



(10) **DE 10 2016 214 973 A1** 2018.03.01

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 214 973.3**

(22) Anmeldetag: **11.08.2016**

(43) Offenlegungstag: **01.03.2018**

(51) Int Cl.: **B81C 1/00 (2006.01)**

**B81B 1/00 (2006.01)**

**B81B 7/02 (2006.01)**

**G01C 19/5733 (2012.01)**

**G01P 15/00 (2006.01)**

**B23K 26/382 (2014.01)**

**B23K 26/20 (2014.01)**

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

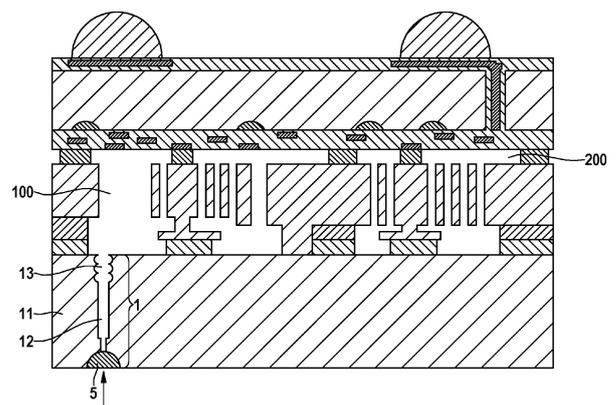
(72) Erfinder:  
**Reinmuth, Jochen, 72766 Reutlingen, DE; Stadler,  
Jan-Peter, 72793 Pfullingen, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Kombiniertes Laserbohr- und Plasmaätz-Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung und mikromechanische Vorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung geht aus von einer mikromechanischen Vorrichtung mit einem ersten Substrat (11), mit wenigstens einer ersten Kaverne (100), mit einem verschlossenen Zugang (1) zur ersten Kaverne (100), wobei der Zugang (1) durch das erste Substrat (11) verläuft. Der Kern der Erfindung besteht darin, dass der Zugang (1) einen lasergebohrten ersten Teilabschnitt (12) und einen plasma-geätzten zweiten Teilabschnitt (13) aufweist, wobei der plasma-geätzten zweiten Teilabschnitt (13) eine Öffnung zur ersten Kaverne (100) aufweist, wobei der Zugang (1) im ersten Teilabschnitt (12) durch einen Schmelzverschluss (5) aus Schmelze wenigstens des ersten Substrats (11) verschlossen ist.

Die Erfindung betrifft auch ein kombiniertes Laserbohr- und Plasmaätz-Verfahren zur Herstellung mikromechanischer Vorrichtungen.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung geht aus von einer mikromechanischen Vorrichtung mit einem ersten Substrat, mit wenigstens einer ersten Kaverne, mit einem verschlossenen Zugang zur ersten Kaverne, wobei der Zugang durch das erste Substrat verläuft.

**[0002]** Aus der Druckschrift WO 2015/120939 A1 ist ein Verfahren zum gezielten Einstellen eines Innendrucks in einer Kaverne eines MEMS-Elements bekannt. Dabei wird in einem Kappenwafer oder in einem Sensorwafer ein schmaler Zugangskanal zu einer MEMS-Kaverne erzeugt. Die Kaverne wird mit dem gewünschten Gas und dem gewünschten Innendruck über den Zugangskanal geflutet. Der Bereich um Zugangskanal wird danach lokal über einen Laser erhitzt. Das Substratmaterial verflüssigt sich dabei lokal und verschließt beim Erstarren den Zugangskanal hermetisch.

**[0003]** Meist wird ein derartiges Verfahren genutzt, wenn man in einem MEMS-Element mit zwei Kavernen erzeugen möchte, wobei in den beiden Kavernen ein unterschiedlicher Innendruck erzeugt werden soll (Fig. 1).

**[0004]** Notwendig ist dies, wenn man beispielsweise eine Beschleunigungssensor mit einem Drehratensensor kombinieren möchte. Der Beschleunigungssensor benötigt für eine optimale Arbeitsweise einen hohen Innendruck, wohingegen ein Drehratensensor eher einen sehr kleinen Innendruck benötigt. Dieses Verfahren erlaubt es in jeder Kaverne den jeweiligen, optimalen Innendruck einzustellen.

**[0005]** Auch kann das Verfahren genutzt werden, wenn verursacht durch eine Ausgasung während der Prozessführung ein sehr geringer Innendruck in einer Kaverne nicht erreicht werden kann, so kann dieser nachträglich eingestellt werden.

**[0006]** In einer diskreten Anordnung, in der nur ein MEMS-Element realisiert wird und die Auswerteschaltung separat vorgesehen wird, kann die Erzeugung des Zugangskanals (1) gleichzeitig mit dem Freistellen der elektrischen Kontaktflächen (2) gemacht werden. In einer derartigen Anordnung wird meist ein relativ dünner Kappenwafer verwendet. Nach der Bondung des Kappenwafers (3) auf den Sensorwafer (4) kann über eine Fotomaske und ein Trenchverfahren in einem Schritt, sowohl eine schmale Zugangsöffnung zu einer ersten Kaverne, als auch eine große Zugangsöffnung zu den Kontaktflächen, erzeugt werden.

**[0007]** In der deutschen Patentschrift DE 102011103516 B4 wird vorgeschlagen, eine ME-

MS-Struktur mit einer Abscheidung ein polykristallinen Siliziumschicht zu verkapseln und dann mit einem Laser-Bohr-Prozess ein Zugangskanal in die polykristallinen Siliziumschicht zu erzeugen. Dann wird eine definierte Atmosphäre in der MEMS-Kaverne eingestellt und mit einem Laser-Verschluss-Prozess wird der Zugangskanal verschlossen. Das Anlegen des Zugangskanals ist im Vergleich zu einem reinen Trenchprozess mit dem nur ein Zugangskanal angelegt kostengünstig. Nachteilig ist, dass bei einem Laser-Bohr-Prozess immer Schmauch entsteht, der die MEMS-Strukturen beeinträchtigen kann. Weiter ist nachteilig, dass der Laser-Bohr-Prozess nicht sehr selektiv auf unterschiedliche Materialien ist. Das heißt unabhängig vom Material wird beim Laser-Bohren nicht nur ein Zugangloch durch die polykristallinen Siliziumschicht erzeugt, sondern es wird auch gleichzeitig in die darunterliegende Schicht ein Loch gebohrt.

## Aufgabe der Erfindung

**[0008]** Gesucht ist ein Verfahren oder eine Anordnung, die es erlaubt einen Zugangskanal in einem dicken Substrat kostengünstig herzustellen. Der Zugangskanal soll in einer Kaverne enden und dort im Herstellungsprozess keinen Schmauch und andere Verunreinigungen erzeugen. Auch soll das Verfahren, sobald es die Kaverne erreicht, stoppen und nicht weiter in das unter der Kaverne liegende Material hineinbohren. Weiterhin soll das Verfahren an der Substratoberfläche sehr kleine Zugangslöcher erzeugen, die mit einem Laser-Aufschmelz-Verfahren verschlossen werden können.

## Vorteile der Erfindung

**[0009]** Die Erfindung geht aus von einer mikromechanischen Vorrichtung mit einem ersten Substrat, mit wenigstens einer ersten Kaverne, mit einem verschlossenen Zugang zur ersten Kaverne, wobei der Zugang durch das erste Substrat verläuft. Der Kern der Erfindung besteht darin, dass der Zugang einen lasergebohrten ersten Teilabschnitt und einen plasmageätzten zweiten Teilabschnitt aufweist, wobei der plasmageätzten zweiten Teilabschnitt eine Öffnung zur ersten Kaverne aufweist, wobei der Zugang im ersten Teilabschnitt durch einen Schmelzverschluss aus Schmelze wenigstens des ersten Substrats verschlossen ist.

**[0010]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass das erste Substrat eine Zusatzschicht aufweist und der Zugang auch durch Schmelze der Zusatzschicht verschlossen ist.

**[0011]** Vorteilhaft ist die mikromechanische Vorrichtung eine hybrid integrierte mikromechanische Vorrichtung wobei die Vorrichtung ein zweites Substrat mit einer ASIC-Schaltung aufweist.

**[0012]** Die Erfindung betrifft auch ein kombiniertes Laser-Bohr- und Plasmaätz-Verfahren zur Herstellung mikromechanischer Vorrichtungen.

**[0013]** Vorteilhaft wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Schmauch in der Kaverne vollständig vermieden. Vorteilhaft ist keine teure Fotomaske für den Plasma-Ätzprozess notwendig. Der Laserbohrprozess erzeugt die für den Trenchprozess notwendige Maske. Vorteilhaft erfolgt die Justage zwischen Laser-Bohrprozess und Trenchprozess über die Zusatzschicht selbstjustierend, ein Versatz ist ausgeschlossen. Vorteilhaft kann durch die Kombination zweier Abtragsverfahren, nämlich Laserbohren und Trenchätzen, ein in Summe höheres Aspektverhältnis für den Zugangskanal erreicht werden. Durch geeignete Wahl der Zusatzschicht ist es vorteilhaft möglich kleinere Zugangsöffnungen im Laser-Bohrprozess zu erreichen. Vorteilhaft kann die Zusatzschicht gleichzeitig genutzt werden, um einen stabileren Laser-Reseal-Prozess zu erzeugen, beispielsweise indem das Material der Zusatzschicht leichter schmelzbar ist, oder mit dem Material des Substrats, insbesondere Silizium, ein Eutektikum bildet. Vorteilhaft kann das erfindungsgemäße kombinierte Laserbohr- und Plasmaätz-Verfahren mit dem definierten Einbringen einer geeigneten Atmosphäre und dem Verschließen an jeder beliebigen Stelle im gesamten MEMS-Herstellungsprozess integriert werden. Insbesondere kann diese Schrittfolge auch ganz am Ende des Wafer-Herstellungsprozesses integriert werden. So muss der eigentliche Herstellungsprozess nicht verändert werden.

**[0014]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass nach dem Schritt (c) die Zusatzschicht entfernt wird. Vorteilhaft kann die Zusatzschicht unmittelbar nach dem Schritt (c) entfernt werden oder in einem späteren Verfahrensschritt.

**[0015]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass nach dem Schritt (e) in der ersten Kaverne eine Atmosphäre mit bestimmter Zusammensetzung und bestimmtem Druck eingestellt wird.

**[0016]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass im Schritt (f) auch Laser-Schmelzen von Material der Zusatzschicht erfolgt. Vorteilhaft wird der Zugang auch durch Schmelze der Zusatzschicht verschlossen.

**[0017]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass der Schritt (c) und/oder der Schritt (d) im Wesentlichen bei atmosphärischem Druck durchgeführt wird.

**[0018]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass im Schritt

(c) das Laserbohren mit einem ersten Laser oder auch mit ersten Laser-Betriebsparametern, insbesondere mit sehr kurzer Wellenlänge oder auch sehr stark fokussiert oder auch mit sehr kurzer Pulslänge durchgeführt wird, und dass im Schritt (d) das Laserbohren mit einem zweiten Laser oder auch mit zweiten Laser-Betriebsparametern, welche von den ersten Laser-Betriebsparametern verschieden sind, insbesondere mit größerer Wellenlänge oder auch weniger stark fokussiert oder auch mit größerer Pulslänge durchgeführt wird.

**[0019]** Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass im Schritt (d) das Laserbohren zunächst mit den ersten Laser-Betriebsparametern bis zu einer bestimmten Tiefe durchgeführt wird und anschließend das Laserbohren mit den zweiten Laser-Betriebsparametern durchgeführt wird.

#### Zeichnung

**[0020]** Fig. 1 zeigt eine mikromechanische Vorrichtung mit einer Kaverne mit einem verschlossenen Zugang im Stand der Technik.

**[0021]** Fig. 2A bis G zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen kombinierten Laserbohr- und Plasmaätz-Verfahrens zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung.

**[0022]** Fig. 3 zeigt schematisch das erfindungsgemäße Laserbohr- und Plasmaätz-Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung.

#### Beschreibung

**[0023]** Fig. 1 zeigt eine mikromechanische Vorrichtung mit einer Kaverne mit einem verschlossenen Zugang im Stand der Technik. Schematisch dargestellt ist eine mikromechanische Vorrichtung mit einem MEMS-Wafer **4** und einem Kappenwafer **3**. Der Kappenwafer **3** weist einen Zugangskanal **1** auf, der mit einem Schmelzverschluss **5** verschlossen ist. In Ausnehmungen des Kappenwafers **3** sind elektrische Kontaktflächen **2** angeordnet. Die mikromechanische Vorrichtung weist eine erste Kaverne **100**, welche beispielsweise einen Drehratensensor enthält, und eine zweite Kaverne **200**, welche beispielsweise einen Beschleunigungssensor enthält, auf. Die Kaverne **200** enthält im Wesentlichen eine Atmosphäre mit Druck und Zusammensetzung des Prozessgases beim Bonden des MEMS-Wafers **4** mit dem Kappenwafer **3**. Hierdurch ist eine gute Dämpfung des Beschleunigungssensors gewährleistet. Die Kaverne **100** wurde durch den Zugang **1** evakuiert und der Zugang **1** anschließend mittels eines Schmelzverschlusses **5** verschlossen. Hierdurch ist eine hohe Güte des Schwingers des Drehratensensors gewährleistet. Der Pfeil kennzeichnet die Wirkrichtung ei-

nes Laser-Verschluss Prozesses zur Herstellung des Schmelzverschlusses 5.

**[0024]** In einer diskreten Anordnung eines mikro-mechanischen Sensors oder einer sonstigen mikro-mechanischen Vorrichtung, in der nur ein MEMS-Element realisiert wird und die Auswerteschaltung oder eine sonstige elektrische Steuerschaltung separat vorgesehen wird, kann der Zugangskanal 1 gleichzeitig mit dem Freistellen der elektrischen Kontaktflächen 2 hergestellt werden. In einer derartigen Anordnung wird meist ein relativ dünner Kappenwafer 3 verwendet. Nach dem Bonden des Kappenwafers 3 auf den Sensorwafer 4 kann über eine Fotomaske und ein Trenchverfahren in einem gemeinsamen Schritt, sowohl eine schmale Zugangsöffnung 1 zu der ersten Kaverne 100, als auch eine große Zugangsöffnung zu den Kontaktflächen 2, erzeugt werden.

**[0025]** Schwierig wird die Herstellung der Zugangsöffnung 1 zu der ersten Kaverne 100 bei dicken Kappenwafer. Die Zugangsöffnung 1 darf nicht zu groß werden, da sonst ein Verschließen über ein lokales Aufschmelzen und anschließendes Erstarren nicht mehr möglich ist. Trenchverfahren, die sehr schmale Zugänge erzeugen und gleichzeitig sehr tief reichen, also ein hohes Aspektverhältnis aufweisen, sind schwierig und werden mit zunehmendem Aspektverhältnis immer langsamer und aufwendiger.

**[0026]** Wird der Zugang 1 zur ersten Kaverne 100 nicht gleichzeitig mit dem Öffnen der Kontaktbereiche 2 hergestellt, muss für beide Prozesse jeweils eine eigene Fotomaske vorgesehen werden. Dies ist aufwendig und teuer und zum Teil auch technisch schwer umsetzbar.

**[0027]** Fig. 2A bis G zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen kombinierten Laserbohr- und Plasmaätz-Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung. Fig. 2A zeigt zunächst einen bereitgestellten Waferverbund mit einem MEMS-Wafer und einem Substrat mit einer ASIC-Auswerteschaltung. Für Anwendungen sogenannter hybrider Integration wird auf Wafer-Level ein zweites Substrat 15 mit einer ASIC-Auswerteschaltung 6 direkt mit einem MEMS-Wafer 7 mit einem ersten Substrat 11 kombiniert. Alternativ wird auf die ASIC-Auswerteschaltung ein MEMS-Element aufgebracht und dieser Wafer wird mit einem Kappensubstrat verkapselt. Um einen möglichst kompakte Bauteile zu bekommen, können durch das ASIC-Substrat 15 oder das MEMS-Substrat 11 Durchkontaktierungen (trans silicon vias, TSV's) 8 vorgesehen werden, um eine elektrische Verbindung zwischen der ASIC-Schaltung, insbesondere einer MEMS-Sensor-Auswerteschaltung, und der Umgebung zu erzeugen. Fig. 2B zeigt das Aufbringen einer Zusatzschicht 9 auf das erste Substrat 11. Mit einem Laserbohr-

Verfahren mit gepulster Laser-Energie wird gemäß Fig. 2C in die Zusatzschicht 9 ein Loch 10 gebohrt. Weiter wird dann gemäß Fig. 2D in das darunterliegende Material des ersten Substrats 11 ebenfalls mit einem gepulsten Laser das Loch vertieft und in einen ersten Teilabschnitt 12 des ersten Substrats 11 vorangetrieben. Bevor die darunterliegende erste Kaverne 100 erreicht wird, wird auf ein Plasma-Ätzverfahren, insbesondere ein Trench-Verfahren, umgestellt, wie in Fig. 2E gezeigt ist. Die Zusatzschicht 9 dient als Maske für das Plasma-Ätzverfahren. Mit dieser Schicht als Maske wird mit dem Plasma-Ätzverfahren der Zugangskanal 1 durch einen zweiten Teilabschnitt 13 des ersten Substrats 11 bis zur ersten Kaverne 100, in der sich beispielsweise ein MEMS-Funktionselement befindetet, geätzt. Die Pfeile kennzeichnen hier die Wirkrichtung eines Trench-Verfahrens. In der Kaverne, insbesondere an einer dem Zugangskanal 1 gegenüberliegenden Wand der Kaverne, kann optional eine Stoppschicht 14 vorgesehen sein, so dass das Plasma-Ätzverfahren nicht weiter in das MEMS-Funktionselement oder die ASIC-Schaltung oder in das zweite Substrat hinein ätzt. Dann wird die Kaverne mit dem gewünschten Gas und dem gewünschten Innendruck über den Zugangskanal geflutet. Fig. 2F zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der die Zusatzschicht 9 anschließend entfernt wird. Die Zusatzschicht 9 kann beispielsweise aus Oxid bestehen und durch Ätzen entfernt werden. Die Pfeile kennzeichnen hier die Einwirkung eines Erzprozesses zum Entfernen der Zusatzschicht 9. Alternativ kann die Zusatzschicht 9 auch in einem späteren Verfahrensschritt entfernt werden oder bestehen bleiben. Fig. 2G zeigt wie schließlich ein Bereich des ersten Substrats 11 um den Zugangskanal 1 lokal über einen Laser erhitzt wird. Das Substratmaterial des ersten Substrats 11 verflüssigt sich lokal und verschließt beim Erstarren den Zugangskanal 1 im lasergebohrten ersten Teilabschnitt 12 hermetisch mit einem Schmelzverschluss 5. Falls die Zusatzschicht 9 nicht entfernt wurde, kann auch ein Teil der Zusatzschicht über den Laser erhitzt werden. Material der Zusatzschicht 9 verflüssigt sich lokal und verschließt beim Erstarren ebenfalls den Zugangskanal 1.

**[0028]** Fig. 3 zeigt schematisch das erfindungsgemäße Laserbohr- und Plasmaätz-Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung mit den Verfahrensschritten:

- (a) Bereitstellen eines mikromechanischen Vorläuferprodukts mit einem ersten Substrat 11 und wenigstens einer ersten Kaverne 100, wobei die erste Kaverne 100 wenigstens von dem ersten Substrat 11 begrenzt wird,
- (b) Aufbringen einer Zusatzschicht 9 auf das erste Substrat 11,
- (c) Laserbohren durch die Zusatzschicht 9 und somit Herstellen einer Maske,

(d) Laserbohren eines ersten Teilabschnitts **12** des ersten Substrats **11** durch die Maske hindurch,

(e) Plasmaätzen eines zweiten Teilabschnitts **13** des ersten Substrats **11** durch die Maske und durch den ersten Teilabschnitt **12** hindurch, derart, dass ein Zugang **1** durch das erste Substrat **11** zur Kaverne **100** geschaffen wird,

(f) Laser-Schmelzen von Substratmaterial des ersten Teilabschnitts **12** und Verschließen des Zugangs **1** mit Schmelze.

**[0029]** Die wesentlichen Prozessschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Ein MEMS-Wafer-Strack wird mit mindesten einer Zusatzschicht versehen.
2. Mit einem Laser-Bohr-Verfahren wird in die Zusatzschicht und das Substratmaterial ein Sackloch gebohrt.
3. Mit einem Plasma-Ätzverfahren insbesondere mit einem Trench-Verfahren wird das Loch weiter bis in die Kaverne geätzt.
4. Optional kann nun die Zusatzschicht entfernt werden (**Fig. 2F**).
5. Die Kaverne wird mit den gewünschten Gas und dem gewünschten Innendruck über den Zugangskanal geflutet.
6. Der Bereich um den Zugangskanal wird lokal über einen Laser erhitzt, das Substratmaterial verflüssigt sich lokal und verschließt beim Erstarren den Zugangskanal hermetisch.

Weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung

**[0030]** Es ist günstig den Laser-Bohr-Prozess mit zwei unterschiedlichen Lasern oder Lasereinstellungen vorzunehmen. Der erste Laser-Bohr-Prozess ist optimiert, um ein Loch in die Zusatzschicht zu bohren. Es kann beispielsweise bewusst eine Laser mit sehr kurzer Wellenlänge verwendet werden, der sehr stark fokussiert ist und oder eine sehr kurze Pulslänge hat. Damit kann in der Zusatzschicht ein sehr kleines Zugangsloch erzeugt werden. Der zweite Laser-Bohr-Prozess kann optimiert werden, um im Substrat ein Loch zu bohren. Insbesondere kann die Zusatzschicht und der zweite Laser derart kombiniert werden, dass ein Teil der Laserleistung reflektiert wird. Es kann beispielsweise als Zusatzschicht eine Metallschicht wie insbesondere Aluminium verwendet werden, die mit einer Laserwellenlänge kombiniert wird, so dass ein großer Teil des Lichts reflektiert wird. Oder es wird eine teilweise transparente Schicht, wie beispielsweise Oxid verwendet, die aber in einer Dicke derart gewählt wird, dass das Laser-Licht zu einem großen Teil reflektiert wird. Durch eine solche Anordnung kann das Laser-Licht durch die Zusatzschicht neben der normalen Fokussierung noch weiter räumlich lokalisiert werden und man ist damit in der Lage sehr kleine Zugangskanäle auch in großer

Tiefe zu bohren. Günstig an diesem Verfahren ist, dass als zweiter Laser-Bohr-Prozess auch ein Laser mit größerer Wellenlänge und /oder größerer Pulslänge verwendet werden kann, der schnellere Bohrraten erlaubt.

**[0031]** Weiterhin kann es günstig sein mit den ersten Laser-Bohr-Prozess ein Loch nicht nur in die Zusatzschicht **9** zu bohren, sondern auch in den oberen Teil des ersten Substrats **11**, der später über das Aufschmelzverfahren verschlossen werden soll. Im mittleren Teil des Substrats kann man dann einen zweiten Laser-Bohr-Prozess verwenden, der eine größere Öffnung bohrt und dafür schneller arbeitet. Eine schmale Zugangsöffnung im oberen Substratbereich ist für den nachfolgenden Verschlussprozess günstig. Daher ist es günstig die erste schmale Bohrung so tief oder tiefer als die Tiefe des Aufschmelzbereich im Verschlussprozess in das Substrat zu bohren.

**[0032]** Weiter günstig ist es, wenn zunächst der Laser-Bohr-Prozess an der Luft, das heißt bei atmosphärischem Druck durchgeführt wird, um eine einfache, kostengünstige Prozessführung zu erlauben. Anschließend wird das Plasma-Ätzverfahren in einer Vakuum-Kammer durchgeführt. Dann wird der Wafer direkt, ohne den Wafer aus der Vakuum-Anlage zu bringen, mit dem Laser-Reseal-Prozess verschlossen. Günstig an diesem Ablauf ist, dass keine Verunreinigungen beim anschließenden Belüften in die Kaverne kommen können. Weiter können auch keine Feuchtigkeit und andere absorbierende Gase in die Kaverne kommen. Diese Gase könnten zum Teil nur durch Ausheizen entfernt werden. Da bei dieser Prozessführung kein Ausheizen notwendig ist, kann das erfindungsgemäße Verfahren an beliebiger Stelle, insbesondere auch ganz am Ende der Prozesskette zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung, vorgenommen werden. Dies ist beispielsweise auch noch möglich, wenn schon Lotkugeln auf dem Wafer platziert wurden und daher eine Temperaturbehandlung nicht mehr möglich ist.

**[0033]** Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann auch das MEMS-Substrat deutlich dicker als das ASIC-Substrat gewählt werden. Das ist insbesondere dann günstig wenn die MEMS-Strukturen mechanisch an das MEMS-Substrat gekoppelt sind.

**[0034]** Besonders günstig ist das Verfahren für hybrid integrierte MEMS-Elemente. Günstig ist insbesondere, wenn auf einem Substrat eine MEMS-Struktur vorgesehen wird und auf einem weiteren Substrat eine ASIC-Auswerteschaltung vorgesehen wird und beide Substrate aufeinander gebondet werden. Dann ist es günstig den Zugang nach dem beschriebenen Verfahren durch das Substrat mit der MEMS-Struktur zu wählen. In diesem Fall können ASIC-Funktionsschichten wie Passivierungsschichten (Oxide) oder Verdrahtungsschichten (Al oder Cu) als Ätz-Stopp-

schicht für das Plasma-Ätzverfahren verwendet werden, ohne dass Zusatzschichten im System aufgebracht werden müssen.

**[0035]** Speziell ist das Verfahren günstig zur Herstellung von hybrid integrierte MEMS-Elemente mit mindestens zwei Kavernen mit unterschiedlichem Innendruck.

**[0036]** Weiterhin ist das Verfahren günstig zur Herstellung von hybrid integrierte MEMS-Elemente die als Bare-Die-Aufbauten konzipiert sind, also direkt mit Lotkugeln versehen sind und nicht in Plastikmasse vergossen werden.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Zugangskanal
<b>2</b>	elektrische Kontaktflächen
<b>3</b>	Kappenwafer
<b>4</b>	Sensorwafer
<b>5</b>	Schmelzverschluss
<b>6</b>	ASIC Wafer
<b>7</b>	MEMS Wafer
<b>8</b>	TSV
<b>9</b>	Zusatzschicht
<b>10</b>	lasergebohrtes Loch in Zusatzschicht
<b>11</b>	erstes Substrat
<b>12</b>	lasergebohrter erster Teilabschnitt des Zugangskanals im ersten Substrat
<b>13</b>	plasmageätzter zweiter Teilabschnitt des Zugangskanals im ersten Substrat
<b>14</b>	Stoppschicht
<b>15</b>	zweites Substrat
<b>20</b>	Lotkugel
<b>100</b>	erste Kaverne
<b>200</b>	zweite Kaverne

**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]
- DE 102011103516 B4 [0007]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Vorrichtung mit den Schritten:

- (a) Bereitstellen eines mikromechanischen Vorläuferprodukts mit einem ersten Substrat (11) und wenigstens einer ersten Kaverne (100), wobei die erste Kaverne (100) wenigstens von dem ersten Substrat (11) begrenzt wird,
- (b) Aufbringen einer Zusatzschicht (9) auf das erste Substrat (11),
- (c) Laserbohren durch die Zusatzschicht (9) und somit Herstellen einer Maske,
- (d) Laserbohren eines ersten Teilabschnitts (12) des ersten Substrats (11) durch die Maske hindurch,
- (e) Plasmaätzen eines zweiten Teilabschnitts 13 des ersten Substrats (11) durch die Maske und durch den ersten Teilabschnitt 12 hindurch, derart, dass ein Zugang (1) durch das erste Substrat (11) zur Kaverne (100) geschaffen wird,
- (f) Laser-Schmelzen von Substratmaterial des ersten Teilabschnitts (12) und Verschließen des Zugangs (1) mit Schmelze.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Schritt (c) die Zusatzschicht (9) entfernt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach dem Schritt (e) in der ersten Kaverne (100) eine Atmosphäre mit bestimmter Zusammensetzung und bestimmtem Druck eingestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Schritt (f) auch Laser-Schmelzen von Material der Zusatzschicht (9) erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schritt (c) und/oder der Schritt (d) im Wesentlichen bei atmosphärischem Druck durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Schritt (c) das Laserbohren mit ersten Laser-Betriebsparametern, insbesondere mit sehr kurzer Wellenlänge und/oder sehr stark fokussiert und/oder mit sehr kurzer Pulslänge durchgeführt wird, und dass im Schritt (d) das Laserbohren mit zweiten Laser-Betriebsparametern, welche von den ersten Laser-Betriebsparametern verschieden sind, insbesondere mit größerer Wellenlänge und/oder weniger stark fokussiert und/oder mit größerer Pulslänge durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Schritt (d) das Laserbohren zunächst mit den ersten Laser-Betriebsparametern bis zu einer bestimmten Tiefe durchgeführt wird und anschließend das Laserbohren mit den zweiten Laser-Betriebsparametern durchgeführt wird.

8. Mikromechanische Vorrichtung mit einem ersten Substrat (11), mit wenigstens einer ersten Kaverne (100), mit einem verschlossenen Zugang (1) zur ersten Kaverne (100), wobei der Zugang (1) durch das erste Substrat (11) verläuft, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zugang (1) einen lasergebohrten ersten Teilabschnitt (12) und einen plasmageätzten zweiten Teilabschnitt (13) aufweist, wobei der plasmageätzten zweiten Teilabschnitt (13) eine Öffnung zur ersten Kaverne (100) aufweist, wobei der Zugang (1) im ersten Teilabschnitt (12) durch einen Schmelzverschluss (5) aus Schmelze wenigstens des ersten Substrats (11) verschlossen ist.

9. Mikromechanische Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Substrat (11) eine Zusatzschicht (9) aufweist und der Zugang (1) auch durch Schmelze der Zusatzschicht (9) verschlossen ist.

10. Hybrid integrierte mikromechanische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung ein zweites Substrat (15) mit einer ASIC-Schaltung aufweist.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

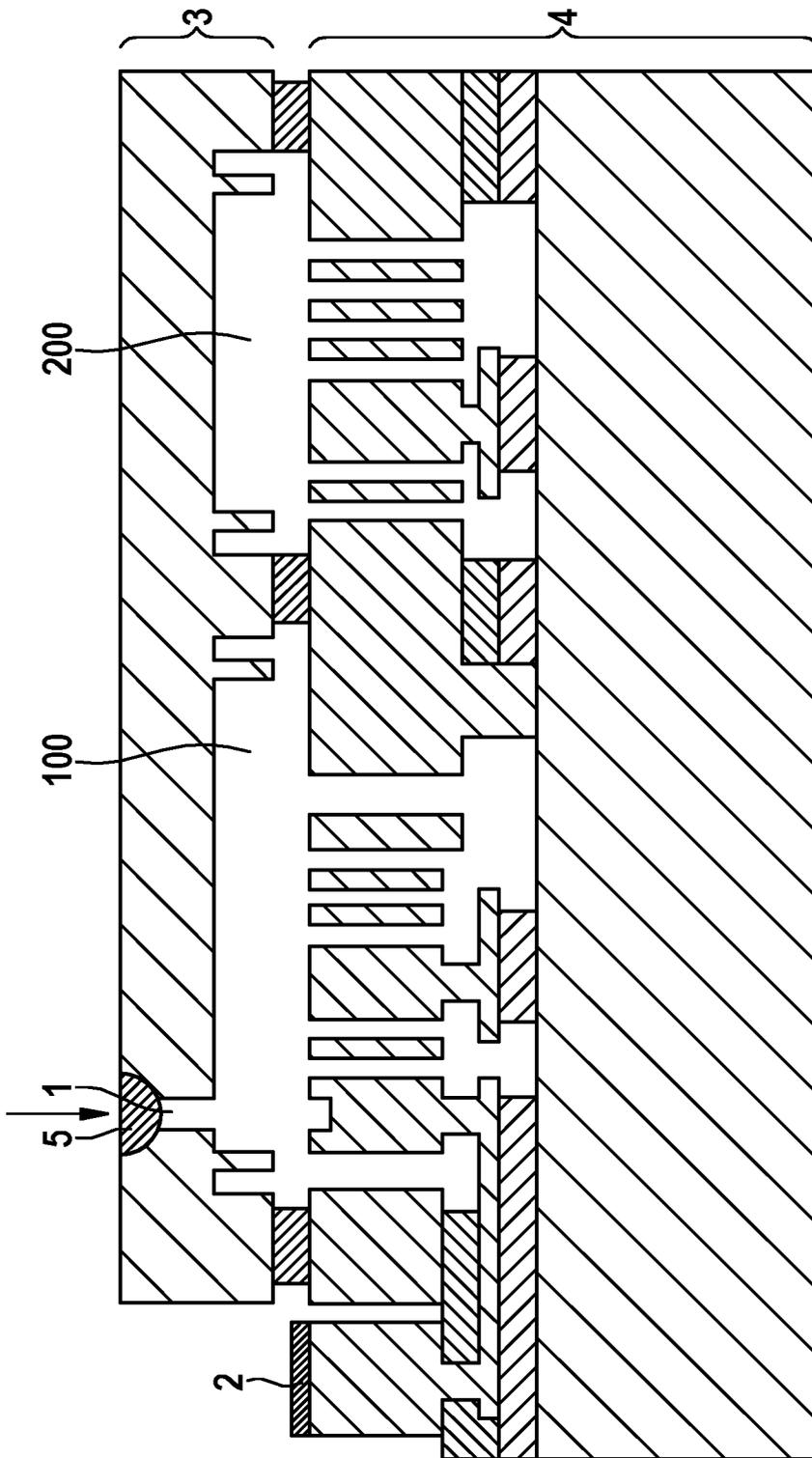


Fig. 1

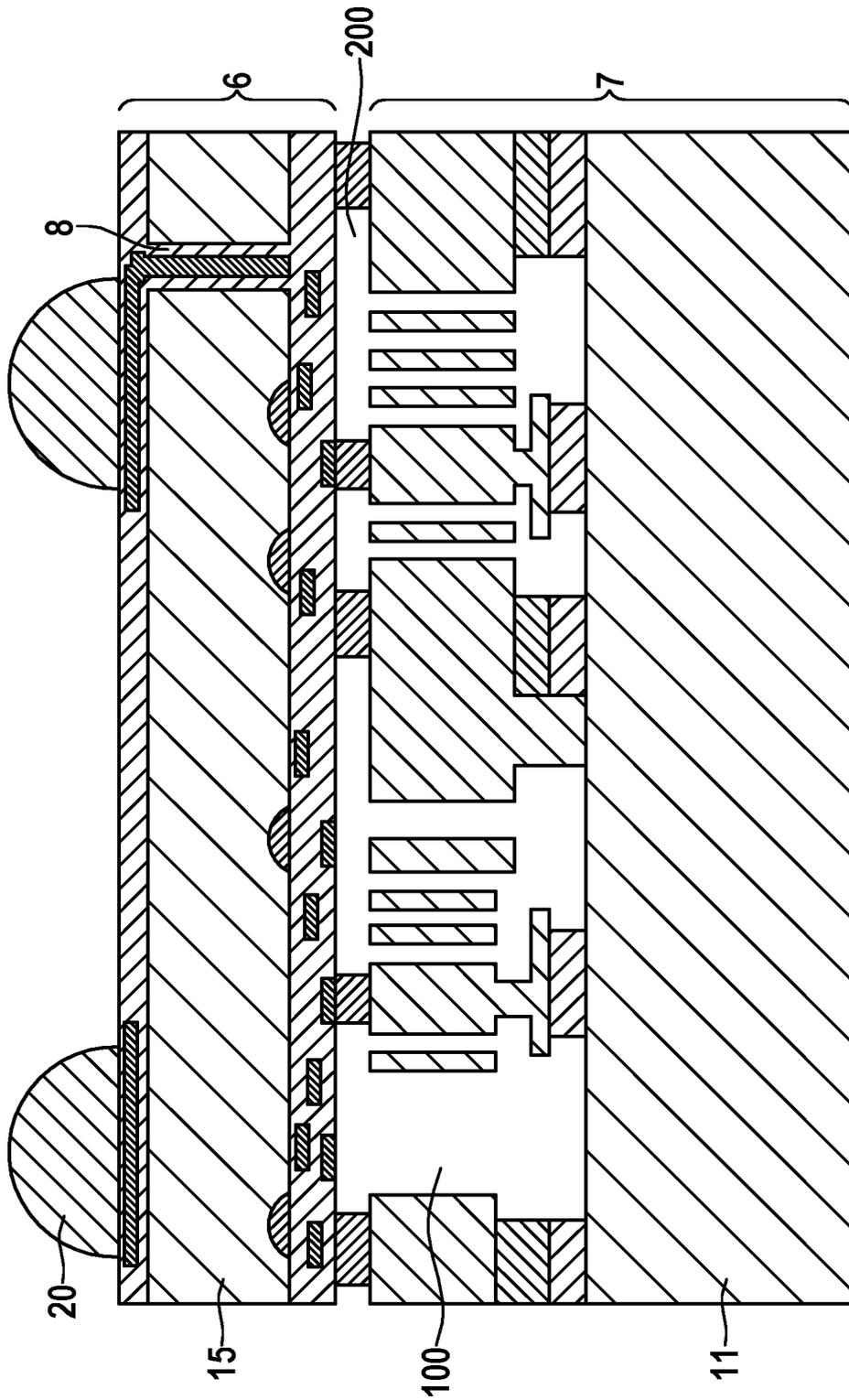


Fig. 2A

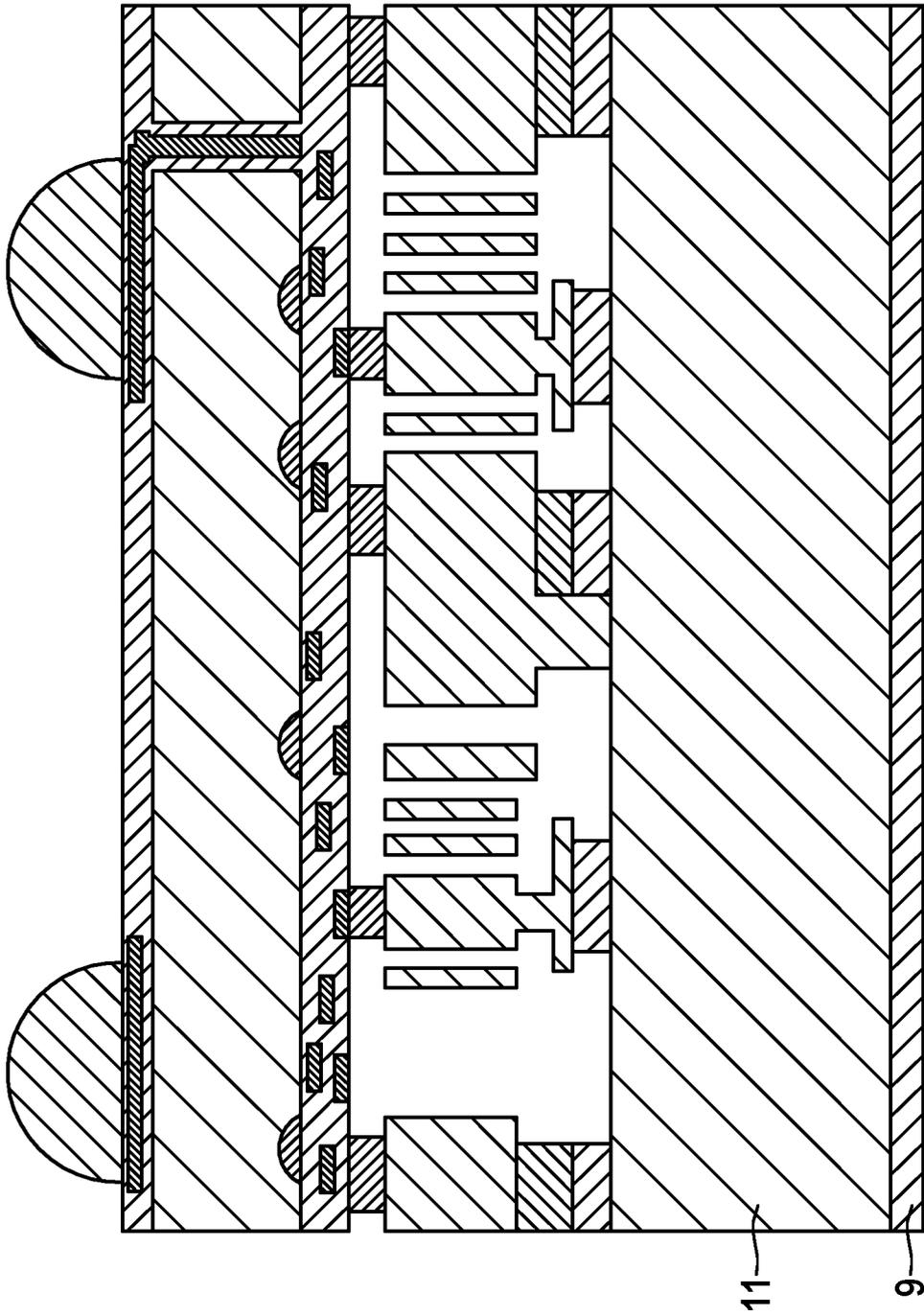


Fig. 2B

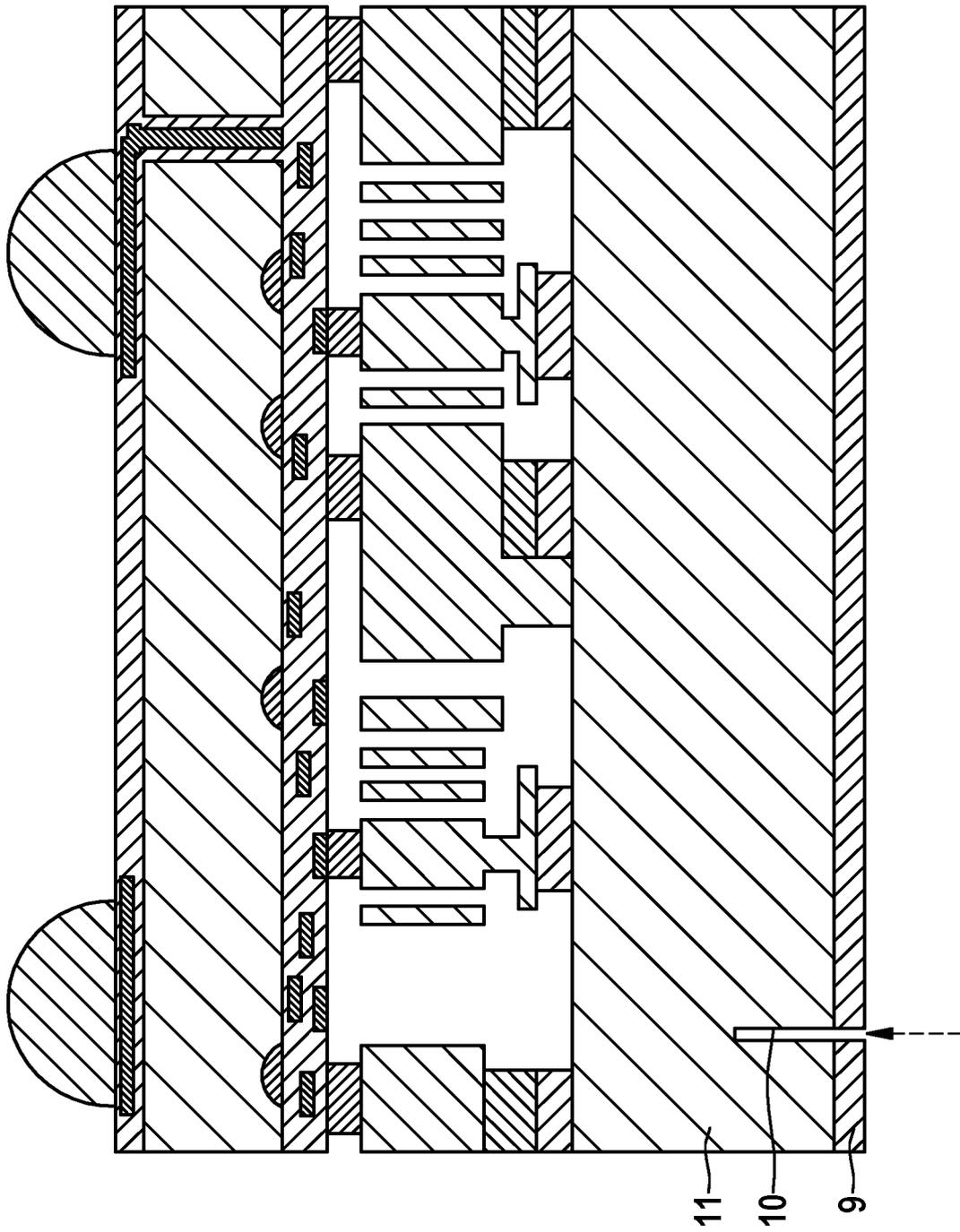


Fig. 2C

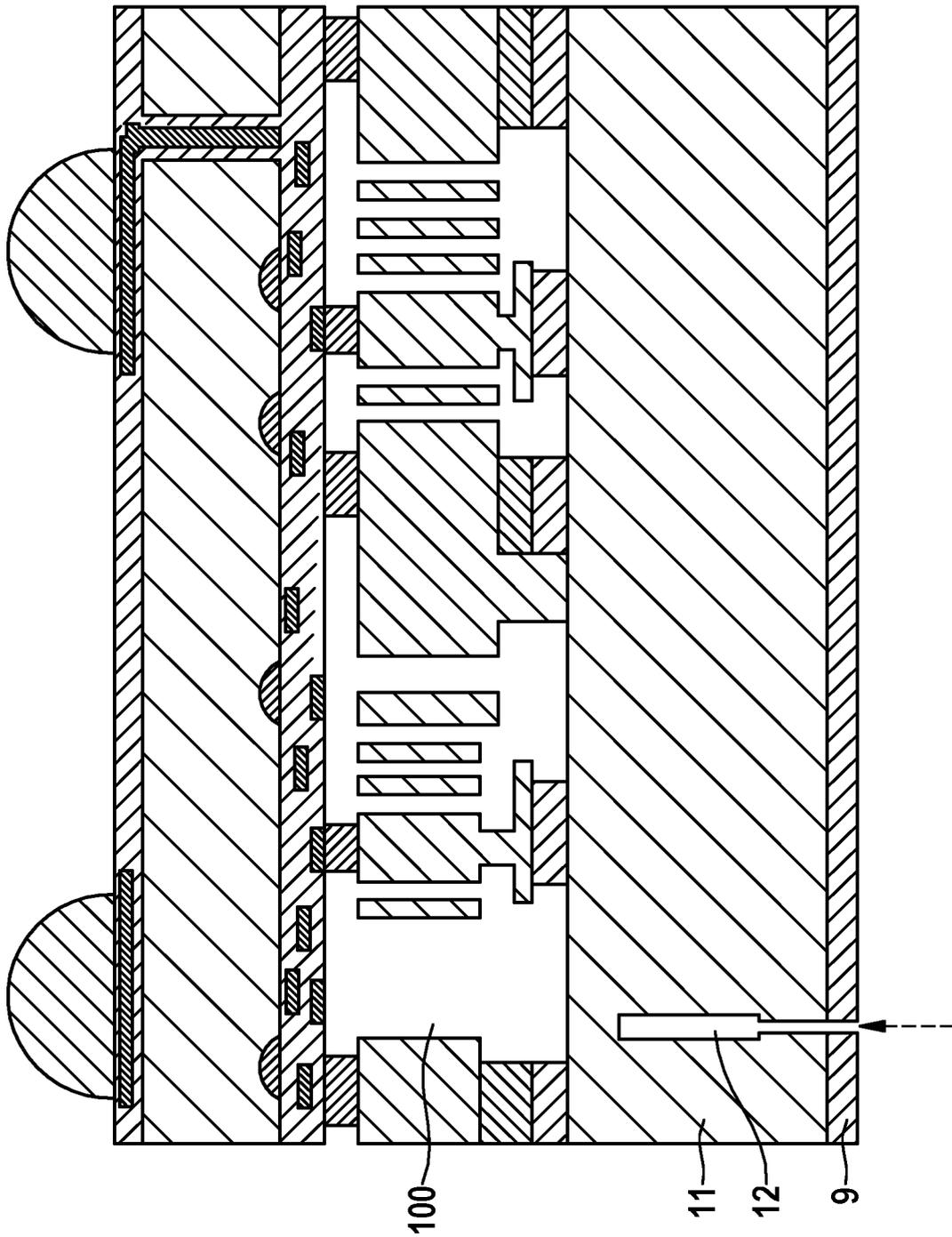


Fig. 2D

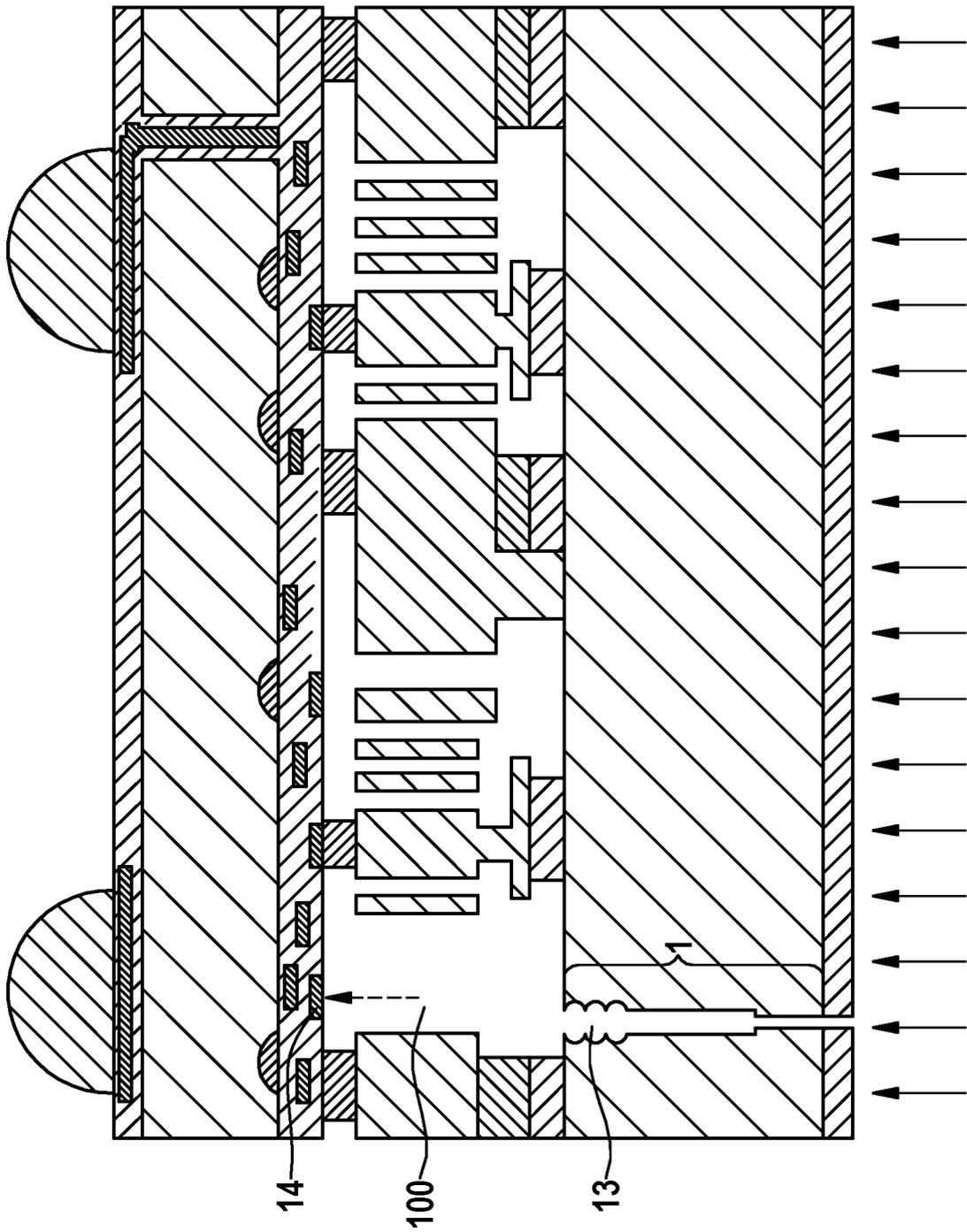


Fig. 2E

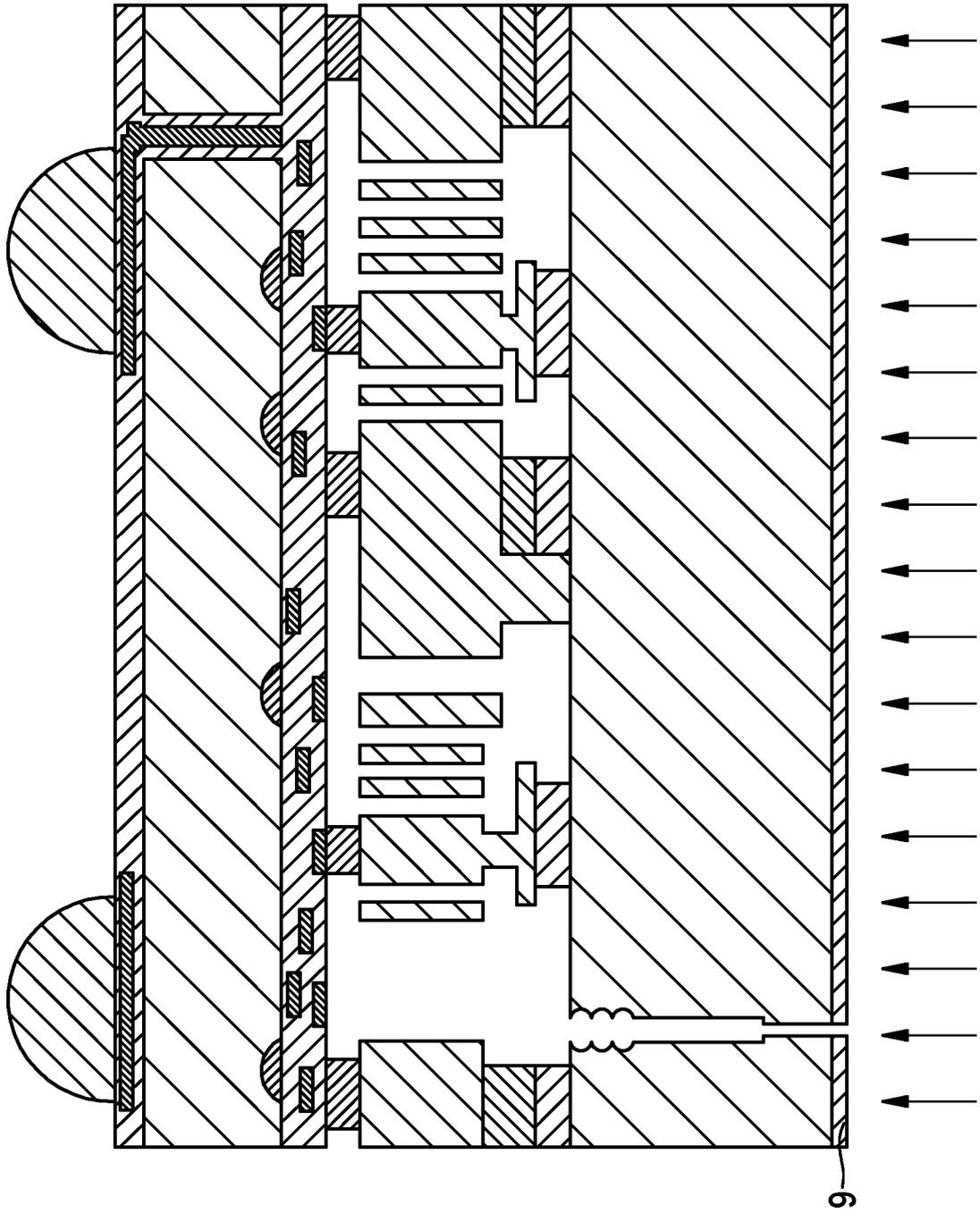


Fig. 2F

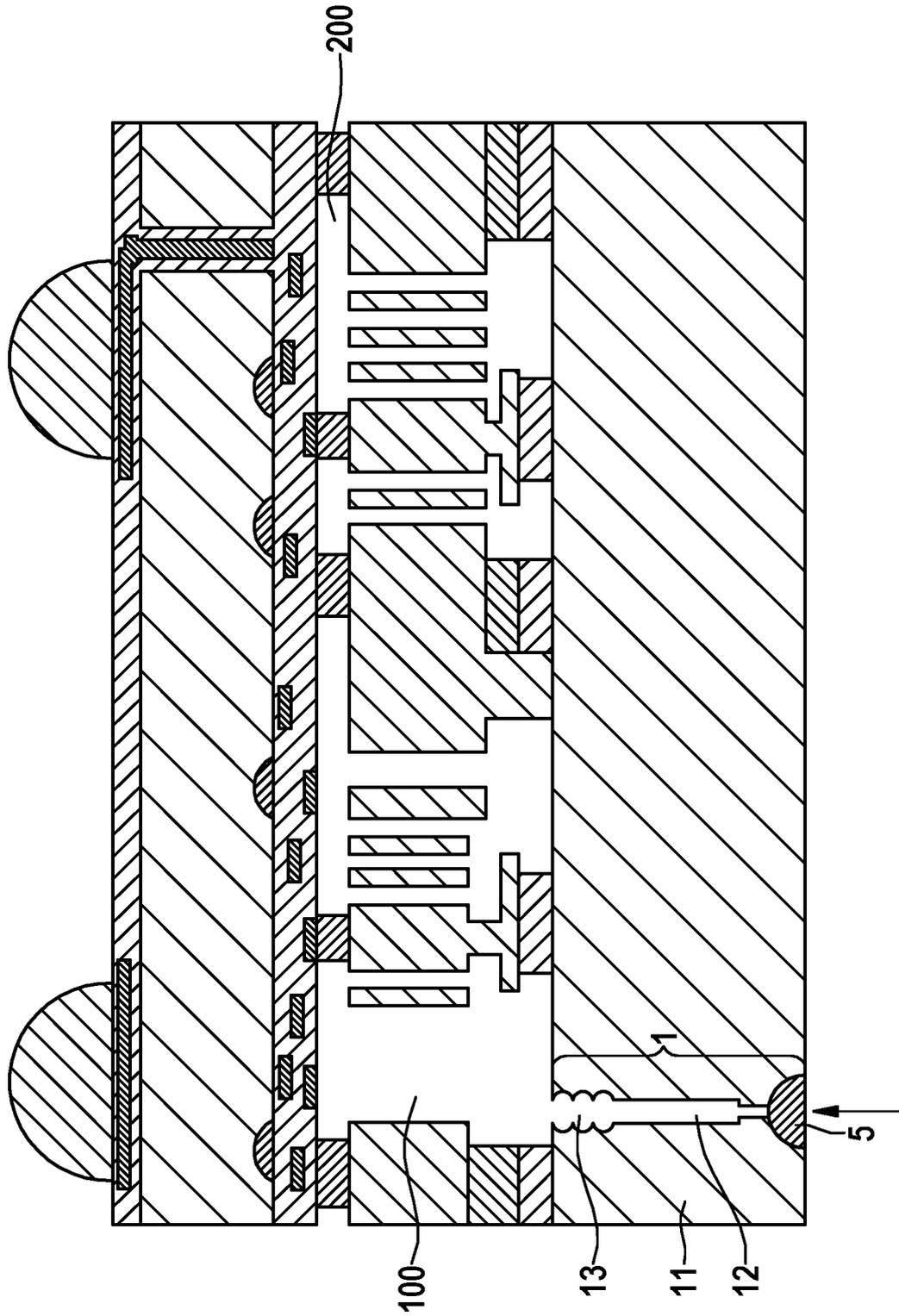
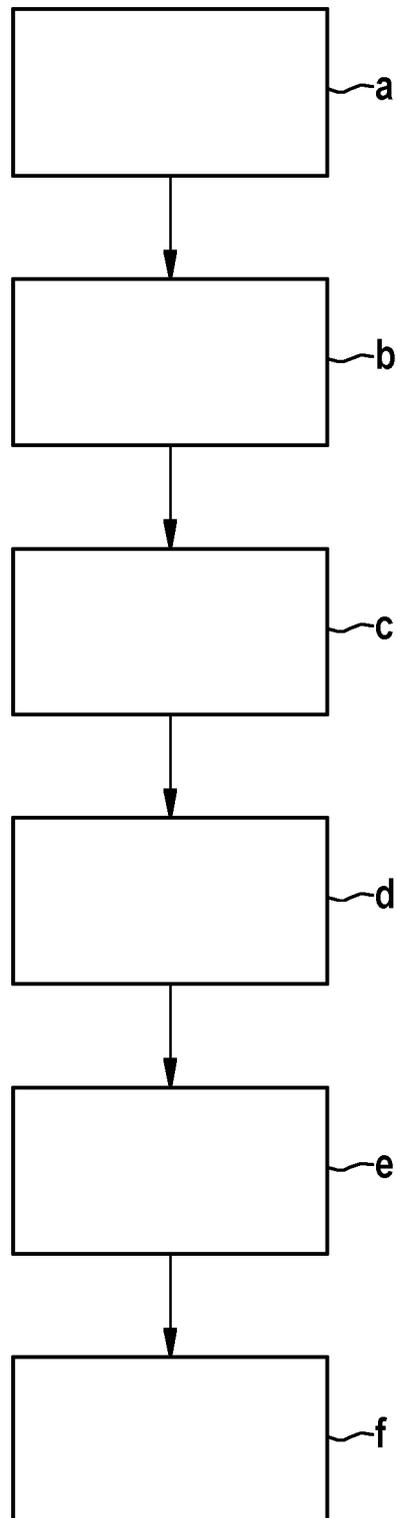


Fig. 2G



**Fig. 3**