



(10) **DE 10 2019 218 334 A1** 2021.05.27

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 218 334.4**
(22) Anmeldetag: **27.11.2019**
(43) Offenlegungstag: **27.05.2021**

(51) Int Cl.: **B81B 7/02 (2006.01)**
B81B 3/00 (2006.01)
G01P 15/097 (2006.01)

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

(72) Erfinder:
**Scheben, Rolf, 72762 Reutlingen, DE; Jemili,
Amin, 72127 Kusterdingen, DE; Reinmuth,
Jochen, 72766 Reutlingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

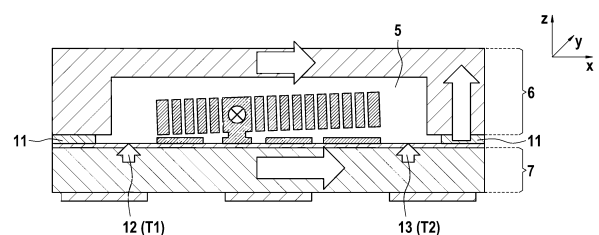
DE	10 2015 222 756	A1
DE	10 2017 213 636	A1
US	2010 / 0 300 201	A1
US	2017 / 0 122 976	A1
US	2019 / 0 100 426	A1
US	2020 / 0 039 818	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Mikromechanische Vorrichtung mit lokaler Temperaturerfassung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung geht aus von einem mikromechanischen Bauteil mit einem ersten Substrat (6) und einem zweiten Substrat (7), welche eine Kaverne (5) umschließen, wobei in der Kaverne (5) eine seismische Masse (4) beweglich angeordnet ist. Der Kern der Erfindung besteht darin, dass das mikromechanische Bauteil wenigstens zwei Temperaturmessfühler (12, 13, 15, 16) mit einem Abstand voneinander zur Messung von Temperaturen an wenigstens zwei Orten des Bauteils aufweist. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Kalibrierung eines MEMS-Bauteils über einen Temperaturgradienten.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einem mikromechanischen Bauteil mit einem ersten Substrat und einem zweiten Substrat, welche eine Kaverne umschließen, wobei in der Kaverne eine seismische Masse beweglich angeordnet ist.

[0002] Mikromechanische Sensoren (MEMS) zur Messung von beispielsweise Beschleunigung, Drehrate und Druck sind bekannt und werden für viele Anwendungen im Automobil- und Consumer-Bereich in Massenfertigung hergestellt.

[0003] Zwei wesentliche Trends in der Consumer-Elektronik sind eine Miniaturisierung und höhere Genauigkeitsanforderungen.

[0004] Mikromechanische Bauelemente werden üblicherweise auf einer Leiterplatte **1** aufgelötet. Auf dieser Leiterplatte werden meist weitere Bauteile aufgebracht, die zu Teil viel Leistung abgeben können. Daher kann über die Leiterplatte auf das MEMS-Bauteil ein starker Temperaturgradient **2** eingepreßt werden (**Fig. 1**).

[0005] MEMS-Bauteile wie Beschleunigungssensoren besitzen üblicherweise eine bewegliche Masse (**4**), deren Auslenkung bei einer anliegenden Beschleunigung gemessen wird. Die bewegliche Masse ist meist in einer Kaverne **5** zwischen zwei Substraten **6, 7** mit definiertem Gas und Druck eingeschlossen. Das Gas dient als Dämpfungsmedium und wird für hochgenaue Beschleunigungssensoren benötigt, um beispielsweise hochfrequente parasitäre Moden der Sensormechanik zu unterdrücken.

[0006] Nachteilig an dem Gaseinschluss ist, dass das Gas bei einem an der Kaverne anliegenden Temperaturgradient radiometrische Kräfte auf die bewegliche Masse übertragen kann, und damit ein Fehlsignal verursachen kann.

[0007] Der Effekt entspricht dem gleichen radiometrischen Effekt der in einer Lichtmühle als Antrieb genutzt wird. Der Effekt verursacht eine Zusatzkraft auf die seismische Masse des Beschleunigungssensors, der nicht von einer außen anliegenden Beschleunigung unterschieden werden kann. Der Effekt kann bei den typischen kleinen Massen der heutigen kleinen Beschleunigungssensoren ein sehr großes Fehlsignal hervorrufen. Um diesen Effekt zu reduzieren kann man Druck reduzieren, damit wird auch die Dämpfung reduziert und damit wird die Empfindlichkeit gegenüber hochfrequenten Beschleunigungs-Stör-Signalen erhöht.

[0008] Die eintretenden Fehlermechanismen, welche durch zu niedrige mechanische Dämpfung entstehen, werden unterteilt in vibrationsbedingte Offsetänderung und vibrationsbedingte Erhöhung des Sensorrauschens.

[0009] Besonders empfindlich für derartige Effekte sind Z-Beschleunigungssensoren. Sie werden meist als Wippe mit einer asymmetrischen Massenverteilung realisiert.

[0010] Es gibt unterschiedlich Ausführungen derartiger Wippen. Im einfachsten Fall handelt es sich um eine asymmetrisch, an einer Torsionsfeder **8** aufgehängte Masse, deren Auslenkung kapazitiv zu zwei fest auf dem Substrat verankerten Gegenelektroden **9, 10** gemessen wird (**Fig. 3a**). Ein vertikaler Temperaturgradient bewirkt aufgrund der Asymmetrie der Masse unterschiedlich starke radiometrische Kräfte auf den beiden Wippenseiten, wodurch es zu einer Auslenkung kommt. Über zusätzlicher Schichten und geeignete geometrische Anpassungen kann der Effekt etwas reduziert werden, er kann aber nie ganz vermeiden werden.

[0011] Ein horizontaler Temperaturgradient verursacht in einer Wippenanordnung immer eine asymmetrische Kraft, die zu einem Fehlsignal führt (**Fig. 3b**).

[0012] Aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 10 2015 222 756 A1 ist ein mikromechanischer Drucksensor bekannt, an dessen Membran neben Messwiderständen für die Verformung auch Temperaturmessfühler angeordnet sind.

Aufgabe der Erfindung

[0013] Es wird ein MEMS-Bauteil mit seismischer Masse gesucht, welches auch bei hoher Dämpfung und bei einem am Bauteil anliegenden Temperaturgradienten eine genaue Messung der Beschleunigung erlaubt.

Vorteile der Erfindung

[0014] Die Erfindung geht aus von einem mikromechanischen Bauteil mit einem ersten Substrat und einem zweiten Substrat, welche eine Kaverne umschließen, wobei in der Kaverne eine seismische Masse beweglich angeordnet ist. Der Kern der Erfindung besteht darin, dass das mikromechanische Bauteil wenigstens zwei Temperaturmessfühler mit einem Abstand voneinander zur Messung von Temperaturen an wenigstens zwei Orten des Bauteils aufweist.

[0015] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils sieht vor, dass das erste Substrat, das zweite Substrat und

die seismische Masse parallel zu einer Hauptstreckungsebene (x, y) angeordnet sind und das mikromechanische Bauteil wenigstens zwei Temperaturmessfühler mit einem Abstand voneinander in einer ersten Richtung parallel zur Hauptstreckungsebene (x, y) aufweist. Vorteilhaft kann hierdurch direkt ein horizontaler Temperaturgradient gemessen werden.

[0016] Besonders vorteilhaft ist dabei, wenn die wenigstens zwei Temperaturmessfühler an dem ersten Substrat oder an dem zweiten Substrat angeordnet sind. Das ist technisch einfach zu realisieren.

[0017] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils sieht vor, dass mindestens einer der zwei Temperaturmessfühler in einem Kavernenbereich oder in einem Verbindungsbereich oder in einem Übergangsbereich zwischen Kavernenbereich und Verbindungsbereich angeordnet ist. Vorteilhaft lassen sich hier wichtige lokale horizontale Temperaturgradienten messen, aus denen man auf den vertikalen Temperaturgradienten schließen kann.

[0018] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils sieht vor, dass die zwei Temperaturmessfühler mit einem gleichen Abstand von einem Verbindungsbereich angeordnet sind. Vorteilhaft lässt sich hierdurch ein horizontaler Temperaturgradient in Bezug auf die bewegliche Masse besonders genau messen.

[0019] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils sieht vor, dass ein dritter Temperaturmessfühler in einem Verbindungsbereich angeordnet ist und die zwei Temperaturmessfühler symmetrisch zu diesem Verbindungsbereich angeordnet sind. Vorteilhaft lässt sich hierdurch ein wichtiger lokaler Temperaturgradient besonders genau messen.

[0020] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils sieht vor, dass das erste Substrat, das zweite Substrat und die seismische Masse parallel zu einer Hauptstreckungsebene (x, y) angeordnet sind und das mikromechanische Bauteil wenigstens zwei Temperaturmessfühler mit einem Abstand voneinander in einer zweiten Richtung senkrecht zur Hauptstreckungsebene (x, y) aufweist. Vorteilhaft lässt sich hierdurch ein vertikaler Temperaturgradient direkt messen.

[0021] Besonders vorteilhaft ist dabei, dass ein erster Temperaturmessfühler an dem ersten Substrat und ein zweiter Temperaturmessfühler an dem zweiten Substrat angeordnet ist, weil dies technisch leicht zu realisieren ist.

[0022] Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bau-

teils sieht vor, dass das Bauteil eine Verarbeitungseinrichtung aufweist, welche dazu eingerichtet ist aus Messwerten der wenigstens zwei Temperaturmessfühler einen ersten horizontalen Temperaturgradienten in einer Richtung parallel zur Hauptstreckungsebene (x, y) zu bestimmen. Vorteilhaft kann so ein temperaturkompensiertes MEMS Bauteil für horizontale Gradienten geschaffen werden.

[0023] Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils sieht vor, dass das Bauteil eine Verarbeitungseinrichtung aufweist, welche dazu eingerichtet ist, aus Messwerten der wenigstens zwei Temperaturmessfühler einen zweiten vertikalen Temperaturgradienten in einer Richtung (z) senkrecht zur Hauptstreckungsebene (x, y) zu bestimmen. Vorteilhaft kann so ein temperaturkompensiertes MEMS Bauteil für vertikale Gradienten geschaffen werden.

[0024] Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils sieht vor, dass das Bauteil eine Verarbeitungseinrichtung aufweist, welche dazu eingerichtet ist aus Messwerten der wenigstens zwei oder drei Temperaturmessfühler einen zweiten vertikalen Temperaturgradienten in einer Richtung senkrecht zur Hauptstreckungsebene (x, y) zu bestimmen. Vorteilhaft kann so ein temperaturkompensiertes MEMS Bauteil für vertikale Gradienten bei horizontaler Temperaturmessung geschaffen werden.

[0025] Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils sieht dabei vor, dass das Bauteil eine Verarbeitungseinrichtung aufweist, welche dazu eingerichtet ist aus Messwerten der wenigstens zwei oder drei Temperaturmessfühler einen ersten horizontalen Temperaturgradienten in einer Richtung parallel zur Hauptstreckungsebene (x, y) zu bestimmen und einen zweiten vertikalen Temperaturgradienten in einer Richtung senkrecht zur Hauptstreckungsebene (x, y) zu bestimmen, wobei die Verarbeitungseinrichtung weiter dazu eingerichtet ist, den zweiten Temperaturgradienten in Abhängigkeit vom ersten Temperaturgradienten zu korrigieren. Vorteilhaft kann hierdurch die Genauigkeit einer indirekten Bestimmung des vertikalen Temperaturgradienten, das heißt aus horizontalen Temperaturmesswerten, verbessert werden.

[0026] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Kalibrierung eines MEMS-Bauteils über einen Temperaturgradienten. Vorteilhaft wird das Bauteil schon im Herstellungsprozess mit verschiedenen Temperaturen beaufschlagt und hierdurch ein Abgleich über Temperaturgradienten ermöglicht.

[0027] Zusammenfassen besteht die Erfindung darin, an mehreren Stellen die Temperatur und somit

den Temperaturgradienten der am MEMS-Bauteil anliegt zu messen. Das gemessene Beschleunigungssignal eines Sensors kann dann vorteilhaft mit einem vom Temperaturgradienten abhängigen Kompensationswert korrigiert werden. Es wird vorgeschlagen auf einer der beiden Substrate, bevorzugt auf einer dem MEMS-Bauteil zugewandte Seite die Temperatur an mehreren örtlich unterschiedlichen Punkten zu messen. Es wird ein Verfahren vorgeschlagen, um aus den Messwerten sowohl den horizontalen als auch den vertikalen Temperaturgradienten zu bestimmen und insbesondere zu kompensieren. Insbesondere wird ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem aus einer Messung von Temperaturen auf einem Substrat der vertikale Temperaturgradient abgeleitet werden kann.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt schematisch ein MEMS Bauteil auf einer Leiterplatte im Stand der Technik.

Fig. 2 zeigt schematisch eine Bare-Die-MEMS-Bauteil auf einer Leiterplatte im Stand der Technik.

Die **Fig. 3a** und **b** zeigen schematisch einen MEMS X-Beschleunigungssensor und die Wirkung eines horizontalen Temperaturgradienten.

Die **Fig. 3c** und **Fig. d** zeigen schematisch einen MEMS Z-Beschleunigungssensor und die Wirkung eines vertikalen Temperaturgradienten.

Die **Fig. 4a** und **b** zeigen schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem ersten und einem zweiten Ausführungsbeispiel.

Fig. 5 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem dritten Ausführungsbeispiel.

Fig. 6 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem vierten Ausführungsbeispiel.

Die **Fig. 7 a** und **b** zeigen schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem fünften Ausführungsbeispiel.

Fig. 8 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem sechsten Ausführungsbeispiel mit bare-die Aufbau.

Fig. 9 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Kalibrierung eines MEMS Bauteils über einen Temperaturgradienten.

Beschreibung von Ausführungsbeispielen

[0028] **Fig. 1** zeigt schematisch ein MEMS Bauteil auf einer Leiterplatte im Stand der Technik. Dargestellt ist ein integriertes MEMS-Bauteil **100** welches in einem gemeinsamen BGA Gehäuse **110** aus Vergussmasse ein MEMS und eine integrierte Schaltung

(IC) **140** aufweist. Das MEMS besteht aus einem ersten Substrat **6**, nämlich einer Kappe und einem zweiten Substrat **7**, einem MEMS Substrat. Die beiden Substrate umschließen eine Kaverne **5** in der eine seismische Masse **4** beweglich angeordnet ist. Die seismische Masse ist eine oberflächen-mikromechanische Struktur, welche an dem MEMS Substrat aufgehängt ist.

[0029] Das MEMS Bauteil **100** weist eine Verdrahtungsebene **120** auf und ist mittels Lotkontakten **130** mit einer Leiterplatte **1** verbunden. Die Leiterplatte **1** weist einen kalten Bereich **101**, einen warmen Bereich **102** und infolgedessen einen Temperaturgradienten **2** auf. Durch die Lotkontakte **130** und die räumliche Nähe kann über die Leiterplatte auf das MEMS-Bauteil ebenfalls ein starker Temperaturgradient **2** eingepreßt werden. Besteht zwischen Leiterplatte **1** und Umgebung **3** ein Temperaturunterschied, so entsteht im MEMS-Bauteil ein vertikaler Temperaturgradient.

[0030] Besteht ein horizontaler Temperaturgradient auf der Leiterplatte, so entsteht auch im MEMS-Bauteil ein horizontaler Temperaturgradient.

[0031] Ändert sich die Temperatur der Leiterplatte über Zeit, so entsteht im MEMS-Bauteil aufgrund dessen thermischer Masse und thermischer Leitfähigkeit ebenfalls ein Temperaturgradient, der sich hauptsächlich in vertikaler Richtung, aber auch gleichzeitig in horizontaler Richtung, ausbilden kann.

[0032] **Fig. 2** zeigt schematisch ein bare-die MEMS-Bauteil auf einer Leiterplatte im Stand der Technik.

[0033] Das MEMS Bauteil besteht aus einem ersten Substrat **6**, nämlich einer Kappe und einem zweiten Substrat **7**, hier einem mehrschichtigen Substrat bestehend aus einem dünnen MEMS Substrat und einem darunterliegenden ASIC **140**. Die beiden Substrate umschließen eine Kaverne **5** in der eine seismische Masse **4** beweglich angeordnet ist. Die seismische Masse ist eine oberflächen-mikromechanische Struktur, welche an dem MEMS Substrat aufgehängt ist. Das MEMS Bauteil **100** ist mittels Lotkontakten **130** mit einer Leiterplatte **1** verbunden. Die Leiterplatte **1** weist einen kalten Bereich **101**, einen warmen Bereich **102** und infolgedessen einen Temperaturgradienten **2** auf.

[0034] **Fig. 3a** zeigt schematisch einen x-Beschleunigungssensor. Der Sensor weist ein erstes Substrat **6** und ein zweites Substrat **7** auf, welche parallel zu einer Haupterstreckungsebene (x, y) angeordnet sind und eine Kaverne **5** umschließen. In der Kaverne befindet sich eine seismische Masse (**30**), die an Federn **31** in X-Richtung beweglich aufgehängt ist. Eine Auslenkung der seismischen Masse **4** infolge einer Beschleunigung in x Richtung wird gemessen. Dazu

wird kapazitiv der Abstand der seismischen Masse zu einer auf dem zweiten Substrat verankerten Gegenelektrode **32** gemessen.

[0035] Fig. 3b zeigt schematisch einen x-Beschleunigungssensor mit einem horizontalen Temperaturgradienten. Ein horizontaler Temperaturgradient in der Leiterplatte verursacht auch im MEMS-Chip einen horizontalen Temperaturgradienten, der eine Kraft auf die seismische Masse in die x-Detektionsrichtung ausübt und so zu einem Fehlsignal führt.

[0036] Fig. 3c zeigt schematisch einen z-Beschleunigungssensor. Der Sensor weist ein erstes Substrat **6** und ein zweites Substrat **7** auf, welche parallel zu einer Haupterstreckungsebene (x, y) angeordnet sind und eine Kaverne **5** umschließen. In der Kaverne ist eine seismische Masse **4** in Form einer asymmetrischen Wippe beweglich aufgehängt. Die Wippe ist in ihrer Drehachse, welche in der Haupterstreckungsebene liegt, mittels einer Torsionsfeder **8** aufgehängt und an dem zweiten Substrat **7** verankert. Eine Auslenkung der seismischen Masse **4** infolge einer Beschleunigung in z Richtung wird als Drehung der Wippe um die Drehachse gemessen. Dazu wird kapazitiv der Abstand der seismischen Masse **4** zu zwei fest auf dem zweiten Substrat **7** verankerten Gegenelektroden **9**, **10** gemessen.

[0037] Fig. 3d zeigt schematisch einen z-Beschleunigungssensor mit einem horizontalen Temperaturgradienten. Ein horizontaler Temperaturgradient in der Leiterplatte verursacht einen horizontalen Temperaturgradienten im MEMS Chip und in der Folge auch einen vertikalen Temperaturgradienten, der dann in einer Wippenanordnung zu einem Fehlsignal führt. Ursache ist die fehlende Symmetrie der MEMS-Chip-Anordnung auf der Leiterplatte. Nur eine Anordnung eines MEMS-Chips zwischen zwei Leiterplatten mit gleichem Temperaturgradient könnte diese Symmetrie herstellen. Die Auswirkung der Asymmetrie ist ebenfalls in **Fig. 3d** zu erkennen. Das Substrat **7** ist mit der Leiterplatte verbunden. Im Substrat **7** bildet sich ein starker horizontaler Temperaturgradient (**33**) aus. Das Substrat **6** ist nur indirekt über das Substrat **7** mit der Leiterplatte verbunden. Es bildet sich ein schwächerer horizontaler Temperaturgradient (**34**) aus. Die unterschiedlichen horizontalen Temperaturgradienten in den beiden Substraten verursachen damit auch einen vertikalen Temperaturgradienten von Substrat **7** zu **6** im MEMS Chip.

[0038] Fig. 4a zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem ersten Ausführungsbeispiel. Erfindungsgemäß weist das mikromechanische Bauteil wenigstens zwei Temperaturmessfühler **12**, **13** mit einem Abstand voneinander auf, um ortsaufgelöst wenigstens zwei Temperaturen T1 und T2 zu messen und daraus einen Temperaturgradienten (T2-T1) zu bestimmen. Im Fall eines x-Beschleunigungssensors (nicht dargestellt) kann dieser Gradient für eine Kompensation eines Fehlersignals (siehe **Fig. 3 a** und **b**) genutzt werden. Aber auch bei dem dargestellten Z-Beschleunigungssensor kann eine Temperaturkompensation durchgeführt werden. Zunächst wird vorgeschlagen an mindestens zwei Position (**12,13**), die jeweils die gleiche Lage und den gleichen Abstand zu dem benachbarten Bondrahmen **11** aufweisen, die Temperaturen T1 und T2 zu messen und aus deren Differenz einen Temperaturgradienten zu bestimmen. Aus dem horizontalen Temperaturgradienten folgt hier ein vertikaler Temperaturgradient, welcher zu einem Fehlsignal führt. Durch indirekte Bestimmung des vertikalen Temperaturgradienten ist es auch für einen z-Beschleunigungssensor möglich, Kompensationswerte für die gemessene Beschleunigung zu berechnen und den vom Beschleunigungssensor auszugebenden Wert damit zu kompensieren. Dazu ist es vorteilhaft, den Z-Sensor mittig in der Kaverne und die Temperaturmesspunkte mit einem gleichem Abstand neben dem Bondrahmen anzuordnen. An den besagten Positionen sind dazu erfindungsgemäß zwei Temperaturmessfühler **12**, **13** angeordnet, wie in der **Fig. 4a** dargestellt.

[0039] Fig. 4b zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem zweiten Ausführungsbeispiel.

[0040] Ist die bewegliche MEMS-Struktur nicht symmetrisch innerhalb der Bondrahmen angeordnet, ist es günstig in Symmetrie zu der Masse oder der Feder der beweglichen MEMS-Struktur, mindestens zwei Temperaturmesspunkte auf einem der beiden Substrate vorzusehen und aus den Temperaturmesswerten ein Kompensationswert zu berechnen. Insbesondere bei Z-Sensor ist es günstig die beiden Temperaturmesspunkte symmetrisch und im gleichen Abstand zur Torsionsachse des Sensorelements möglichst unterhalb der beweglichen Struktur auf dem Substrat anzuordnen.

[0041] Soll eine möglichst genaue Temperaturkompensation vorgenommen werden, kann die Temperatur natürlich auch an mehr als zwei Stellen gemessen werden und eine Mittelung des Temperaturgradienten relativ zur Position des beweglichen MEMS-Elements vorgenommen werden.

[0042] Die zwei Temperaturmessfühler **12**, **13** sind in den Ausführungsbeispielen gemäß den **Fig. 4 a** und **b** an einer inneren Oberfläche des zweiten Substrats oder oberflächennah zur Kaverne **5** hin angeordnet.

[0043] Fig. 5 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem dritten Ausführungsbeispiel. Soll die Wirkung eines vertikalen Temperaturgradienten **22**, also in z-Richtung (dargestellt durch die zwei Pfeile links und rechts der seismischen Mas-

se **4** im MEMS Bauteil kompensiert werden, kann man in einem einfachsten Ansatz, sowohl eine Temperatur **T1** auf der Innenseite des ersten Substrats **6** als auch eine Temperatur **T2** auf der Innenseite des zweiten Substrats **7** messen und aus diesen Werten ein Kompensationswert für das Auslenkungssignal der seismischen Masse **4** ableiten. Dazu werden wenigstens je ein Temperaturmessfühler auf der Innenseite des ersten und zweiten Substrats **6, 7** angeordnet.

[0044] Fig. 6 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem vierten Ausführungsbeispiel.

[0045] Meist ist es technisch schwierig oder technisch nicht möglich auf beiden Substraten die Temperatur zu messen (Ausnahme siehe unten günstige Anordnung MEMS und ASIC-Integration). Es wird daher vorgeschlagen nur auf dem zweiten Substrat **7**, in einem Übergangsbereich **18** zwischen den Bondrahmenbereich **11** und dem Kavernenbereich **5**, über die Messung von mindestens zwei Temperaturpunkten **15, 16** den horizontalen Temperaturgradient **17** zu messen.

[0046] Der Beschleunigungssensor ist in einer Kaverne zwischen zwei Substraten angeordnet. Die Verbindung zwischen den beiden Substraten ist durch ein Bondverfahren ausgebildet. Der Waferstack aus den beiden Substraten weist in dem Bondrahmenbereichen **11**, in dem eine feste Verbindung zwischen den beiden Substraten besteht, in vertikaler Richtung eine größere thermische Leitfähigkeit aus als im der Bereich der Kaverne, in der ein Wärmetransport vorwiegend über das in der Kaverne eingeschlossen Gas stattfindet. Liegt am Bauteil ein vertikaler Temperaturgradient **22** an, so wird dieser Temperaturgradient im Übergangsbereich zwischen den Bondrahmenbereich und dem Kavernenbereich aufgrund der dort unterschiedlichen thermischen Leitfähigkeit der beiden Bereiche in einem horizontalen Temperaturgradienten **17** umgesetzt. Um den vertikalen Temperaturgradienten sauber von einem horizontalen Temperaturgradienten unterscheiden, wird vorgeschlagen den lokalen Temperaturgradienten im Übergangsbereich zwischen Bondrahmen und Kaverne mit einem Wert eines globalen horizontalen Temperaturgradienten zu kompensieren.

[0047] Das funktioniert alternativ oder ergänzend mit 2, 3 oder 4 Temperatursensoren. Mit zwei Sensoren z.B. **T1** und **T4** die einen großen Abstand haben wird der globale horizontale Gradient bestimmt. Mit zwei weiteren Sensoren z.B. **T1** und **T2**, mit geringem Abstand und geeigneter Position zum Beispiel nahe am Bondrahmen wird ein lokaler Gradient bestimmt. Weicht der lokale, horizontale Gradient stark vom globalen, horizontalen Gradient ab so ist das ein Hinweis auf einen vertikalen Gradienten. Wenn

man den globalen horizontalen Gradienten von lokalen Gradienten abzieht sollte der lokale Gradient in erster Ordnung nur noch eine Funktion die von horizontalen Gradienten sein.

[0048] Alternativ können auch an mindesten zwei, möglichst symmetrischen Stellen an zwei entgegengesetzten Übergangsbereichen **18** und **19** der Temperaturgradient bestimmt werden und gemittelt werden, dadurch kann ein homogener horizontaler Temperaturgradient ebenfalls kompensiert werden. Dazu werden entsprechend dem obigen Beispiel an vier Punkten die Temperaturen **T1, T2, T3** und **T4** gemessen.

[0049] Auch der vertikale Temperaturgradient kann wie der horizontale Gradient an mehr als einer Position gemessen werden und geeignet gemittelt werden.

[0050] Die Fig. 7 a und b zeigen schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem fünften Ausführungsbeispiel.

[0051] In Fig. 7a ist ein MEMS Bauteil mit einem von außen eingepprägten vertikalen Temperaturgradienten dargestellt.

[0052] Die Vorrichtung weist eine zusätzliche Bondverbindung **20** innerhalb des Bondrahmens **11** auf. In dem durch den Bondrahmen geschaffenen Verbindungsbereich und in einem Abstand daneben sind Temperaturmessstellen **T1, T2** und **T3** angeordnet, um in der Umgebung des Verbindungsbereichs besonders genau den vertikalen Temperaturgradienten messen zu können. Insbesondere wird eine Verbindungsfläche **201** vorgeschlagen, die schmaler ist als der Bondrahmen **11**. Durch die geringe Ausdehnung dieser Fläche und der Möglichkeit in zwei bzw. vier Richtungen den Temperaturgradienten zu messen, ist man besonders gut in der Lage den vertikalen Temperaturgradienten zu bestimmen. Durch die lokale Begrenzung aller Messpunkte kann auch ein zusätzlich anliegender horizontaler Gradient besonders herausgerechnet werden. Man kann die Messgenauigkeit noch weiter erhöhen, wenn man im Bereich der Verbindungsfläche eine besonders gute Wärmeleitfähigkeit des jeweiligen Aufbaus auf den beiden Substraten vornimmt. Im MEMS-Bereich kann beispielsweise durch geeignete Maßnahmen lokal einkristallines Silizium aufgewachsen werden, was ein 5-10-fach höhere Wärmeleitfähigkeit (in Vergleich zu Polysilizium) besitzt, und auf den ASIC-Substrat können viele Kontaktlöcher mit Metallverfüllung angeordnet werden, um auch in diesem Bereich ein besonders gute vertikale Wärmeleitfähigkeit zu erreichen und damit ein besonders gute Umwandlung eines vertikalen Temperaturgradienten in einen lokalen horizontalen Temperaturgradienten zu gewährleisten.

[0053] Fig. 7b zeigt die selbe Anordnung wie Fig. 7a. Das Bauteil weist aber einen vertikalen und einen überlagerten horizontalen Temperaturgradienten auf. In Fig. 7a ist nur ein vertikaler Gradient gezeigt. In Fig. 7a gilt $T1 = T3$. Es liegt also kein horizontaler Gradient vor. In Fig. 7b gilt $T1 < T3$. Auch ein horizontaler Gradient liegt vor. Mit den

[0054] Fig. 7a und Fig. 7b wird also anschaulich, wie man schon mit 3 Temperaturmesswerten in einer Ebene sowohl einen horizontalen als auch einen vertikalen Gradienten messen und gleichzeitig unterscheiden kann.

[0055] Fig. 8 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes MEMS Bauteil in einem sechsten Ausführungsbeispiel mit „bare-die“ Aufbau. In dieser besonders günstigen Anordnung sind auf mindestens einem der beiden Substrate auf einer dem MEMS-Bauteil zugewandte Seite sowohl Temperaturmesselemente als auch (CMOS)-Schaltungselemente 21 zur Auswertung der Signale des MEMS-Bauteils angeordnet. Günstig in dieser Anordnung ist, dass in einem Standard-CMOS-Prozess meist ohne Zusatzaufwand Temperaturmesselemente realisiert werden können. Weiter kann die laterale Positionierung aufgrund des CMOS-Herstellungsprozesses sehr genau erfolgen. Weiter können die Temperaturmeselemente sehr genau vermessen werden, da Leitungen zu den Mess-Elementen aufgrund der Integration in die CMOS-Schaltung sehr kurz und definiert ausgelegt werden können. Aufgrund der Integration können auch sehr viele Messelemente auf der CMOS-Schaltung integriert werden, um eine möglichst genaue Kompensation zu erreichen.

[0056] Auf dem ASIC kann in dieser Anordnung, ohne dass neu Zusatzaufwände nötig sind, über die Messung der Flussspannung von Diode sehr genau auf die lokale Temperatur des ASIC geschossen werden.

[0057] Weiter ist in diesem Ansatz das MEMS-Element elektrisch mit dem ASIC verbunden. Daher kann in oder neben der MEMS-Struktur eine Struktur ausgeformt werden, die als Temperaturwiderstand dient und als solcher ausgewertet wird. Besonders günstig ist es, wenn diese Temperaturmessstruktur mechanisch und thermisch an das MEMS-Substrat gekoppelt wird.

[0058] Noch günstiger ist es, wenn zwischen der MEMS-Struktur und dem MEMS-Substrat eine Polysiliziumstruktur, die auf dem MEMS-Substrat verankert ist, vorgesehen wird, und der temperaturabhängige Widerstand dieser Struktur gemessen wird.

[0059] Über die zuvor beschriebenen Eigenschaften hinaus, besteht zusätzlich die Möglichkeit eine Heizstruktur beispielsweise auf dem MEMS Sensor zu in-

tegrieren, welche dann für eine Kalibrierung im Herstellungsprozess, d.h. für die Ermittlung der Koeffizienten zur Übersetzung von Temperaturdifferenzen in einen Offset des Sensorsignals genutzt werden kann.

[0060] Fig. 9 zeigt schematisch ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Kalibrierung eines MEMS Bauteils über einen Temperaturgradienten mit den Schritten:

A: Kalibrieren des MEMS Bauteils, insbesondere Offset und Empfindlichkeit, in einem ersten Betriebszustand.

B: Heizen des MEMS Bauteils in einem zweiten Betriebszustand, um darin eine Temperaturdifferenz ΔT zu erzeugen.

C: Messung von wenigstens zwei Temperaturen mit wenigstens zwei Temperaturmessfühler mit einem Abstand voneinander zur Messung von Temperaturen an wenigstens zwei Orten des Bauteils und Bestimmung eines Temperaturgradienten.

D: Auslesen der durch Schritt B bedingten Offset-Änderung aus dem MEMS Bauteil und Ermittlung eines Koeffizienten mithilfe des Temperaturgradienten aus Schritt C.

[0061] In einem ersten Ausführungsbeispiel stellt sich der Prozess wie folgt dar:

Schritt A: Das MEMS Bauteil, insbesondere ein Sensor, wird unter normalen Bedingungen getrimmt (Offset und Empfindlichkeit).

Schritt B: Der Auswerteschaltkreis schickt Strom durch das Heizelement auf dem Sensor um eine Temperaturdifferenz ΔT zu erzeugen.

Schritt C: Der auf dem Auswerte ASIC befindliche Temperatursensor misst die Temperaturänderung, welche durch das Heizen in Schritt B bedingt ist.

Schritt D: Die durch Schritt B bedingte Offsetänderung wird ausgelesen, und mithilfe des Temperaturgradienten aus Schritt C zur Ermittlung eines Koeffizienten genutzt. Diese Vorgehensweise erlaubt es Prozessschwankungen des Verfahrens auszuschalten.

[0062] In einem anderen Ausführungsbeispiel wäre als Heizelement eine externe Anlage zu verwenden, welche beispielsweise dieselben Dimensionen wie ein Wafer hat und zum Abgleich dieses Fehlers für eine Vielzahl von MEMS Bauteilen auf einen Waferstapel, umfassend das erste und zweite Substrat, aufgesetzt wird.

Bezugszeichenliste

1	Leiterplatte
2	Temperaturgradient der Leiterplatte
3	Umgebung
4	bewegliche Masse
5	Kaverne
6	erstes Substrat (Kappensubstrat)
7	zweites Substrat (MEMS Substrat, ASIC Substrat)
8	Torsionsfeder
9	erste Gegenelektrode
10	zweite Gegenelektrode
11	Bondrahmen
12	erster Temperaturmessfühler, symmetrisch zum Bondrahmen
13	zweiter Temperaturmessfühler, symmetrisch zum Bondrahmen
15	erster Temperaturmesspunkt
16	zweiter Temperaturmesspunkt
17	erster, horizontaler Temperaturgradient
18	erster Übergangsbereich
19	zweiter Übergangsbereich
20	zusätzliche Bondverbindung
21	CMOS Temperaturmessfühler
22	zweiter, vertikaler Temperaturgradient
30	seismische Masse
31	in X-Richtung bewegliche Federn
32	x-Gegenelektroden
33	starker horizontaler Temperaturgradient
34	schwächerer horizontaler Temperaturgradient
100	MEMS Bauteil
101	kalter Bereich der Leiterplatte
102	warmer Bereich der Leiterplatte
110	Vergussmasse
120	Verdrahtungsebene
130	Lotkontaktierung
140	IC
201	Verbindungsfläche

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

- DE 102015222756 A1 [0012]

Patentansprüche

1. Mikromechanisches Bauteil mit einem ersten Substrat (6) und einem zweiten Substrat (7), welche eine Kaverne (5) umschließen, wobei in der Kaverne (5) eine seismische Masse (4) beweglich angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mikromechanische Bauteil wenigstens zwei Temperaturmessfühler (12, 13, 15, 16) mit einem Abstand voneinander zur Messung von Temperaturen an wenigstens zwei Orten des Bauteils aufweist.

2. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Substrat (6), das zweite Substrat (7) und die seismische Masse (4) parallel zu einer Haupterstreckungsebene (x, y) angeordnet sind und das mikromechanische Bauteil wenigstens zwei Temperaturmessfühler (12, 13, 15, 16) mit einem Abstand voneinander in einer ersten Richtung parallel zur Haupterstreckungsebene (x, y) aufweist.

3. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens zwei Temperaturmessfühler (12, 13, 15, 16) an dem ersten Substrat (6) oder an dem zweiten Substrat (7) angeordnet sind.

4. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 2 oder , **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der zwei Temperaturmessfühler in einem Kavernenbereich oder in einem Verbindungsbereich oder in einem Übergangsbereich zwischen Kavernenbereich und Verbindungsbereich angeordnet ist.

5. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zwei Temperaturmessfühler mit einem gleichen Abstand von einem Verbindungsbereich angeordnet sind.

6. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein dritter Temperaturmessfühler in einem Verbindungsbereich angeordnet ist und die zwei Temperaturmessfühler symmetrisch zu diesem Verbindungsbereich angeordnet sind.

7. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Substrat (6), das zweite Substrat (7) und die seismische Masse (4) parallel zu einer Haupterstreckungsebene (x, y) angeordnet sind und das mikromechanische Bauteil wenigstens zwei Temperaturmessfühler (12, 13, 15, 16) mit einem Abstand voneinander in einer zweiten Richtung senkrecht zur Haupterstreckungsebene (x, y) aufweist.

8. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Temperaturmessfühler an dem ersten Substrat (6) und ein

zweiter Temperaturmessfühler an dem zweiten Substrat (7) angeordnet ist.

9. Mikromechanisches Bauteil nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bauteil eine Verarbeitungseinrichtung aufweist, welche dazu eingerichtet ist aus Messwerten der wenigstens zwei Temperaturmessfühler einen ersten Temperaturgradienten (17) in einer Richtung parallel zur Haupterstreckungsebene (x, y) zu bestimmen.

10. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 7, oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bauteil eine Verarbeitungseinrichtung aufweist, welche dazu eingerichtet ist, aus Messwerten der wenigstens zwei Temperaturmessfühler einen zweiten Temperaturgradienten (22) in einer Richtung (z) senkrecht zur Haupterstreckungsebene (x, y) zu bestimmen.

11. Mikromechanisches Bauteil nach einem der Ansprüche 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bauteil eine Verarbeitungseinrichtung aufweist, welche dazu eingerichtet ist aus Messwerten der wenigstens zwei oder drei Temperaturmessfühler einen zweiten Temperaturgradienten (22) in einer Richtung senkrecht zur Haupterstreckungsebene (x, y) zu bestimmen.

12. Mikromechanisches Bauteil nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bauteil eine Verarbeitungseinrichtung aufweist, welche dazu eingerichtet ist aus Messwerten der wenigstens zwei oder drei Temperaturmessfühler einen ersten Temperaturgradienten (17) in einer Richtung parallel zur Haupterstreckungsebene (x, y) zu bestimmen und einen zweiten Temperaturgradienten (22) in einer Richtung senkrecht zur Haupterstreckungsebene (x, y) zu bestimmen, wobei die Verarbeitungseinrichtung weiter dazu eingerichtet ist, den zweiten Temperaturgradienten (22) in Abhängigkeit vom ersten Temperaturgradienten (17) zu korrigieren.

13. Verfahren zur Kalibrierung eines MEMS Bauteils über einen Temperaturgradienten mit den Schritten:

A: Kalibrieren des MEMS Bauteils, insbesondere Offset und Empfindlichkeit, in einem ersten Betriebszustand.

B: Heizen des MEMS Bauteils in einem zweiten Betriebszustand, um darin eine Temperaturdifferenz ΔT zu erzeugen.

C: Messung von wenigstens zwei Temperaturen mit wenigstens zwei Temperaturmessfühler mit einem Abstand voneinander zur Messung von Temperaturen an wenigstens zwei Orten des Bauteils und Bestimmung eines Temperaturgradienten.

D: Auslesen der durch Schritt B bedingten Offset-Änderung aus dem MEMS Bauteil und Ermittlung eines

Koeffizienten mithilfe des Temperaturgradienten aus
Schritt C.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

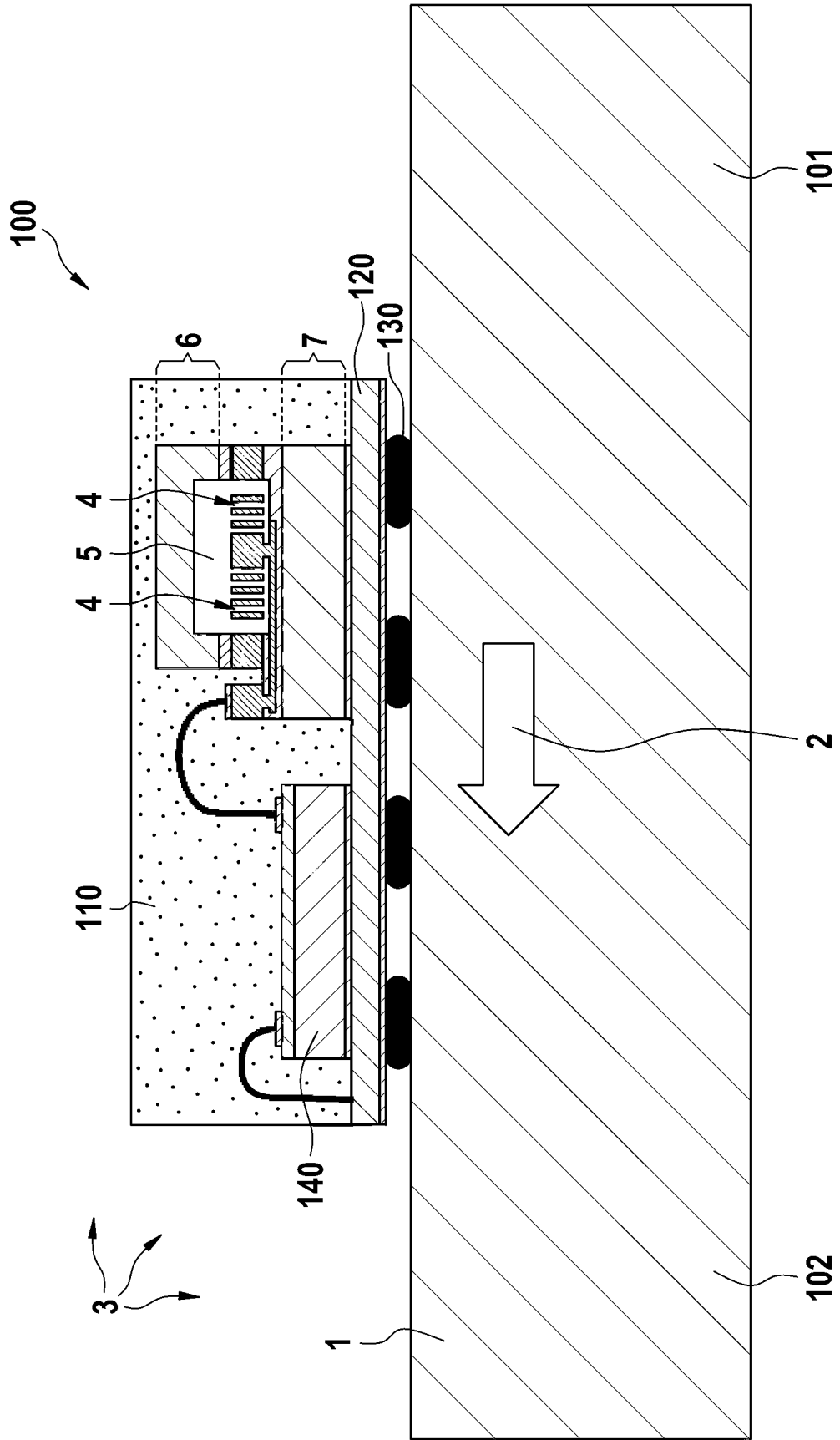
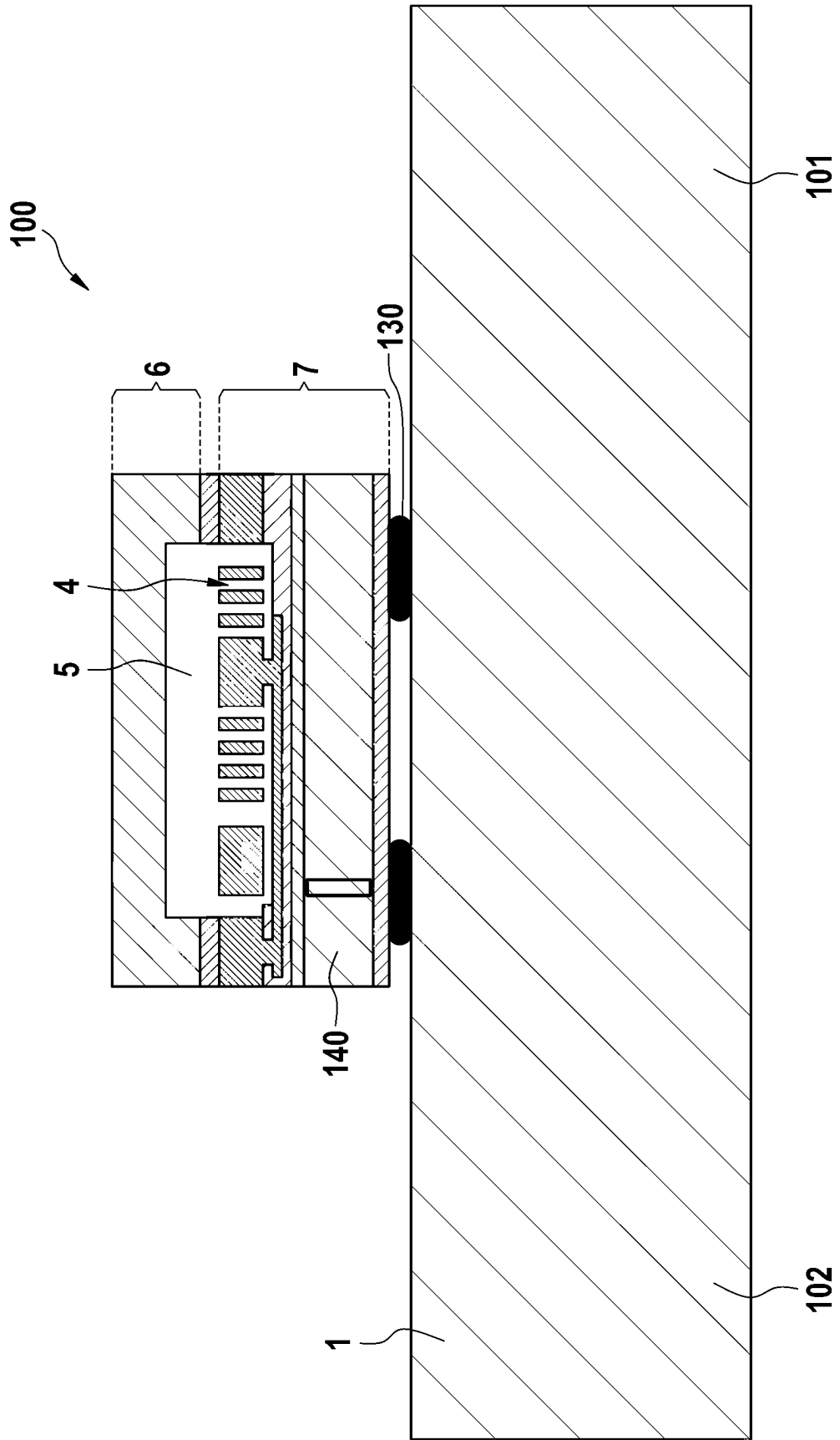


FIG. 2



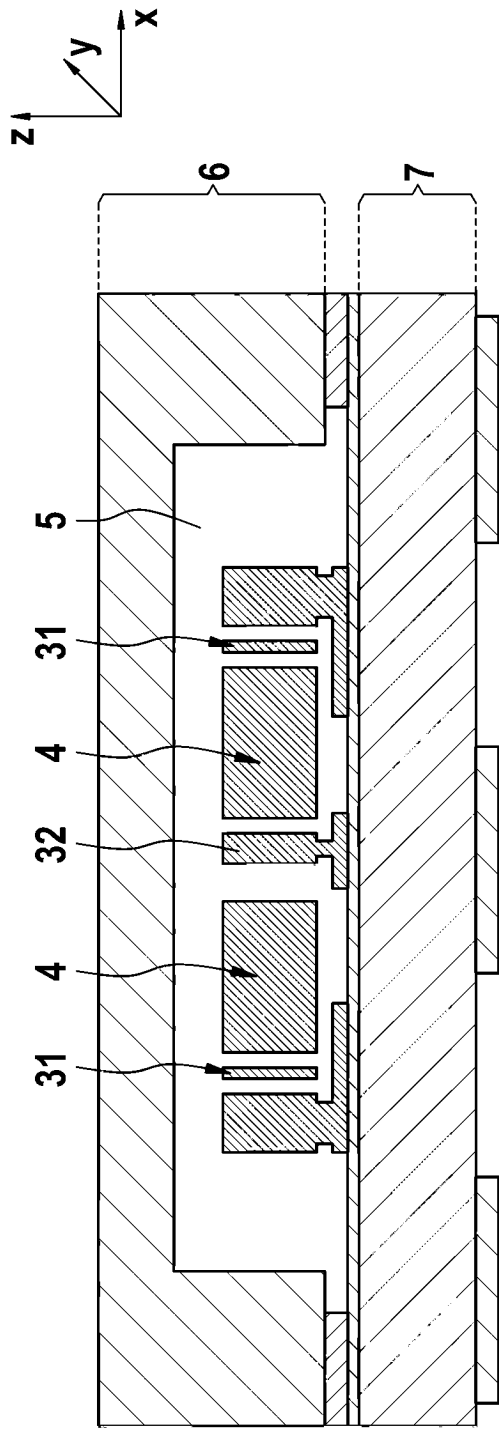


FIG. 3a

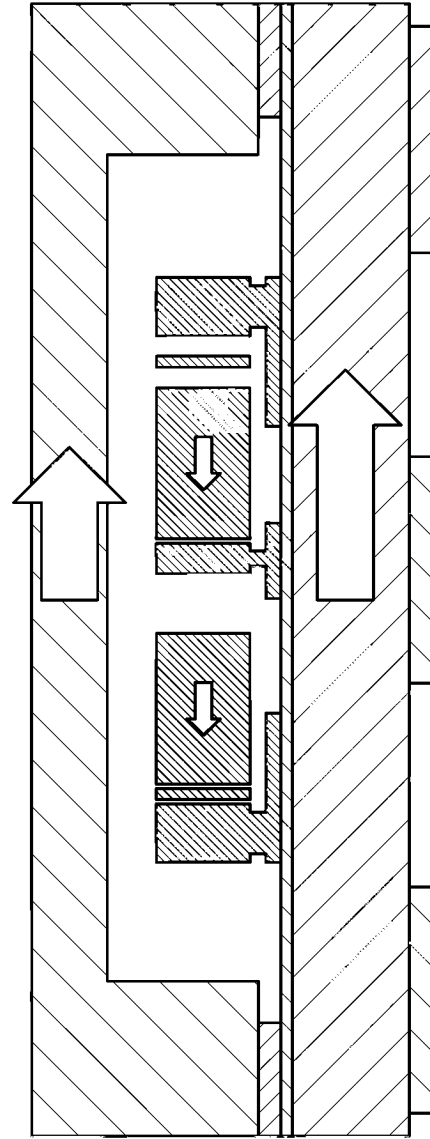


FIG. 3b

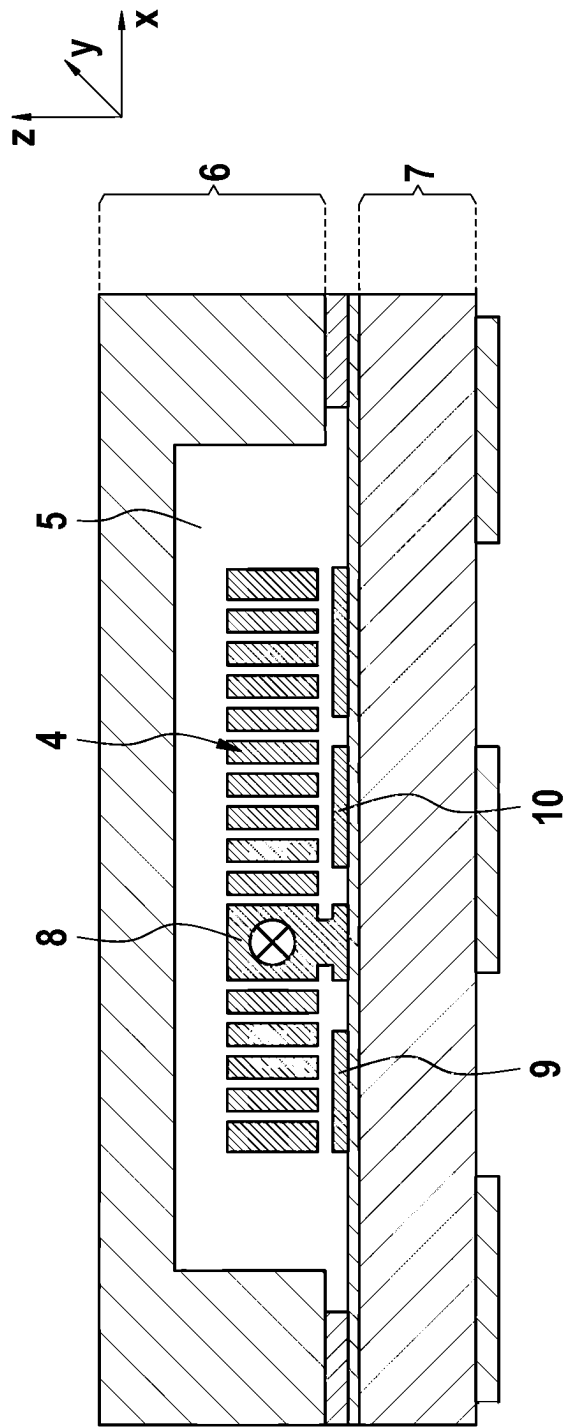


FIG. 3c

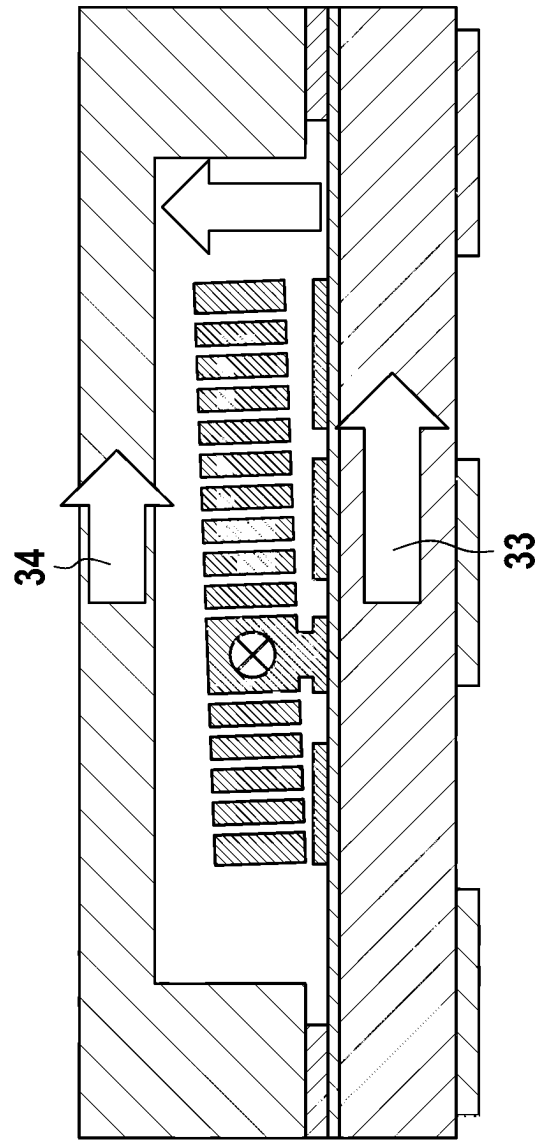


FIG. 3d

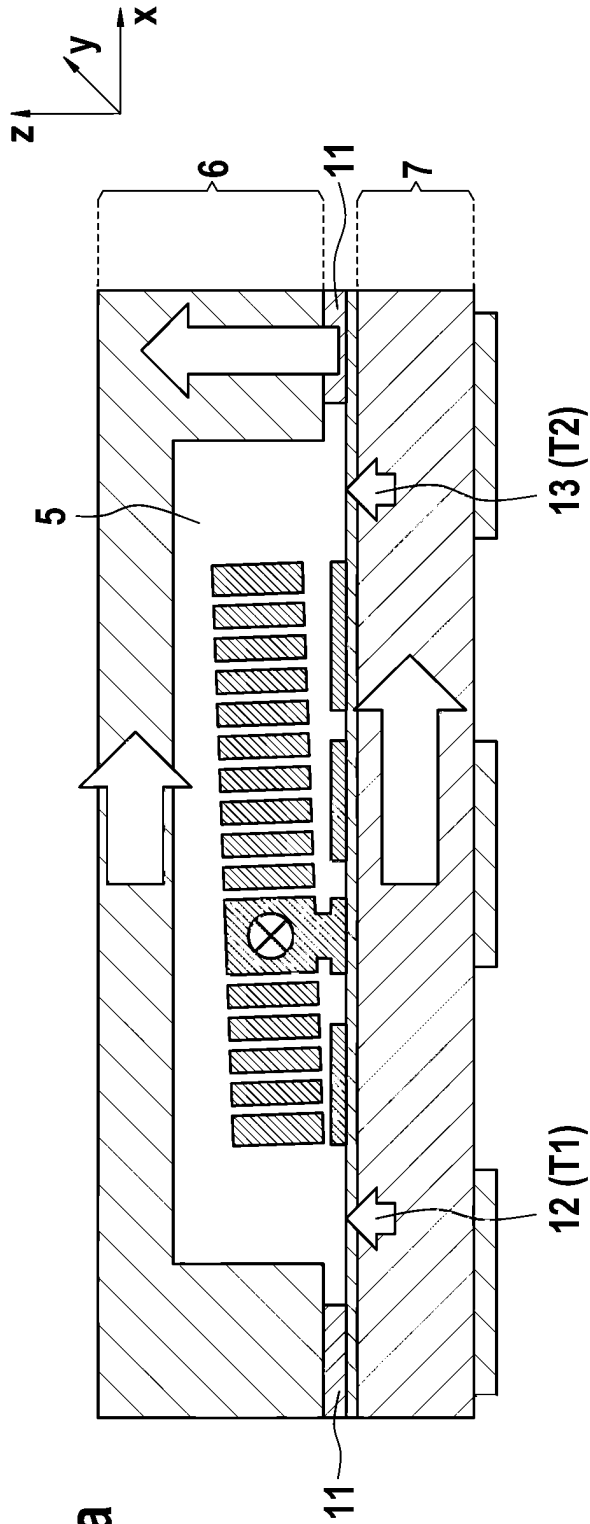


FIG. 4a

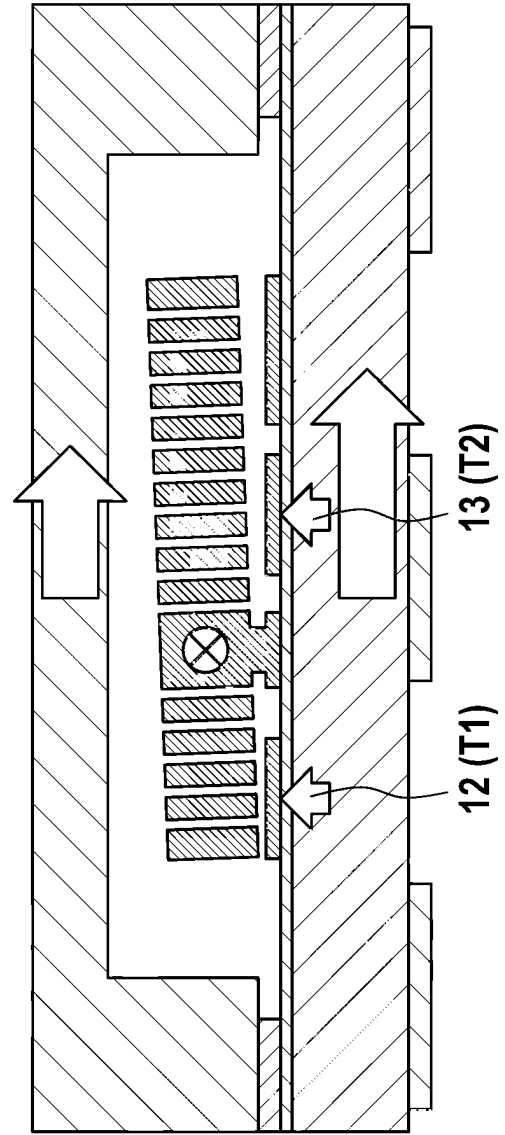


FIG. 4b

FIG. 5

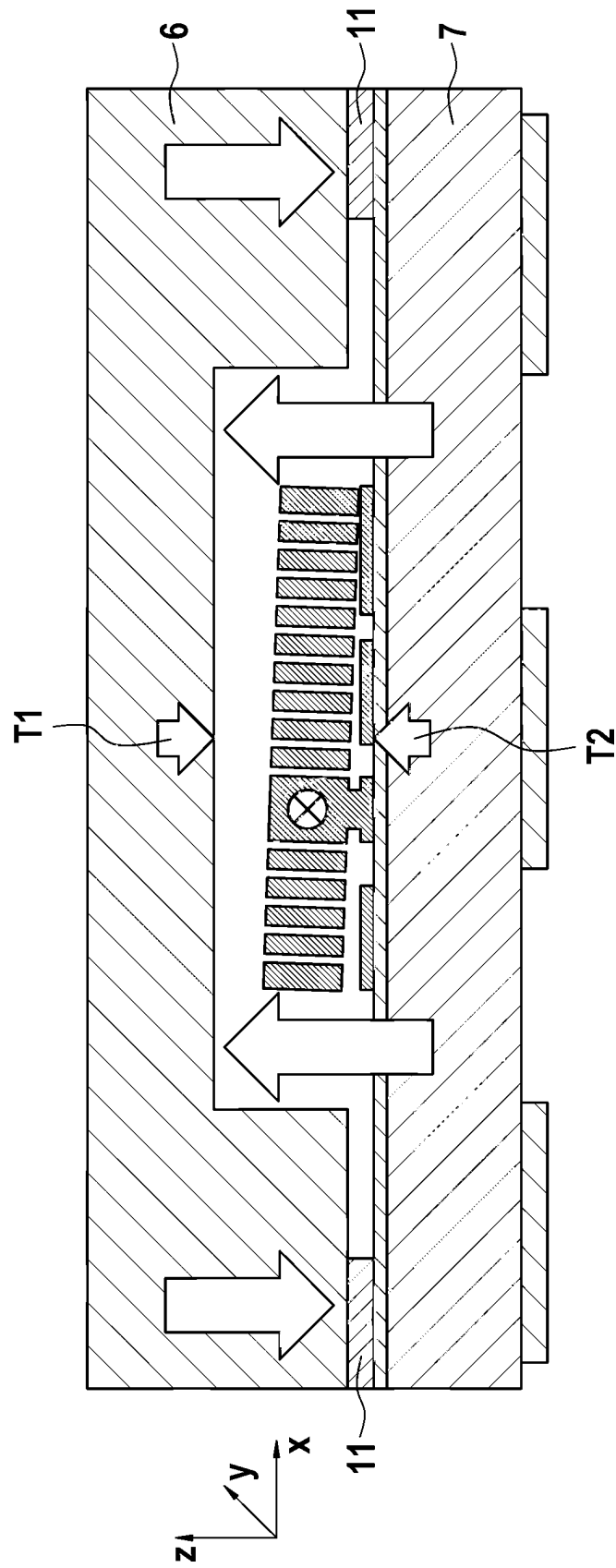
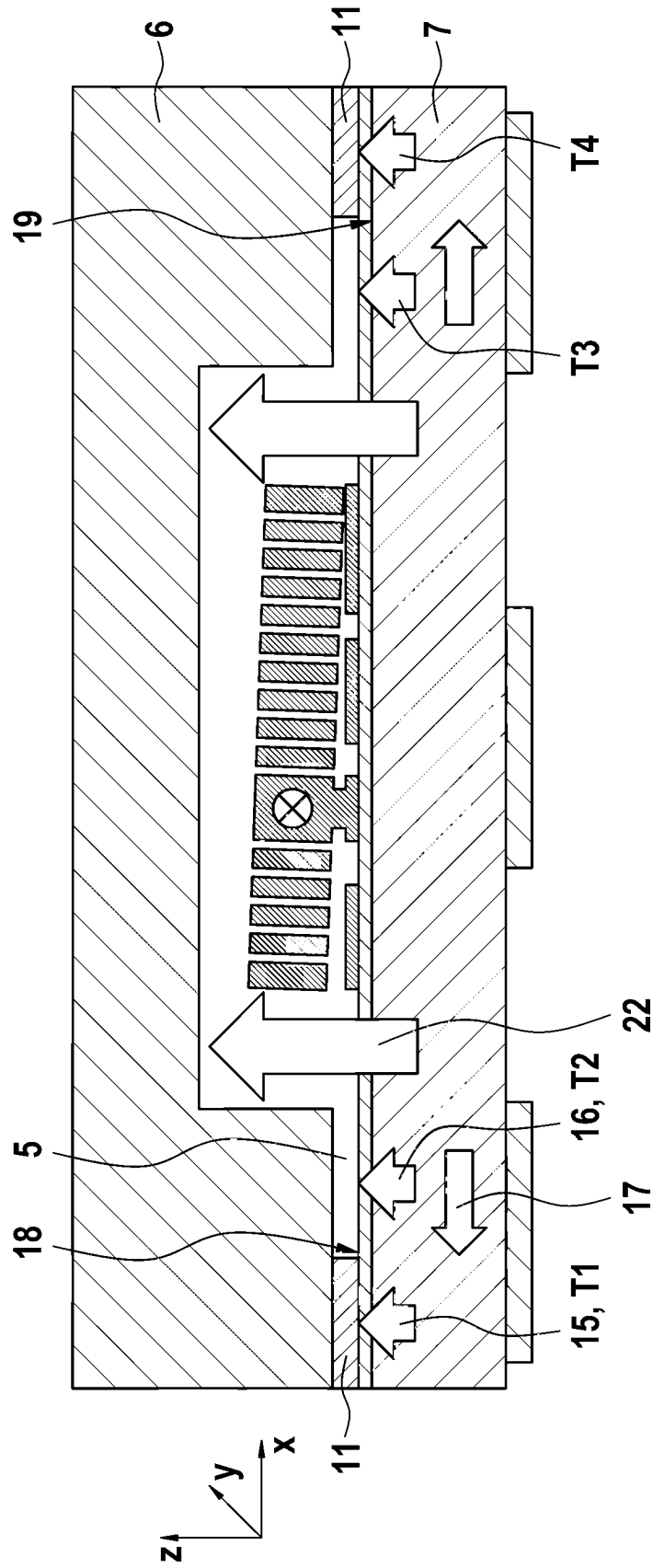


FIG. 6



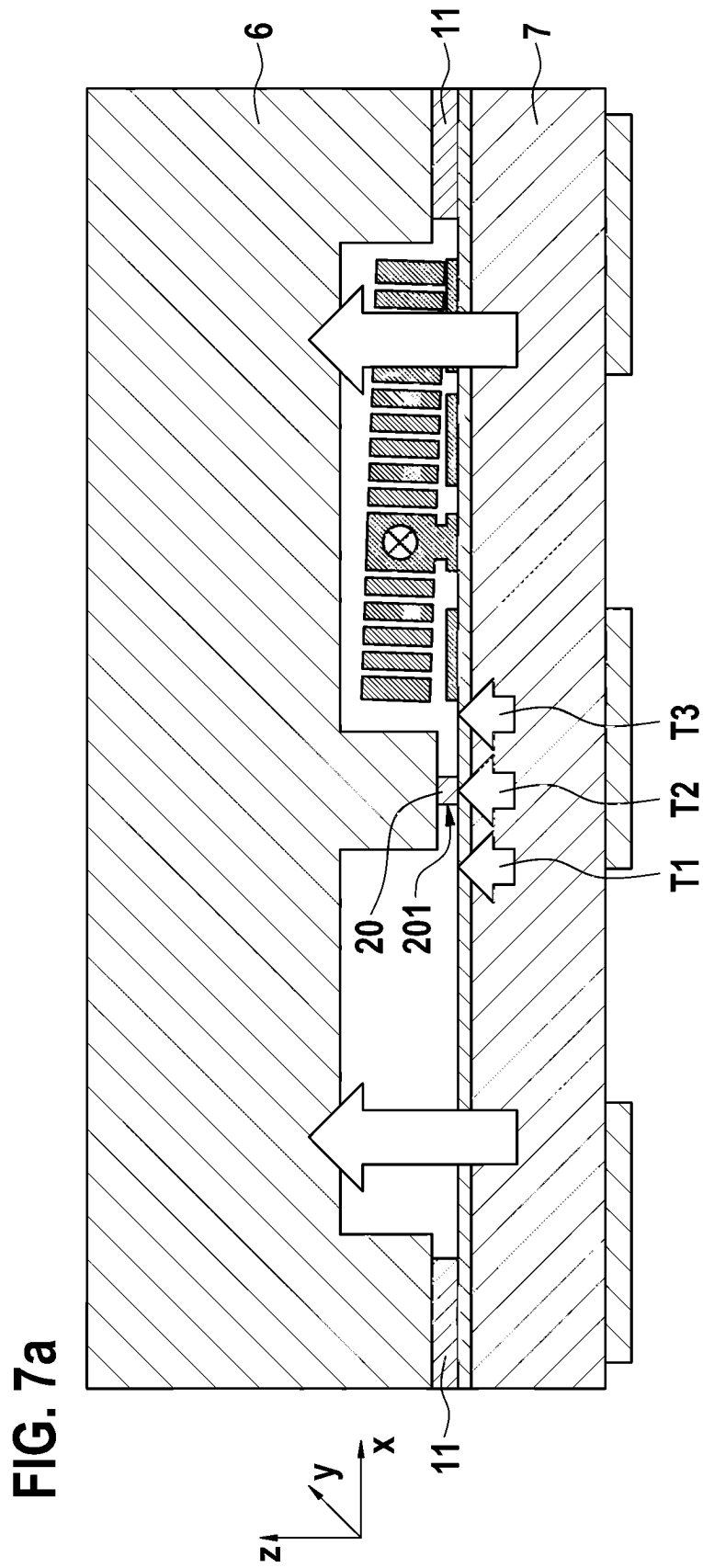


FIG. 7b

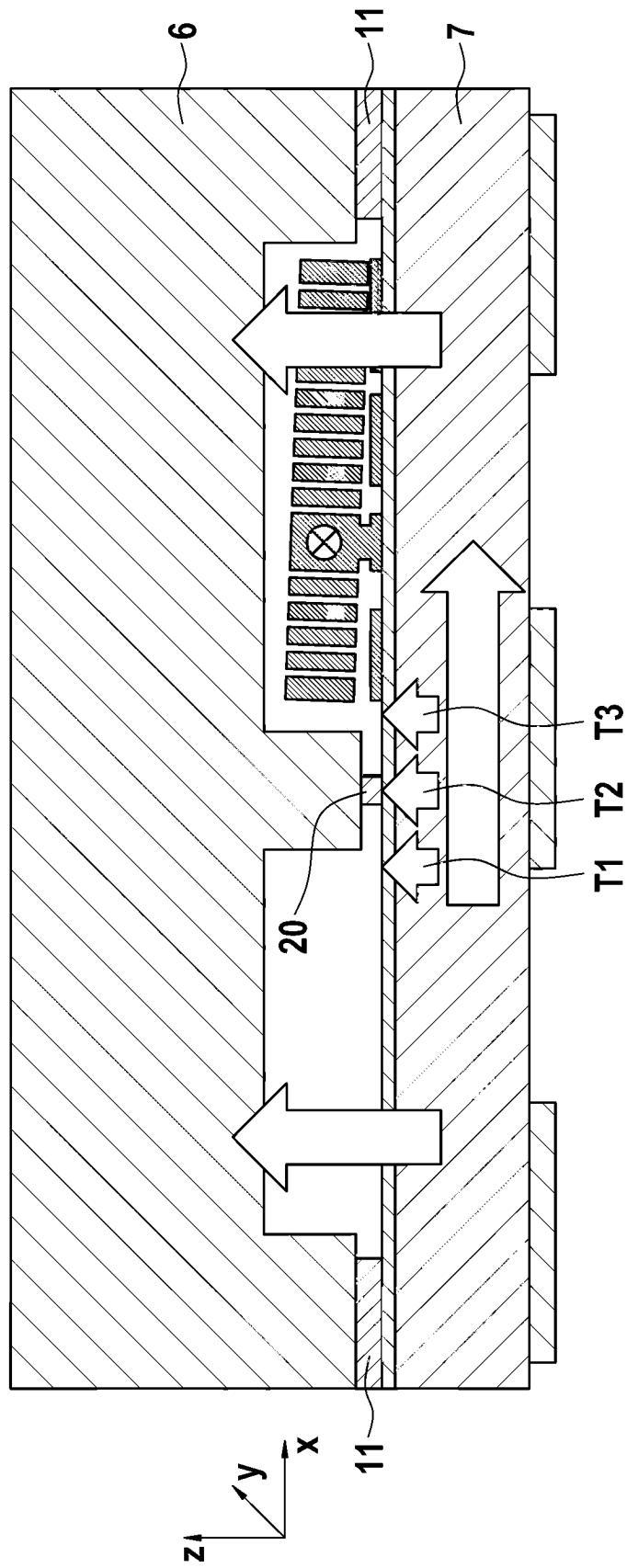


FIG. 8

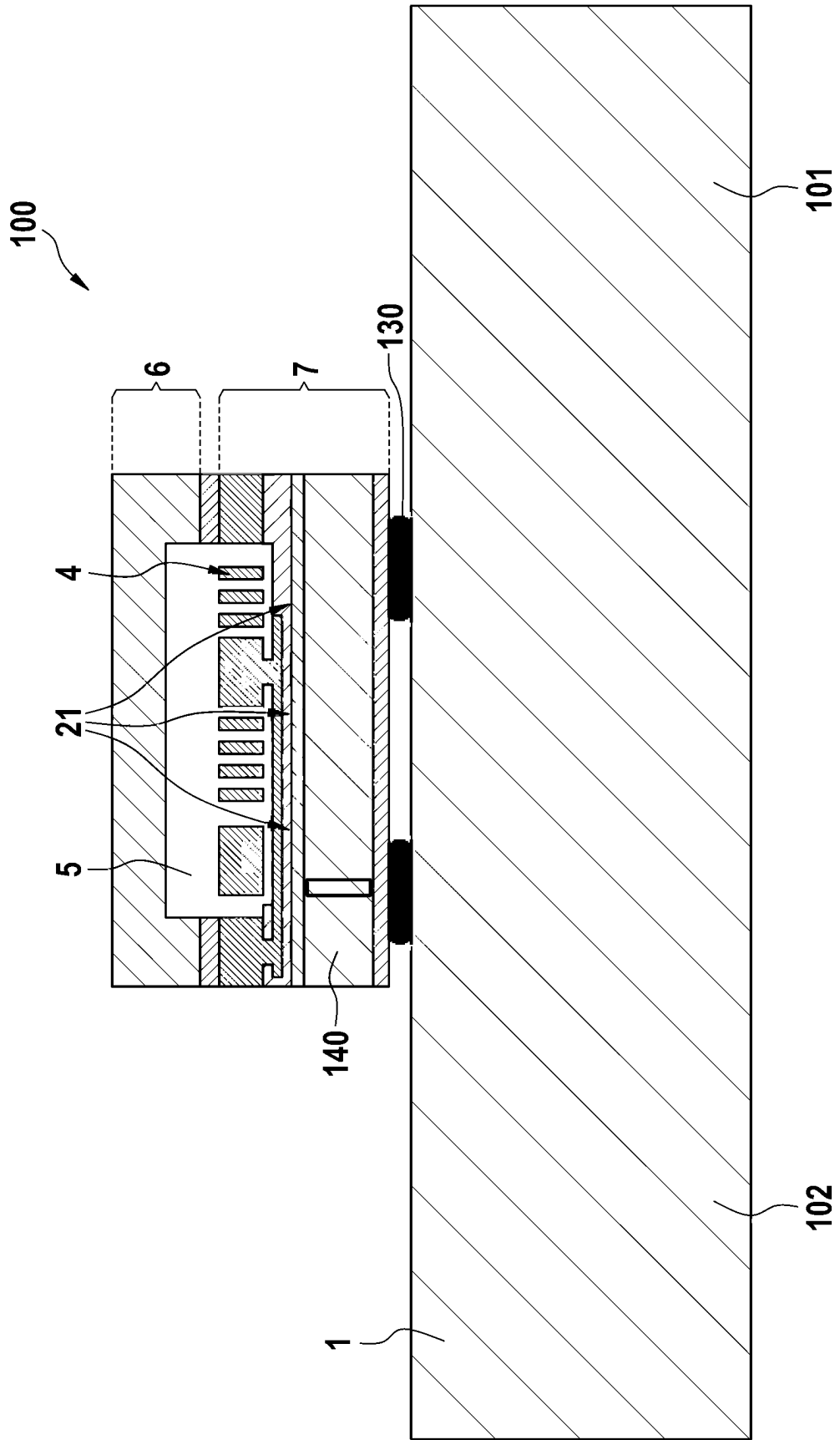


FIG. 9

