



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 224 487.3**
(22) Anmeldetag: **08.12.2015**
(43) Offenlegungstag: **08.06.2017**

(51) Int Cl.: **B81C 1/00 (2006.01)**
B81B 7/02 (2006.01)
G01C 19/5769 (2012.01)
G01P 15/00 (2006.01)

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

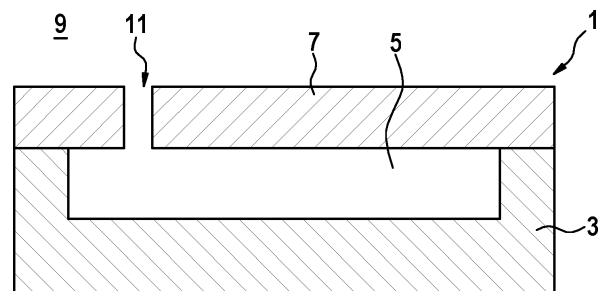
(72) Erfinder:
Reinmuth, Jochen, 72766 Reutlingen, DE; Kappe, Philip, 70469 Stuttgart, DE; Frey, Jens, 70794 Filderstadt, DE; Ametowobla, Mawuli, 70197 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Laser-Reseal mit Zusatzschicht und Legierungsbildung**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauelements mit einem Substrat und mit einer mit dem Substrat verbundenen und mit dem Substrat eine erste Kaverne umschließenden Kappe vorgeschlagen, wobei in der ersten Kaverne ein erster Druck herrscht und ein erstes Gasgemisch mit einer ersten chemischen Zusammensetzung eingeschlossen ist, wobei

- in einem ersten Verfahrensschritt eine die erste Kaverne mit einer Umgebung des mikromechanischen Bauelements verbindende Zugangsöffnung in dem Substrat oder in der Kappe ausgebildet wird, wobei
- in einem zweiten Verfahrensschritt der erste Druck und/oder die erste chemische Zusammensetzung in der ersten Kaverne eingestellt wird, wobei
- in einem dritten Verfahrensschritt die Zugangsöffnung durch Einbringen von Energie bzw. Wärme in einen absorbierenden Teil des Substrats oder der Kappe mithilfe eines Lasers verschlossen wird, wobei
- in einem vierten Verfahrensschritt eine Schicht auf einer Oberfläche des Substrats oder der Kappe im Bereich der Zugangsöffnung zum Vermischen mit einem im dritten Verfahrensschritt in einen flüssigen Aggregatzustand umgewandelten Materialbereich des Substrats oder der Kappe abgeschieden bzw. aufgewachsen wird.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einem Verfahren gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Ein derartiges Verfahren ist aus der WO 2015/120939 A1 bekannt. Ist ein bestimmter Innendruck in einer Kaverne eines mikromechanischen Bauelements gewünscht oder soll ein Gasgemisch mit einer bestimmten chemischen Zusammensetzung in der Kaverne eingeschlossen sein, so wird der Innendruck oder die chemische Zusammensetzung häufig beim Verkappen des mikromechanischen Bauelements bzw. beim Bondvorgang zwischen einem Substratwafer und einem Kappenwafer eingestellt. Beim Verkappen wird beispielsweise eine Kappe mit einem Substrat verbunden wodurch die Kappe und das Substrat gemeinsam die Kaverne umschließen. Durch Einstellen der Atmosphäre bzw. des Drucks und/oder der chemischen Zusammensetzung des beim Verkappen in der Umgebung vorliegenden Gasgemischs, kann somit der bestimmte Innendruck und/oder die bestimmte chemische Zusammensetzung in der Kaverne eingestellt werden.

[0003] Mit dem aus der WO 2015/120939 A1 bekannten Verfahren kann gezielt ein Innendruck in einer Kaverne eines mikromechanischen Bauelements eingestellt werden. Mit diesem Verfahren ist es insbesondere möglich ein mikromechanisches Bauelement mit einer ersten Kaverne herzustellen, wobei in der ersten Kaverne ein erster Druck und eine erste chemische Zusammensetzung eingestellt werden kann, der bzw. die sich von einem zweiten Druck und einer zweiten chemischen Zusammensetzung zum Zeitpunkt des Verkappens unterscheiden.

[0004] Bei dem Verfahren zum gezielten Einstellen eines Innendrucks in einer Kaverne eines mikromechanischen Bauelements gemäß der WO 2015/120939 A1 wird in der Kappe bzw. in dem Kappenwafer oder in dem Substrat bzw. in dem Sensorwafer ein schmaler Zugangskanal zu der Kaverne erzeugt. Anschließend wird die Kaverne mit dem gewünschten Gas und dem gewünschten Innendruck über den Zugangskanal geflutet. Schließlich wird der Bereich um den Zugangskanal lokal mithilfe eines Lasers erhitzt, das Substratmaterial verflüssigt sich lokal und verschließt beim Erstarren den Zugangskanal hermetisch.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines gegenüber dem Stand der Technik mechanisch robusten sowie eine lange Lebensdauer aufweisenden mikromechanischen Bauelements auf gegenüber dem Stand der

Technik einfache und kostengünstige Weise bereitzustellen. Des Weiteren ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein gegenüber dem Stand der Technik kompaktes, mechanisch robustes und eine lange Lebensdauer aufweisendes mikromechanisches Bauelement bereitzustellen. Erfindungsgemäß gilt dies insbesondere für ein mikromechanisches Bauelement mit einer (ersten) Kaverne. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und dem erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauelement ist es ferner auch möglich ein mikromechanisches Bauelement zu realisieren bei dem in der ersten Kaverne ein erster Druck und eine erste chemische Zusammensetzung eingestellt werden kann und in einer zweiten Kaverne ein zweiter Druck und eine zweite chemische Zusammensetzung eingestellt werden kann. Beispielsweise ist ein derartiges Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Bauelementen vorgesehen, für die es vorteilhaft ist, wenn in einer ersten Kaverne ein erster Druck und in einer zweiten Kaverne ein zweiter Druck eingeschlossen ist, wobei sich der erste Druck von dem zweiten Druck unterscheiden soll. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn eine erste Sensoreinheit zur Drehratenmessung und eine zweite Sensoreinheit zur Beschleunigungsmessung in einem mikromechanischen Bauelement integriert werden sollen.

[0006] Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass – in einem vierten Verfahrensschritt eine Schicht auf einer Oberfläche des Substrats oder der Kappe im Bereich der Zugangsöffnung zum Vermischen mit einem im dritten Verfahrensschritt in einen flüssigen Aggregatzustand umgewandelten Materialbereich des Substrats oder der Kappe abgeschieden bzw. aufgewachsen wird.

[0007] Hierdurch wird auf einfache und kostengünstige Weise ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauelements bereitgestellt, mit dem die Schicht zusammen mit dem Materialbereich des Substrats oder der Kappe in einen flüssigen Aggregatzustand umgewandelt werden können. Somit ist es möglich durch Mischen der Schicht mit dem Materialbereich die Eigenschaften eines zumindest teilweise die Schicht und zumindest teilweise den Materialbereich umfassenden Mischmaterials gezielt einzustellen. Insbesondere kann somit beispielsweise die Zugangsöffnung mithilfe des Mischmaterials verschlossen werden. Beispielsweise kann so die Wahrscheinlichkeit einer Rissbildung im Bereich der Zugangsöffnung reduziert werden bzw. der Widerstand gegenüber Rissbildung im Bereich der Zugangsöffnung erhöht werden. Des Weiteren kann beispielsweise die mechanische Robustheit des Bereichs der Zugangsöffnung erhöht werden.

[0008] Des Weiteren ist es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren weniger problematisch, wenn das Substratmaterial nur lokal erhitzt wird und sich das

erhitzte Material sowohl beim Erstarren als auch beim Abkühlen relativ zu seiner Umgebung zusammenzieht, da beispielsweise ein Zusammenziehen beim Erstarren und beim Abkühlen durch geschickte Materialwahl der Schicht gezielt verringert werden kann. Auch, dass im Verschlussbereich Zugspannungen entstehen können, ist weniger problematisch, da diese Zugspannungen durch geschickte Materialwahl der Schicht gezielt verringert werden können. Somit ist auch eine je nach Spannung und Material auftretende spontane Rissbildung sowie eine Rissbildung bei thermischer oder mechanischer Belastung des mikromechanischen Bauelements bei der Weiterverarbeitung oder im Feld weniger wahrscheinlich.

[0009] Erfindungsgemäß ist mit dem Bereich der Zugangsöffnung insbesondere das erstarrte Mischmaterial und/oder die Grenzflächen zwischen dem erstarrten Mischmaterial und dem restlichen Substrat bzw. der restlichen Kappe und/oder der Bereich um die Grenzflächen herum gemeint.

[0010] Des Weiteren umfasst der absorbierende Teil des Substrats oder der Kappe beispielsweise zumindest teilweise die Schicht und zumindest teilweise den Materialbereich des Substrats oder der Kappe.

[0011] Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung ist der Begriff „mikromechanisches Bauelement“ so zu verstehen, dass der Begriff sowohl mikromechanische Bauelemente als auch mikroelektromechanische Bauelemente umfasst.

[0012] Die vorliegende Erfindung ist bevorzugt für die Herstellung eines bzw. für ein mikromechanisches Bauelement mit einer Kaverne vorgesehen. Jedoch ist die vorliegende Erfindung beispielsweise auch für ein mikromechanisches Bauelement mit zwei Kavernen oder mit mehr als zwei, d.h. drei, vier, fünf, sechs oder mehr als sechs, Kavernen vorgesehen.

[0013] Bevorzugt wird die Zugangsöffnung durch Einbringen von Energie bzw. Wärme in einen diese Energie bzw. diese Wärme absorbierenden Teil des Substrats oder der Kappe mithilfe eines Lasers verschlossen. Hierbei wird bevorzugt Energie bzw. Wärme in jeweils den absorbierenden Teil des Substrats oder der Kappe von mehreren mikromechanischen Bauelementen, welche beispielsweise auf einem Wafer gemeinsam hergestellt werden, zeitlich nacheinander eingebracht. Es ist jedoch alternativ auch ein zeitlich paralleles Einbringen der Energie bzw. Wärme in den jeweiligen absorbierenden Teil des Substrats oder der Kappe von mehreren mikromechanischen Bauelementen vorgesehen, beispielsweise unter Verwendung von mehreren Laserstrahlen bzw. Laservorrichtungen.

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen, sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen entnehmbar.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Kappe mit dem Substrat eine zweite Kaverne umschließt, wobei in der zweiten Kaverne ein zweiter Druck herrscht und ein zweites Gasgemisch mit einer zweiten chemischen Zusammensetzung eingeschlossen ist.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Schicht auf einer der ersten Kaverne abgewandten Oberfläche des Substrats oder der Kappe abgeschieden bzw. aufgewachsen wird. Hierdurch ist es vorteilhaft möglich, dass die Schicht zusammen mit dem Materialbereich auf der der ersten Kaverne abgewandten Oberfläche des Substrats oder der Kappe in einen flüssigen Aggregatzustand überführt werden können.

[0017] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der vierte Verfahrensschritt zeitlich vor dem ersten Verfahrensschritt durchgeführt wird. Hierdurch wird vorteilhaft ermöglicht, dass zeitlich vor dem Ausbilden der Zugangsöffnung die Schicht auf der Oberfläche abgeschieden bzw. aufgewachsen werden kann.

[0018] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein mikromechanisches Bauelement mit einem Substrat und mit einer mit dem Substrat verbundenen und mit dem Substrat eine erste Kaverne umschließenden Kappe, wobei in der ersten Kaverne ein erster Druck herrscht und ein erstes Gasgemisch mit einer ersten chemischen Zusammensetzung eingeschlossen ist, wobei das Substrat oder die Kappe eine verschlossene Zugangsöffnung umfasst, wobei das mikromechanische Bauelement eine auf einer Oberfläche des Substrats oder der Kappe im Bereich der Zugangsöffnung abgeschiedene bzw. aufgewachsene und zumindest teilweise mit einem während des Verschließens der Zugangsöffnung in einen flüssigen Aggregatzustand umgewandelten Materialbereich des Substrats oder der Kappe vermischte Schicht umfasst. Hierdurch wird auf vorteilhafte Weise ein kompaktes, mechanisch robustes und kostengünstiges mikromechanisches Bauelement mit eingestelltem ersten Druck bereitgestellt. Die genannten Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens gelten entsprechend auch für das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement.

[0019] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Schicht auf einer der ersten Kaverne abgewandten Oberfläche des Substrats oder der Kappe angeordnet ist. Hierdurch ist es vorteilhaft möglich, dass die Schicht zumindest teilweise zusammen mit zumindest Teilen des Materialbereichs

auf der der ersten Kaverne abgewandten Oberfläche des Substrats oder der Kappe in einen flüssigen Aggregatzustand überführbar ist und somit die Zugangsöffnung mit einem zumindest teilweise die Schicht und zumindest teilweise den Materialbereich umfassenden Mischmaterial verschließbar ist.

[0020] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Schmelztemperatur der Schicht geringer als die Schmelztemperatur des Materialbereichs und/oder geringer als die Schmelztemperatur des Substrats und/oder geringer als die Schmelztemperatur der Kappe ist. Hierdurch wird ermöglicht, dass die Schmelztemperatur des zumindest teilweise die Schicht und zumindest teilweise den Materialbereich umfassenden Mischmaterials gezielt eingestellt bzw. geringer als die Schmelztemperatur des Materialbereichs und/oder geringer als die Schmelztemperatur des Substrats und/oder geringer als die Schmelztemperatur der Kappe eingestellt werden kann.

[0021] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Schmelztemperatur eines zumindest teilweise die Schicht und zumindest teilweise den Materialbereich umfassenden Mischmaterials geringer als die Schmelztemperatur der Schicht und/oder geringer als die Schmelztemperatur des Materialbereichs und/oder geringer als die Schmelztemperatur des Substrats und/oder geringer als die Schmelztemperatur der Kappe ist. Hierdurch lässt sich vorteilhaft ermöglichen, dass die Schmelztemperatur des Mischmaterials relativ gering einstellbar ist, sodass das Mischmaterial bei einer relativ geringen Temperatur erstarrt.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Ausdehnungskoeffizient der Schicht geringer als der Ausdehnungskoeffizient des Materialbereichs und/oder geringer als der Ausdehnungskoeffizient des Substrats und/oder geringer als der Ausdehnungskoeffizient der Kappe ist. Hierdurch wird vorteilhaft ermöglicht, dass sich die Schicht bzw. das Mischmaterial beim Abkühlen weniger stark als der Materialbereich bzw. das Substrat bzw. die Kappe zusammenzieht.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Kappe mit dem Substrat eine zweite Kaverne umschließt, wobei in der zweiten Kaverne ein zweiter Druck herrscht und ein zweites Gasgemisch mit einer zweiten chemischen Zusammensetzung eingeschlossen ist. Hierdurch wird auf vorteilhafte Weise ein kompaktes, mechanisch robustes und kostengünstiges mikromechanisches Bauelement mit eingestelltem ersten Druck und zweiten Druck bereitgestellt.

[0024] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass der erste Druck geringer als der

zweite Druck ist, wobei in der ersten Kaverne eine erste Sensoreinheit zur Drehratenmessung und in der zweiten Kaverne eine zweite Sensoreinheit zur Beschleunigungsmessung angeordnet ist. Hierdurch wird auf vorteilhafte Weise ein mechanisch robustes mikromechanisches Bauelement für Drehratenmessung und Beschleunigungsmessung mit sowohl für die erste Sensoreinheit und für die zweite Sensoreinheit optimalen Betriebsbedingungen bereitgestellt.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0025] Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung ein mikromechanisches Bauelement mit geöffneter Zugangsöffnung gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0026] Fig. 2 zeigt in einer schematischen Darstellung das mikromechanische Bauelement gemäß Fig. 1 mit verschlossener Zugangsöffnung.

[0027] Fig. 3 zeigt in einer schematischen Darstellung ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauelements gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Ausführungsformen der Erfindung

[0028] In den verschiedenen Figuren sind gleiche Teile stets mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden daher in der Regel auch jeweils nur einmal benannt bzw. erwähnt.

[0029] In Fig. 1 und Fig. 2 ist eine schematische Darstellung eines mikromechanischen Bauelements **1** mit geöffneter Zugangsöffnung **11** in Fig. 1 und mit verschlossener Zugangsöffnung **11** in Fig. 2 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Hierbei umfasst das mikromechanische Bauelement **1** ein Substrat **3** und eine Kappe **7**. Das Substrat **3** und die Kappe **7** sind miteinander, bevorzugt hermetisch, verbunden und umschließen gemeinsam eine erste Kaverne **5**. Beispielsweise ist das mikromechanische Bauelement **1** derart ausgebildet, dass das Substrat **3** und die Kappe **7** zusätzlich gemeinsam eine zweite Kaverne umschließen. Die zweite Kaverne ist in Fig. 1 und in Fig. 2 jedoch nicht dargestellt.

[0030] Beispielsweise herrscht in der ersten Kaverne **5**, insbesondere bei wie in Fig. 2 dargestellter verschlossener Zugangsöffnung **11**, ein erster Druck. Außerdem ist ein erstes Gasgemisch mit einer ersten chemischen Zusammensetzung in der ersten Kaverne **5** eingeschlossen. Des Weiteren herrscht beispielsweise in der zweiten Kaverne ein zweiter Druck und es ist ein zweites Gasgemisch mit einer zweiten chemischen Zusammensetzung in der zweiten Kaverne eingeschlossen. Bevorzugt ist die Zugangsöffnung **11** in dem Substrat **3** oder in der Kappe **7** an-

geordnet. Bei dem hier vorliegenden Ausführungsbeispiel ist die Zugangsöffnung **11** beispielhaft in der Kappe **7** angeordnet. Erfindungsgemäß kann es jedoch alternativ hierzu auch vorgesehen sein, dass die Zugangsöffnung **11** in dem Substrat **3** angeordnet ist.

[0031] Beispielsweise ist vorgesehen, dass der erste Druck in der ersten Kaverne **5** geringer ist als der zweite Druck in der zweiten Kaverne. Beispielsweise ist auch vorgesehen, dass in der ersten Kaverne **5** eine in **Fig. 1** und **Fig. 2** nicht dargestellte erste mikromechanische Sensoreinheit zur Drehratenmessung und in der zweiten Kaverne eine in **Fig. 1** und **Fig. 2** nicht dargestellte zweite mikromechanische Sensoreinheit zur Beschleunigungsmessung angeordnet sind.

[0032] In **Fig. 3** ist in einer schematischen Darstellung ein Verfahren zum Herstellen des mikromechanischen Bauelements **1** gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Hierbei wird

- in einem ersten Verfahrensschritt **101** die erste Kaverne **5** mit einer Umgebung **9** des mikromechanischen Bauelements **1** verbindende, insbesondere schmale, Zugangsöffnung **11** in dem Substrat **3** oder in der Kappe **7** ausgebildet. **Fig. 1** zeigt beispielhaft das mikromechanische Bauelement **1** nach dem ersten Verfahrensschritt **101**. Außerdem wird
- in einem zweiten Verfahrensschritt **102** der erste Druck und/oder die erste chemische Zusammensetzung in der ersten Kaverne **5** eingestellt bzw. die erste Kaverne **5** mit dem gewünschten Gas und dem gewünschten Innendruck über den Zugangskanal geflutet. Ferner wird beispielsweise
- in einem dritten Verfahrensschritt **103** die Zugangsöffnung **11** durch Einbringen von Energie bzw. Wärme in einen absorbierenden Teil **21** des Substrats **3** oder der Kappe **7** mithilfe eines Lasers verschlossen. Es ist beispielsweise alternativ auch vorgesehen, dass
- in dem dritten Verfahrensschritt **103** der Bereich um den Zugangskanal lediglich bevorzugt durch einen Laser lokal erhitzt wird und der Zugangskanal hermetisch verschlossen wird. Somit ist es vorteilhaft möglich, das erfindungsgemäße Verfahren auch mit anderen Energiequellen als mit einem Laser zum Verschließen der Zugangsöffnung **11** vorzusehen. **Fig. 2** zeigt beispielhaft das mikromechanische Bauelement **1** nach dem dritten Verfahrensschritt **103**.

[0033] Zeitlich nach dem dritten Verfahrensschritt **103** können in einem in **Fig. 2** beispielhaft dargestellten lateralen Bereich **15** an einer der Kaverne **5** abgewandten Oberfläche der Kappe **7** sowie in der Tiefe senkrecht zu einer Projektion des lateralen Bereichs **15** auf die Oberfläche, d.h. entlang der Zugangsöffnung **11** und in Richtung der ersten Kaver-

ne **5**, des mikromechanischen Bauelements **1** mechanische Spannungen auftreten. Diese mechanischen Spannungen, insbesondere lokale mechanischen Spannungen, herrschen insbesondere an und in der Nähe einer Grenzfläche zwischen einem im dritten Verfahrensschritt **103** in einen flüssigen Aggregatzustand übergehenden und nach dem dritten Verfahrensschritt **103** in einen festen Aggregatzustand übergehenden und die Zugangsöffnung **11** verschließenden Materialbereich **13** der Kappe **7** und einem während dem dritten Verfahrensschritt **103** in einem festen Aggregatzustand verbleibenden Restbereich der Kappe **7**. Hierbei ist in **Fig. 2** der die Zugangsöffnung **11** verschließende Materialbereich **13** der Kappe **7** lediglich als schematisch anzusehen bzw. schematisch dargestellt, insbesondere hinsichtlich seiner lateralen, insbesondere parallel zu der Oberfläche verlaufenden, Erstreckung bzw. Formgebung und insbesondere hinsichtlich seiner senkrecht zur lateralen Erstreckung, insbesondere senkrecht zu der Oberfläche verlaufenden, Ausdehnung bzw. Konfiguration.

[0034] Wie in **Fig. 3** beispielhaft dargestellt, wird zusätzlich

- in einem vierten Verfahrensschritt **104** eine Schicht auf einer Oberfläche des Substrats **3** oder der Kappe **7** oder eines MEMS-Substrats (oder einer andersgearteten Verkapselungsschicht einer MEMS-Struktur) im Bereich der Zugangsöffnung **11** zum Vermischen mit einem im dritten Verfahrensschritt **103** in einen flüssigen Aggregatzustand umgewandelten Materialbereich **13** des Substrats **3** oder der Kappe **7** abgeschieden bzw. aufgewachsen. Mit anderen Worten wird auf das Substrat **3** oder auf die Kappe **7** bzw. auf das Substratmaterial eine Schicht eines zweiten Materials aufgebracht, wobei das Substratmaterial und das zweite Material beide beim lokalen Heizprozess aufgeschmolzen und vermischt werden. Beispielsweise umfasst hierbei die Schicht bzw. die Zusatzschicht ein sich von dem Substratmaterial bzw. von dem Kappenmaterial unterscheidendes Material. Des Weiteren ist beispielsweise auch vorgesehen, dass die Schicht zumindest eine von dem Substrat oder von der Kappe abweichende Kristallstruktur und/oder Dotierung umfasst.

[0035] Beispielsweise ist auch vorgesehen, dass zusätzlich

- in dem vierten Verfahrensschritt **104** eine weitere Schicht bzw. eine Vielzahl weiterer Schichten auf der Oberfläche des Substrats **3** oder der Kappe **7** oder des MEMS-Substrats (oder einer andersgearteten Verkapselungsschicht einer MEMS-Struktur) im Bereich der Zugangsöffnung **11** zum Vermischen mit einem im dritten Verfahrens-

schritt **103** in einen flüssigen Aggregatzustand umgewandelten Materialbereich **13** des Substrats **3** oder der Kappe **7** abgeschieden bzw. aufgewachsen wird.

[0036] Ferner ist beispielsweise vorgesehen, dass in dem ersten Verfahrensschritt **101** die Zugangsöffnung bzw. der schmale Zugangskanal zu der MEMS-Kaverne sowohl in dem Substrat **3** bzw. in der Kappe **7** bzw. in dem Kappenwafer bzw. in dem Sensorwafer als auch in der Schicht bzw. durch die Schicht hindurch erzeugt bzw. ausgebildet wird. Außerdem ist beispielsweise vorgesehen, dass der Bereich um den Zugangskanal bevorzugt durch einen Laser lokal erhitzt und der Zugangskanal hermetisch verschlossen wird.

[0037] Durch Auswahl des Materials der Schicht bzw. der weiteren Schicht bzw. der Vielzahl weiterer Schichten und anschließendem Vermischen der Schicht bzw. der weiteren Schicht bzw. der Vielzahl weiterer Schichten mit dem Materialbereich **13** können somit gezielt die Eigenschaften des Mischmaterials beeinflusst werden. Durch einen vierten Verfahrensschritt **104** kann beispielsweise eine Reduktion der Rissbildung durch einen oder mehrere der folgenden Effekte sowie weitere nicht aufgeführte Effekte erreicht werden:

- Effekte, die beispielsweise den Zugstress im System reduzieren:
- Die Erstarrungstemperatur bei vielen Mischsystemen liegt oft tiefer als bei reinen Systemen. Durch die Mischung von Substratmaterial mit einem zweiten Material kann also die Erstarrungstemperatur reduziert werden. Durch die geringere Temperaturdifferenz zwischen aufgeschmolzenen Bereich und Umgebung wird in solchen Systemen bei annähernd gleichem Temperaturschwankungskoeffizient eine geringere Verspannung aufgebaut.
- Es kann ein Mischsystem verwendet werden, das eine Anomalie beim Erstarren hat. Das heißt bei Erstarren dehnt sich das Material aus, wie das beispielsweise beim Gefrieren von Wasser passiert.
- Es kann ein zweites Material verwendet werden oder ein weiteres Mischmaterial, das einen geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten hat als das Substratmaterial.
- Es kann ein zweites Material verwendet werden, das in Mischung mit dem Substratmaterial in einer Kristallstruktur beim Erstarren kristallisiert, die auf die Kristallorientierung des Substrats Materials reagiert und bevorzugt mit Druckstress kristallisiert.
- Das zumindest teilweise den Materialbereich **13** und zumindest teilweise die Schicht umfassende Mischmaterial bzw. das neue Mischmaterial ist leichter verformbar und kann besser als das Substratmaterial durch eine inelastische Verformung auf den Stress, der durch den Erstarrungsvorgang

und die lokale Abkühlung induziert wird, reagieren.

- Das Mischmaterial bzw. das neue Verschlussmaterial (Mischung der beiden Materialien) hat eine höhere mechanische Robustheit.
- Die Bruchfestigkeit des Mischmaterials ist aufgrund eines E-Moduls des Mischmaterials, der von dem E-Modul des Substratmaterials abweicht, höher als die Bruchfestigkeit des Substratmaterials.
- Das neue Mischmaterial ist leichter plastisch verformbar und kann so mit einer Verformung auf einen von außen angelegten Stress bzw. eine von außen angelegte Spannung reagieren.
- Das Material bzw. das Mischmaterial ist aufgrund seiner geänderten Kristallstruktur unempfindlicher auf Rissbildung, insbesondere können sich Mikrorisse nicht ausbreiten und zu einem Aufreißen des gesamten Verschlussbereichs führen.

[0038] Ferner ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das mikromechanische Bauelement im Verschlussbereich bzw. im Bereich der Verschlussenen Zugangsöffnung **11** das zumindest teilweise die Schicht und zumindest teilweise den Materialbereich umfassende Mischmaterial umfasst. Mit anderen Worten ist beispielsweise vorgesehen, dass sich das Substratmaterial bzw. das Kappenmaterial und das Zusatzmaterial bzw. das Schichtmaterial (bzw. das Material der Schicht) im Verschlussbereich bzw. im Bereich der Verschlussenen Zugangsöffnung **11** zumindest teilweise vermischen.

[0039] Hierbei ist beispielsweise vorgesehen, dass das Schichtmaterial bzw. das Material der Zusatzschicht einen geringeren Schmelzpunkt als das Substratmaterial bzw. das Kappenmaterial umfasst. Beispielsweise beträgt der Schmelzpunkt von reinem Germanium (Ge) 937°C und der Schmelzpunkt von Silizium (Si) 1410°C. Der Schmelzpunkt des SiGe-Mischkristalls liegt zwischen dem Schmelzpunkt von Germanium und Silizium und kann über das Si- und Ge-Verhältnis eingestellt werden.

[0040] Außerdem ist beispielsweise vorgesehen, dass das Mischmaterial einen geringeren Schmelzpunkt als beide Einzelmaterialien bzw. als das Schichtmaterial und als das Substratmaterial bzw. als das Kappenmaterial aufweist. Insbesondere ist beispielsweise vorgesehen, dass mithilfe einer Kombination von Si und Aluminium bzw. Al oder Si und Gold bzw. Au die Schmelztemperatur des Mischmaterials eingestellt wird.

[0041] Des Weiteren ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das Mischmaterial bzw. das Mischsystem und/oder das Schichtmaterial und/oder das Substratmaterial bzw. das Kappenmaterial beim Erstarren eine Anomalie aufweist. Insbesondere ist vorgesehen,

dass das Substrat und/oder die Kappe Silizium umfasst.

[0042] Ferner ist vorgesehen, dass das Schichtmaterial bzw. das Mischmaterial einen geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten als das Substratmaterial bzw. Kappenmaterial aufweist.

[0043] Außerdem ist vorgesehen, dass das Mischmaterial bzw. ein zweites Material, das in Mischung mit dem Substratmaterial bzw. mit dem Kappenmaterial in einer Kristallstruktur beim Erstarren kristallisiert, die auf die Kristallorientierung des Substratmaterials bzw. Kappenmaterials derart reagiert, dass das Mischmaterial bzw. das zweite Material in Mischung mit dem Substratmaterial bzw. in Mischung mit dem Kappenmaterial bevorzugt mit Druckstress kristallisiert beispielsweise wenn eine kohärente Gitterverzerrung vorliegt. Beispielsweise ist vorgesehen, dass die Schicht eine Ge-Schicht oder eine Si-Ge-Schicht oder eine andere Schicht, die Ge enthält, umfasst. Hierbei beträgt die Gitterkonstante von Ge 5,646 Å im Vergleich zu Si mit 5,431 Å. Eine Gitterverzerrung bzw. eine Gitterkonstante eines Mischkristalls ergibt sich beispielsweise aus dem Mischungsverhältnis über die Vegardsche Regel zu $a(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x) = a_{\text{Si}} + x(a_{\text{Ge}} - a_{\text{Si}})$, wobei $a(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)$ die Gitterkonstante des resultierenden $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ Mischkristalls ist, a_{Si} und a_{Ge} die Gitterkonstanten von Si und Ge sind und x der prozentuale Gehalt der Komponente Ge ist. Beispielsweise ist auch vorgesehen, dass die Schicht ein Element oder mehrere weitere Elemente umfasst, welche zur Erzeugung von Gitterverzerrungen in dem Mischmaterial Zwischengitterplätze im Mischmaterial oder Lücken im Kristallgitter des Mischmaterials einnehmen.

[0044] Beispielsweise ist ferner vorgesehen, dass ein Schichtmaterial verwendet wird, welches leichter verformbar ist. Beispielsweise ist vorgesehen, dass das Schichtmaterial bzw. das Mischmaterial ein inelastischeres Verformungsverhalten als das Substratmaterial bzw. als das Kappenmaterial aufweist. Mit anderen Worten kann das Schichtmaterial bzw. das Mischmaterial inelastischer als das Substratmaterial bzw. das Kappenmaterial beispielsweise auf anliegende Spannungen bzw. wirkende Kräfte bzw. auf das mikromechanische Bauelement 1 wirkende Kräfte reagieren. Insbesondere ist hierbei beispielsweise vorgesehen, dass das Mischmaterial bzw. die Mischung aus Schichtmaterial und Substratmaterial bzw. die Mischung aus Schichtmaterial und Kappenmaterial ein inelastischeres Verformungsverhalten als das Substratmaterial bzw. als das Kappenmaterial aufweist. Beispielsweise umfasst das Schichtmaterial Aluminium bzw. Al und/oder Gold bzw. Au.

[0045] Des Weiteren ist beispielsweise vorgesehen, dass der E-Modul der Schicht bzw. des Mischmaterials im Wesentlichen mehr als 15% von dem E-Modul

des Substratmaterials bzw. des Kappenmaterials abweicht. Des Weiteren ist beispielsweise alternativ vorgesehen, dass der E-Modul der Schicht bzw. des Mischmaterials im Wesentlichen das 1,15-fache, insbesondere mehr als das 1,15-fachen, bzw. das 0,85-fache, insbesondere weniger als das 0,85-fache, des E-Moduls des Substratmaterials bzw. des Kappenmaterials beträgt.

[0046] Ferner ist beispielsweise vorgesehen, dass die Schicht bzw. das Mischmaterial beim Erstarrens- bzw. Abkühlprozess inelastisch, insbesondere plastisch oder zumindest teilweise plastisch und/oder elastoplastisch und/oder plastoelastisch, verformbar ist bzw. inelastisch reagieren kann.

[0047] Außerdem ist vorgesehen, dass das Mischmaterial eine homogene Phase, insbesondere im flüssigen Aggregatzustand, umfasst. Des Weiteren ist beispielsweise vorgesehen, dass das Mischmaterial mindestens zwei, insbesondere drei, vier, fünf, sechs, sieben, acht oder mehr als acht, Phasen, insbesondere im festen Aggregatzustand umfasst. Mit anderen Worten ist beispielsweise vorgesehen, ein Mischsystem aus Schichtmaterial bzw. Zusatzschicht und Substratmaterial bzw. Kappenmaterial zu verwenden, das im geschmolzenen Zustand sich homogen mischt und sich vor, beim bzw. nach dem Erstarren bzw. partiellen Erstarren und Abkühlen wieder partiell entmischt bzw. in mehrere Phasen aufteilt. Hierbei ist beispielsweise vorgesehen, dass mindestens eine Phase der Phasen in festem Aggregatzustand des Mischmaterials bzw. eins der beiden Materialien oder Grenzflächen zwischen zwei Phasen der Phasen bzw. die Grenzfläche der Materialien die Ausbreitung von beispielsweise Mikrorissen hemmt bzw. einen gegenüber dem Stand der Technik erhöhten Widerstand gegenüber Rissbildung aufweist.

[0048] Schließlich ist vorgesehen, dass das Schichtmaterial bzw. das zweite Material ein Material umfasst, welches, insbesondere im flüssigen Aggregatzustand, vollständig mit Silizium, insbesondere im flüssigen Aggregatzustand, mischbar ist und als Mischkristall erstarrt. Beispielsweise ist auch vorgesehen, dass eine flüssige Phase aus Schichtmaterial bzw. zweitem Material und Silizium als Mischkristall erstarrt. Beispielsweise umfasst das Schichtmaterial bzw. das Mischmaterial, insbesondere im festen Aggregatzustand, einen $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ -Mischkristall. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das Mischmaterial bzw. das Mischsystem mit einem geringeren Zugstress als das reine Material bzw. das Schichtmaterial bzw. das Substratmaterial bzw. das Kappenmaterial erstarrt.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2015/120939 A1 [0002, 0003, 0004]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauelements (1) mit einem Substrat (3) und mit einer mit dem Substrat (3) verbundenen und mit dem Substrat (3) eine erste Kaverne (5) umschließenden Kappe (7), wobei in der ersten Kaverne (5) ein erster Druck herrscht und ein erstes Gasgemisch mit einer ersten chemischen Zusammensetzung eingeschlossen ist, wobei

– in einem ersten Verfahrensschritt (101) eine die erste Kaverne (5) mit einer Umgebung (9) des mikromechanischen Bauelements (1) verbindende Zugangsöffnung (11) in dem Substrat (3) oder in der Kappe (7) ausgebildet wird, wobei

– in einem zweiten Verfahrensschritt (102) der erste Druck und/oder die erste chemische Zusammensetzung in der ersten Kaverne (5) eingestellt wird, wobei

– in einem dritten Verfahrensschritt (103) die Zugangsöffnung (11) durch Einbringen von Energie bzw. Wärme in einen absorbierenden Teil des Substrats (3) oder der Kappe (7) mithilfe eines Lasers verschlossen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

– in einem vierten Verfahrensschritt (104) eine Schicht auf einer Oberfläche des Substrats (3) oder der Kappe (7) im Bereich der Zugangsöffnung (11) zum Vermischen mit einem im dritten Verfahrensschritt (103) in einen flüssigen Aggregatzustand umgewandelten Materialbereich (13) des Substrats (3) oder der Kappe (7) abgeschieden bzw. aufgewachsen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schicht auf einer der ersten Kaverne (5) abgewandten Oberfläche des Substrats (3) oder der Kappe (7) abgeschieden bzw. aufgewachsen wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der vierte Verfahrensschritt (104) zeitlich vor dem ersten Verfahrensschritt (101) durchgeführt wird.

4. Mikromechanisches Bauelement (1) mit einem Substrat (3) und mit einer mit dem Substrat (3) verbundenen und mit dem Substrat (3) eine erste Kaverne (5) umschließenden Kappe (7), wobei in der ersten Kaverne (5) ein erster Druck herrscht und ein erstes Gasgemisch mit einer ersten chemischen Zusammensetzung eingeschlossen ist, wobei das Substrat (3) oder die Kappe (7) eine verschlossene Zugangsöffnung (11) umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mikromechanische Bauelement (1) eine auf einer Oberfläche des Substrats (3) oder der Kappe (7) im Bereich der Zugangsöffnung (11) abgeschiedene bzw. aufgewachsene und zumindest teilweise mit einem während des Verschließens der Zugangsöffnung (11) in einen flüssigen Aggregatzustand umgewandelten Materialbereich (13) des Substrats (3) oder der Kappe (7) vermischte Schicht umfasst.

5. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 4, wobei die Schicht auf einer der ersten Kaverne (5) abgewandten Oberfläche des Substrats (3) oder der Kappe (7) angeordnet ist.

6. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 4 oder 5, wobei die Schmelztemperatur der Schicht geringer als die Schmelztemperatur des Materialbereichs (13) und/oder geringer als die Schmelztemperatur des Substrats (3) und/oder geringer als die Schmelztemperatur der Kappe (7) ist.

7. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 4, 5 oder 6, wobei die Schmelztemperatur eines zumindest teilweise die Schicht und zumindest teilweise den Materialbereich (13) umfassendes Mischmaterials geringer als die Schmelztemperatur der Schicht und/oder geringer als die Schmelztemperatur des Materialbereichs (13) und/oder geringer als die Schmelztemperatur des Substrats (3) und/oder geringer als die Schmelztemperatur der Kappe (7) ist.

8. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 4, 5, 6 oder 7, wobei der Ausdehnungskoeffizient der Schicht geringer als der Ausdehnungskoeffizient des Materialbereichs (13) und/oder geringer als der Ausdehnungskoeffizient des Substrats (3) und/oder geringer als der Ausdehnungskoeffizient der Kappe (7) ist.

9. Mikromechanisches Bauelement (1) nach Anspruch 4, 5, 6, 7 oder 8, wobei die Kappe (7) mit dem Substrat (3) eine zweite Kaverne umschließt, wobei in der zweiten Kaverne ein zweiter Druck herrscht und ein zweites Gasgemisch mit einer zweiten chemischen Zusammensetzung eingeschlossen ist.

10. Mikromechanisches Bauelement (1) nach Anspruch 4, 5, 6, 7, 8 oder 9, wobei der erste Druck geringer als der zweite Druck ist, wobei in der ersten Kaverne (5) eine erste Sensoreinheit zur Drehratenmessung und in der zweiten Kaverne eine zweite Sensoreinheit zur Beschleunigungsmessung angeordnet ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

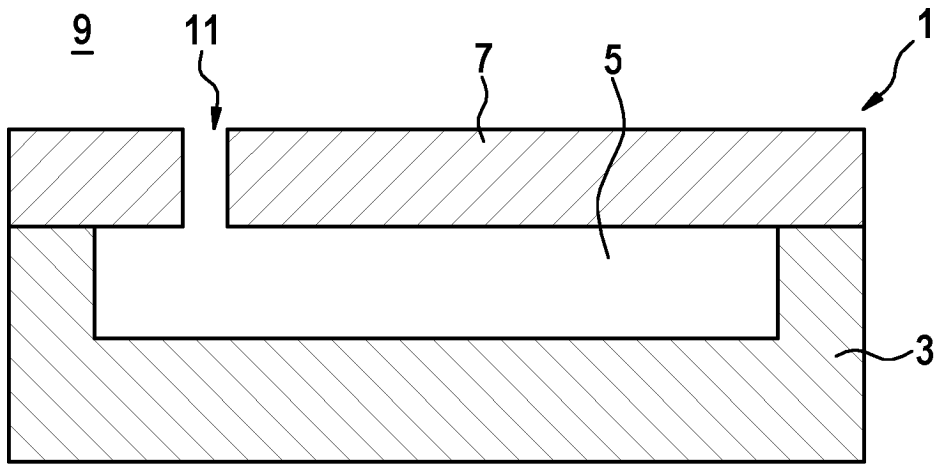


Fig. 1

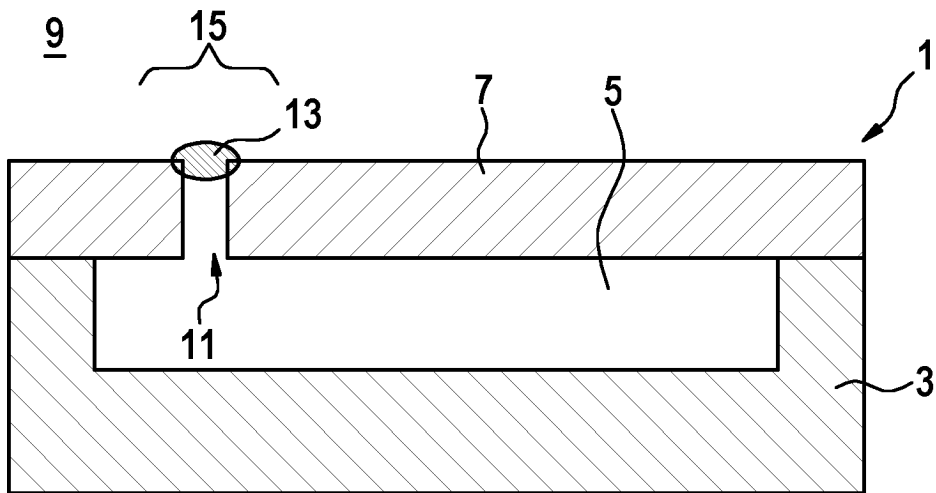


Fig. 2

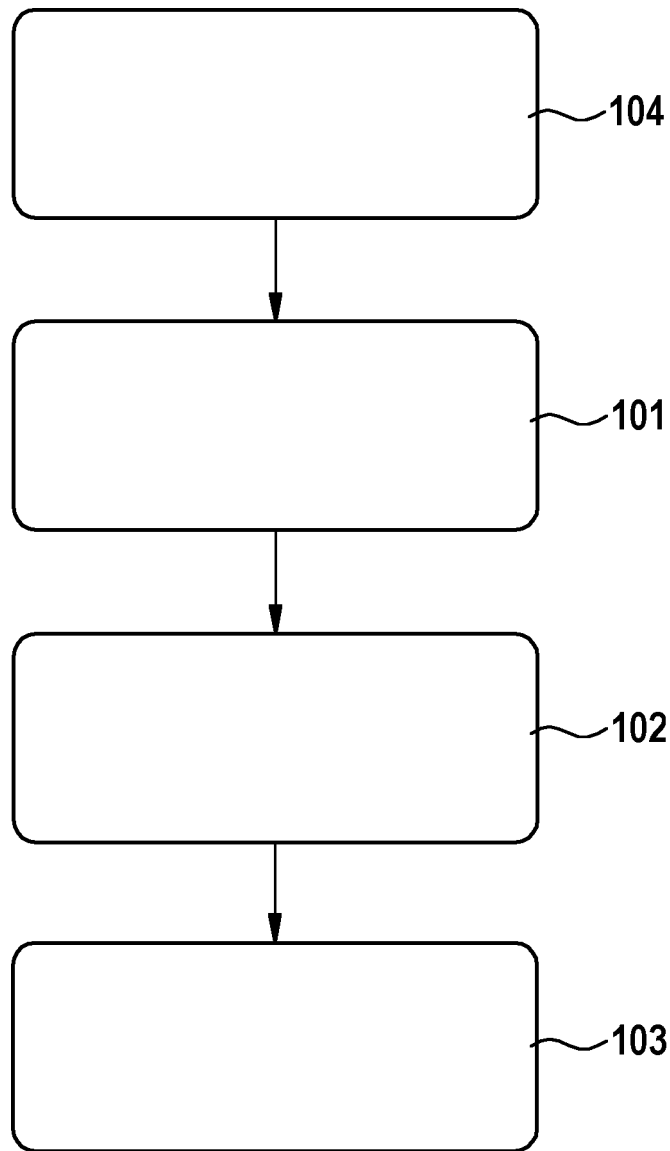


Fig. 3