

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. Oktober 2002 (03.10.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/076880 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B81C 1/00**,
B81B 3/00

[DE/DE]; Stollenackerstrasse 3, 72124 Pliezhausen (DE). **WEBER, Heribert** [DE/DE]; Im Hoefle 28, 72622 Nuertingen (DE). **ARTMANN, Hans** [DE/DE]; Liebenzeller Weg 2/1, 71106 Magstadt (DE). **SCHAEFER, Frank** [DE/DE]; Otto-Erde-Weg 52, 72070 Tuebingen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/00883

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. März 2002 (13.03.2002)

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

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

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 14036.3 22. März 2001 (22.03.2001) DE

Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

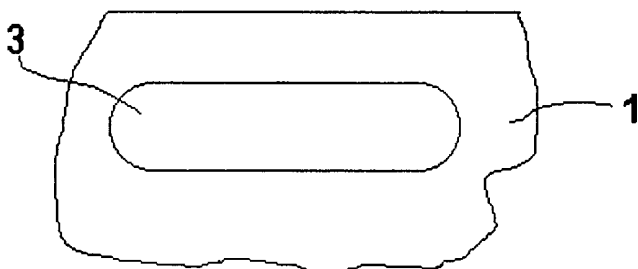
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BENZEL, Hubert**

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING MICROMECHANIC SENSORS AND SENSORS PRODUCED BY SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON MIKROMECHANISCHEN SENSOREN UND DAMIT HERGESTELLTE SENSOREN



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing micromechanic sensors, and the sensors produced thereby, in which openings (2) are made in a semiconductor substrate (1). A subsequent temperature treatment is carried out after the openings (2) have been made in the semiconductor substrate (1), converting said openings (2) into cavities in the depth of the substrate (1).

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Sensoren und damit hergestellte Sensoren vorgeschlagen, bei denen

in ein Halbleitersubstrat (1) Öffnungen (2) eingebracht werden. Nach dem Einbringen der Öffnungen (2) in das Halbleitersubstrat (1) erfolgt eine Temperaturnachbehandlung, bei der die Öffnungen (2) zu Hohlräumen in der Tiefe des Substrats (1) umgewandelt werden.

WO 02/076880 A2

5

10 Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Sensoren und
damit hergestellte Sensoren

Stand der Technik

15 Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung
von mikromechanischen Sensoren bzw. von damit hergestellten
mikromechanischen Sensoren nach der Gattung der unabhängigen
Patentansprüche. Aus einem Artikel von Mizushima et al.
Applied Physics Letter, Vol. 77, Nr. 20, 13. November 2000,
20 Seite 3290 ff. ist bereits ein Verfahren bekannt, bei dem
durch Einbringen von Öffnungen und einer nachfolgenden
Temperaturbehandlung Hohlräume im Halbleitersubstrat erzeugt
werden. Diese Strukturen sollen jedoch nur zur Verwendung
von integrierten Schaltungen Verwendung finden. Für die
25 Herstellung von Sensoren sind eine Vielzahl von anderen
Herstellungsprozessen, insbesondere die sogenannte
Opferschichttechnik bekannt. Dabei wird eine Siliziumschicht
auf einer Opferschicht erzeugt. Die Opferschicht wird dann
nach einer Strukturierung der Siliziumschicht wieder
30 entfernt.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des
35 unabhängigen Patentanspruchs hat demgegenüber den Vorteil,

dass ein besonders einfaches Verfahren zur Herstellung
mikromechanischer Sensoren angegeben wird. Die
mikromechanischen Sensoren bilden dabei Sensorelemente, die
aus einkristallinem Silizium ausgebildet sind. Weiterhin ist
5 das Verfahren zur Integration von Schaltungselementen
geeignet.

Weitere Vorteile und Verbesserungen ergeben sich durch die
Merkmale der abhängigen Patentansprüche. Um die sichere
10 Erzeugung eines Hohlraums zu gewährleisten, sollten die
eingebrachten Öffnungen tiefer sein als der Durchmesser,
vorzugsweise einen Durchmesser von weniger als 1 µm
aufweisen und tiefer als 2 µm sein. Durch ausreichend hohe
Temperaturen wird eine ausreichende Beweglichkeit der
15 Siliziumatome auf dem Substrat gewährleistet. Durch weitere
Bearbeitungsschritte werden dann die eigentlichen
Sensorelemente gebildet. Vorteilhaft ist dabei insbesondere
das Abscheiden einer Epitaxieschicht und das Einbringen von
Dotierstoffen.

20
Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden in den Zeichnungen
dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher
25 erläutert. Es zeigen
die Figuren 1 bis 4 eine erste Prozeßfolge und
die Figuren 5 bis 8 eine weitere Prozeßfolge zur Erzeugung
von Hohlräumen,
Figur 9 ein erstes Beispiel für einen erfindungsgemäßen
30 Sensor,
Figuren 10 bis 12 weitere Prozeßschritte zur Erzeugung eines
zweiten Beispiels eines erfindungsgemäßen Sensors,
Figur 13 ein weiteres Beispiel für einen erfindungsgemäßen
Sensor und
35 Figur 14 einen weiteren erfindungsgemäßen Sensor.

Beschreibung

In den Figuren 1 bis 4 wird eine Prozeßabfolge gezeigt, die das erfindungsgemäße Verfahren verdeutlicht. In der Figur 1 wird ein Querschnitt durch ein Siliziumsubstrat 1 gezeigt, in das eine Öffnung 2 eingebracht ist. Die Öffnung 2 ist als langes dünnes Sackloch ausgebildet, welches typischerweise einen Durchmesser von weniger als 1 µm hat und sich mehr als 1 µm in die Tiefe des Siliziumsubstrats 1 hinein erstreckt. Bei dem Siliziumsubstrat 1 handelt es sich insbesondere um ein einkristallines Siliziumsubstrat. Derartige Öffnungen 2 können durch reaktives Ionenätzen, d.h. Bestrahlen der Oberfläche des Siliziumsubstrats 1 mit Ionen eines Gases, die eine gasförmige chemische Verbindung mit dem Siliziummaterial eingehen, hergestellt werden. Üblicherweise wird dabei der Teil der Oberfläche des Siliziumsubstrats 1, der nicht geätzt werden soll, durch eine Maskierung beispielsweise aus Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Metallen oder Glasschichten geschützt. Alternativ können auch rein abtragende Plasmaätzverfahren verwendet werden.

Das Siliziumsubstrat 1, wie es in der Figur 1 im Querschnitt gezeigt wird, wird dann einer Temperaturbehandlung unterzogen. Dabei werden Temperaturen gewählt, bei denen es zu einer Umlagerung von Siliziumatomen kommen kann, d.h. Temperaturen von mehr als 900°C. Besonders geeignet ist beispielsweise eine Temperaturbehandlung von 1100°C. Vorzugsweise wird eine derartige Temperaturbehandlung in einer Wasserstoffatmosphäre durchgeführt, weil sich so Oxide, die sich auf der Oberfläche des Siliziums 1 bilden, von der Oberfläche des Siliziums 1 bzw. von den Wänden der Öffnung 2 entfernen lassen. Durch die hohen Temperaturen wird die Beweglichkeit der Siliziumatome erhöht, so dass eine Umlagerung so erfolgt, dass die Oberfläche des

Siliziums verringert wird. Wie in der Figur 2 zu erkennen ist führt dies dazu, dass sich im oberen Bereich der Öffnung 2, d.h. in dem Bereich, der der Oberfläche des Siliziumsubstrats 1 sehr nahe ist, eine Verringerung des Durchmessers der Öffnung 2 ergibt und in einem unteren Bereich der Öffnung 2 eine Ausbauchung. Wenn dieser Prozeß eine Weile fortgeführt wird, so ergibt sich die Situation wie sie in der Figur 3 gezeigt wird, d.h. auf der Oberfläche des Siliziumsubstrats 1 ist noch eine leichte Vertiefung vorhanden, während im Inneren des Siliziumsubstrats 1 ein Hohlraum 3 gebildet wird. Eine derartige Bildung eines Hohlraums 3 erfolgt jedoch nur, wenn die Öffnung 2, wie sie in der Figur 1 gezeigt wird, ausreichend tief und ausreichend eng ist. Andernfalls ist es zur Minimierung der Oberflächenspannung energetisch günstiger, wenn sich nur eine Vertiefung 4 bildet. Die Öffnung 2 muß somit ausreichend tief sein und der Querschnitt muß ausreichend gering sein. Mindestens ist es erforderlich, dass die Tiefe der Öffnung 2 in das Siliziumsubstrat 1 hinein größer ist als der Durchmesser der Öffnung 2 an der Oberfläche. In der Figur 3 ist bezüglich der Oberfläche noch nicht ein minimaler Zustand erreicht. Die Oberfläche des Siliziumsubstrats 1 weist immer noch eine Vertiefung 4 auf und der Hohlraum 3 weist noch eine ovale Gestalt auf. Durch Fortführung der Temperaturbehandlung wird dieser Zustand jedoch noch weiter verändert und es bildet sich dann ein nahezu kugelförmiger Hohlraum 3 aus über dem auch keine Vertiefung 4 mehr angeordnet ist. Dieser Zustand wird in der Figur 4 gezeigt.

Es ist somit möglich, durch Einbringen einer Öffnung 2 und einer nachfolgenden Temperaturbehandlung in einem Siliziumsubstrat 1 einen Hohlraum 3 zu schaffen.

Der erfindungsbemäße Prozeß ist nicht nur auf
einkristallines Silizium beschränkt, sondern kann ebenso in
anderen Halbleitermaterialien wie z. Bsp. GaAs durchgeführt
werden. Weithin kann auch polykristallines
5 Halbleitermaterial verwendet werden. Halbleiter bieten den
Vorteil, dass durch weitere Bearbeitungsschritte leitende
und nichtleitende Bereiche erzeugt werden können, wie dies
für die Herstellung von Sensoren erforderlich ist.

10 Wenn in dem Hohlraum ausschließlich Wasserstoff
eingeschlossen ist, so wird durch eine weitere
Temperaturbehandlung ein gutes Vakuum erzeugt, da der
Wasserstoff dann leicht durch das Silizium
herausdiffundiert. Dies ist insbesondere für Drucksensoren
15 interessant, da so ein Referenzvakuum geschaffen wird.
Weitere Temperaturbehandlungen ergeben sich z. Bsp. durch
das Einbringen und Tempern von Dotierstoffen.

In den Figuren 5 bis 8 wird gezeigt, wie mit diesem
20 Verfahren eine Membran erzeugt werden kann, die über einem
Hohlraum angeordnet ist. In der Figur 5 wird ein Querschnitt
durch ein Siliziumsubstrat 1 gezeigt, in dem eine Vielzahl
von Öffnungen 2, die als enge tiefe Sacklöcher ausgebildet
sind, eingebracht sind. In der Figur 7 wird eine Aufsicht
25 auf das Substrat nach der Figur 5 gezeigt. Wie in der Figur
7 zu erkennen ist, sind eine Vielzahl von Öffnungen 2 im
engen Abstand zueinander angeordnet, wobei der Abstand der
Öffnungen 2 in etwa dem Durchmesser der Öffnungen 2
entspricht. Wenn ausgehend von den Figuren 5 und 7 eine
30 Temperaturbehandlung erfolgt, so erfolgt ausgehend von jeder
der Öffnungen 2 eine Umlagerung von Siliziumatomen, wie sie
zu den Figuren 1 bis 4 beschrieben wurde. Das Ergebnis ist
ein zusammenhängender großflächiger Hohlraum 3, wie er in
der Figur 6 in einem Querschnitt durch das Siliziumsubstrat
35 1 gezeigt wird. Über dem flächigen Hohlraum 3 ist ein

Membranbereich 4 angeordnet, der aus einer dünnen Schicht Silizium besteht. Wenn es sich bei dem Siliziumsubstrat 1 um ein einkristallines Siliziumsubstrat handelt, so erfolgt auch die Bildung dieser Membran 4 wiederum durch
5 einkristallines Silizium, da die Siliziumatome sich bei der Umlagerung wieder an den entsprechenden Kristallgitterplätzen anordnen. Es bleibt somit die einkristalline Struktur des Siliziumsubstrats 1 auch in dem Membranbereich 4 über dem Hohlraum 3 erhalten. In der Figur
10 8 wird eine Aufsicht gezeigt, wobei in einer Aufsicht natürlich der Hohlraum 3 nicht zu erkennen ist. Der in der Figur 8 dargestellte flächige Hohlraum 3 ist daher in der Aufsicht nicht zu sehen, er ist aber in der Figur 8 trotzdem dargestellt, um eine Vorstellung zu geben, wie ausgehend von
15 den in der Figur 7 sichtbaren Öffnungen 2 ein Hohlraum 3 in der Tiefe des Siliziumsubstrats ausgebildet wird.

Bei der Anordnung der Öffnungen 2, wie sie in den Figuren 5 und 7 gezeigt wird, besteht ein Zusammenhang zwischen
20 Durchmesser der Öffnungen 2, Abstand der Öffnungen 2 zueinander und der Tiefe der Öffnungen 2. Je tiefer die Öffnungen 2 in das Siliziumsubstrat 1 eingebracht sind, umso weiter darf der Abstand zwischen benachbarten Öffnungen 2 in der Figur 7 sein, um noch einen durchgehenden Hohlraum 3 zu
25 schaffen, wie er in der Figur 8 dargestellt ist. Die genauen Größenverhältnisse zwischen Durchmesser der Öffnungen 2, Abstand der Öffnungen 2 zueinander und Tiefe der Öffnungen 2 muß gegebenenfalls experimentell ermittelt werden und kann auch noch von weiteren Parametern beispielsweise der
30 Temperatur der Temperaturbehandlung, eventuell eingebrachte Dotierstoffe, Zusammensetzung eines Schutzgases während der Temperaturbehandlung und dergleichen abhängen.

Um ausgehend von den in den Figuren 1 bis 8 geschilderten
35 Verfahren zu Sensorstrukturen zu gelangen, ist jedoch noch

eine weitere Bearbeitung des Siliziumsubstrats 1 erforderlich.

In der Figur 9 wird ein erstes Beispiel für einen
5 erfindungsgemäßen Sensor gezeigt, der von einem
Siliziumsubstrat 1, wie es in den Figuren 6 und 8
dargestellt ist, ausgeht. Das Siliziumsubstrat 1 weist einen
Hohlraum 3 und darüber angeordnet einen Membranbereich 4
auf. Ausgehend von dem Siliziumsubstrat 1, wie es
10 beispielsweise in den Figuren 6 bis 8 gezeigt wird, wird
eine Epitaxieschicht 11 aufgebracht, die die gesamte
Oberseite des Siliziumsubstrats 1 inklusive des
Membranbereichs 4 bedeckt. Da das Siliziumsubstrat 1
einkristallin ist und auch die einkristalline
15 Siliziumstruktur im Bereich der Membran 4 vorhanden ist,
wächst die Epitaxieschicht 11 einkristallin auf. Typische
Dicken für eine derartige Epitaxieschicht 11 liegen in der
Größenordnung von einigen μm bis zu einigen $10 \mu\text{m}$. Auf der
Oberseite der Epitaxieschicht 11 werden dann durch übliche
20 Prozesse Dotierstoffe eingebracht. Beispielsweise können
Dotierungszonen 12 für piezoresistive Widerstandselemente
eingebracht werden, die dann mittels stark dotierten
Zuleitungszonen 13 mit Kontaktöffnungen 14 einer
Passivierungsschicht 15 verbunden sind. Die piezoresistiven
25 Widerstandselemente 12 werden dabei so angeordnet, dass sie
in der Epitaxieschicht 11 in den Randbereichen des Hohlraums
3 angeordnet sind. Durch die stark dotierten
Zuleitungselemente 13 können an den Kontaktöffnungen 14 dann
über Metallleiterbahnen (nicht gezeigt) elektrische Signale
30 abgegriffen werden, insbesondere kann der elektrische
Widerstand der piezoresistiven Elemente 13 gemessen werden.
Aufgrund ihrer Anordnung relativ zum Hohlraum 3 sind die
piezoresistiven Elemente 12 in Bereichen gelegen, in denen
starke mechanische Spannungen auftreten, falls es zu einer
35 Verformung der Epitaxieschicht 11 und des Membranbereichs 4

über dem Hohlraum 3 kommt. Eine derartige Verformung kann beispielsweise dadurch entstehen, dass der Umgebungsdruck von dem im Hohlraum 3 eingeschlossenen Druck abweicht. Es wird somit eine Vorrichtung geschaffen, die eine Änderung des Umgebungsdrucks relativ zum Druck im Hohlraum 3 nachweist, d.h. es handelt sich um einen Drucksensor. Durch metallische Leitschichten auf der Oberseite der Passivierungsschicht 15 können die elektrischen Signale der piezoresistiven Elemente 12 einer Auswerteschaltung 20 zugeführt werden, die ebenfalls in der Epitaxieschicht 11 und im Siliziumsubstrat 1 ausgebildet ist. Aus Vereinfachungsgründen sind die metallischen Leiterbahnen auf der Oberseite der Passivierungsschicht 15 nicht dargestellt. Ebenso sind die elektrischen Auswerteschaltungen durch die Diffusionszonen 21, 22 und 23 nur angedeutet und entsprechen in keiner Weise realen Schaltungselementen. Durch die vergrabene Dotierungszone 21 ist bereits vor der Abscheidung der Epitaxieschicht 11 Dotierstoff in die Oberseite des Siliziumsubstrats 1 eingebracht worden. Bei den Dotierungszonen 22 und 23 handelt es sich um übliche Dotierungszonen, wie sie bei der Herstellung von herkömmlichen Halbleiterelementen eingebracht werden. Dabei werden Prozesse genutzt, die auch zur Herstellung der piezoresistiven Elemente 12 und der stark dotierten Zuleitungen 13 genutzt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung des Hohlraums 3 lässt sich problemlos mit den üblichen Verfahren zur Herstellung von Halbleiterstrukturen verwenden, so dass sowohl die Hohlräume 3 wie auch herkömmliche Schaltungselemente 20 in ein- und derselben Prozeßfolge geschaffen werden können.

In den Figuren 10, 11 und 12 wird ein weiteres Herstellungsverfahren für einen Drucksensor gezeigt. In Ergänzung zu den Verfahrensschritten wie sie in den Figuren 1 bis 8 beschrieben wurden, wird jedoch zusätzlich noch vor

und nach der Erzeugung des Hohlraumes 3 Dotierstoff in das Siliziumsubstrat 1 eingebracht. Ausgegangen wird dabei von einem homogen dotierten Siliziumsubstrat, beispielsweise einem p-dotierten Siliziumsubstrat, in dem dann eine

5 Dotierung 30 vom entgegengesetzten Typ, beispielsweise eine n-Dotierung eingebracht wird. Es werden dann die Öffnungen 2 wie in den Figuren 5 bis 7 eingebracht, wobei sich der Bereich, in dem Öffnungen 2 angeordnet sind, sowohl in dem p-dotierten Substrat 1 wie auch in der eingebrachten n-

10 Dotierung 30 erstreckt. Die Tiefe der Öffnungen 2 ist geringer als die Tiefe der Dotierung 30, so dass sich unter den Öffnungen 2 noch die Dotierung 30 befindet. Dieser Zustand wird in der Figur 10a gezeigt. Durch die Temperaturbehandlung wird dann ein Hohlraum 3 geschaffen,

15 der sich im Inneren des Substrats 1 erstreckt und der die eingebrachte n-Dotierung 30 waagrecht durchschneidet, so dass das Silizium oberhalb und unterhalb des Hohlraums 3 eine n-Dotierung aufweist. Der Hohlraum 3 durchschneidet sozusagen den Dotierungsbereich in waagrechter Richtung. Es

20 wird somit eine obere Dotierung 31 und eine untere Dotierung 32 geschaffen. Durch Einbringung einer Umdotierungszone 33 in die n-dotierten Zonen, d.h. durch Einbringen einer großen Anzahl von p-Dotierungsstoffen, können dann die obere n-Dotierung 31 und die untere n-Dotierung 32 elektrisch

25 gegeneinander isoliert werden. In der Figur 10b wird ein Querschnitt durch das so geschaffene Siliziumsubstrat 1 gezeigt, bei dem eine obere n-Dotierung 31 durch den Hohlraum 3 und die Umdotierungszone 33 gegen die untere n-Dotierung 32 elektrisch isoliert ist. In der Figur 11 wird

30 eine Aufsicht auf die Figur 10b gezeigt. Wie zu erkennen ist, ist die Umdotierung 33 so angeordnet, dass sie elektrisch zwischen der n-Dotierung 32 und der n-Dotierung 31 angeordnet ist. Alternativ kann die Umdotierung 33 auch so angeordnet werden, dass sie die obere n-Dotierung 31

35 vollständig umfasst. Weiterhin wird in den Figuren 10 und 11

noch eine Dotierungszone 21 für eine vergrabene Dotierungszone gezeigt, wie sie für die Herstellung von Bipolarschaltkreisen üblich ist.

5 Ausgehend von den Figuren 10 und 11 erfolgt dann das
Aufbringen einer n-dotierten Epitaxieschicht 11, um zu einem
Sensorelement zu gelangen. Dabei werden in die
Epitaxieschicht 11 tiefe Kontaktierungen 35 und 36
10 eingebracht, die ebenfalls n-dotiert sind. Die
Tiefenkontaktierung 35 ist dabei so angeordnet, dass die
obere n-Dotierung 31 elektrisch kontaktiert wird, die
Tiefenkontaktierung 36 so, dass die untere n-Dotierung 32
elektrisch kontaktiert wird. Zur gegenseitigen elektrischen
15 Isolierung werden um die Tiefenkontaktierung 36 und um die
obere n-Dotierung 31 p-dotierte Isolationsringe 37 erzeugt.
Auf der Oberseite wird dann wieder eine Passivierungsschicht
15 aufgebracht, in die Kontaktöffnungen 14 eingebracht sind.
Die Kontaktöffnungen 14 sind so angebracht, dass durch nicht
dargestellte oberflächliche Metallfilme eine Kontaktierung
20 der Tiefenkontaktierungen 35 erfolgt, so dass eine
oberflächliche elektrische Verbindung zu ebenfalls in dem
Halbleitersubstrat 1 und der Epitaxieschicht 11
ausgebildeten Schaltungselementen 20 hergestellt werden
kann. Die Halbleiterschaltungselemente 20 sind wiederum
25 durch die vergrabene Dotierungszone 21 und weitere
Dotierungszonen 22 und 23 nur schematisch dargestellt.

Die Vorrichtung wie sie in der Figur 12 gezeigt wird stellt
einen kapazitiven Drucksensor dar. Bei einem
30 Druckunterschied zwischen dem Hohlraum 3 und einer Umgebung
kommt es zu einer Verformung der Epitaxieschicht 11 und des
über dem Hohlraum 3 angeordneten Bereichs des
Halbleitersubstrats 1. Dadurch ändert sich der Abstand
zwischen der oberen Dotierungszone 31 und der unteren
35 Dotierungszone 32. Da diese beiden Zonen elektrisch

voneinander isoliert sind, bilden sie einen
Plattenkondensator, dessen Kapazität von dem Abstand der
Dotierungszonen 31 und 32 abhängt. Durch die
Tiefenkontaktierungen 35 und 36 lässt sich diese Kapazität
5 durch eine entsprechende Auswerteschaltung nachweisen. Es
kann so durch Messung der Kapazität geschlossen werden, wie
stark die Verformung der Epitaxieschicht 11 bzw. des
Halbleitersubstrats 1 ist und es kann so festgestellt
werden, wie das Verhältnis des Umgebungsdrucks relativ zum
10 Druck im Hohlraum 3 ist. Das kapazitive Meßprinzip ist
besonders vorteilhaft, da es besonders temperaturunabhängig
ist. Weiterhin lassen sich die Kapazitäten durch unmittelbar
in der Nähe angeordnete Schaltkreise besonders gut
auswerten.

15

In der Figur 13 wird ein weiteres Ausführungsbeispiel für
einen erfindungsgemäßen Sensor gezeigt. Ausgehend von einem
Substrat 1 wie es in den Figuren 6 und 8 dargestellt ist,
wird eine Epitaxieschicht 11 aufgebracht. Dabei wird ein
20 Bereich oberhalb der Membran 3 mit einer starken Dotierung
50 versehen, so dass die Epitaxieschicht 11 in diesem
Bereich stark leitend ist. Weiterhin werden starke
oberflächliche Dotierungen 52 eingebracht, die als
elektrische Zuleitungen zu Kontaktlöchern 14 in einer
25 Passivierungsschicht 15 dienen. Danach erfolgt ein
Einbringen von Gräben 51 durch einen Ätzprozeß, der sich von
der Oberseite der Epitaxieschicht 11 bis in den Hohlraum 3
erstreckt. Es werden so Balkenstrukturen 55 geschaffen, die
geometrisch so ausgelegt werden können, dass sie
30 beispielsweise durch eine Beschleunigung parallel zur
Oberfläche des Substrats 1 bewegt werden können. Weiterhin
können in nicht dargestellten Randbereichen auch Maßnahmen
zur Isolierung dieser Balkenstrukturen 55 untereinander und
relativ zur Epitaxieschicht 11 ausgebildet werden. Es ist so
35 möglich, zwischen den Balkenstrukturen bzw. zwischen den

Balkenstrukturen 55 und dem Rest der Epitaxieschicht 11 Kapazitäten zu messen, die davon abhängen, wie sehr die Balkenstrukturen 55 verformt sind. Diese kapazitiven Signale können dann über die oberflächlich dotierten Leitschichten 52 und Kontaktöffnungen 14 mittels nicht dargestellter metallisierter Leiterbahnen wiederum elektronischen Schaltungen 20 zugeführt werden, die ebenfalls in der Epitaxieschicht 11 ausgebildet sind. Es wird so ein kapazitiver Kraftsensor, beispielsweise ein Beschleunigungssensor, geschaffen.

In der Figur 14 wird ein weiteres Beispiel für einen Sensor gezeigt, der von einem Substrat nach den Figuren 6 und 8 ausgeht. Aus einer oberen Siliziumschicht, die entweder nur aus der Membranschicht 4 gebildet ist, wie sie in der Figur 6 gezeigt wird, oder aber aus einer entsprechenden Epitaxieschicht 11 besteht, ist ein bewegliches Element herausstrukturiert worden, in dem Gräben 51 eingebracht sind, die bis zum Hohlraum 3 reichen. Die Grenzen des Hohlraums 3 werden durch die gestrichelte Linie 62 in der Aufsicht auf das Siliziumsubstrat 1 in der Figur 14 dargestellt. Durch die Gräben 51 ist aus der oberen Siliziumschicht eine seismische Masse 71 herausgebildet worden, die an vier Balkenelementen 72 aufgehängt ist. Auf jedem der Balkenelemente 72 sind piezoresistive Elemente 73 angeordnet. Durch diese piezoresistiven Elemente 73 lässt sich eine Einwirkung einer Kraft, insbesondere einer Beschleunigungskraft, die auf die seismische Masse 71 wirkt, nachweisen. Beim Einwirken einer Kraft auf die Masse 71 werden nämlich die Aufhängarme 72 verformt und es lassen sich entsprechende Widerstandsänderungen in den piezoresistiven Elementen 73 nachweisen. Es können hier sowohl Kräfte nachgewiesen werden, die senkrecht auf dem Substrat 1 stehen wie auch Kräfte, die parallel zur Oberfläche des Substrats sind.

Vorteilhaft an den Sensoren wie sie in den Figuren 9 bis 14
gezeigt werden ist, dass die Sensorstrukturen alle aus
einkristallinem Silizium bestehen. Es lassen sich somit
5 piezoresistive Widerstandselemente mit hoher Präzision und
Langzeitbeständigkeit einbringen. Weiterhin sind bewegliche
Elemente aus einkristallinem Silizium besonders hochwertig
und zeigen nur geringe Alterungserscheinungen. Weiterhin ist
das erfindungsgemäße Verfahren vollständig mit üblichen
10 Halbleiterherstellungsprozessen integrierbar, so dass auf
dem gleichen Substrat sowohl Bipolarschaltkreise wie auch
CMOS-Schaltkreise integriert werden können. Es lassen sich
so auf einem Substrat Sensorelemente und
Halbleiterschaltungselemente gemeinsam integrieren.
15 Weiterhin werden nur übliche Halbleiterherstellungsprozesse
verwendet.

5

Ansprüche

- 10 1. Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Sensoren,
eingbracht werden und nachfolgend eine Temperaturbehandlung
erfolgt, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrischen
Abmessungen der Öffnungen (2) und die Temperatur- und
Zeitdauer der Temperaturbehandlung so gewählt werden, dass
15 sich in der Tiefe des Substrats (1) ein Hohlraum (3)
ausbildet.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
sich die Öffnungen (2) ausgehend von einer Oberfläche des
Halbleitersubstrats (1) mit einer Tiefe in das
Halbleitersubstrat (1) hinein erstrecken und dass die
Seitenwände der Öffnungen (2) einen Abstand aufweisen, der
geringer ist als die Tiefe der Öffnungen (2).
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
die Öffnungen (2) an der Oberfläche des Halbleitersubstrats
(1) in einer Richtung geringer sind als ein μm und eine
Tiefe von mehr als 2 μm aufweisen.
- 30 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturbehandlung mit
Temperaturen von höher als 900°C vorzugsweise von mehr als
1000°C erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass weitere Bearbeitungsschritte zur Ausbildung der Sensoren erfolgen.

5 6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass als weiterer Prozeßschritt eine Epitaxieschicht (11) auf der Oberfläche des Halbleitersubstrats (1) abgeschieden wird.

10 7. Verfahren nach den Ansprüchen 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass vor oder nach dem Abscheiden der Epitaxieschicht (11) Dotierstoffe zur Dotierung von Halbleitermaterial eingebracht werden.

15 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass durch Dotierstoffe piezoresistive Elemente (12, 73) in einkristallinem Halbleitermaterial gebildet werden.

20 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Einbringen der Öffnungen (2) Dotierstoffe in das Halbleitersubstrat (1) eingebracht werden.

25 10. Sensorelement, welches nach einem der Verfahren 1 bis 9 hergestellt ist, dadurch gekennzeichnet, dass über dem Hohlraum (3) eine obere Dotierungsschicht (31) und unter dem Hohlraum (3) eine untere Dotierungsschicht (32) vorgesehen sind, die gegeneinander durch einen pn-Übergang isoliert sind.

30 11. Sensor, der nach einem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 9 hergestellt ist, dadurch gekennzeichnet, dass über dem Hohlraum (3) Grabenstrukturen (51) in den Halbleiter eingebracht sind, die sich von einer Oberfläche bis zum Hohlraum (3) erstrecken.

35

12. Sensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Gräben (51) Balkenstrukturen (55) geschaffen werden, die parallel zur Oberfläche des Substrats (1) beweglich sind.

5

13. Sensor nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Balkenstrukturen (55) Seitenwände aufweisen, die durch Einbringen von Dotierstoffen leitend ausgelegt sind.

1/4

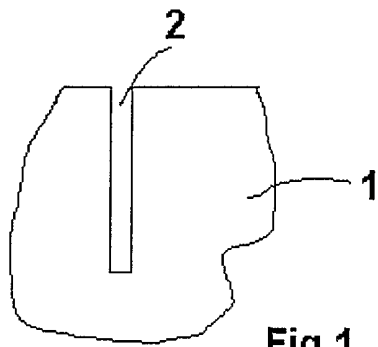


Fig. 1

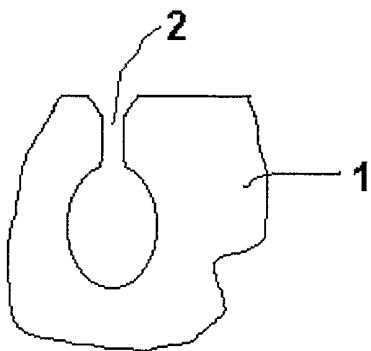


Fig. 2

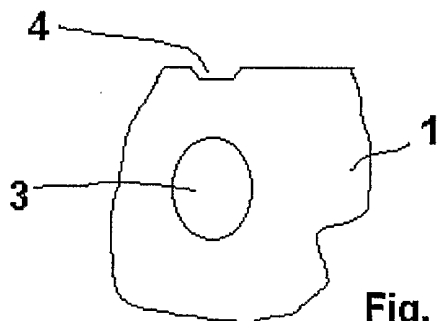


Fig. 3

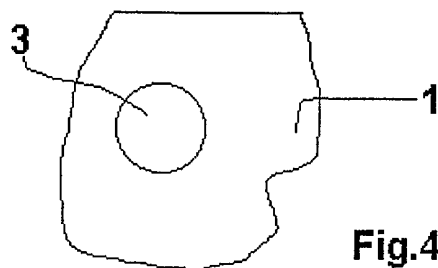
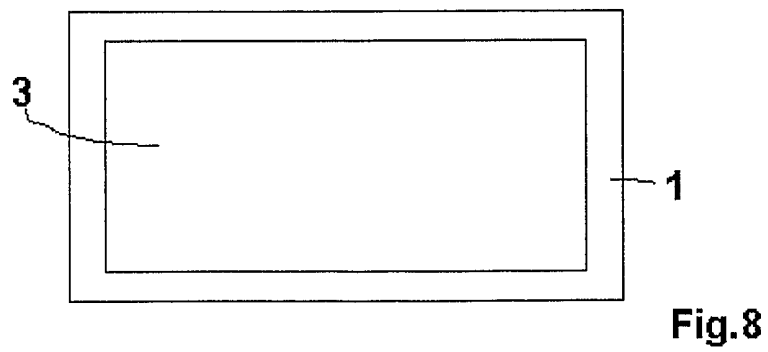
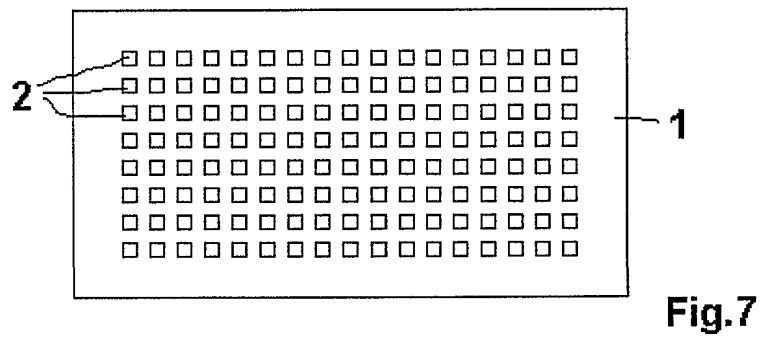
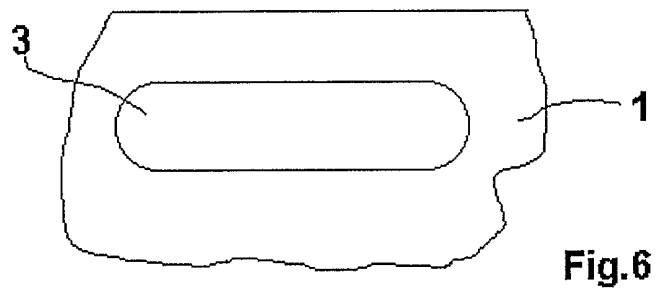
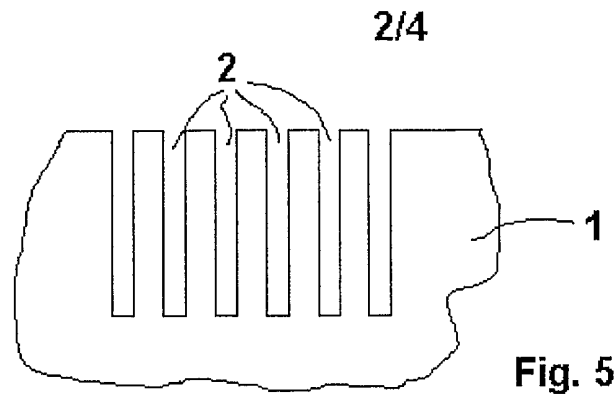


Fig. 4



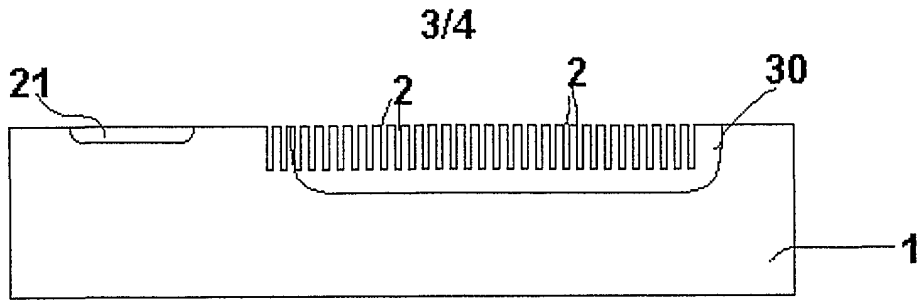


Fig. 10 a

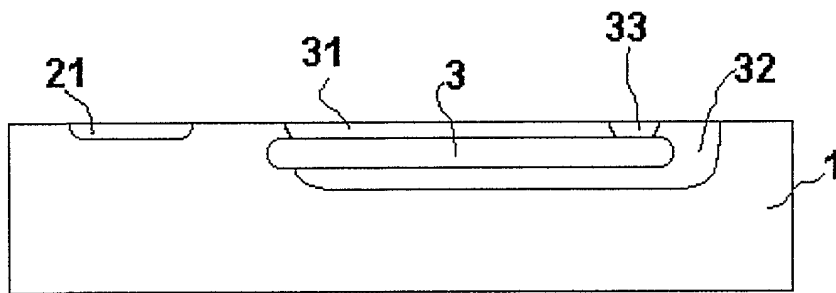


Fig. 10 b

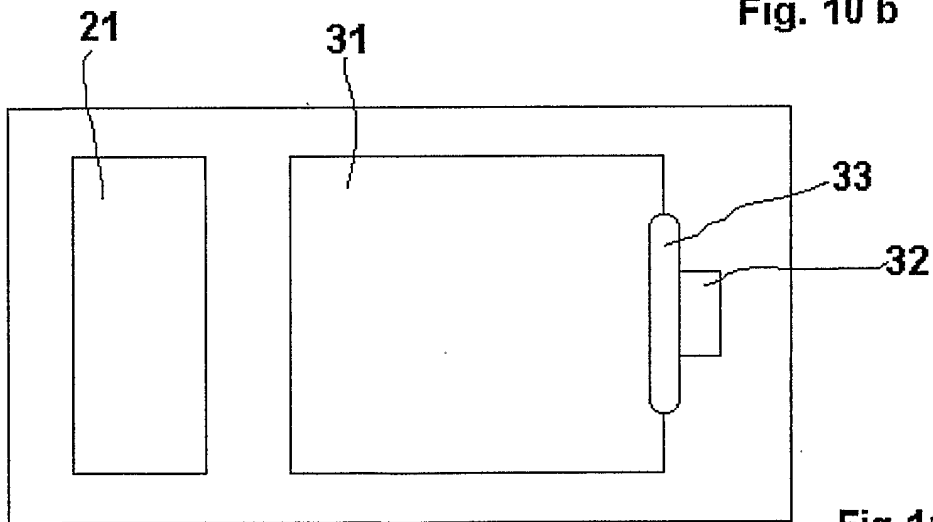


Fig. 11

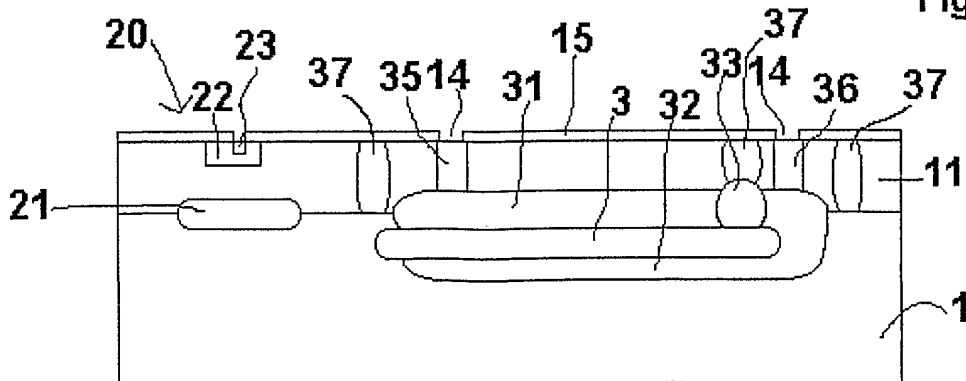


Fig. 12

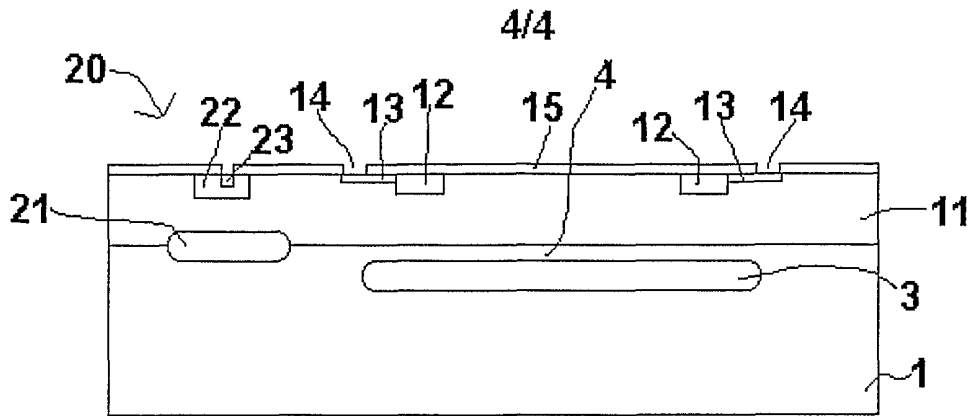


Fig. 9

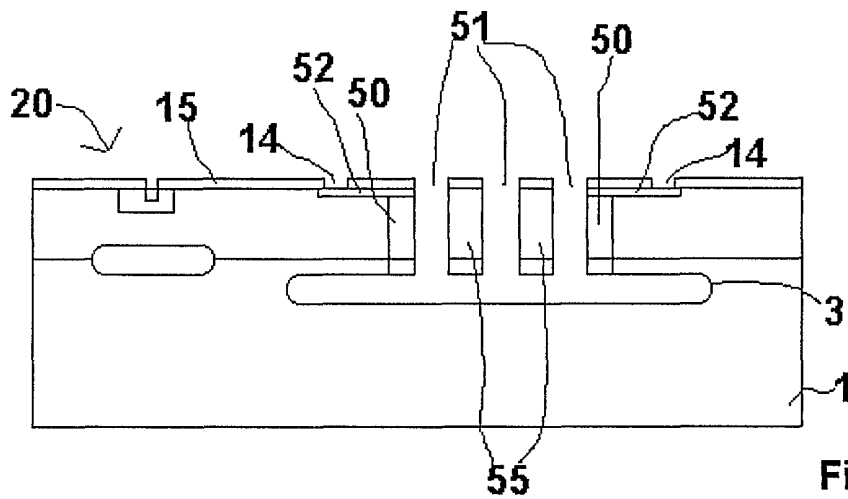


Fig.13

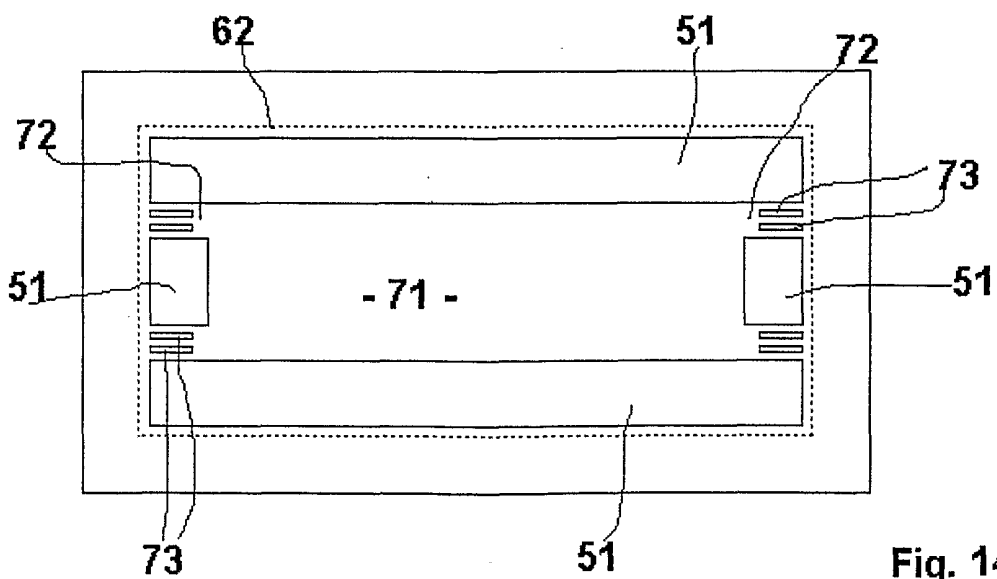


Fig. 14