



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 210 482.4**
(22) Anmeldetag: **27.06.2018**
(43) Offenlegungstag: **02.01.2020**

(51) Int Cl.: **B81B 3/00** (2006.01)
B81B 7/02 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)
G01C 19/5733 (2012.01)

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

(72) Erfinder:
**Reinmuth, Jochen, 72766 Reutlingen, DE; Maul,
Robert, 72762 Reutlingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2003 / 0 223 677	A1
US	2004 / 0 027 225	A1
US	2004 / 0 114 259	A1
US	2007 / 0 125 486	A1
US	2016 / 0 291 320	A1

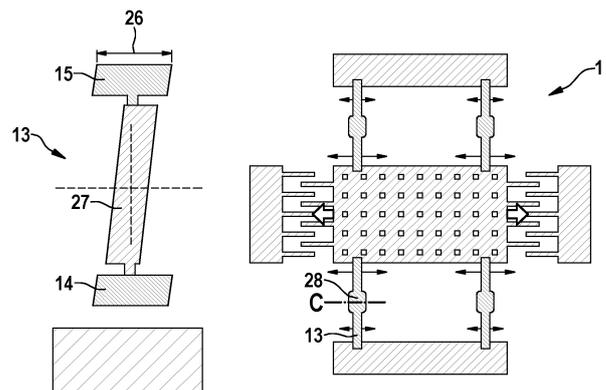
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Mikromechanisches Bauelement und Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein mikromechanisches Bauelement, insbesondere ein Drehratensensor, mit einem, eine Hauptstreckungsebene aufweisenden Substrat und mindestens einem Massenschwinger vorgeschlagen, wobei der Massenschwinger über ein oder mehrere Federelemente schwingungsfähig gegenüber dem Substrat gelagert ist, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Federelement ein erstes Federteilelement und ein zweites Federteilelement aufweist, wobei das erste Federteilelement und das zweite Federteilelement bezüglich einer senkrecht auf der Hauptstreckungsebene stehenden vertikalen Richtung übereinander angeordnet sind und in vertikaler Richtung zueinander beabstandet sind.

Weiterhin wird ein Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements vorgeschlagen.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung geht aus von einem mikromechanischen Bauelement nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und einem Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 5.

[0002] Mikromechanische Bauelemente und deren Herstellungsverfahren sind aus dem Stand der Technik in vielfältigen Ausführungsformen bekannt. In der Druckschrift DE 195 37 814 A1 wird beispielsweise ein Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Sensoren wie z. B. Beschleunigungs- und Drehratensensoren beschrieben. Mit diesem und ähnlichen Verfahren werden bewegliche Siliziumstrukturen erzeugt, deren Bewegungen über Bestimmung von Kapazitätsänderungen gemessen werden. Charakteristisch für diese Klasse von Verfahren und die weitere Diskussion ist, dass die beweglichen Siliziumstrukturen in einem ersten Schritt durch ein Ätzverfahren erzeugt werden, wobei Gräben in der Siliziumschicht mit hohem Aspektverhältnis erzeugt werden (DE 42 41 045 C1). In einem zweiten Schritt wird eine Opferschicht (meist Oxidschichten, siehe beispielsweise DE 43 17 274 A1) unter der Siliziumschicht entfernt. So erhält man gegenüber der Unterlage frei bewegliche Siliziumstrukturen.

[0003] Weiter ist nach DE 10 2011 080 978 A1 ein Verfahren bekannt mit dem auch mehrere, bewegliche MEMS-Strukturen übereinander angeordnet werden können. In dieser und anderen OMM-Techniken (Oberflächenmikromechanik-Techniken) können Drehratensensoren gebaut werden. In allen diesen Verfahren ist kritisch, dass die Strukturierung der Funktionsschicht nicht vollständig senkrecht erfolgt und immer eine gewisse Fertigungsstreuung des Trenchwinkels (d.h. des Winkels der Seitenwände der durch Ätzen erzeugten Strukturen) vorhanden ist. Weiter gibt es auch immer eine gewisse Fertigungsstreuung der Breiten der getrenchten Strukturen. Tendenziell gilt, dass die Breite der getrenchten Strukturen umso stärker schwankt, je dicker eine Schicht ist. Diese Effekte führen zu einer reduzierten Messgenauigkeit der bekannten OMM-Drehratensensoren.

[0004] Bekannte OMM-Drehratensensoren basieren meist auf dem folgenden Grundkonzept:

Zwei Massen (bewegliche OMM-Strukturen) werden antiparallel in Schwingung versetzt. Durch die Corioliskraft werden die Massen senkrecht zur jeweiligen Bewegungsrichtung ausgelenkt, wobei die senkrechte Auslenkung der beiden Massen ebenfalls antiparallel erfolgt. Die Auslenkung wird gemessen und entspricht der zu messenden Drehrate. Durch die antiparal-

lele Auslenkung kann in der Messung sauber zwischen einer am Bauteil anliegenden Drehrate und einer Beschleunigung, die eine parallele Auslenkung verursacht, unterschieden werden.

[0005] Der oben erwähnte, nicht exakte senkrechte Trenchwinkel bewirkt, dass die Massen auch jeweils eine Bewegung senkrecht zur gewünschten Bewegungsrichtung ausführen. Die Massen vollziehen also eine Taumelbewegung. Die Taumelbewegung verursacht aufgrund ihrer Bewegungsrichtung dann als Resultat immer ein Fehlsignal (die sogenannte Quadratur). Dieses Fehlsignal ist nicht erwünscht und verringert die Empfindlichkeit des Sensors.

[0006] Bei Sensoren, die eine Drehung senkrecht zur Ebene des Substrats detektieren sollen, werden die beiden beweglichen Massen ebenfalls in der Ebene und dabei senkrecht zur Detektionsrichtung zur Schwingung angeregt. Allerdings wird in diesem Fall die Auslenkung der Massen in der Ebene, senkrecht zur Bewegungsrichtung der Massen detektiert. Durch die Streuung der Breite der getrenchten Strukturen, insbesondere der Federstrukturen, sind die beweglichen Massen an leicht unterschiedlich steifen Federn aufgehängt. Durch diese Asymmetrie in der Federaufhängung wird eine Taumelbewegung in der Ebene verursacht. Diese Taumelbewegung führt analog zum ersten Beispiel zu einem ungewünschten Fehlsignal.

Offenbarung der Erfindung

[0007] Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung und ein Herstellungsverfahren für Drehratensensoren mit einer reduzierten Quadratur zur Verfügung zu stellen. Weiterhin ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung und ein Herstellungsverfahren zur Verfügung zu stellen, mit denen sich Drehratensensoren mit reduzierten Abmessungen realisieren lassen.

[0008] Das mikromechanische Bauelement gemäß dem Hauptanspruch hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass die Fertigungstoleranzen bezüglich Breite und Trenchwinkel bei einem aus zwei zueinander beabstandeten Federteilelementen bestehenden Federelement weniger ins Gewicht fallen, als bei einem einstückigen Federelement mit vergleichbarer vertikalen Abmessung. Mit dem Begriff „vertikal“ wird hier die Richtung senkrecht zur Substratebene bezeichnet, ohne dass dadurch eine Beziehung zur Schwerkraftrichtung impliziert ist. Die vertikale Abmessung eines Federteilelements oder eines einstückigen Federelements entspricht der Dicke der Schicht, aus der die entsprechende Struktur geätzt wurde. Die Richtungen parallel zur Substratebene werden im Folgenden auch mit „lateral“ bezeichnet und Bewegungen bzw. Verformungen in

diese Richtungen werden entsprechend als vertikale und laterale Freiheitsgrade bezeichnet. Die Form und Abmessungen des Federelements, insbesondere die Abmessungen der Querschnittsfläche, bestimmen (neben der Anisotropie des Materials, wie sie beispielsweise durch die Kristallstruktur hervorgerufen wird) das Verhalten bei verschiedenen Verformungen, insbesondere die Steifigkeit gegenüber Biegungen. Für die nachfolgende Diskussion beschränken wir uns auf eine einfache, balkenförmige Feder mit konstantem Querschnitt, deren Ober- und Unterseite parallel zueinander liegen und deren Seitenwände durch den Trenchwinkel bestimmt sind. Der Erfindungsgedanke wird dadurch nicht beschränkt und lässt sich auf komplexere Federgeometrien übertragen. Bei perfekt senkrechtem Trenchwinkel ist der Querschnitt des Federelements im Wesentlichen rechteckig. Die lateralen und vertikalen Abmessungen des Querschnitts (d.h. Breite und Höhe) bestimmen dabei die Steifigkeit gegenüber Biegungen in lateraler bzw. vertikaler Richtung. Die beiden Freiheitsgrade sind bei einem perfekt rechteckigen Querschnitt voneinander entkoppelt, d.h. Biegungen in vertikaler bzw. lateraler Richtung erzeugen jeweils ausschließlich Spannungen in vertikaler bzw. lateraler Richtung, so dass eine lateral angeregte Biegeschwingung des Federelements im weiteren zeitlichen Verlauf in der lateralen Ebene bleibt. Eine Abweichung des Trenchwinkels von der Senkrechten (d.h. Querschnitte, bei denen die Seiten nicht senkrecht aufeinander stehen) führt dagegen zu einer mechanischen Kopplung der beiden Freiheitsgrade. Dabei führen insbesondere Biegungen in lateraler Richtung zu Spannungen in vertikaler Richtung, so dass eine lateral angeregte Biegeschwingung immer eine Komponente in vertikaler Richtung enthält und damit einen Quadraturfehler erzeugt. Die Stärke der lateral-vertikalen Kopplung wird zum einen durch den Trenchwinkel und zum anderen durch das Aspektverhältnis (d.h. das Verhältnis der lateralen zur vertikalen Abmessung, bzw. Höhe zu Breite) bestimmt, wobei die Kopplung umso größer ist, je größer dieses Aspektverhältnis ist. Der Kerngedanke der vorliegenden Erfindung besteht nun darin, ein einstückiges Federelement mit großem Aspektverhältnis durch zwei Federteilelemente zu ersetzen, deren Aspektverhältnisse jeweils kleiner sind und die gemeinsam durch Biegung in lateraler Richtung als Feder für den aufgehängten Massenschwinger dienen. Voraussetzung für ein möglichst unverfälschtes laterales Schwingungsverhalten ist dabei, dass die beiden Federteilelemente möglichst genau vertikal übereinander angeordnet sind, so dass die beiden Federteilelemente bezüglich der vertikalen Richtung in Deckung sind. Unter Deckung ist hier zu verstehen, dass bei einer senkrechten Projektion der Federteilelemente auf die Hauptstreckungsebene die beiden Projektionen überlappen bzw. vorzugsweise maximal überlappen oder besonders bevorzugt sogar zusammenfallen. Eine derartige Deckung der beiden Federteilelemen-

te lässt sich in vorteilhaft einfacher Weise erreichen, wenn die beiden Federteilelemente jeweils getrennt aus zwei übereinander angeordneten Schichten geätzt werden, da sich bei modernen Herstellungsverfahren eine hohe Genauigkeit der relativen Anordnung und Ausrichtung der geätzten Strukturen erreichen lässt.

[0009] Neben der erhöhten Robustheit gegenüber Fertigungstoleranzen, lassen sich mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung darüber hinaus kleinere Sensoren realisieren. Vorzugsweise weist das Federelement zwischen dem ersten und zweiten Federteilelement eine Aussparung auf. Ein aus zwei Federteilelemente bestehendes Federelement weist eine geringere Steifigkeit auf, als ein einteiliges Federelement gleicher Breite und gleicher Gesamthöhe, da die Aussparung zwischen den beiden Federteilelementen die Gesamtsteifigkeit verringert. Daher lässt sich die gewünschte Federkonstante mit einem kürzeren Federelement erreichen, so dass die Abmessungen des Bauteils vorteilhafterweise geringer ausfallen.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist ein vertikaler Abstand zwischen dem ersten und zweiten Federteilelement größer als eine vertikale Ausdehnung des ersten Federteilelements und eine vertikale Ausdehnung des zweiten Federteilelements. Wird eine Feder aus zwei dünnen Federteilelementen aufgebaut, die in vertikaler Richtung einen Abstand größer als die vertikale Ausdehnung der Federteilelemente haben, so hat der Trenchwinkel nur einen untergeordneten Einfluss auf die Quadratur. Maßgeblich für die Out-of-Plane-Taumelbewegung ist wie gut die beiden Federteilelemente zueinander justiert sind. In der modernen Halbleiterherstellungsverfahren können sehr gut Overlay-Genauigkeiten erreicht werden. Die Genauigkeiten sind deutlich höher also der Versatz bedingt durch den Trenchwinkel über eine 20 µm dicke Schicht von oben nach unten bestenfalls erreicht werden kann. Es können daher empfindlichere Sensoren, die eine Drehung in der Ebene des Substrats detektieren, hergestellt werden.

[0011] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist zwischen dem ersten und zweiten Federteilelement zumindest in einem Teilbereich eine Versteifungsstruktur angeordnet. Die Versteifungsstruktur kann beispielweise dadurch realisiert werden, dass im Herstellungsprozess drei übereinander liegende Schichten abgeschieden werden, wobei aus der ersten und dritten Schicht die beiden Federteilelemente und aus der zweiten Schicht die Versteifungsstruktur geätzt wird. Die Versteifungsstruktur erstreckt sich dabei vorzugsweise nicht über die gesamte Länge des Federelements, sondern verbindet die beiden Federteilelemente nur in einem Teilbereich. Durch eine solche lokale Verbindung wird die Steifigkeit des Federelements in lateraler

Richtung nur unwesentlich verändert, während die Steifigkeit in vertikaler Richtung deutlich erhöht wird. Durch die erhöhte Steifigkeit in vertikaler Richtung (Out-of-Plane Steifigkeit) werden Schwingungen in vertikaler Richtung unterdrückt und der Quadraturbeitrag vorteilhafterweise reduziert.

[0012] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Versteifungsstruktur eine höhere Steifigkeit auf und/oder die Federteilelemente weisen im Bereich der Versteifungsstruktur eine größere Breite auf. Auf diese Weise wird die Out-of-Plane Steifigkeit in den verstärkten Bereichen gezielt erhöht und so der Quadraturbeitrag der Versteifungsstruktur vorteilhafterweise minimiert.

[0013] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist das erste und zweite Federteilelement im Wesentlichen gleichen Querschnitt auf und/oder verlaufen parallel zueinander.

[0014] Die eingangs formulierte Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 6. Jedes der beiden Federteilelemente wird jeweils in einem getrennten Abscheidungs- und Ätzprozess erzeugt, wobei die Ätzung so erfolgt, dass die beiden Federteilelemente möglichst genau übereinander liegen. Wird eine Feder aus zwei dünnen Federteilelementen aufgebaut, so werden aufgrund der geringeren Dicken der Schichten in Herstellungsprozess geringere Schwankungen in der einzelnen Teilfederbreite erreicht. Durch die zu erwartende geringere Streuung in der Federbreite kann auch die Taumbewegung in der Ebene reduziert werden. Es können daher empfindlichere Sensoren, die eine Drehung senkrecht zur Ebene des Substrats detektieren, hergestellt werden. Dadurch, dass die Federteilelemente aus relativ dünnen Schichten hergestellt werden, können die gewünschten mechanischen Eigenschaften, wie geringe E-Modul-Schwankung oder auch Uniformität in der Kristallstruktur einfacher erreicht werden. Dadurch weisen die so hergestellten Federelemente eine bessere Qualität beispielsweise in Bezug auf Vorauslenkung oder Steifigkeitsstreuung auf.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Abscheidung der ersten und zweiten Funktionsschicht derart, dass die erste und zweite Funktionsschicht im Wesentlichen gleiche Dicke aufweisen. Auf diese Weise werden durch das anschließende Ätzen vorteilhafterweise Federteilelemente mit ähnlichen oder gleichen vertikalen Abmessungen erzeugt.

[0016] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt das Ätzen der ersten und zweiten Funktionsschicht derart, dass das erste und zweite Federteilelement im Wesentlichen den gleichen Ätzwinkel auf-

weisen. Dies lässt sich beispielsweise dadurch erreichen, dass die erste und die zweite Funktionsschicht mit dem technisch gleichen oder zumindest einem ähnlichen Ätzverfahren geätzt werden, so dass beide Federteile den gleichen oder eine sehr ähnlichen Ätzwinkel haben. Auf diese Weise lassen sich vorteilhafterweise Federteilelemente erzeugen, die im Wesentlichen gleichen oder sehr ähnlichen Querschnitt haben.

[0017] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einem, auf den ersten Schritt folgenden und dem dritten Schritt vorausgehenden fünften Schritt eine dritte Funktionsschicht abgeschieden wird, wobei die dritte Funktionsschicht zwischen der ersten und zweiten Funktionsschicht angeordnet ist. Die dritte Funktionsschicht bewirkt vorteilhafterweise, dass die, im vorausgehenden und nachfolgenden Schritt abgeschiedenen ersten und zweiten Schichten durch die Dicke der dritten Funktionsschicht beabstandet sind.

[0018] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einem, auf den fünften Schritt folgenden Schritt durch Ätzen der dritten Funktionsschicht eine Versteifungsstruktur derart erzeugt, dass die Versteifungsstruktur bezüglich der vertikalen Richtung mit dem ersten und zweiten Federelement in Deckung ist. Auf diese Weise lassen sich Federelemente herstellen, die (wie weiter oben in Bezug auf die Versteifungsstruktur dargestellt) die gleiche oder eine höhere Out-of-Plane-Steifigkeit aufweisen wie einstückige Federelemente aus dem Stand der Technik. Die so hergestellten Federelemente haben durch Ihren Aufbau aus je einem Teilelement unterhalb und oberhalb der dicken Funktionsschicht in Kombination mit Versteifungselemente eine größere Gesamthöhe, als Federelemente, die ausschließlich aus der dicken Funktionsschicht geätzt werden. Die neuen Federn sind damit in vertikaler Richtung deutlich steifer. Parasitäre Schwingungsmoden können damit vorteilhaft reduziert werden.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Drehratensensor gemäß dem Stand der Technik.

Fig. 2 zeigt in einer schematischen Darstellung einen weiteren Drehratensensor gemäß dem Stand der Technik.

Fig. 3a-d zeigen in einer schematischen Darstellung das Detektionsprinzip und die durch fertigungstechnische Toleranzen hervorgerufene Verfälschung des Messsignals eines Drehratensensors gemäß dem Stand der Technik.

Fig. 4 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Drehratensensor und den Querschnitt ei-

nes zugehörigen Federelements gemäß dem Stand der Technik.

Fig. 5 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Drehratensensor und den Querschnitt eines zugehörigen Federelements gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 6 zeigt in einer schematischen Darstellung einen Drehratensensor und einen weiteren Querschnitt eines zugehörigen Federelements gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Ausführungsformen der Erfindung

[0019] In **Fig. 1** ist ein Drehratensensor **1** gemäß dem Stand der Technik dargestellt. Bei der Herstellung eines solchen Sensors **1** werden üblicherweise Siliziumstrukturen **2** durch Abscheiden einer dicken Siliziumschicht und anschließendem Ätzen dieser Schicht hergestellt. Beim Ätzen werden in der Siliziumschicht Gräben **3** (Trenchgräben) mit einem hohen Aspektverhältnis erzeugt. In einem zweiten Schritt wird eine, unter der dicken Siliziumschicht angeordnete Opferschicht entfernt, so dass durch die dadurch entstehende vertikale Lücke **4** eine Bewegung der Siliziumstruktur **2** relativ zum Substrat **10** möglich wird. Unter den beweglichen Strukturen **2** kann weiterhin eine dünne Polysiliziumschicht angeordnet sein, aus der durch Ätzen weitere Elemente **5**, **6** erzeugt werden, die beispielsweise als Aufhängung **6** oder als Elektrode **7** dienen können.

[0020] In **Fig. 2** ist ein weiterer Drehratensensor **1** gemäß dem Stand der Technik dargestellt. Bei der dargestellten Ausführungsform wurde durch Ätzen aus der dünnen Polysiliziumschicht eine Leiterbahn **7** erzeugt. Die beweglichen Strukturen **2** des Sensors **1** werden mit einer Kappe **8** hermetisch geschützt. Der Kappenwafer **8** kann mit unterschiedlichen Bondverfahren auf den Sensorwafer aufgebracht werden, beispielsweise durch ein Verbindungsmaterial **11**, das die Kappe **8** fest auf dem Sensorwafer verankert. In der Kappe **8** wird meist eine Kaverne **9** vorgesehen.

[0021] In den **Fig. 3a-c** ist ein Detektionsprinzip eines Drehratensensors **1** gemäß dem Stand der Technik dargestellt. Dazu werden zwei, jeweils an Federelementen **13** aufgehängten Massenschwinger **12** zu antiparallelen Schwingungen angeregt. In **Fig. 3a** ist eine solche antiparallele Schwingung ohne äußere Kräfte, d.h. bei ruhendem Sensor **1** dargestellt. Liegt an dem Sensor dagegen eine Drehrate **17** an, deren Drehachse eine Komponente senkrecht zur Schwingungsrichtung der Massenschwinger **12** aufweist (**Fig. 3c**), wirkt auf die Massenschwinger eine Corioliskraft, die zu einer zusätzlichen Auslenkung senkrecht zur Schwingungsrichtung und senkrecht zur Drehachse führt. Dabei erfahren antiparallele Bewegungsrichtungen entsprechend antiparallele Auslenkungen während bei dem in **Fig. 3b** dargestellten Fall einer

äußeren (linearen) Beschleunigung **16** eine Auslenkung beider Massen **12** in dieselbe Richtung (im dargestellten Fall nach unten, in Richtung des Substrats) verursacht wird. Daher lässt sich durch Vergleich der Auslenkungen beider Massen **12** die Wirkung einer anliegende Drehrate **17** sauber von der einer anliegenden Beschleunigung **16** trennen. In der **Fig. 3d** ist eine, durch fertigungstechnische Toleranzen verursachte Verfälschung des Messsignals dargestellt. Um des Detektionsprinzip aus **Fig. 3c** unverzerrt ausnutzen zu können, ist es notwendig, dass die Bewegungsfreiheitsgrade in lateraler Richtung **19** und in vertikaler Richtung **18** voneinander entkoppelt sind. Unter lateraler Richtung **19** ist hier eine Richtung parallel zur Substratebene zu verstehen. In der abgebildeten zweidimensionalen Darstellung entspricht die laterale Richtung **18** der Horizontalen der Blattebene, was hier jedoch schematisch für eine Bewegung steht, die auch Komponenten senkrecht zur Blattebene aufweisen kann. Durch die Schwankungen im Herstellungsprozess, insbesondere durch einen nicht exakt senkrechten Trenchwinkel der Federelemente **13**, wird eine mechanische Kopplung der lateralen und vertikalen Freiheitsgrade erzeugt, so dass die Bewegungen der Massenschwinger **12** zusätzlich zur gewünschten Schwingungsrichtung **19** auch ohne äußere Kräfte Komponenten in vertikaler Richtung **18** enthalten und die Massenschwinger **12** dadurch die in **Fig. 3d** dargestellten Taumelbewegungen ausführen. Eine solche Taumelbewegung aufgrund der ungewünschten Kopplung ist prinzipiell nicht von der senkrechten Auslenkung durch die Corioliskraft in **Fig. 3c** zu unterscheiden. Das zugehörige Fehlsignal wird auch Quadratur genannt und setzt die Sensitivität des Drehratensensors **1** in nachteiliger Weise herab.

[0022] In **Fig. 4** ist ein Drehratensensor mit typischen Fertigungstoleranzen dargestellt. In der Draufsicht rechts in der Abbildung ist ein Massenschwinger **12** abgebildet, der über vier Federelemente **13** mit den Aufhängungen **5** verbunden ist und durch den elektrostatischen Antrieb **23** zu Schwingungen gegenüber dem Substrat **10** (in der Draufsicht nicht dargestellt) angeregt werden kann. In der Draufsicht ist weiterhin die Schnittebene **A** gekennzeichnet, die durch das Federelement **13** verläuft. Links neben der Draufsicht ist die zugehörige Schnittfläche dargestellt. Um die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Anordnung und deren Unterschied zum Stand der Technik zu verstehen, lässt sich anschaulich betrachtet die Feder **13** in zwei Teile zerlegen. Grob gesprochen gilt für eine Feder **13** nach dem Stand der Technik, dass keine Taumelbewegung verursacht wird, wenn der Schwerpunkt **21** des oberen Teils über dem Schwerpunkt **22** des unteren Teil liegt (unten und oben sind hier in Bezug auf das Substrat **10** zu verstehen). Wird die Feder schräg getrennt (d.h. mit einem nichtverschwindenden Winkel **20** gegenüber der Senkrechten), liegen die beiden Schwerpunkte **21**, **22** nicht

mehr übereinander und es kommt zu einer Taumbewegung.

[0023] In **Fig. 5** ist ein Drehratensensor **1** gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. Die zu der in der Draufsicht gekennzeichneten Schnittebene **B** gehörige Schnittfläche ist links abgebildet. Im Gegensatz zu dem in **Fig. 4** dargestellten Federquerschnitt ist das Federelement **13** hier aus zwei Federteilelemente **14** und **15** aufgebaut, die eine vergleichbare Breite **26** aufweisen wie das Federelement **13** in **Fig. 4**. Diese werden jeweils aus zwei getrennten dünnen Schichten geätzt, wobei dabei, ähnlich wie bei **Fig. 4** ein nicht exakt senkrechter Trenchwinkel entsteht. Die Federteilelemente **14** und **15** weisen jedoch jedes für sich ein deutlich geringeres Aspektverhältnis (Höhe zu Breite) auf, so dass der schräge Trenchwinkel zu einer wesentlich geringeren Kopplung zwischen den lateralen und vertikalen Freiheitsgraden führt. Für die gesamte Feder **13** ist die Kopplung dann ebenfalls gering, vorausgesetzt, dass sich der Schwerpunkt **25** des zweiten Federelements **15** möglichst genau über dem Schwerpunkt **24** des ersten Federelements **14** befindet. Im Gegensatz zu **Fig. 4** ist der Versatz zwischen dem unteren und oberen Schwerpunkt **24**, **25** nicht durch den Trenchwinkel bestimmt, sondern durch die relative laterale Lage der Federelemente **14** und **15** zueinander, die sich in modernen Herstellungsverfahren jedoch sehr genau einstellen lässt.

[0024] In **Fig. 6** ist das Federelement **13** aus **Fig. 5** mit einer Schnittebene **C** dargestellt, die den Versteifungsbereich **28** des Federelements **13** schneidet. Im Versteifungsbereich **28** ist zum einen die Breite **26** der Federteilelemente **24** und **25** größer gewählt als in den übrigen Bereichen (siehe die Breite **26** in der Schnittebene **B** in **Fig. 5**), zum anderen ist zwischen den Federteilelementen **24** und **25** eine Versteifungsstruktur **27** angeordnet. Die Versteifungsstruktur **27** wird bei der Herstellung durch die Abscheidung einer dicken Schicht erzeugt, die zwischen den dünnen Schichten angeordnet ist, aus denen die Federteilelemente **24** und **25** geätzt werden. Durch diese Versteifungsstruktur **27** erhält das Federelement **13** eine wesentlich höhere Steifigkeit gegenüber Biegungen in vertikaler Richtung, so dass Schwingungen in dieser Richtung effektiv unterdrückt werden.

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 19537814 A1 [0002]
- DE 4241045 C1 [0002]
- DE 4317274 A1 [0002]
- DE 102011080978 A1 [0003]

Patentansprüche

1. Mikromechanisches Bauelement (1), insbesondere ein Drehratensensor, mit einem, eine Hauptstreckungsebene aufweisenden Substrat (10) und mindestens einem Massenschwinger (12), wobei der Massenschwinger (12) über ein oder mehrere Federelemente (13) schwingungsfähig gegenüber dem Substrat (10) gelagert ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Federelement (13) ein erstes Federteilelement (14) und ein zweites Federteilelement (15) aufweist, wobei das erste Federteilelement (14) und das zweite Federteilelement (15) bezüglich einer senkrecht auf der Hauptstreckungsebene stehenden vertikalen Richtung (18) übereinander angeordnet sind und in vertikaler Richtung (18) zueinander beabstandet sind.

2. Mikromechanisches Bauelement (1) nach Anspruch 1, wobei ein vertikaler Abstand zwischen dem ersten und zweiten Federteilelement (14, 15) größer ist als eine vertikale Ausdehnung des ersten Federteilelements (14) und eine vertikale Ausdehnung des zweiten Federteilelements (15).

3. Mikromechanisches Bauelement (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei zwischen dem ersten und zweiten Federteilelement (14, 15) zumindest in einem Teilbereich (28) eine Versteifungsstruktur (27) angeordnet ist.

4. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 3, wobei die Versteifungsstruktur (27) eine höhere Steifigkeit aufweist und/oder die Federteilelemente (14, 15) im Bereich (28) der Versteifungsstruktur (27) eine größere Breite aufweisen.

5. Mikromechanisches Bauelement (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste und zweite Federteilelement (14, 15) im Wesentlichen gleichen Querschnitt aufweisen und/oder parallel zueinander verlaufen.

6. Verfahren zur Herstellung eines mikromechanischen Bauelements (1), wobei

- in einem ersten Schritt eine erste Funktionsschicht mit einer Hauptstreckungsebene abgeschieden wird,
- in einem zweiten Schritt durch Ätzen der ersten Funktionsschicht ein erstes Federteilelement (14) erzeugt wird,
- in einem dritten Schritt eine zweite Funktionsschicht abgeschieden wird, wobei die zweite Funktionsschicht in einer senkrecht auf der Hauptstreckungsebene stehenden vertikalen Richtung (18) über der ersten Funktionsschicht angeordnet ist,
- in einem vierten Schritt durch Ätzen der zweiten Funktionsschicht ein zweites Federteilelement (15) derart erzeugt wird, dass das zweite Federteilelement

(15) bezüglich der vertikalen Richtung (18) mit dem ersten Federelement (14) in Deckung ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Abscheidung der ersten und zweiten Funktionsschicht derart erfolgt, dass die erste und zweite Funktionsschicht im Wesentlichen gleiche Dicke aufweisen.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei das Ätzen der ersten und zweiten Funktionsschicht derart erfolgt, dass das erste und zweite Federteilelement (14, 15) im Wesentlichen den gleichen Ätzwinkel (20) aufweisen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei in einem, auf den ersten Schritt folgenden und dem dritten Schritt vorausgehenden fünften Schritt eine dritte Funktionsschicht abgeschieden wird, wobei die dritte Funktionsschicht zwischen der ersten und zweiten Funktionsschicht angeordnet ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei in einem, auf den fünften Schritt folgenden Schritt durch Ätzen der dritten Funktionsschicht eine Versteifungsstruktur (27) derart erzeugt wird, dass die Versteifungsstruktur (27) bezüglich der vertikalen Richtung (18) mit dem ersten und zweiten Federelement (14, 15) in Deckung ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

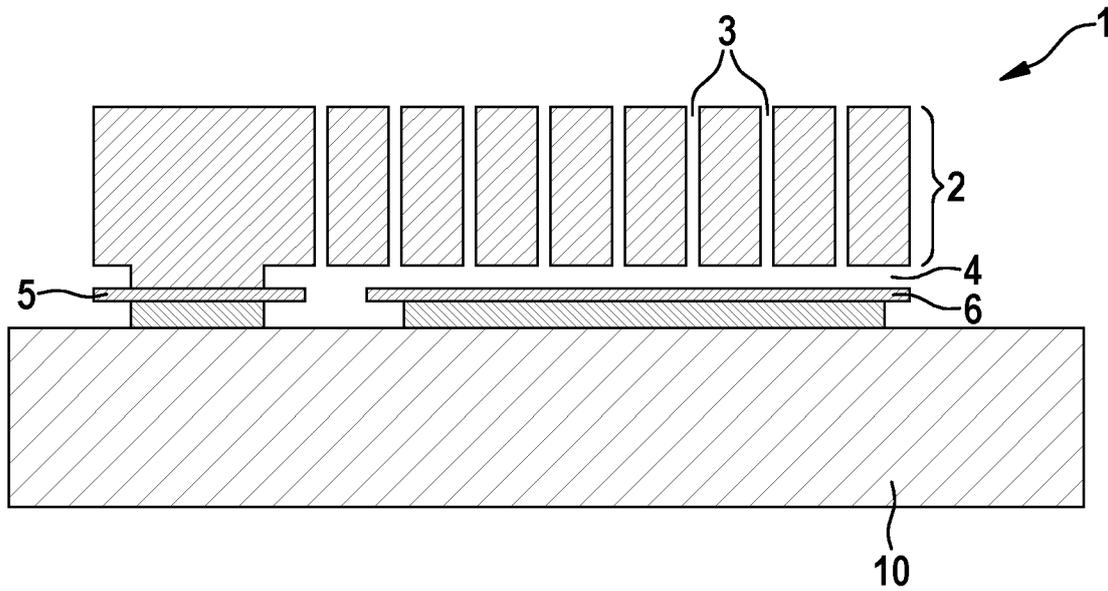


Fig. 1

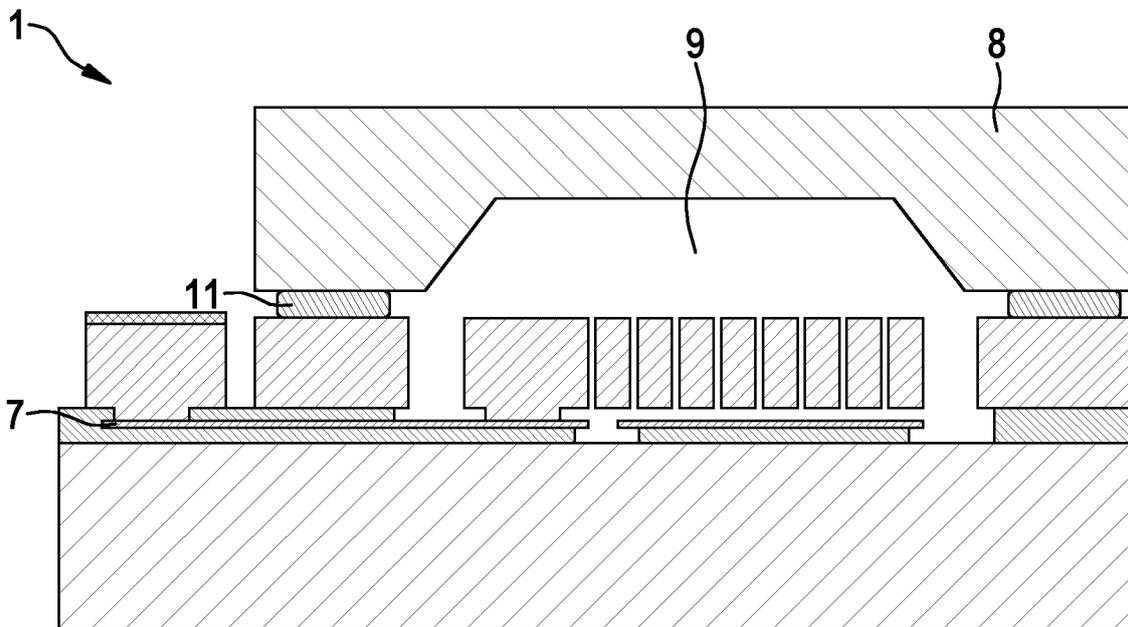


Fig. 2

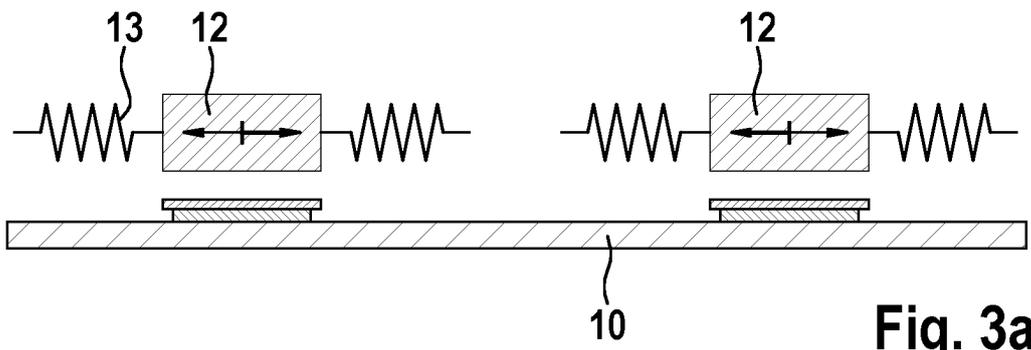


Fig. 3a

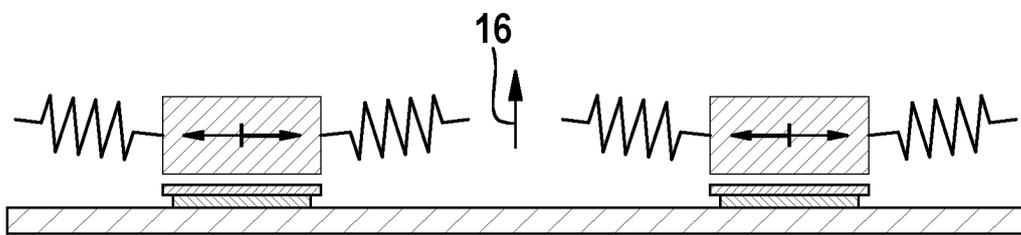


Fig. 3b

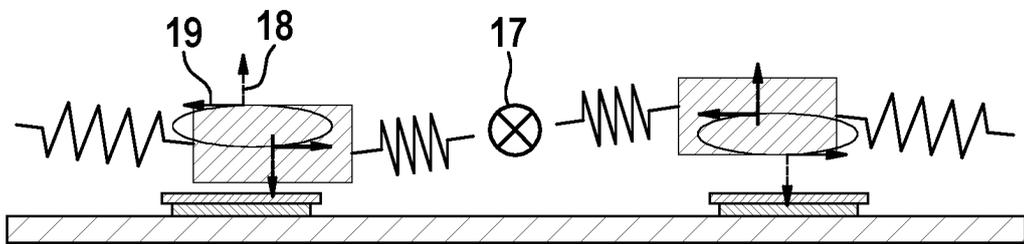


Fig. 3c

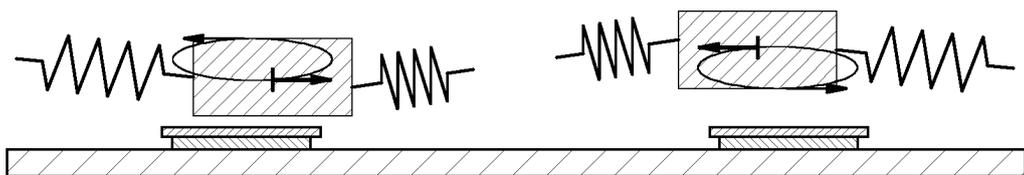


Fig. 3d

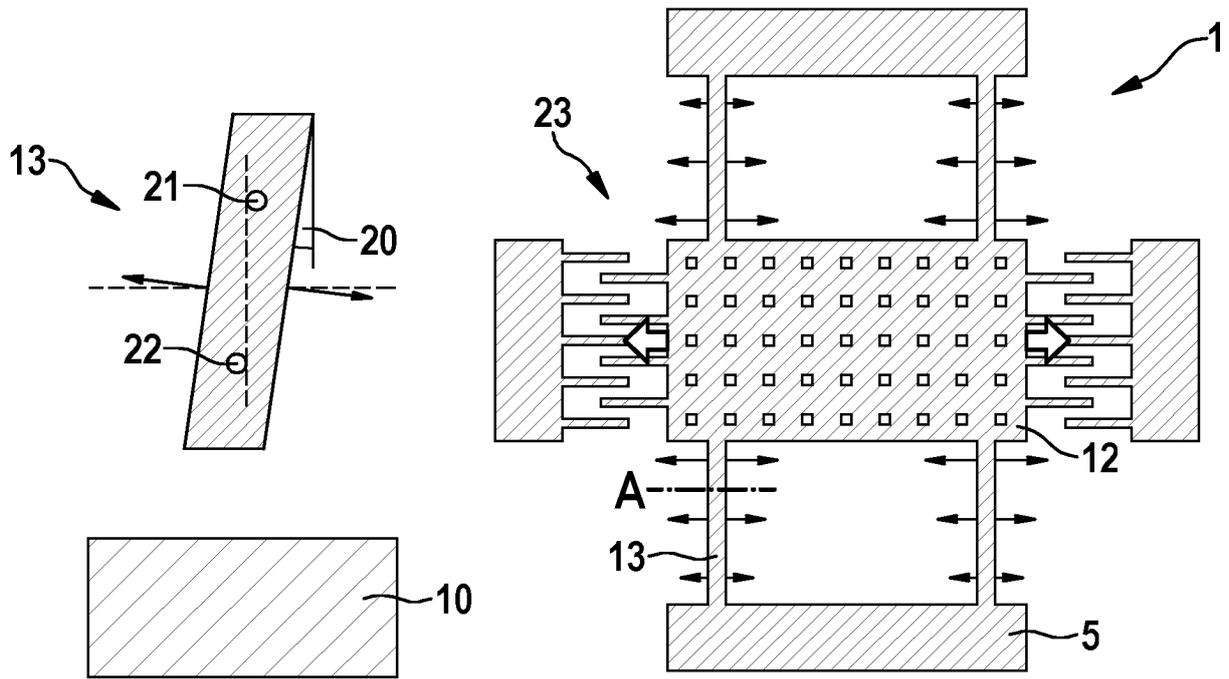


Fig. 4

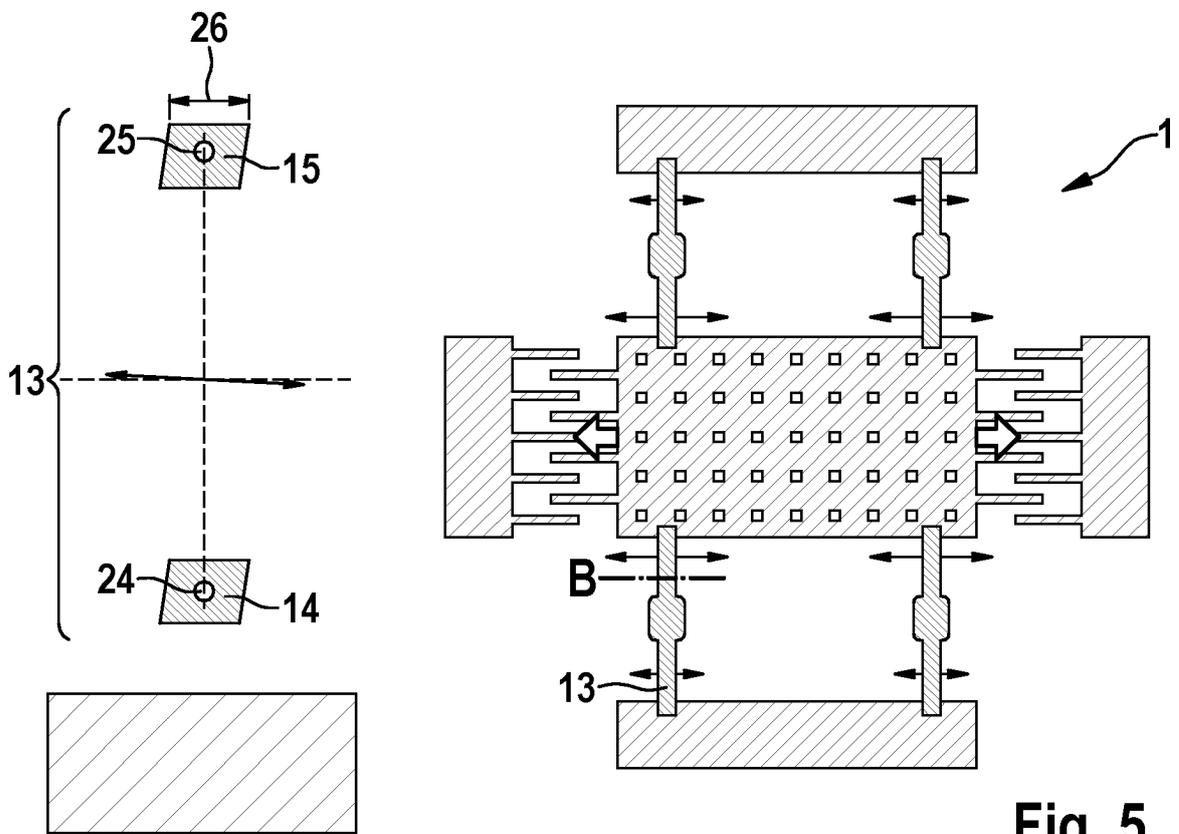


Fig. 5

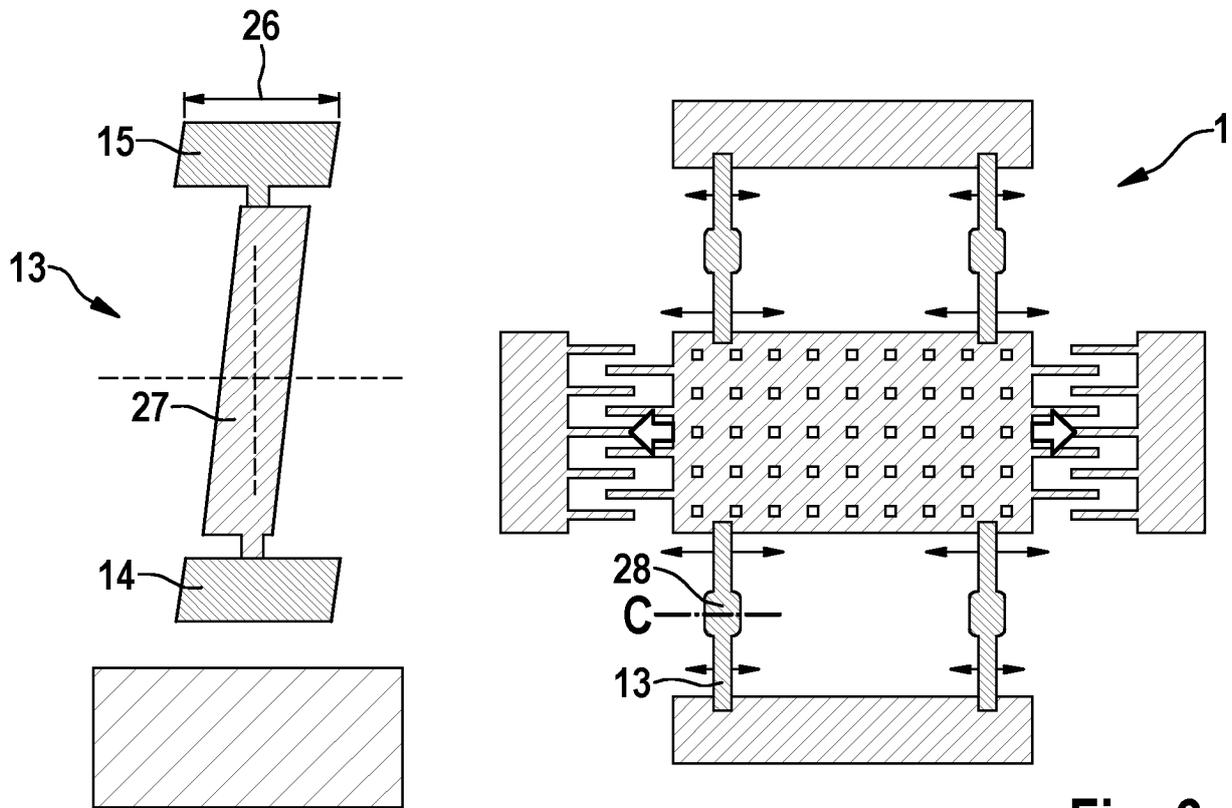


Fig. 6