



⑪ CH 681921 A5

⑯ Int. Cl. 5: G 01 P 15/02  
G 01 L 1/26  
H 01 L 49/00

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT A5**

⑯ Gesuchsnr.: 1122/91

⑬ Inhaber:  
Robert Bosch GmbH, Stuttgart 10 (DE)

⑯ Anmeldungsdatum: 15.04.1991

⑯ Priorität(en): 22.05.1990 DE 4016472

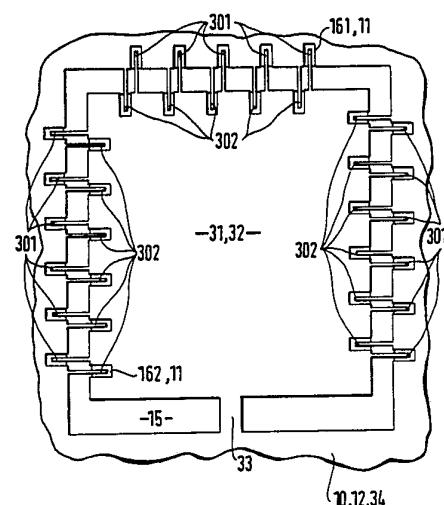
⑭ Erfinder:  
Bantien, Frank, Dr., Ditzingen (DE)  
Findler, Guenther, Stuttgart 80 (DE)

⑯ Patent erteilt: 15.06.1993

⑯ Vertreter:  
Dipl.-Ing. Martin Schnoz, Solothurn

⑯ **Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Sensoren mit Ueberlastsicherung.**

⑯ Es wird ein Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Sensoren, insbesondere von Beschleunigungssensoren, mit Überlastsicherung vorgestellt. Der Sensor weist mindestens ein Paddel (31) mit mindestens einer seismischen Masse und einen das mindestens eine Paddel umgebenden Rahmen (34) auf. Die Überlastsicherung besteht aus Fingern (301) oder Balken, die von der Oberfläche des Paddels ausgehend in Ausnehmungen (161) des Rahmens ragen, und/oder aus Fingern (302) oder Balken, die von der Oberfläche des Rahmens ausgehend in Ausnehmungen (162) in der Oberfläche des Paddels ragen. Die Struktur des Rahmens und des Paddels wird durch Trockenätzprozesse und/oder nasschemische Ätzprozesse aus einem monokristallinen Siliziumwafer herausstrukturiert, und zwar durch einen strukturierenden Trenchprozess in Verbindung mit einer Unterätzung.



CH 681921 A5

## Beschreibung

### Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Sensoren mit Überlastsicherung nach der Gattung des Hauptanspruchs.

Aus der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung P 4 000 496 ist bekannt, dass in Halbleiterwafern mit Hilfe der Fotomaskierungstechnik in Verbindung mit chemischen Ätzprozessen Strukturen herausätzbar sind. Insbesondere lassen sich Finger oder Balken durch isotropes nasschemisches Unterätzen von Stegen freilegen.

Aus «Nova Sensor News», September 1988, Nummer 2, Seite 3, ist ein Beschleunigungssensor bekannt, der aus zwei strukturierten Siliziumwafern besteht, die gegeneinander gebondet sind. Aus dem einen Siliziumwafer ist ein Beschleunigungsaufnehmer in Form eines Paddels mit einer seismischen Masse, das senkrecht zur Waferoberfläche auslenkbar ist, herausstrukturiert. Der auf das Paddel gebondete zweite Wafer weist fingerförmige Auslenkungsbegrenzer auf, die in Ausnehmungen des Paddels umgebenden Rahmens hineinragen, wodurch eine zu starke Auslenkung in eine Richtung vermieden wird. Eine zu starke Auslenkung in die andere Richtung wird durch die fingerförmigen Auslenkungsbegrenzer des zweiten Siliziumwafers, die vom Rahmen in Ausnehmungen des Paddels hineinragen, verhindert. Die Herstellung eines solchen Sensors erfordert zum einen die Strukturierung von zwei Siliziumwafern und zum anderen einen bei hohen Temperaturen und/oder grossen elektrischen Feldstärken ablaufenden Bondprozess. Es ist deshalb nicht sinnvoll, dieses Verfahren auf Siliziumwafer anzuwenden, auf denen schon Schaltungen integriert sind.

### Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemässen Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, dass sich der Beschleunigungsaufnehmer und die Überlastsicherung aus einem Wafer strukturieren lassen. Eine aufwendige Verbindungstechnik wird nicht benötigt. Als besonderer Vorteil ist anzusehen, dass sich das Verfahren in Verbindung mit einem IC-Fertigungsprozess anwenden lässt und eine weitere Integration, beispielsweise mit einer Auswerteschaltung, möglich ist. Vorteilhaft ist auch, dass ein Sensor-Abgleich im eingebauten Zustand möglich ist. Des weiteren ermöglicht das erfindungsgemässen Verfahren vorteilhaft, die Dämpfung des Sensors gezielt durch eine geeignete Geometrie der Überlastanschläge einzustellen.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Massnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. Es erweist sich als vorteilhaft, den Siliziumwafer von der Vorder- und Rückseite ausgehend zu strukturieren. Besonders günstig ist es, Siliziumwafer zu verwenden, die aus einem p- oder n-dotier-

ten Substrat und einer darauf aufgebrachten oder eindiffundierten Ätzstopschicht mit einer gegenüber dem Substrat unterschiedlichen Dotierung zu verwenden, da der dabei auftretende Dotierungsübergang zwischen Substrat und Ätzstopschicht vorteilhaft als Ätzstop verwendet werden kann. Besonders günstig ist ein in Sperrichtung gepolter pn-Übergang oder der Übergang zwischen dem Substrat und einer p+-dotierten Epitaxieschicht. Vorteilhaft ist es, für die Strukturierung der Vorderseite des Siliziumwafers einen Trenchprozess zu verwenden, da hiermit ein gutes Aspektverhältnis bei sehr geringen lateralen Abmessungen der Trenchgräben erzielt wird. Günstig ist es, wenn die dabei entstehenden Ausnehmungen die Ätzstopschicht nicht vollständig durchdringen, da in diesem Falle die laterale Unterätzung, die die Überlastsicherung dienenden Finger freilegt, vorteilhaft isotrop oder anisotrop nasschemisch innerhalb der Ätzstopschicht geätzt wird. Die Vorderseite und die Rückseite des Siliziumwafers lassen sich vorteilhaft mittels einer Niedertemperatur-Oxydschicht maskieren und passivieren. Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemässen Verfahrens ist, dass sich Überlastsicherungen unterschiedlicher Form in einem Layout zusammenfassen lassen. Die Sicherung gegen eine Überlast wird vorteilhaft durch das Zusammenwirken vieler Anschläge in Form von Fingern oder Balken realisiert.

### Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1a bis 1d den Schnitt durch eine in Herstellung begriffene Halbleiterstruktur bei verschiedenen Verfahrensschritten,

Fig. 2a bis 2c den Schnitt durch eine weitere in Herstellung begriffene Halbleiterstruktur und

Fig. 3 die Aufsicht auf einen Sensor.

### Beschreibung der Erfindung

In Fig. 1 ist mit 10 ein Siliziumwafer bezeichnet, bestehend aus einem p-Substrat 11 und einer darauf aufgebrachten n-Epitaxieschicht 12 als Ätzstopschicht, der in verschiedenen Stadien des Herstellungsprozesses eines Sensors dargestellt ist. In einem ersten Prozessschritt wird die Rückseite des Wafers 10 strukturiert und gezielt bis zum pn-Übergang anisotrop geätzt. Der in Sperrichtung geschaltete pn-Übergang zwischen der Epitaxieschicht 12 und dem Substrat 11 dient dabei als Ätzstop. In Fig. 1a ist mit 15 ein rahmenförmiger Ätzgraben bezeichnet, der bei der Rückseitenätzung entstanden ist. Anschliessend wird die strukturierte Rückseite des Wafers 10 mit einer Maskierschicht 21 passiviert. Für die Passivierung werden vorzugsweise Niedertemperaturoxidschichten oder Plasmanitridschichten verwendet. Die Verwendung von Niedertemperaturschichten als Passivierschichten ermöglicht, das Verfahren auf Siliziumwafer anzuwen-

den, die schon einen IC-Fertigungsprozess durchlaufen haben. Die Vorderseite des Wafers 10 wird mit einer Trenchmaskierung 20 versehen und in einem anschliessenden Trenchprozess strukturiert. Das Trennen erweist sich als besonders geeignet, da sich damit ein gutes Aspektverhältnis bei sehr geringen lateralen Abmessungen der Grabenstruktur erzielen lässt. In Fig. 1b ist eine solchermassen erzeugte U-förmige Ausnehmung 16 dargestellt, deren Tiefe geringer ist als die Dicke der Epitaxieschicht. Die Lage der Ausnehmung 16 bezüglich des Ätzgrabens 15 ist so gewählt, dass in einem nachfolgenden Ätzschritt ein Finger 30 durch eine laterale Unterätzung 17 der Ausnehmung 16 innerhalb der Schicht 12 entsteht. Dies kann, entsprechend der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung P 4 000 496, nasschemisch anisotrop oder isotrop erfolgen, wobei die Breite des Fingers 30 entsprechend zu dimensionieren ist. Ausserdem ist die Lage der Ausnehmung 16 und des Fingers 30 und die Grösse der Unterätzung 17 so zu wählen, dass die Unterätzung 17 auf den Ätzgraben 15 stösst. Dadurch entsteht ein Paddel 31 mit einer seismischen Masse 32. In Fig. 1c ist dieses Stadium der Herstellung vor der abschliessenden nasschemischen Entfernung der Maskierschichten 20 und 21 dargestellt. Durch das Entfernen der Maskierschichten 20 und 21 soll verhindert werden, dass die Sensorstruktur unnötig verspannt wird. Fig. 1d zeigt das fertigstrukturierte Sensorelement.

Im Gegensatz zu dem in Fig. 1 dargestellten Verfahren, bei dem der Siliziumwafer 10 zunächst von der Rückseite ausgehend strukturiert wird, ist in Fig. 2 ein Verfahren dargestellt, das ebenfalls zu dem in Fig. 1d dargestellten Sensorelement führt, in dem aber in einem ersten Prozessschritt die mit einer Trenchmaskierung 20 versehene Vorderseite des Siliziumwafers 10 in einem Trenchverfahren strukturiert wird. In Fig. 2a ist mit 16 eine dabei entstehende U-förmige Ausnehmung bezeichnet, die die Epitaxieschicht 12 nicht vollständig durchdringt. Anschliessend wird durch nasschemisches anisotropes oder isotropes Ätzen der Ausnehmung 16 eine laterale Unterätzung 17 in die Epitaxieschicht 12 des Wafers 10 eingebracht. Ein dadurch innerhalb der Epitaxieschicht 12 freigelegter Finger ist in Fig. 2b mit 30 bezeichnet. Im Anschluss an die Vorderseitenätzung erfolgt die Ätzung der Rückseite, bei der ein in Fig. 2c mit 15 bezeichneter rahmenförmiger Ätzgraben in das Substrat 11 des Siliziumwafers 10 eingebracht wird. Der Ätzgraben 15 wird bis zum als Ätzstop in Sperrichtung gepolten pn-Übergang zwischen Epitaxieschicht 12 und Substrat 11 geätzt, wobei seine Lage bezüglich der strukturierten Vorderseite des Siliziumwafers 10 so gewählt ist, dass der Ätzgraben 15 an einer Seite auf die Unterätzung 17 stösst. Nach Entfernen der Trenchmaskierung 20 der Vorderseite erhält man wieder die in Fig. 1d dargestellte Sensorstruktur. Bei diesem Verfahren entfällt die Passivierung der strukturierten Rückseite.

In Fig. 3 ist die Aufsicht auf ein aus einem Siliziumwafer 10 herausstrukturiertes Sensorelement dargestellt. Es weist ein Paddel 31 mit einer seismischen Masse 32 auf, das über einen Paddelsteg 33

mit einem Rahmen 34 verbunden ist. Zwischen dem Paddel 31 und dem Rahmen 34 befindet sich ein Ätzgraben 15, der den Siliziumwafer vollständig durchdringt. Das Paddel 31 weist Finger 301 auf, die nur in der Epitaxieschicht 12 ausgebildet sind und über den Ätzgraben 15 bis in Ausnehmungen 161 der Epitaxieschicht 12 des Rahmens ragen. Sie verhindern eine zu weite Auslenkung des Paddels 31 nach unten hin. Eine zu weite Auslenkung des Paddels 31 nach oben wird durch Finger 302 verhindert, die vom Rahmen 34 ausgehen, ebenfalls nur in der Epitaxieschicht 12 ausgebildet sind und über den Ätzgraben 15 bis in Ausnehmungen 162 der Epitaxieschicht 12 des Paddels 31 hineinragen. Die Stabilität der fingerförmigen Anschläge gegen eine Überlast beruht eines teils auf ihrer Form, wird aber im wesentlichen durch das Zusammenwirken vieler Anschläge realisiert.

## 20 Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Sensoren mit Überlastsicherung, insbesondere von Beschleunigungssensoren, die mindestens ein Paddel mit mindestens einer seismischen Masse, einen das mindestens eine Paddel umgebenden Rahmen und eine Überlastsicherung in Form von Fingern oder Balken aufweisen, bei dem das mindestens eine Paddel mit der mindestens einen seismischen Masse und der Rahmen durch Trockenätzprozesse und/oder nasschemische Ätzprozesse aus einem monokristallinen Siliziumwafer herausstrukturiert werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlastsicherung (30) mittels eines strukturierenden Trench-Prozesses in Verbindung mit einer Unterätzung in die Struktur des Rahmens (34) und/oder des mindestens einen Paddels (31) integriert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strukturierung des Siliziumwafers (10) von der Wafervorderseite und von der Waferrückseite ausgehend erfolgt und dass als Ätzstop für die Rückseitenätzung und die laterale Unterätzung ein Dotierungsübergang dient, der zwischen zwei Schichten (11, 12) des Siliziumwafers (10) auftritt, wobei die eine Schicht ein p- oder n-dotiertes Substrat (11), und die zweite Schicht eine darauf aufgebrachte oder eindiffundierte Ätzstopsschicht (12) mit einer gegenüber dem Substrat (11) unterschiedlichen Dotierung ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorderseite des Siliziumwafers (10) maskiert wird, vorzugsweise mittels einer strukturierten Niedertemperaturoxydschicht (20), dass die Vorderseitendefinition mittels eines Trench-Prozesses erfolgt und dass mindestens eine dabei entstehende Ausnehmung (16) die Ätzstopsschicht (12) nicht vollständig durchdringt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlastsicherung in Form von mindestens einem Finger (30) durch eine laterale Unterätzung (17) innerhalb der Ätzstopsschicht (12) freigelegt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die

Rückseite des Siliziumwafers (10) mit Hilfe der Fotomaskierungstechnik strukturiert wird, dass die Rückseitenätzung anisotrop elektrochemisch erfolgt und dass mindestens ein Ätzgraben (15) bis zum Dotierungstübergang zwischen dem Substrat (11) und der Ätzstopschicht (12) von der Rückseite des Siliziumwafers (10) ausgehend geätzt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die strukturierte Rückseite des Siliziumwafers (10) passiviert wird, vorzugsweise durch eine Niedertemperaturoxydschicht (21), wenn die Rückseitenätzung vor der Ätzung der Vorderseite des Siliziumwafers (10) erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Unterätzung (17) so weit geätzt wird, dass sie sich mit dem mindestens einen Ätzgraben (15) vereint.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Maskierschichten (20, 21) nach dem Ätzen nasschemisch entfernt werden.

9. Sensor mit Überlastsicherung, insbesondere zur Beschleunigungsmessung, hergestellt nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Finger (301) in der Ätzstopschicht (12) des Paddels (31) ausgebildet ist, der in mindestens einer Ausnehmung (161) der Ätzstopschicht (12) des Rahmens (34) hineinragt.

10. Sensor mit Überlastsicherung, insbesondere zur Beschleunigungsmessung, hergestellt nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Finger (302) in der Ätzstopschicht (12) des Rahmens (34) ausgebildet ist, der in mindestens einer Ausnehmung (162) der Ätzstopschicht (12) des Paddels (31) hineinragt.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1a

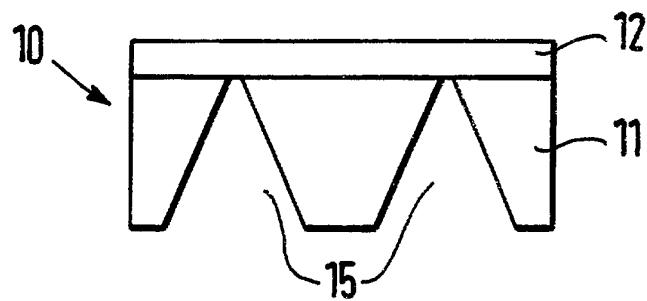


FIG. 1b

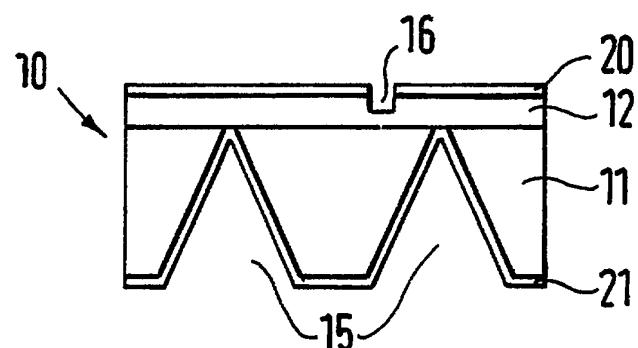


FIG. 1c

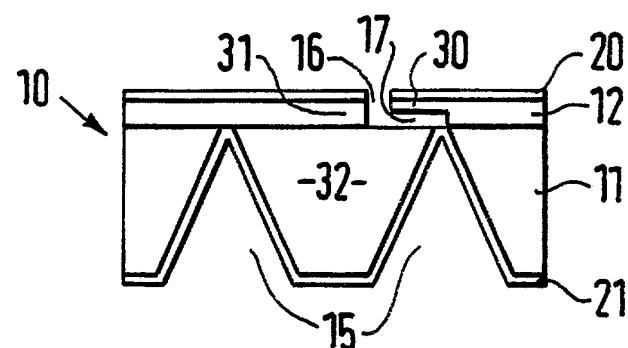


FIG. 1d

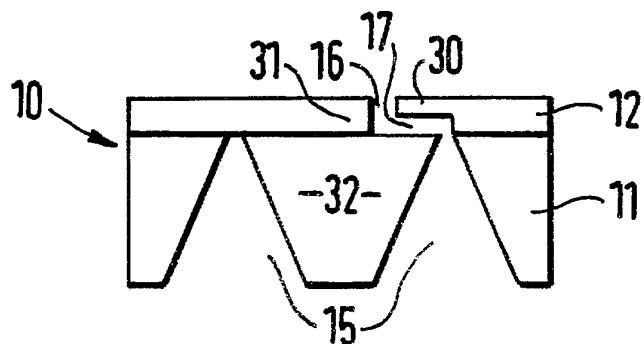


FIG. 2a

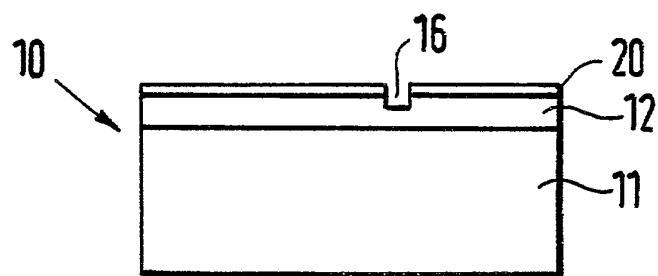


FIG. 2b

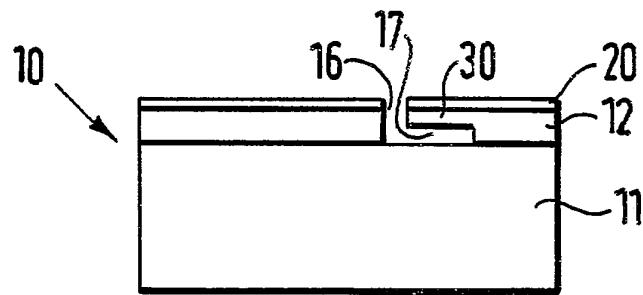


FIG. 2c

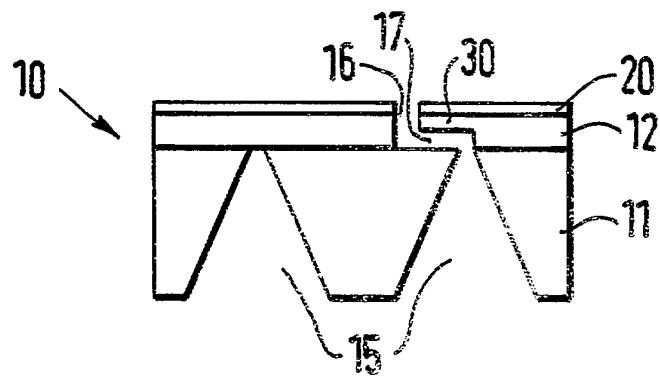


FIG. 3

