CH 682527 A5

(19) SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 682527 A5

(51) Int. Cl.[5]: H01L 21/30
H01L 29/84
G01L 9/00
C23F 1/02

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT A5

(21) Gesuchsnummer: 412/91

(22) Anmeldungsdatum: 11.02.1991

(30) Priorität(en): 21.03.1990 DE 4009090

(24) Patent erteilt: 30.09.1993

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.09.1993

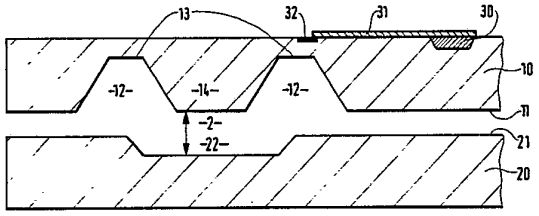
(73) Inhaber:
Robert Bosch GmbH, Stuttgart 10 (DE)

(72) Erfinder:
Goebel, Herbert, Dr. Dipl.-Phys., Reutlingen 17 (DE)

(74) Vertreter:
Dipl.-Ing. Martin Schnoz, Solothurn

(54) Verfahren zur Herstellung von mehrschichtigen Siliziumstrukturen.

(57) Es wird ein Verfahren zur Herstellung von mehrschichtigen Siliziumstrukturen, insbesondere von mikromechanischen Sensoren, vorgestellt. Die Struktur wird aus mehreren, aufeinander aufgebrachten Siliziumwafern (10, 20) gebildet, indem die verbindenden Oberflächen (11, 21) der Siliziumwafer (10, 20) zunächst poliert und gesäubert werden und dann vorzugsweise in partikelfreier Atmosphäre unter Reinraumbedingungen aufeinandergebracht werden. Zur Herstellung einer festen Verbindung der Siliziumwafer (10, 20) wird dann eine Temperaturbehandlung vorgenommen. Die Siliziumwafer (10, 20) werden vor dem Aufeinanderbringen in rauchende Salpetersäure [HNO_3 (100 %-ig)] getaucht, danach mit vorzugsweise entionisiertem Wasser gespült und getrocknet. Die Temperaturbehandlung der Siliziumwafer (10, 20) nach dem Aufeinanderbringen erfolgt bei Temperaturen über 100 °C, vorzugsweise von 170 °C bis 400 °C.



Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung von mehrschichtigen Siliziumstrukturen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

In Journal of Electrochemical Society; Extended Abstracts, Vol. 86–1, S. 337–338; «A Newly Developed Silicon to Silicon Direct Adhesion Method» wird eine Methode vorgestellt, eine auf Adhäsion beruhende Verbindung zwischen zwei Silizumwafern herzustellen. Dazu werden die Wafer zunächst poliert und zur Hydrophilisierung der Oberfläche «gewaschen» bzw. chemisch behandelt. Anschliessend werden die präparierten Oberflächen der zu verbindenden Wafer bei Zimmertemperatur zusammengebracht. Der als Silizium-Verschmelzungs-Bonden (Silicon Fusion Bonding SFB) bezeichnete Bondprozess wird durch eine Temperaturbehandlung der Wafer bei ca. 1000°C beendet. Bei diesem Verfahren ist es nicht notwendig, die Wafer erhöhtem Druck auszusetzen. Es ist auch nicht erforderlich, eine Spannung zwischen den beiden Wafern anzulegen.

Zur chemischen Vorbehandlung der Wafer für den Bondprozess werden chemische Lösungen angegeben, die ein Sensorsystem mit fertiger, integrierter Auswerteschaltung, insbesondere mit Aluminium-Leiterbahnen, zerstören würden. Solche in der Literatur angegebenen Behandlungen sind:

- H_2SO_4–H_2O_2 und HCL–H_2O_2
- Königswasser;
- RCA-Reinigung;
- KOH;
- Cholin;
- heisse (ca. 60°C–80°C) bzw. siedende (ca. 120°C) Salpetersäure [HNO_3 (65%)];
- Lösung aus H_2O_2 und NH_4OH bei 50°C–60°C.

Das erfindungsgemässe Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 hat demgegenüber den Vorteil, dass bei der Hydrophilisierung mittels rauchender Salpetersäure weder die fertig prozessierten Waferoberflächen noch auf den Wafer aufgebrachte Aluminiumleiterbahnen angegriffen werden. Vorteilhaft ist ausserdem, dass bei diesem Verfahren eine Temperaturbehandlung bei relativ niedrigen Temperaturen unterhalb 400°C zur Herstellung fester mechanischer Verbindungen ausreichend ist, denn Aluminiumleiterbahnen auf ICs können höheren Temperaturen nicht ohne negative Auswirkungen auf ihre Funktion ausgesetzt werden. Dies hat den Vorteil, dass die Wafer vor dem Bonden den normalen vollständigen IC-Prozess (MOS oder Bipolar) durchlaufen können. Von besonderem Vorteil ist, dass eine Integration von Sensor und Auswerteschaltung auf einem Siliziumchip erreicht werden kann. Dies führt zum einen zu einer Miniaturisierung des gesamten Systems, und vereinfacht ausserdem die Montage des Sensors. Ein weiterer Vorteil dabei ist, dass auch die Zuverlässigkeit des Sensors, insbesondere der elektrischen Verbindungen zwischen Sensorelement und Auswerteschaltung, zunimmt. Auch bezüglich der Prozesskompatibilität erweist sich das Verfahren als vorteilhaft, da rauchende HNO_3 im Gegensatz zu anderen Hydrophilisierungs-Chemikalien häufig in der IC-Fertigung Verwendung findet.

Durch die in den abhängigen Patentansprüchen aufgeführten Massnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen des im Patentanspruch 1 angegebenen Verfahrens möglich. Als besonders vorteilhaft für die Prozessführung ist anzusehen, dass die Hydrophilisierung der Oberflächen mit rauchender Salpetersäure bei Raumtemperatur erfolgt, so dass kein Erhitzen von Säuren im Reinraum erforderlich ist. Vorteilhaft in diesem Zusammenhang ist auch, dass die Temperaturbehandlung der Siliziumwafer in einer Stickstoff- oder Formiergasumgebung erfolgt, die einfach zu realisieren sind.

Vorteilhaft lässt sich das erfindungsgemässe Verfahren beim Aufbau von mikromechanischen Sensoren, insbesondere von Drucksensoren, anwenden. Von besonderem Vorteil ist dabei, dass sich ein Hohlraum unter einer dünn geätzten Siliziummembran ohne Beeinträchtigung des Gesamtsystems abschliessen lässt, da bei dem Verfahren Siliziumwafer gegeneinander gebondet werden, so dass zwischen dem System und der Abdeckung kein mechanischer Stress bei Temperaturänderungen auftritt. Da bei der Verbindung keine elektrische Spannung zwischen den beiden den Hohlraum umschliessenden Wafern angelegt werden muss, lassen sich Sensorhohlräume auch sehr vorteilhaft unter Vakuum verschliessen, ohne dass elektrische Überschläge oder Gasentladungen auftreten können.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Die einzige Figur zeigt eine Sensorstruktur im Aufbau.

In der einzigen Figur ist mit 10 ein erster Siliziumwafer und mit 20 ein zweiter Siliziumwafer bezeichnet, die gegeneinander gebondet werden sollen, was durch den Pfeil angedeutet ist. Sensoren in Silizium-Technologie benötigen nach ihrer Prozessierung eine Abdeckung, z.B. zur Abdichtung von Kavernen oder auch als mechanischer Anschlag von beweglichen Massen. Das Sensorelement und die Abdeckung sollten dabei möglichst denselben Temperaturausdehnungskoeffizienten haben, damit bei Temperaturänderungen keine mechanischen Spannungen zwischen Sensorelement und Abdeckung auftreten. Dies wird am besten von einem Silizium-Silizium-System erfüllt. Zum Erreichen einer stabilen mechanischen Verbindung von Silizium mit Silizium werden die verbindenden Oberflächen 11 und 21 der Siliziumwafer 10 und 20 zunächst poliert und gesäubert. Die anschliessende chemische Vorbehandlung der Oberflächen 11 und 21 umfasst ein Bad der Siliziumwafer 10 und 20 in rauchender (100%iger) Salpetersäure bei Raumtemperatur. Die Dauer des Bades hängt von dem Ausgangszustand der Oberflächen 11 und 21 der Siliziumwafer 10 und 20 ab. Sie reicht von 10 min. bis über 4 Std. Anschliessend werden die Oberflächen mit entionisiertem Wasser gespült und getrocknet. Diese chemische Vorbehandlung dient zur Hydrophilisierung der Oberflächen 11 und 21. Dadurch wird der Effekt der Adhäsion zwischen den

beiden Oberflächen 11 und 21 beim Aufeinanderbringen verstärkt. Das Aufeinanderbringen erfolgt unter Reinraumbedingungen in partikelfreier Atmosphäre. Bei einer abschliessenden Temperaturbehandlung entsteht eine feste Verbindung zwischen den Siliziumwafern 10 und 20. Bereits bei Temperaturen zwischen 170°C und 400°C tritt dabei eine Silizium-Silizium-Bindung auf, die beim Versuch, die Wafer auseinander zu hebeln oder nach dem Sägen der Wafer kleinere Chips abzuscheren, zu Brüchen im Silizium führt und nicht mehr zur Trennung an den polierten Flächen 11 und 21. Es wurden Bruchkräfte von mehr als 200 kg/cm² durch Messung der Zugkräfte ermittelt. Die Temperaturbehandlung kann beispielsweise in einer Stickstoff- oder Formiergasumgebung erfolgen. Der Wafer 10 weist als mikromechanisches Strukturelement eine Ringmembran 13 mit einer seismischen Masse 14 auf, die durch Ätzen einer ringförmigen Kaverne 12 entstanden ist. Ausserdem befindet sich an der Oberseite des Wafers 10 ein Piezowiderstand 32 im Bereich der Membran 13, über den Auslenkungen der Membran erfasst werden. Der Piezowiderstand 32 ist mittels einer Al-Leiterbahn 31 mit einem weiteren Schaltungselement 30 verbunden, das beispielsweise Teil einer Auswerteschaltung sein kann. Auch der Wafer 20 weist eine Kaverne 22 auf, so dass die Membran 13 mit der seismischen Masse 14 auch in Richtung des Wafers 20 auslenkbar ist. Durch Gegeneinanderbonden der beiden Wafer 10 und 20 entsteht so ein abgeschlossener Hohlraum 2, der auf der einen Seite durch die Membran 13 begrenzt wird. Diese Anordnung kann als Absolutdrucksensor benutzt werden. Dazu muss in dem Hohlraum 2 ein definierter Druck herrschen. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass der Hohlraum 2 im Vakuum abgeschlossen wird.

Das zum Aufbau dieses Sensors benutzte, erfindungsgemässe Bondverfahren lässt sich auch auf Siliziumwafer anwenden, die bereits mit der kompletten Beschaltung des zu erstellenden Sensors in bekannter IC-Prozesstechnologie (MOS oder Bipolar) bestückt sind und auf die Aluminium-Leiterbahnen aufgebracht sind. Zur Herstellung eines solchen Sensors kann also zunächst die Auswerteschaltung in bekannter IC-Prozesstechnologie auf einem Wafer realisiert werden. Anschliessend können in mikromechanischen Herstellungsprozessen die notwendigen Strukturelemente, wie beispielsweise Membranen oder Paddel, in den Siliziumwafer eingebracht werden. Danach kann ein weiterer gegebenenfalls strukturierter Siliziumwafer gegen den ersten gebondet werden. Der Vorteil bei der Einhaltung dieser Reihenfolge in der Prozessführung besteht darin, dass die Siliziumwafer vor dem IC-Prozess noch nicht mit Kalilauge in Berührung gekommen sind. Ausserdem weisen die Wafer noch keine gedünnten Siliziummembranen oder Paddel auf, die abbrechen könnten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von mehrschichtigen Siliziumstrukturen, insbesondere von mikromechanischen Sensoren, bei dem die Struktur aus mehreren, aufeinander aufgebrachten Siliziumwafern gebildet wird, bei dem die verbindenden Oberflächen der Siliziumwafer poliert und gesäubert werden, bei dem die polierten und gesäuberten Oberflächen aufeinandergebracht werden und bei dem zur Herstellung einer festen Verbindung der Siliziumwafer eine Temperaturbehandlung vorgenommen wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Siliziumwafer (10, 20) vor dem Aufeinanderbringen, in rauchende Salpetersäure getaucht werden, danach mit Wasser gespült und getrocknet werden und dass die Temperaturbehandlung der Siliziumwafer (10, 20) bei Temperaturen zwischen 100°C und 400°C erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die rauchende Salpetersäure Raumtemperatur hat.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Siliziumwafer (10, 20), der noch keinen IC-Prozess oder mikromechanischen Strukturierungsprozess durchlaufen hat, für eine Dauer von weniger als 10 Minuten in die rauchende Salpetersäure eingebracht wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Siliziumwafer (10, 20), der einen IC-Prozess oder mikromechanischen Strukturierungsprozess durchlaufen hat, über 4 Stunden in die rauchende Salpetersäure eingebracht wird.

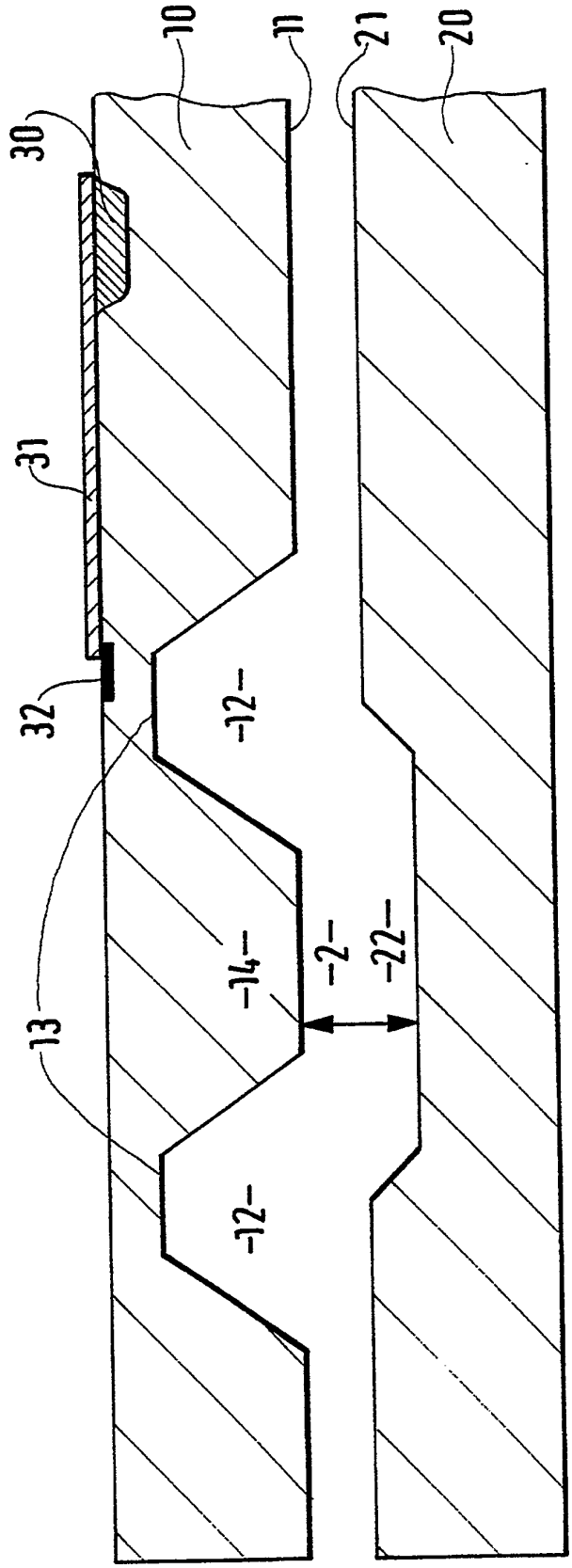
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturbehandlung der Siliziumwafer (10, 20) in einer Stickstoff- oder Formiergasumgebung erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Siliziumwafer (10, 20) mit in IC-Prozesstechnologie gefertigten Schaltungselementen versehen ist und/oder mikromechanische Strukturelemente, wie Paddel, Zungen oder Membranen, aufweist.

7. Sensor mit mindestens einem ersten Siliziumwafer, der mit mikromechanischen Strukturelementen versehen ist, und mit mindestens einem weiteren strukturierten oder unstrukturierten Siliziumwafer, der mit dem ersten Siliziumwafer mittels eines Verfahrens nach Anspruch 6 verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der Siliziumwafer (10, 20) mit integrierten elektronischen Schaltungselementen versehen ist und dass auf mindestens einem der Siliziumwafer (10, 20) Aluminiumleiterbahnen aufgebracht sind.

8. Sensor nach Anspruch 7, insbesondere zur Messung von Drücken, mit mindestens einer aus einem ersten Siliziumwafer (10) herausstrukturierten Membran (13), die sich an einer Seite eines abgeschlossenen Hohlraums (2), in dem ein definierter Druck herrscht, befindet, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlraum (2) von mindestens einer Kaverne (12, 22) in einem der Siliziumwafer (10, 20) gebildet ist und dass der Hohlraum (2) von mindestens zwei aufeinandergebrachten Siliziumwafern (10, 20) umschlossen ist.

9. Sensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Hohlraum (2) ein Vakuum herrscht.


10
11
21
20
30
31
32
13
12
14
2
22
12