siliziumkörper in einem Sauerstoffplasmastripper von der Ätzmaskierung 10, beispielsweise in Form einer Photolackmaske, und den verbliebenen passivierenden, teflonartigen Filmen 20 mittels eines an sich in der Halbleitertechnik bekannten Sauerstoffplasmaveraschungsprozesses befreit. Erst in diesem Stadium wird somit auch die metallisierte Oberfläche der ersten Siliziumschicht 15 und dort gegebenenfalls angebrachte

Aluminiumkontaktflächen freigelegt, die bisher vollständig vor Korrosion und Ätzangriffen unter der Ätzmaskierung 10 lagen. Somit kann jedwede Nachbehandlung dieser Kontaktflächen entfallen. Insbesondere eignet sich dieses Verfahren zur Herstellung von Sensorelementen mit freistehenden Strukturen, bei denen die dazugehörige integrierte Schaltung auf dem gleichen Wafer angeordnet wird.

Da die teflonartigen Filme 20 ein ausgezeichnetes Mittel darstellen, um ein irreversibles Verkleben von mikromechanischen Strukturen bei Kontakt von Silizium mit Silizium („sticking“) zu vermeiden, ist es für viele Anwendungen zweckmäßig, diese teflonartigen Filme 20, die beim Entfernen der Ätzmaskierung 10 in einem Sauerstoffveraschungsprozeß mitentfernt werden, nachträglich durch eine erneute Teflonbeschichtung wieder aufzubringen. Man kann dies bereits im Sauerstoffplasmastripper tun, indem abschließend anstelle von Sauerstoff kurzzeitig ein teflonbildende Monomere lieferndes Gas wie C_3F_6 , C_4F_8 oder CHF_3 eingelassen wird und das Plasma erneut gezündet wird. Dadurch wird jedoch auch eine Aluminiummetallisierung an der Oberfläche der Siliziumschicht 15 mit Teflon bedeckt, was Probleme bei einer späteren Kontaktierung mit sich bringen kann. In besonders vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung werden daher die teflonartigen Filme 20 nach dem Sauerstoffveraschungsprozeß mit dem bereits aus DE 42 41 045 bekannten Depositionsschritt im Ätzreaktor wieder ganzflächig auf allen zugänglichen Siliziumflächen aufgebracht und anschließend mit Hilfe eines kurzzeitigen starken Ionenbeschusses auf allen für den senkrechten Ioneneinfall zugänglichen Flächen wieder entfernt, so daß die teflonartigen Filme 20 nur auf den Seitenwänden der freistehenden Struktur 32, dem Boden 30 und allen vom Ioneneinfall abgeschatteten Silizium- oder Siliziumoxidflächen erhalten bleiben. Insbesondere werden somit Kontaktflächen

wieder von einer unerwünschten Teflonschicht befreit. Alternativ kann sehr vorteilhaft auch anstelle eines nachträglichen Entfernens der teflonartigen Filmen auf allen für den senkrechten Ioneneinfall zugänglichen Stellen bereits während des
5 Aufbringens der teflonartigen Filme gemäß DE 42 41 045 im Ätzreaktor ein Ionenbeschuß eingesetzt werden, so daß sich die teflonartigen Filme insbesondere auf den Kontaktflächen erst gar nicht bilden (selektive Beschichtung der Seitenwände).

10 Die Figuren 4, 5 und 6 zeigen als weiteres Ausführungsbeispiel eine Variante des mit Hilfe der Figuren 1 bis 3 beschriebenen Ausführungsbeispiels, das sich von diesem dadurch unterscheidet, daß auf dem dritten Trennschichtabschnitt 14 vor dem Aufwachsen der ersten Siliziumschicht 15 zunächst über an sich bekannte
15 Abscheide- und Strukturierungsverfahren zusätzlich eine Zwischenschicht als weitere Siliziumschicht aufgebracht wird, die anschließend von einer weiteren Trennschicht 14' oberflächlich und seitlich umgeben wird. Die als Opferschicht verwendete Zwischenschicht 17' kann entsprechend der benötigten
20 Geometrie strukturiert werden. In dieser Variante kann der dritte Trennschichtabschnitt 14 sehr vorteilhaft hinsichtlich Dicke und Zusammensetzung dem ersten Trennschichtabschnittes 12 entsprechen, da nunmehr die weitere Trennschicht 14' die Rolle des dritten Trennschichtabschnittes 14 aus dem
25 Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 bis 3 übernimmt. Die weitere Trennschicht 14' besteht somit insbesondere aus thermisch ausgewachsenem Siliziumdioxid mit einer Dicke von 10 nm bis 100 nm. Insofern ist ein Rückätzen des dritten
Trennschichtabschnittes 14 oder ein Aufwachsen des dritten
30 Trennschichtabschnittes 14 nach einem vollständigen Rückätzen bis auf die weitere Siliziumschicht 17, wie in dem Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 1 bis 3 erläutert, nicht mehr erforderlich, da nicht der dritte Trennschichtabschnitt 14

sondern die weitere Trennschicht 14' im zweiten Ätzprozeß durchgeätzt wird, und der dritte Ätzprozeß damit eine Ätzung der Zwischenschicht 17' als weitere Siliziumschicht bewirkt.

5 Besonders vorteilhaft kann die Zwischenschicht 17' nunmehr auch aus der Leitschicht 13 herausstrukturiert werden, die aus Polysilizium besteht, so daß ein zusätzlicher Prozeßschritt zum Aufwachsen der Zwischenschicht 17' entfällt.

Die als Opferschicht eingesetzte Zwischenschicht 17' ist
10 beispielsweise wie die weitere Siliziumschicht 17 zusammengesetzt. Sie kann auch aus Polysilizium oder Epipolysilizium entsprechend der Leitschicht 13 oder der ersten Siliziumschicht 15 bestehen. Der erste Ätzprozeß stoppt somit entsprechend dem vorangegangenen Ausführungsbeispiel in den
15 freiliegenden Bereichen 23' auf der weiteren Trennschicht 14' sowie auf den freiliegenden Bereichen 24. Im zweiten Ätzprozeß wird dann gemäß Figur 5 und 6 erneut in einem anisotropen Plasmaätzprozeß entsprechend dem vorangegangenen Ausführungsbeispiel unter starkem Ionenbeschuß diese dünne
20 weitere Trennschicht 14' in den freiliegenden Bereichen 23' durchbrochen. Abschließend wird dann, wie in Figur 6 dargestellt, durch einen dritten Ätzprozeß, entsprechend dem vorangegangenen Ausführungsbeispiel, eine weitere isotrope Ätzung der als Opferschicht eingesetzten Zwischenschicht 17' vorgenommen,
25 was in dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 der isotropen Ätzung der weiteren Siliziumschicht 17 zur Erzeugung der Mulde 31 entspräche. Dadurch, daß die Zwischenschicht 17' in diesem Ausführungsbeispiel zunächst vollständig von der Trennschicht 14' bzw. dem dritten Trennschichtabschnitt 14 umschlossen ist,
30 stoppt die Ätzung im dritten Ätzprozeß automatisch nach dem vollständigen Wegätzen der als Opferschicht eingesetzten Zwischenschicht 17', so daß einerseits eine freistehende Struktur 32 mit definiertem Boden 30 und definierten

Seitenwänden entsteht, und andererseits eine Mulde 31' mit lateral und vertikal über die Strukturierung bzw. Geometrie und Dicke der weiteren Trennschicht 14' exakt definierten Rändern 33.

5

Eine weiteres Ausführungsbeispiel, das ansonsten weitgehend analog dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4, 5 und 6 ist und das mit Hilfe von Figur 7 erläutert wird, sieht zunächst vor, daß die Trennschicht 12, 14, 16 auf der weiteren Siliziumschicht 17 durchgehend mit gleichmäßiger Dicke ausgebildet ist, und daß darin die gegebenenfalls strukturierte Leitschicht 13 eingeschlossen ist. Auf dieser Trennschicht 12, 14, 16 wird dann analog Figur 4 und dem vorangegangenen Ausführungsbeispiel über an sich bekannte Abscheide- und Strukturierungsverfahren 15 zusätzlich die Zwischenschicht als weitere Siliziumschicht aufgebracht und anschließend von der weiteren Trennschicht 14' oberflächlich und seitlich umgeben, die beispielsweise durch thermisches Aufwachsen einer Siliziumdioxidschicht erzeugt wird. Die Zusammensetzung dieser weiteren Trennschicht 14' und ihre 20 Dicke entspricht vorzugsweise wiederum der des dritten Trennschichtabschnittes 14. Die Zwischenschicht 17' ist insbesondere wie die weitere Siliziumschicht 17, die Leitschicht 13 oder die erste Siliziumschicht 15 zusammengesetzt.

25

Mit dieser Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens können somit Elektrodenflächen unter aktiven bzw. freistehenden Strukturen angebracht werden, wobei man eine gegebenenfalls strukturierte Ebene mit der Zwischenschicht 17' als Opferschicht zur freien Verfügung hat, die zur Erzeugung freistehender 30 Strukturen 32 entfernt wird, sowie eine darunter befindliche Ebene mit Elektroden- und Leiterbahngeometrien, die von den Trennschichtabschnitten 12, 14, 16 insbesondere vor Ätzangriffen geschützt wird. In beiden Ebenen können somit unabhängig von-

einander Strukturierungen vorgenommen werden. Weiterhin liegen sämtliche, elektrisch funktionelle strukturierten Leitschichten 13 nach dem Entfernen der Zwischenschicht 17' noch nach allen Seiten vollständig elektrisch isoliert vor.

5

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung wird als Ausführungsbeispiel anhand der Figuren 8 bis 11 erläutert, wobei die verschiedenen Ätzprozesse, Schichtzusammensetzungen und Schichtdicken wie bereits bei den vorangehenden

10

Ausführungsbeispielen erläutert gewählt werden. Dieses Beispiel sieht allerdings in Weiterbildung der Figur 7 vor (siehe Figur 8), daß die weitere Trennschicht 14' und der dritte Trennschichtabschnitt 14 die Zwischenschicht 17' durch eine geeignete, an sich bekannte Strukturierung der weiteren

15

Der Schichtaufbau des dargestellten Schichtkörpers wird im Detail wie bereits in den vorangehenden Ausführungsbeispielen beschreiben realisiert. Danach werden, wie in Figur 9 gezeigt, in einem ersten Ätzprozeß die Trenchgräben 21' unter gleichzeitigem Aufbau der Seitenwandpassivierung über die teflonartigen Filme 20 erzeugt, wobei der erste Ätzprozeß am Boden 23' der Trenchgräben 21' zum Erliegen kommt. Im zweiten Ätzprozeß wird dann die dünne weitere Trennschicht 14' am Boden

20

25

30

23' der Trenchgräben 21' durchbrochen. Dabei wird gleichzeitig auch der dritte Trennschichtabschnitt 14 am Boden 23 an den Stellen geätzt, an denen eine darüberliegende weitere Trennschicht 14' fehlt. Diese Ätzung ist jedoch angesichts der geringen Dicke der weiteren Trennschicht 14' und des unterhalb des dritten Trennschichtabschnittes 14 vorliegenden zweiten Trennschichtabschnittes 16 vernachlässigbar.

Insbesondere kann man in diesem Ausführungsbeispiel in einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung auf den dritten Trennschichtabschnitt 14 ganz verzichten, da dessen Aufgabe von der weiteren Trennschicht 14' und von dem zweiten

5 Trennschichtabschnitt 16 übernommen wird. Nach dem Durchbrechen der weiteren Trennschicht 14' am Boden 23' der Trenchgräben 21' wird der zweite Ätzprozeß unterbrochen. Es folgt der bereits im vorangehenden erläuterte dritte Ätzprozeß, der eine Ätzung der Zwischenschicht 17', die als Opferschicht dient, bewirkt. Der

10 Ätzangriff im dritten Ätzprozeß ist dabei beschränkt auf den durch die dünne weitere Trennschicht 14' und den dritten Trennschichtabschnitt 14 oder den zweiten Trennschichtabschnitt 16 begrenzten Bereich, wobei jedoch in diesem

15 Ausführungsbeispiel abweichend von Figur 7 durch die Strukturierung der weiteren Trennschicht 14' in sehr vorteilhafter Weise auch eine von unten kommende Ätzung innerhalb eines Steges 40 erfolgen kann. Der Fortschritt der Ätzfront in dem Steg 40 ist dabei durch die

20 Seitenwandpassivierung durch die teflonartigen Filme 20 und durch die obere Passivierung der Stege 40 durch die Ätzmaskierung 10 beschränkt, so daß der Steg 40 weitgehend ausgehöhlt bzw. bei fortschreitender Ätzung lokal unterbrochen wird. Durch dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung kann somit durch selektives Weglassen oder eine definierte Strukturierung

25 der weiteren Trennschicht 14' ein Ätzangriff im dritten Ätzprozeß von unten gezielt zugelassen werden. Damit kann, wie in Figur 11 gezeigt, sehr vorteilhaft beispielsweise eine zunächst erzeugte Siliziumbrücke unter einer oberflächlich in der ersten Siliziumschicht 15 vorhandenen

30 Aluminiummetallisierung, die in Form von dielektrisch isolierten Leiterbahnen ausgebildet ist, durch einen Ätzangriff von unten selektiv durchtrennt werden. Man erhält somit zumindest lokal eine freie Leiterbahn, die zur weiteren Kontaktierung zur

Verfügung steht, sowie eine elektrische Isolation der freistehenden Struktur 32 vom umgebenden Silizium. Dieses Ausführungsbeispiel bietet somit insbesondere unter Integrationsgesichtspunkten d.h. der Verbindung von Mikromechanik mit elektronischer Schaltungstechnik neue Möglichkeiten und Vorteile.

Insbesondere wenn die oberflächliche Aluminiummetallisierung durch eine zusätzliche, geeignet strukturierte elektrisch isolierende Zwischenschicht beispielsweise aus Siliziumdioxid von der eigentlichen ersten Siliziumschicht 15 getrennt ist, wobei diese Zwischenschicht beim dritten Ätzprozeß nicht geätzt wird, kann selektiv eine elektrische Verbindung und insbesondere eine Anbindung eines Sensors an eine elektronische Auswerteschaltung über eine oberflächliche Metallisierung der ersten Siliziumschicht 15 erreicht werden, die wie eine Brücke über einen Abgrund gespannt ist und die von unten durch die elektrisch isolierende, im dritten Ätzprozeß nicht geätzte Zwischenschicht geschützt wird.

5

10 **Ansprüche**

1. Verfahren zum Ätzen eines Siliziumschichtkörpers mit einer
ersten Siliziumschicht (15), die mit einer Ätzmaskierung (10)
zur Definition lateraler Aussparungen (21) versehen ist, wobei
15 in einem ersten Ätzprozeß mit einem Plasma gearbeitet wird und
im Bereich der lateralen Aussparungen (21) durch anisotrope Ät-
zung Trenchgräben (21') erzeugt werden, **dadurch gekennzeichnet**,
daß zwischen der ersten Siliziumschicht (15) und einer weiteren
Siliziumschicht (17, 17') mindestens eine Trennschicht (12, 14,
20 14', 16) vergraben ist, bei deren Erreichen der erste Ätzprozeß
zumindest nahezu zum Erliegen kommt, daß danach die Trennschicht
(12, 14, 14', 16) in einem freiliegenden Bereich (23, 23')
mittels eines zweiten Ätzprozesses durchgeätzt wird und daß
anschließend ein dritter Ätzprozeß eine Ätzung der weiteren
25 Siliziumschicht (17, 17') bewirkt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
mindestens zwischen zwei Trenchgräben (21') durch den dritten
Ätzprozeß eine vollständige isotrope Unterätzung derart erzeugt
30 wird, daß eine freistehende Struktur (32) entsteht.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der
erste Ätzprozeß ein Trockenätzverfahren ist, bei dem Depositi-
onsschritte alternierend mit an sich bekannten isotropen Ätz-

schritten ausgeführt werden, wobei während der Depositions-
schritte ein polymerbildende Monomere lieferndes Depositionsgas,
vorzugsweise Octafluorocyclobutan C_4F_8 oder Perfluorpropylen
 C_3F_6 , einem hochdichten Plasma, insbesondere einem PIE-Plasma
5 (propagation ion etching) oder einem ICP-Plasma (inductively
coupled plasma) ausgesetzt wird, das auf den Seitenwänden der
Trenchgräben (21') einen teflonartigen Film (20) von $(CF_2)_n$
aufbaut und daß während der Ätzprozesse ein Fluorradikale
lieferndes Ätzgas, insbesondere Schwefelhexafluorid SF_6 mit
10 zugesetztem Sauerstoff, eingesetzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der
erste, anisotrope Ätzprozeß der Trenchgräben (21') eine hohe Se-
lektivität gegenüber Siliziumdioxid aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die
Trennschicht (12, 14, 14', 16) aus mindestens einem ersten
Trennschichtabschnitt (12) und einem zweiten Trennschichtab-
schnitt (16) ausgebildet ist, wobei der erste Trennschichtab-
schnitt (12) Siliziumdioxid, ein sonstiges Siliziumoxid, Sili-
ziumnitrid, Glas, eine Keramik oder eine Mischung davon enthält
20 und über bekannte Abscheideverfahren aus der Halbleitertechnik
abgeschieden wird und wobei der zweite Trennschichtabschnitt
(16) vorzugsweise eine Siliziumdioxidschicht ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der
zweite Ätzprozeß zum Durchätzen der Trennschicht (12, 14, 14',
16) im freiliegenden Bereich (23, 23') der Trenchgräben (21')
trockenchemisch, vorzugsweise mittels Plasmaätzen erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das
Plasmaätzen unter starkem Ionenbeschuß und mit Hilfe eines Ätz-

gases, vorzugsweise CF_4 , C_2F_6 , C_3F_8 , CHF_3 , C_3F_6 oder C_4F_8 , erfolgt.

- 5 8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Ätzprozeß zum Durchätzen der Trennschicht (12, 14, 14', 16) im freiliegenden Bereich (23, 23') der Trenchgräben (21') naßchemisch durchgeführt wird und insbesondere mit Hilfe verdünnter Flußsäure oder Flußsäurelösungen erfolgt.
- 10 9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die freiliegenden Strukturen (32) einen Boden (30) aufweisen, der beim Ätzen, insbesondere beim Unterätzen im dritten Ätzprozeß zumindest weitgehend frei von einem Ätzangriff ist.
- 15 10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor oder während des dritten Ätzprozesses die Seitenwände der Trenchgräben (21') vor dem Unterätzen selektiv mit einem Plasmapolymer zur Erzeugung eines teflonartigen Filmes (20) beschichtet werden.
- 20 11. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß auf die weitere Siliziumschicht (17) der erste Trennschichtabschnitt (12) aufgebracht wird, auf den dann zumindest bereichsweise eine Leitschicht (13) abgeschieden und gegebenenfalls strukturiert wird, die vorzugsweise aus leitfähigem hochdotiertem Polysilizium besteht, und daß danach auf die Leitschicht (13) der zweite Trennschichtabschnitt (16) abgeschieden wird.
- 25 12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Abscheidung des ersten und zweiten Trennschichtabschnittes (12, 16) derart erfolgt, daß die Leitschicht (13) vollständig eingeschlossen wird.
- 30

13. Verfahren nach Ansprüche 5 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Trennschichtabschnitt (16) aus der Gasphase, insbesondere durch Zersetzung von Silanen abgeschieden wird.

5 14. Verfahren nach Anspruch 5 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Trennschichtabschnitt (12) aus thermisch aufgewachsenem Siliziumdioxid gebildet wird.

10 15. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Trennschichtabschnitte (12) und (16) jeweils eine Dicke von 500 nm bis 50 µm, insbesondere von 1 µm bis 10 µm aufweisen.

15 16. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und/oder der zweite Trennschichtabschnitt (12, 16) in der Umgebung mindestens eines Trenchgrabens (21') oder einer freiliegenden Struktur (32) durch Rückätzen auf einen rückgeätzten Trennschichtabschnitt mit einer Dicke von 10 nm bis 100 nm abgedünnt werden oder vollständig entfernt werden und stattdessen
20 anschließend ein dritter Trennschichtabschnitt (14) geringerer Dicke, vorzugsweise aus Siliziumdioxid, aufgewachsen wird.

25 17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der dritte Trennschichtabschnitt (14) mit einer Dicke von 10 nm bis 100 nm erzeugt wird.

30 18. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß auf den zweiten Trennschichtabschnitt (16) und den rückgeätzten Trennschichtabschnitt oder auf den Trennschichtabschnitt (16) und den aufgewachsenen dritten Trennschichtabschnittes (14) die erste Siliziumschicht (15) aufgewachsen wird.

19. Verfahren nach Anspruch 16, 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Trennschichtabschnitt (16) dicker, ins-

besondere mehr als zehnmals bis tausendmal dicker als der rückgeätzte Trennschichtabschnitt oder der dritte Trennschichtabschnitt (14) ist.

- 5 20. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Siliziumschicht (15) aus Epipolysilizium besteht, das gegebenenfalls dotiert und/oder oberflächlich metallisiert und/oder strukturiert wird.
- 10 21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die metallisierte Oberfläche der ersten Siliziumschicht (15) eine Aluminiumkontaktschicht ist, die durch eine Photolackmaske als Ätzmaskierung (10) vor dem Angriff fluorhaltiger Gase geschützt wird.
- 15 22. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe der im ersten Ätzprozeß geätzten Trenchgräben (21') unabhängig von dem Verhältnis von Breite zu Höhe der Trenchgräben (21') ist und über die Ätzzeit zum Erreichen der freiliegenden Bereiche (23, 23') des ersten Trennschichtabschnittes (16), des aufgewachsenen dritten Trennschichtabschnittes (14) oder der weiteren Trennschicht (14') eingestellt wird.
- 20 23. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß alle Ätzprozesse in einer einzigen Ätzkammer durchgeführt werden und daß insbesondere der Siliziumschichtkörper während der Ätzprozesse in der Ätzkammer verbleibt.
- 25 24. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der geätzte Siliziumschichtkörper abschließend in einem Sauerstoffplasmastripper von der Ätzmaskierung (10) und den verbliebenen
- 30

teflonartigen Filmen (20) durch einen Sauerstoffveraschungsprozeß befreit wird.

5 25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Entfernen der verbliebenen teflonartigen Filme eine teflonartige Beschichtung auf den Seitenwänden der freistehenden Struktur (32), den Seitenwänden der Trenchgräben (21') und allen von senkrechtem Ioneneinfall abgeschatteten Flächen aufgebracht wird, wobei insbesondere elektrische Kontaktflächen frei von
10 einer teflonartigen Beschichtung bleiben.

26. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Aufwachsen der ersten Siliziumschicht (15) auf den aufgewachsenen dritten Trennschichtabschnitt (14) oder den rückgeätzten Trennschichtabschnitt zunächst eine Zwischenschicht
15 (17'), die als Opferschicht die weitere Siliziumschicht bildet, aufgebracht wird, und daß diese Zwischenschicht (17') anschließend mit einer weiteren Trennschicht (14') zumindest in den freiliegenden Bereichen (23, 23') abgedeckt wird.

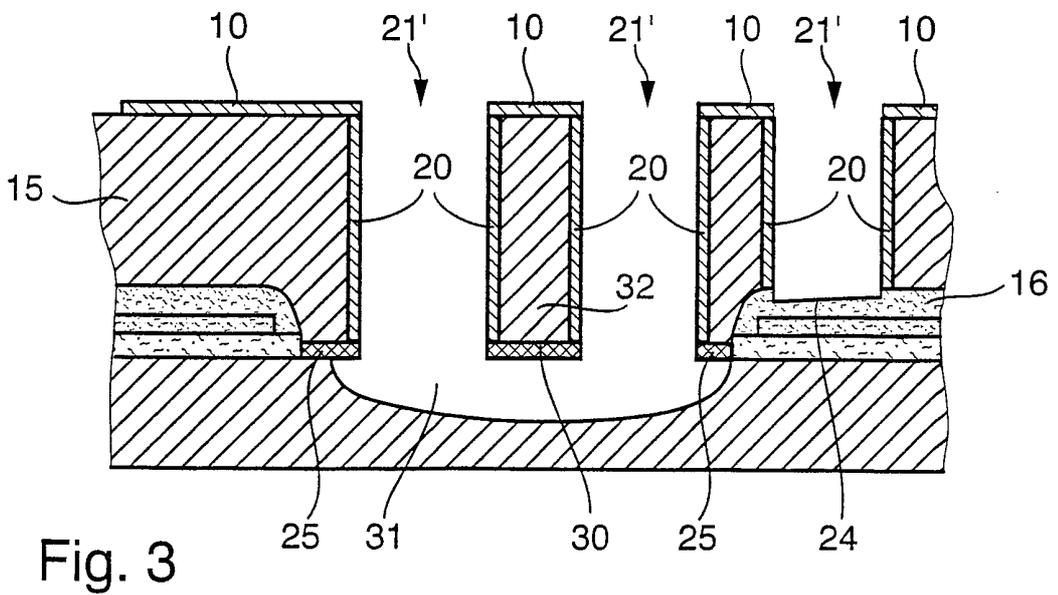
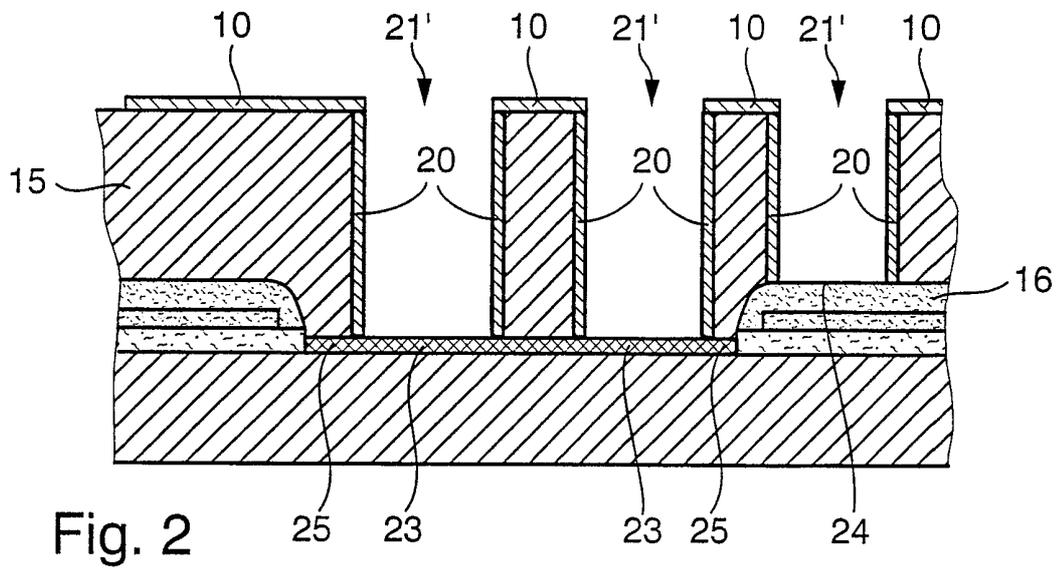
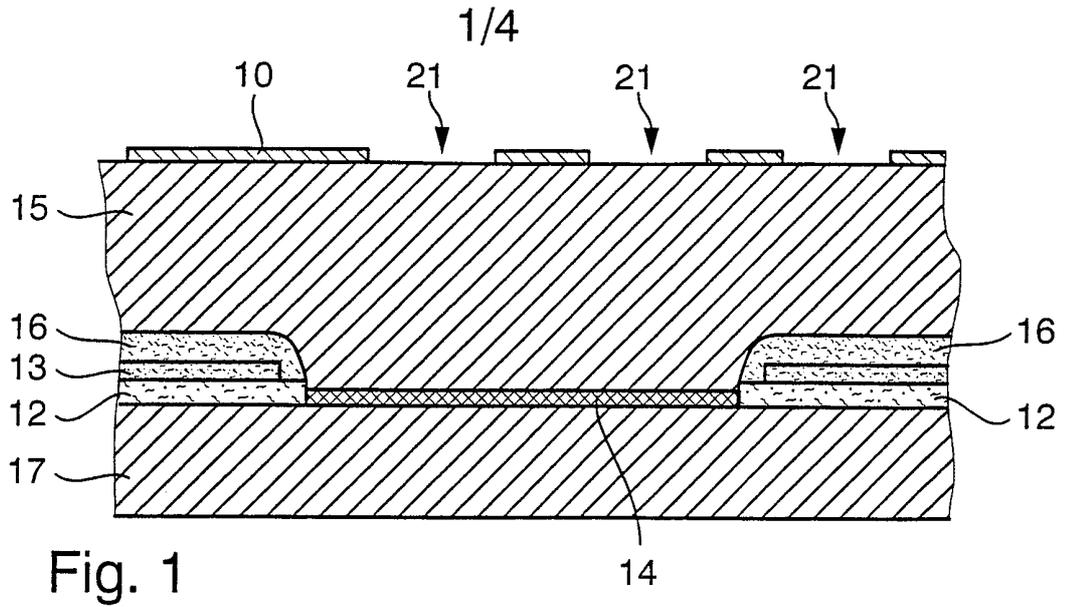
20 27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (17') aus Silizium, Epipolysilizium, Polysilizium oder leitfähigem und/oder dotiertem Polysilizium aufgewachsen wird.

25 28. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Trennschicht (14') aus thermisch aufgewachsenem Siliziumdioxid erzeugt wird.

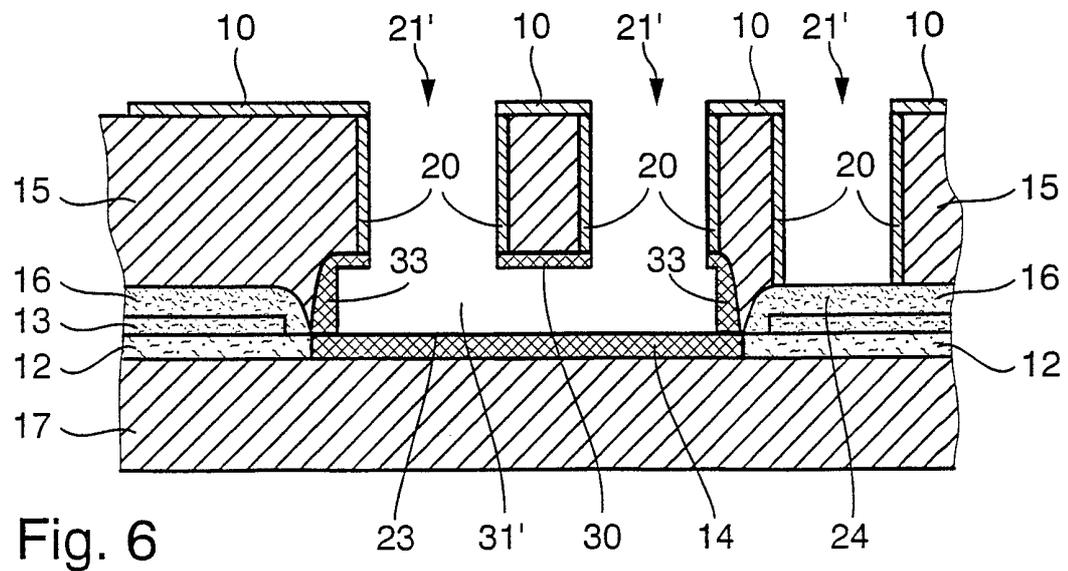
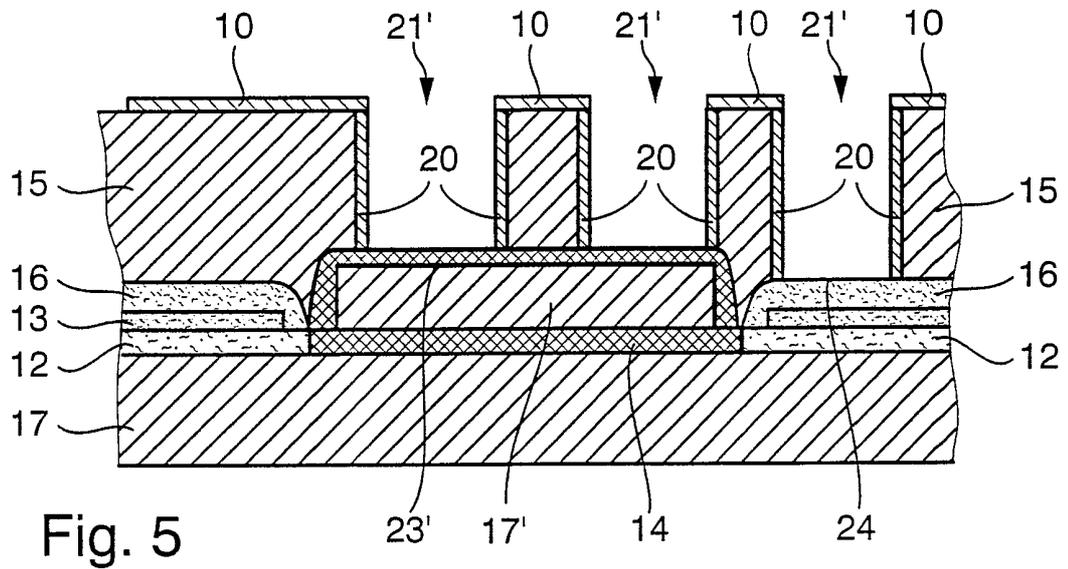
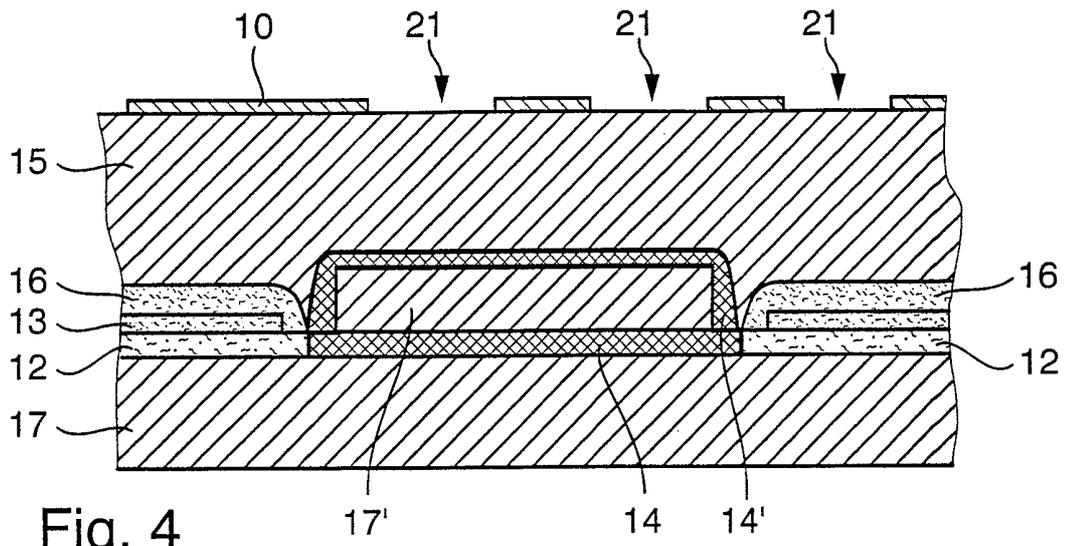
30 29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Trennschicht (14') eine Dicke von 10 nm bis 100 nm aufweist.

30. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 26 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (17') durch eine Strukturierung der weiteren Trennschicht (14') nicht vollständig von der weiteren Trennschicht (14') und von einem
5 Trennschichtabschnitt (14, 16) umgeben wird.

31. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche zur Herstellung von Sensorelementen mit freistehenden Strukturen (32).



2/4



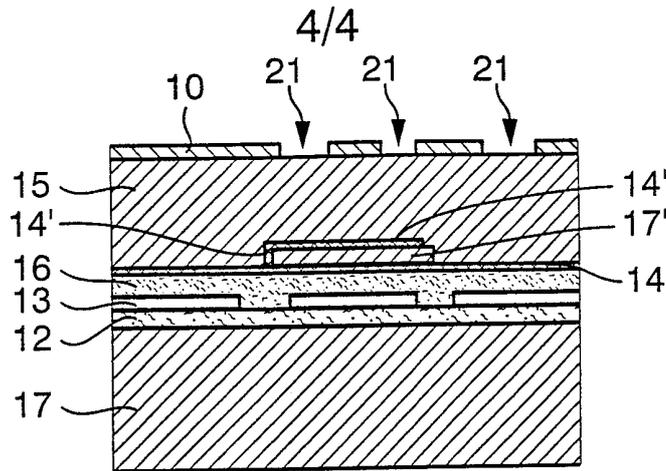


Fig. 8

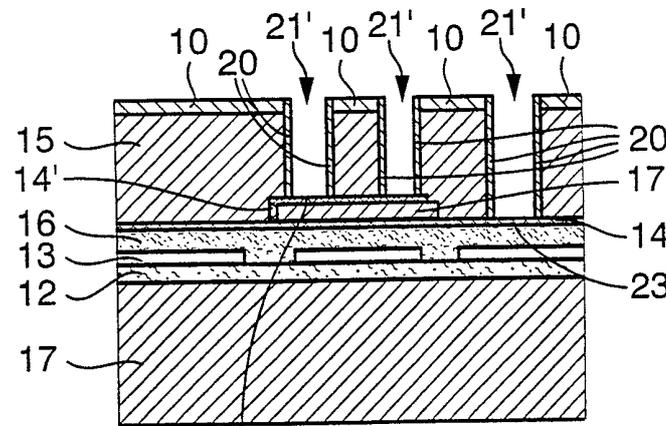


Fig. 9

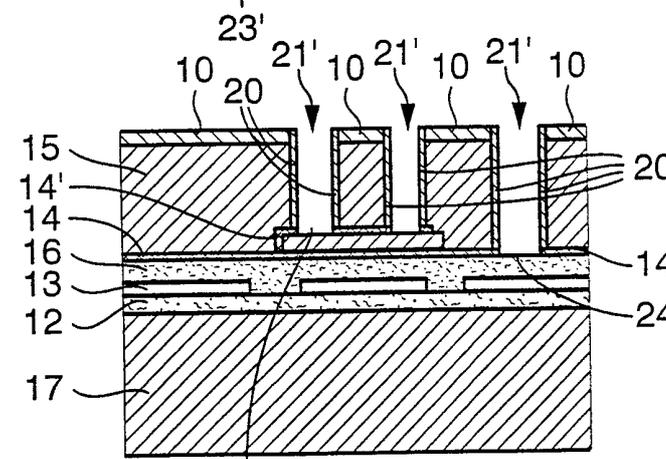


Fig. 10

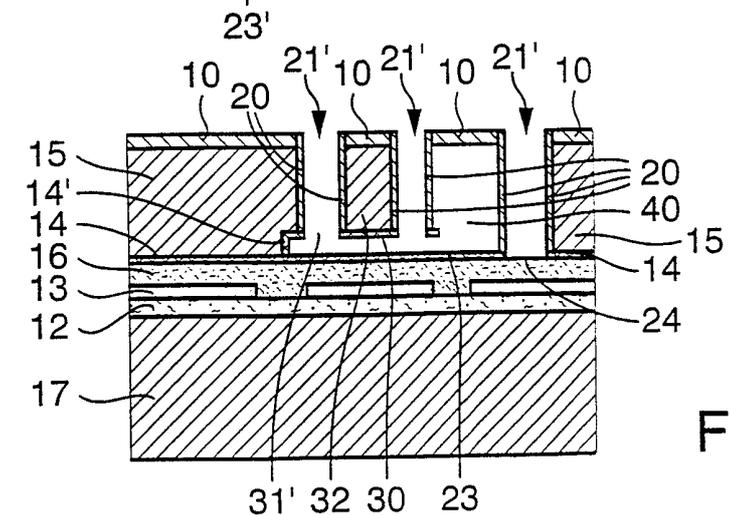


Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/03018

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B81B3/00

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B81B B82B G01P G01L

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category ^o | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------------------|---|---------------------------------|
| A | WO 97 49998 A (UNIV FRASER SIMON) 31 December 1997 (1997-12-31) page 5 -page 6; figures 3-6 --- | 1, 2, 4, 5, 9, 10, 22, 31 |
| A | DE 196 03 829 A (DAIMLER BENZ AG) 7 August 1997 (1997-08-07) column 6, line 10 - line 51; figure 4 --- | 1, 2, 4-6, 9, 10, 23, 31 |
| A | US 5 313 836 A (FUJII TETSUO ET AL) 24 May 1994 (1994-05-24) column 5, line 47 -column 6, line 51; figure 3 --- -/-- | 1, 2, 4, 5, 9, 26, 31 |

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

^o Special categories of cited documents :

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

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

Date of the actual completion of the international search

10 February 2000

Date of mailing of the international search report

21/02/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Szarowski, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/03018

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|----------|---|-----------------------|
| A | DE 44 20 962 A (BOSCH GMBH ROBERT) 21 December 1995 (1995-12-21) Anmelder column 2; figures 1-3 ----- | 1-3,9, 10,31 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

International Application No

PCT/DE 99/03018

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|------------------------------|--------------------------|
| WO 9749998 A | 31-12-1997 | AU 3162297 A | 14-01-1998 |
| DE 19603829 A | 07-08-1997 | NONE | |
| US 5313836 A | 24-05-1994 | JP 2811768 B JP 3049267 A | 15-10-1998 04-03-1991 |
| DE 4420962 A | 21-12-1995 | GB 2290413 A,B | 20-12-1995 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03018

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B81B3/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B81B B82B G01P G01L

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

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie ² | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------------------|---|----------------------------|
| A | WO 97 49998 A (UNIV FRASER SIMON) 31. Dezember 1997 (1997-12-31) Seite 5 -Seite 6; Abbildungen 3-6 --- | 1,2,4,5, 9,10,22, 31 |
| A | DE 196 03 829 A (DAIMLER BENZ AG) 7. August 1997 (1997-08-07) Spalte 6, Zeile 10 - Zeile 51; Abbildung 4 --- | 1,2,4-6, 9,10,23, 31 |
| A | US 5 313 836 A (FUJII TETSUO ET AL) 24. Mai 1994 (1994-05-24) Spalte 5, Zeile 47 -Spalte 6, Zeile 51; Abbildung 3 --- | 1,2,4,5, 9,26,31 |
| | -/-- | |

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

² Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

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

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

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

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Februar 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21/02/2000

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Szarowski, A

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03018

| C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN | | |
|--|--|--------------------|
| Kategorie | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
| A | DE 44 20 962 A (BOSCH GMBH ROBERT) 21. Dezember 1995 (1995-12-21) Anmelder Spalte 2; Abbildungen 1-3 ----- | 1-3,9, 10,31 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03018

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | Datum der Veröffentlichung |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| WO 9749998 A | 31-12-1997 | AU 3162297 A | 14-01-1998 |
| DE 19603829 A | 07-08-1997 | KEINE | |
| US 5313836 A | 24-05-1994 | JP 2811768 B | 15-10-1998 |
| | | JP 3049267 A | 04-03-1991 |
| DE 4420962 A | 21-12-1995 | GB 2290413 A,B | 20-12-1995 |