



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 697 712 B1

(51) Int. Cl.: G01L 1/18 (2006.01)
B81B 7/04 (2006.01)

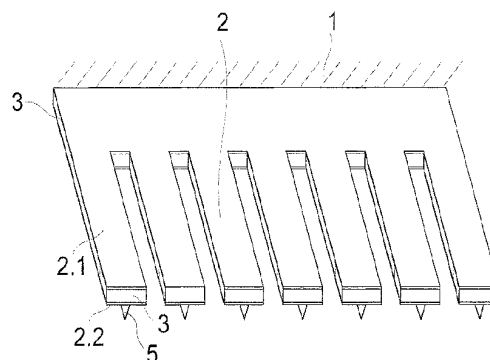
Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer:	01112/08	(73) Inhaber:	SIOS Messtechnik GmbH, Am Vogelherd 46 98693 Ilmenau (DE)
(22) Anmeldedatum:	17.07.2008	(72) Erfinder:	JÄGER, Gerd, 98693 Ilmenau (DE)
(43) Anmeldung veröffentlicht:	30.01.2009	(74) Vertreter:	Braunpat Braun Eder AG, Reussstrasse 22 4054 Basel (CH)
(30) Priorität:	18.07.2007 DE 102007033441.0		
(24) Patent erteilt:	15.04.2011		
(45) Patentschrift veröffentlicht:	15.04.2011		

(54) **Vorrichtung zur gleichzeitigen Messung von Kräften.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur gleichzeitigen Ermittlung von Kräften, umfassend eine Anordnung von Parallelfedern 2 mit integrierten piezoresistiven Widerständen 4 in Form einer Wheatstoneschen Vollbrücke. Die Parallelfedern 2, bestehend beispielsweise aus Silizium oder Kieselglas, sind zeilenförmig angeordnet, wobei die Parallelfedern 2 an ihren Enden durch Silizium- oder Kieselglasabstandsstücke 3 fest verbunden sind. An den freien Enden der Parallelfedern 2 sind messtechnische Elemente 5 angeordnet; die gegenüberliegenden Enden der Parallelfedern 2 sind an einem Gestell 1 befestigt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Messung von Kräften mit einer Parallelfederanordnung.

[0002] Die Erfindung ist besonders geeignet für die Ermittlung von Kräften sowie von Massen kleiner Objekte. Die erfindungsgemässe Vorrichtung kann auch zur gleichzeitigen Messung von Oberflächenprofilen an mehreren Stellen eingesetzt werden.

[0003] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Anordnungen zur Kraftmessung beziehungsweise Massebestimmung von Objekten und zur Messung von Oberflächenprofilabweichungen bekannt.

[0004] In vielfältigen Anwendungen werden zur Kraftmessung Biegekörper verwendet, auf denen Dehnmessstreifen angebracht sind. Für höhere Anforderungen in der Kraftmess- und Wägetechnik werden Verformungskörperparallelfedern, beispielsweise aus Aluminium, eingesetzt. Auf die Oberflächen dieser Verformungskörperparallelfedern sind ebenfalls Dehnungsmessstreifen aufgeklebt. Da die Verformungskörperparallelfedern sowohl Dehnungs- als auch Stauchungszonen aufweisen, können die Dehnungsmessstreifen in Vollbrückenschaltung ausgewertet werden. Nachteilig dabei ist, dass die Herstellung der Dehnungsmessstreifenkraftsensoren ein technologisch aufwändiges Verfahren erfordert. Nachteilig ist weiterhin die eingeschränkte Genauigkeit dieser Kraftsensoren, insbesondere für die Messung von kleinen Kräften.

[0005] Zur Bestimmung der Oberflächenprofile von Objekten werden Silizium-Cantilever in Rasterkraftmikroskopen mit Auflösungen im Nano- und Subnanometerbereich verwendet. Als Cantilever dienen Silizium-Biegebalken mit piezoresistiven Widerständen, welche zu einer Brücke verschaltet sind. Da diese Biegebalken-Cantilever nur positive oder negative Längsdehnungen aufweisen, können keine Vollbrückenschaltungen realisiert werden. Eine ideale Vollbrückenschaltung mit piezoresistiven Widerständen ist nur mit einer Parallelfederanordnung möglich.

[0006] Es ist auch bekannt, Cantilever zu verwenden, die an ihren freien Enden spiegelnde Flächen aufweisen, deren Auslenkung mit Planspiegelinterferometern erfasst wird. Aufgrund der Neigung der Biegebalken-Cantilever an ihren freien Enden sind Planspiegelinterferometer jedoch nur bei sehr geringen Dehnungen und Stauchungen einsetzbar.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art anzugeben, welche eine gleichzeitige Ermittlung von Kräften sowie eine präzise Bestimmung der Profilabweichungen von Oberflächen an mehreren Stellen gleichzeitig ermöglicht.

[0008] Die Aufgabe wird erfindungsgemäss mit einer Vorrichtung gelöst, welche die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale aufweist.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0010] Die erfindungsgemässe Vorrichtung umfasst eine Parallelfederanordnung, insbesondere aus Silizium oder Kieselglas. Die Parallelfedern bestehen aus oberen und unteren Federn, die durch Abstandsstücke aus Silizium oder Kieselglas verbunden sind. Die einen Enden der Parallelfedern sind an einem Gestell befestigt. Dadurch, dass die Parallelfedern in ihrem Biegeverlauf einen Wendepunkt besitzen, gibt es Zonen, in denen die absoluten Beträge der Dehnungen und Stauchungen gleichgross sind. Somit lässt sich eine ideale Wheatstonesche Vollbrücke mit piezoresistiven Widerständen in allen Parallelfedern realisieren.

[0011] Aus Silizium bestehende Parallelfedern können preisgünstig und mit hoher Reproduzierbarkeit mittels der Halbleitertechnik und der Mikromechanik hergestellt werden. Dabei können zeilenförmige Anordnungen von Siliziumparallelfedern vorteilhaft auch in hohen Stückzahlen hergestellt werden. Besitzen die Siliziumparallelfedern keine Rechteckform, sondern eine Dreiecksform, dann sind die mechanischen Dehnungen und Spannungen in den Dreiecksgebieten nahezu konstant. Die Siliziumparallelfedern werden vorteilhaft in Doppeldreiecksform gestaltet, d.h. die Parallelfedern besitzen eine Art Schmetterlingsform. Daraus folgt eine Lageunabhängigkeit der piezoresistiven Widerstände und somit eine offsetfreie Brückenschaltung. Besitzen die Siliziumparallelfedern eine Rechteckform, dann weisen die mechanischen Dehnungen und Spannungen Gradienten auf. Somit müssen die piezoresistiven Widerstände exakt positioniert werden, um die Offsetspannung der Brücke klein zu halten. Das gelingt in der Regel nur unzureichend.

[0012] Werden an den freien Enden der Siliziumparallelfedern Siliziumspitzen mit Radien von nur wenigen Nanometern angebracht, entstehen Parallelfeder-Cantilever, welche im Vergleich zu den Biegebalken-Cantilevern der heutigen Rasterkraftmikroskope keine so genannten Bogenfehler aufweisen. Das ist ein weiterer wesentlicher Vorteil der erfindungsgemässen Anordnung.

[0013] Somit können Objektflächen an mehreren Objektpunkten abgetastet und die Oberflächenprofilabweichungen mit höchstmöglicher Präzision ermittelt werden.

[0014] Befinden sich an den freien Enden der Siliziumparallelfedern Siliziumantastelemente sowohl an der Oberseite als auch gegenüberliegend an der Unterseite, dann können beispielsweise Durchmesser von Bohrungen und die Abstände von Nuten oder von Stegen gemessen werden.

[0015] Werden an den freien Enden der Parallelfedern Waagschalen angebracht und die Wägeobjekte in geeigneter Weise mittels Zu- und Abfuhrvorrichtungen über die Waagschalen geführt, so lassen sich die Massen der Wägeobjekte parallel mit hoher Effektivität bestimmen.

[0016] Die Parallelfederanordnungen aus Kieselglas sind mit Hilfe von Ätztechnologie und modernen Präzisionsmaschinen ökonomisch herstellbar. An den freien Enden der Kieselglasparallelfedern können Spitzen bzw. Tastelemente aus Hartmetall oder Diamant und mit verschiedenen Radien angebracht werden. Die Auslenkungen der Kieselglasparallelfedern werden vorteilhaft optisch gemessen. Dazu können Autofokussensoren oder Planspiegelinterferometer verwendet werden. Die Kombination von Kieselglasparallelfedern bzw. Siliziumparallelfedern mit einem Planspiegelinterferometer garantiert höchstmögliche Präzision.

[0017] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

[0018] Darin zeigen:

- Fig. 1 die perspektivische Ansicht einer zeilenförmigen Anordnung mehrerer Parallelfedern mit jeweiligen Abstandsstücken,
- Fig. 2 eine Draufsicht auf die Darstellung einer Parallelfeder mit integrierten piezoresistiven Widerständen,
- Fig. 3 eine Draufsicht auf einen Ausschnitt einer Parallelfederanordnung aus Silizium mit piezoresistiven Widerständen,
- Fig. 4 eine perspektivische Ansicht einer zeilenförmigen Anordnung mehrerer Parallelfedern mit veränderlichen Querschnitt,
- Fig. 5 die Draufsicht auf die in Fig. 4 perspektivisch dargestellte Anordnung,
- Fig. 6 einen Schnitt B–B durch die in den Fig. 4 und 5 dargestellte Anordnung,
- Fig. 7a einen Längsschnitt A–A durch eine Parallelfederanordnung mit einem Tastelement an der Unterseite,
- Fig. 7b einen Längsschnitt A–A durch eine Parallelfederanordnung mit Tastelementen an der Ober- und Unterseite,
- Fig. 8 einen Längsschnitt durch eine Parallelfederanordnung mit Waagschale,
- Fig. 9 den Längsschnitt durch eine Parallelfederanordnung mit Zu- und Abführriechung, und
- Fig. 10 einen Längsschnitt durch eine Parallelfederanordnung mit interferometrischer Abtastung.

[0019] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

[0020] Fig. 1 zeigt eine zeilenförmige Anordnung mehrerer Parallelfedern 2. Die oberen Federn 2.1 sind durch Abstandsstücke 3 mit den unteren Federn 2.2 verbunden. Die Federn 2.1 und 2.2 sowie die Abstandsstücke 3 bestehen vorzugsweise aus Kieselglas oder Silizium. Die Federn 2.1 und 2.2 bilden jeweils eine Parallelfeder 2. Die Abstände zwischen den einzelnen Parallelfedern 2 können beliebig gewählt werden und an Messanordnungen, in welche die Parallelfederanordnung eingesetzt wird, angepasst werden. Die Parallelfederanordnung ist an einem Gestell 1 fest montiert. Die zeilenförmige Anordnung der Parallelfedern 2 ermöglicht ein gleichzeitiges Erfassen mehrerer Objektpunkte. Je nach den Parametern der zu messenden Objekte kann die Grösse der Fläche der angeordneten Parallelfedern variieren. An den freien Enden der Parallelfedern 2 sind messtechnische Tastelemente 5 angebracht.

[0021] In Fig. 2 ist die Draufsicht auf eine Anordnung dargestellt, bei der in die oberen Federn 2.1 piezoresistive Widerstände 4 dotiert sind.

[0022] Fig. 3 zeigt die Draufsicht auf einen Ausschnitt einer Parallelfederanordnung mit piezoresistiven Widerständen 4, die hier in einer Wheatstoneschen Brückenschaltung angeordnet sind. Die piezoresistiven Widerstände 4.1 ... 4.4 sind symmetrisch zur Nullspannungslinie angeordnet. Bei einer Auslenkung der Parallelfedern 2 werden die piezoresistiven Widerstände 4.1 und 4.4 gedehnt, während die piezoresistiven Widerstände 4.2 und 4.3 gestaucht werden. Dadurch entstehen Zonen mit Dehnungen und Stauchungen, deren absoluten Beträge gleich sind. Dies ermöglicht die Realisierung von Wheatstone-Vollbrücken mit den Speisespannungen U_B und den Diagonalspannungen U_D .

[0023] Fig. 4 zeigt eine Silizium-Parallelfederanordnung, bei der die Parallelfedern 2 dreiecksförmig gestaltet sind. Bei der dargestellten Ausführung handelt es sich um eine Doppeldreiecksform in Form eines Schmetterlings. Da in diesem Fall der Quotient aus Moment und Widerstandsmoment konstant ist, sind die mechanischen Dehnungen und Spannungen in den Dreiecksflächen konstant. Zur Realisierung einer Vollbrücke müssen deshalb die piezoresistiven Widerstände 4 nicht genau positioniert werden, wie dies bei einer Rechteckform erforderlich wäre. Damit kann bei einer Dreiecksform der Silizium-Parallelfedern eine ideale offset-freie Vollbrücke realisiert werden.

[0024] In Fig. 5 ist die in Fig. 4 perspektivisch gezeigte dreiecksförmige Silizium-Parallelfederanordnung in einer Draufsicht dargestellt.

[0025] In Fig. 6 ist der in Fig. 5 gekennzeichnete Schnitt B–B abgebildet. Die Abstandsstücke 3 sind aus Silizium hergestellt und mit den Siliziumparallelfedern 2.1 und 2.2 fest verbunden.

[0026] Fig. 7 zeigt die Schnittdarstellung A–A einer Parallelfeder 2 aus Silizium mit piezoresistiven Widerständen 4, bei der an den freien Enden Tastelemente 5 in Form einer Spitze 5.1 aus Silizium mit sehr kleinen Spitzenradien von wenigen Nanometern angeordnet sind. Bei der in Fig. 7a dargestellten Ausführung sind die Spitzen 5.1 an den Unterseiten der freien Enden der Federn 2.2 angebracht. Diese Anordnung kann als Parallelfeder-Cantilever verwendet werden. Eine Vorrichtung, bei der mehrere derartige Cantilever parallel angeordnet sind, ermöglicht die Ermittlung des Oberflächenprofils von Objekten. Damit kann an mehreren Objektpunkten die Oberflächenprofilabweichung eines Objektes präzise erfasst werden. Für Parallelfedern 2 aus Silizium werden vorzugsweise Spitzen 5.1 verwendet, die ebenfalls aus Silizium bestehen. Für Parallelfedern 2 aus Kieselglas werden die Spitzen 5.1 vorzugsweise aus Hartmaterial oder Diamant ausgebildet. Fig. 7b zeigt eine Ausführung, bei der an den freien Enden der Siliziumparallelfedern 2 sowohl an der Oberseite als auch gegenüberliegend an der Unterseite Tastspitzen 5.1 aus Silizium angebracht sind. Eine solche Anordnung kann vorzugsweise zur Messung von Bohrungen oder Nuten angewendet werden.

[0027] Fig. 8 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Parallelfeder 2 im Längsschnitt mit piezoresistiven Widerständen 4. Die Enden der oberen Feder 2.1 und der unteren Feder 2.2 sind jeweils mit Abstandsstücken 3 aus Silizium oder Kieselglas fest verbunden. An den freien Enden der oberen Federn 2.1 sind Waagschalen 5.2 angeordnet, mit der Objekte aufgenommen werden können, für die eine Wägung durchgeführt werden soll.

[0028] Fig. 9 zeigt ein Anwendungsbeispiel, bei dem Parallelfedern 2 mit Waagschalen 5.2 in Zu- und Abführungseinrichtungen 6 für Wägeobjekte 7 eingefügt sind. Mit den Zu- und Abführungseinrichtungen 6 erfolgt die Zuführung der Wägeobjekte 7 zu den Waagschalen 5.2 sowie deren Abführung. Somit lassen sich die Massen einer Vielzahl von Wägeobjekten 7 gleichzeitig ermitteln.

[0029] Fig. 10 zeigt eine Anordnung von Parallelfedern 2, deren kraftabhängige Auslenkungen mit am Gestell 1 befestigten Interferometern 8 berührungslos gemessen werden. Als Interferometer 8 werden vorzugsweise Planspiegelinterferometer genutzt. Weisen die Oberflächen der Parallelfedern 2.1 an ihren Enden einen ausreichenden Reflexionsgrad auf, können die Messstrahlen der Planspiegelinterferometer 8 direkt auf die Oberflächen der Parallelfedern 2 gerichtet werden. Zur präzisen optischen Messung von Kräften und von Oberflächenprofilabweichungen mit derartigen Anordnungen kann, ausser der hier dargestellten Verwendung einstrahliger Planspiegelinterferometer 8, die Abtastung auch mittels Autofokussensoren erfolgen.

Bezugszeichenliste

[0030]

- 1 Gestell
- 2 Parallelfeder
 - 2.1 Obere Feder
 - 2.2 Untere Feder
- 3 Abstandsstück
- 4 Piezoresistiver Widerstand
- 5 Messtechnisches Tastelement
 - 5.1 Messspitze
 - 5.2 Waagschale
- 6 Zu- und Abführungseinrichtungen
- 7 Wägeobjekt
- 8 Planspiegelinterferometer
- U_B Speisespannung
- U_D Diagonalspannung

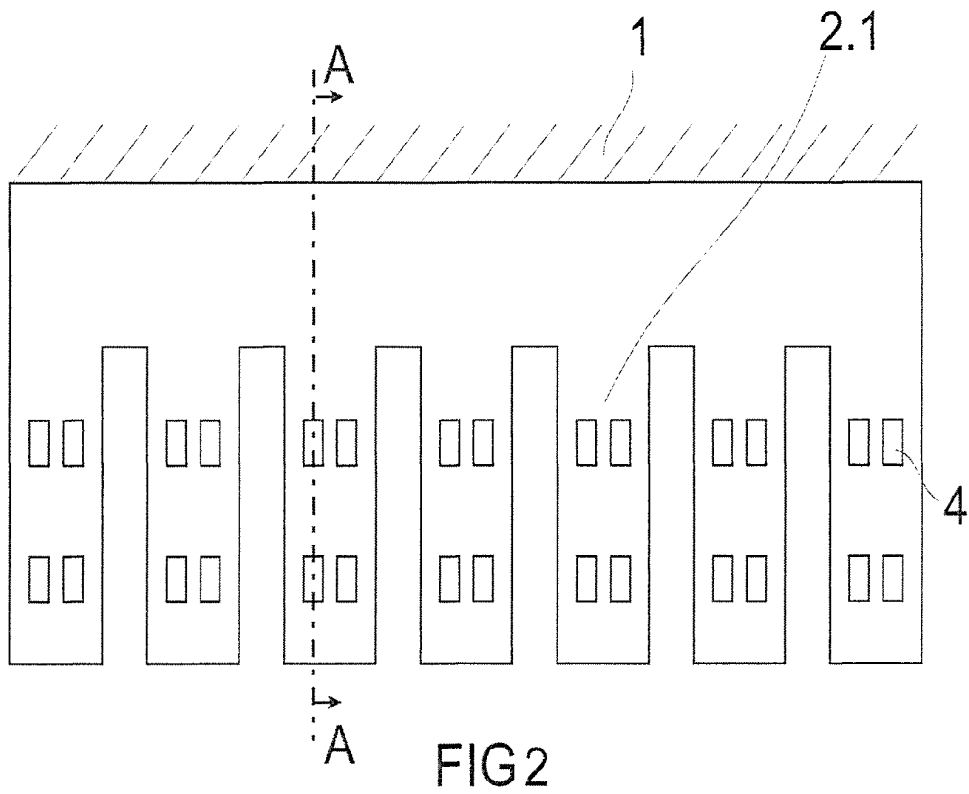
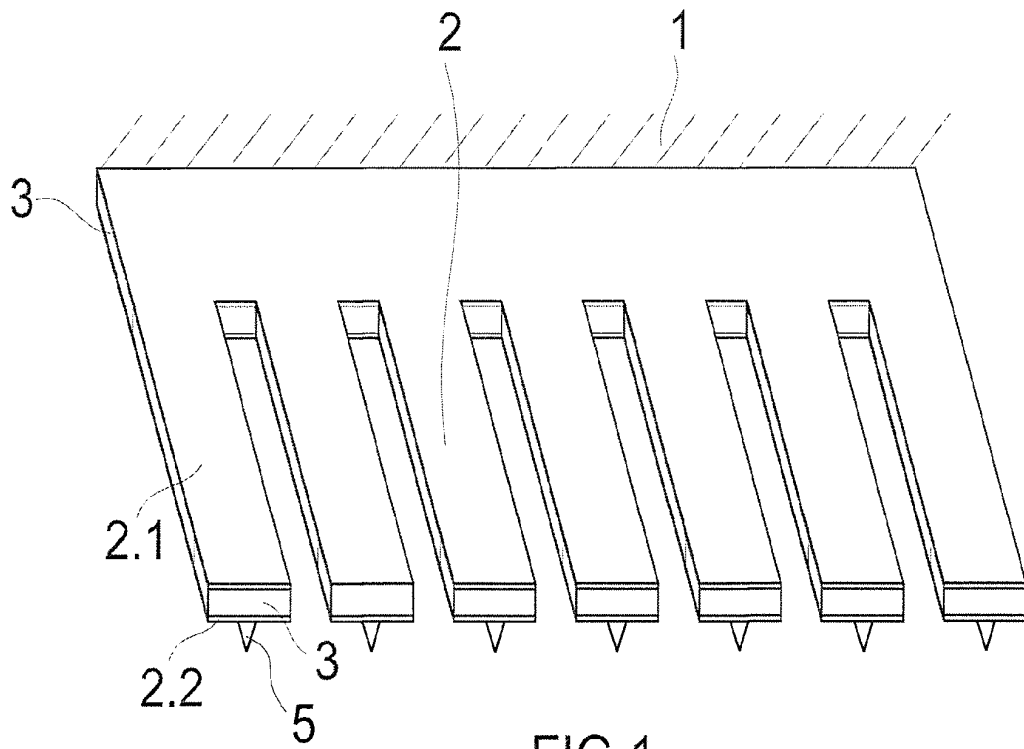
Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Messung von Kräften mit einer Parallelfederanordnung, bei der
 - mehrere Parallelfedern (2) zeilenförmig angeordnet sind,
 - die Parallelfedern (2) an ihren Enden über Abstandsstücke (3) miteinander verbunden sind,
 - die Parallelfedern (2) und die Abstandsstücke (3) aus Silizium oder Kieselglas bestehen,

CH 697 712 B1

– die einen Enden der Parallelfedern (2) an einem Gestell (1) befestigt sind,
– an den freien Enden der Parallelfedern (2) messtechnische Elemente (5) angeordnet sind und
sich in den Parallelfedern (2) piezoresistive Widerstände (4) befinden, die in einer Wheatstoneschen Vollbrücke angeordnet sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Parallelfedern (2) in der Draufsicht eine symmetrische Dreiecksform besitzen.
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die an den freien Enden der Parallelfedern (2) angeordneten messtechnischen Elemente (5) Spitzen (5.1) aus Silizium oder aus Diamant sind.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass über den freien Enden der Parallelfedern (2) Planspiegelinterferometer (8) angeordnet sind.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an der Oberseite der freien Enden der Parallelfedern (2) Waagschalen (5.2) befestigt sind.



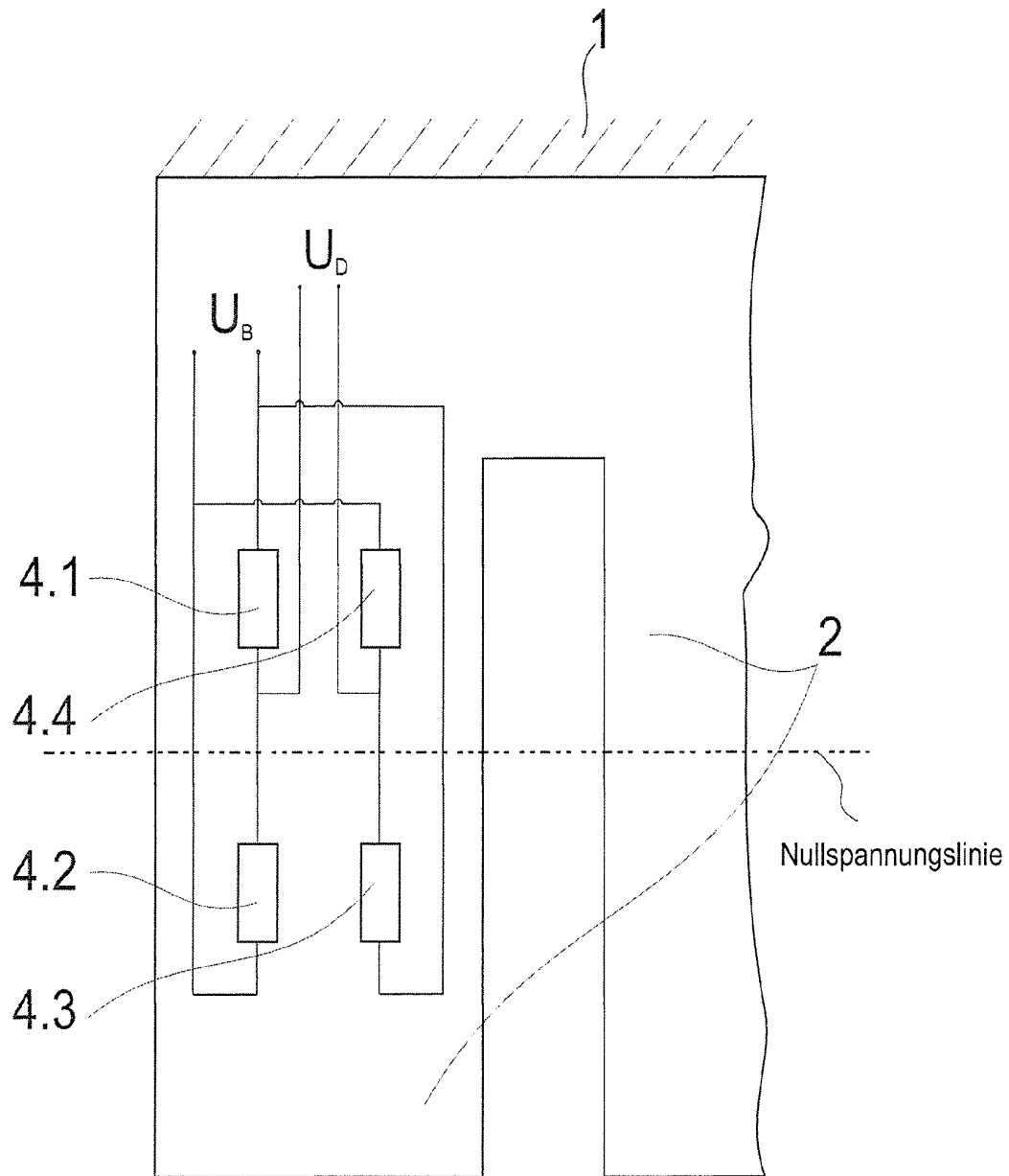


FIG 3

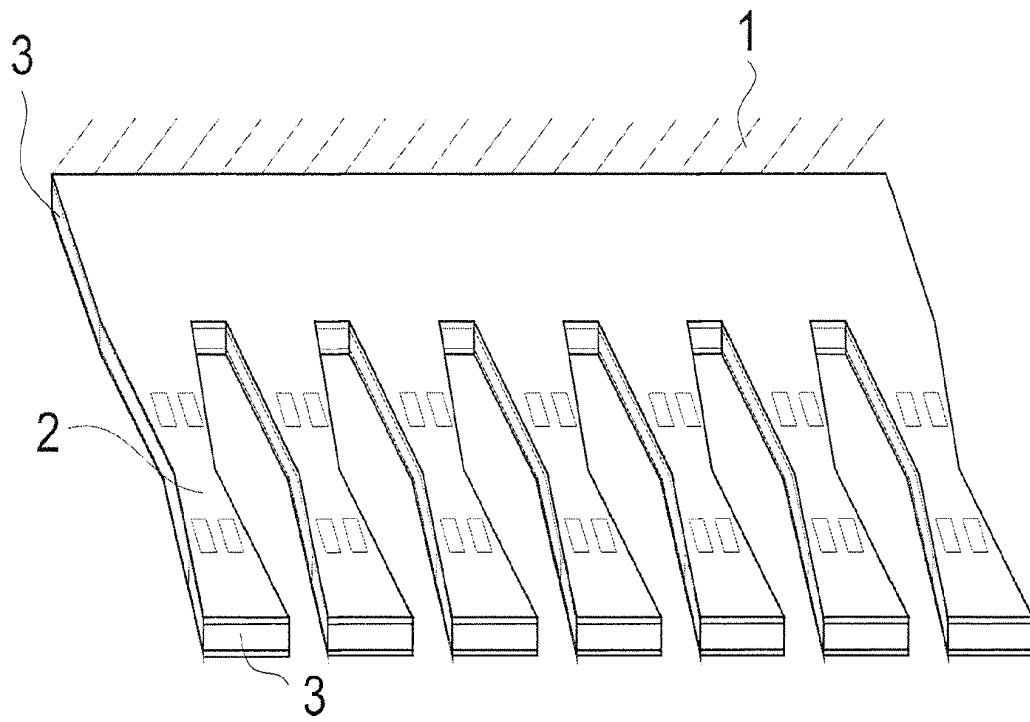


FIG 4

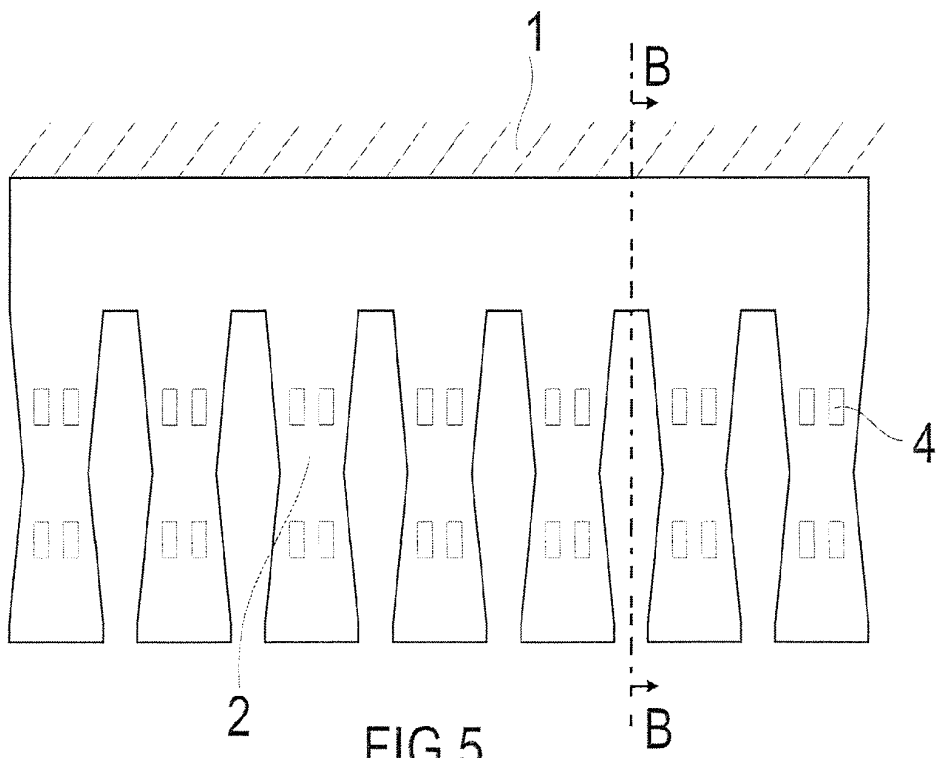


FIG 5

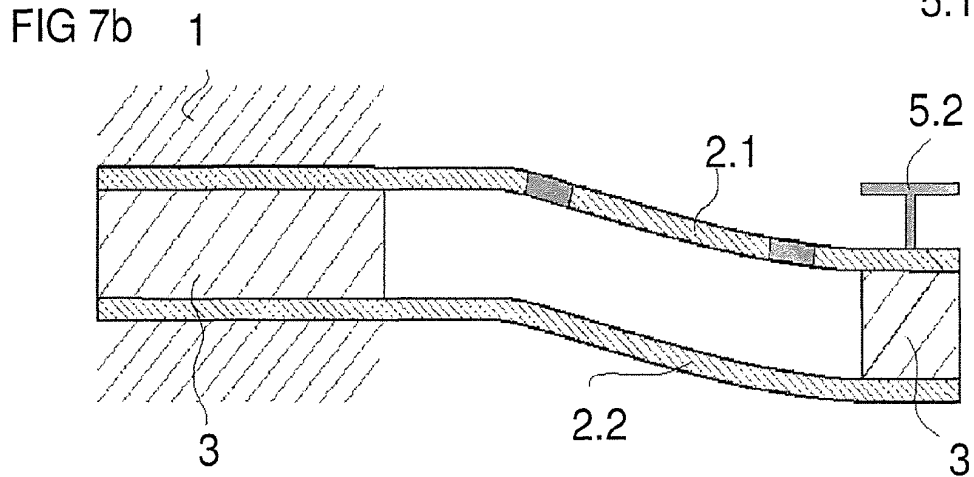
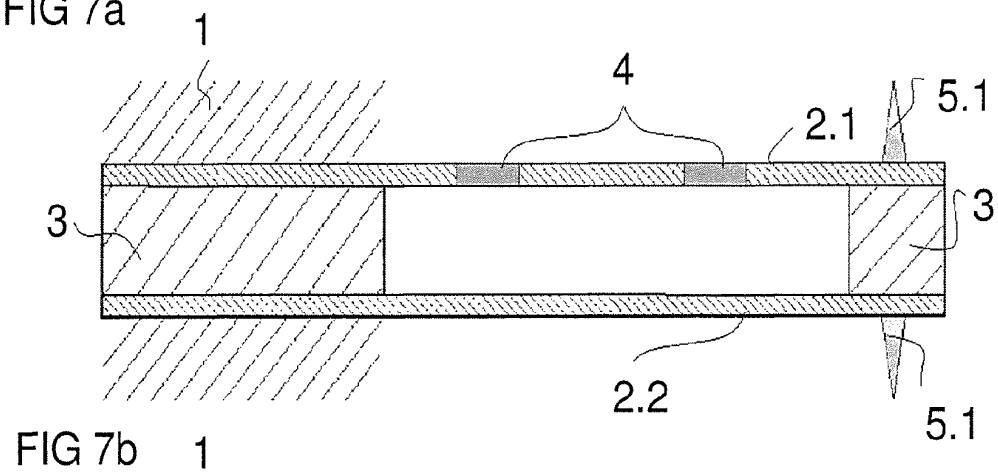
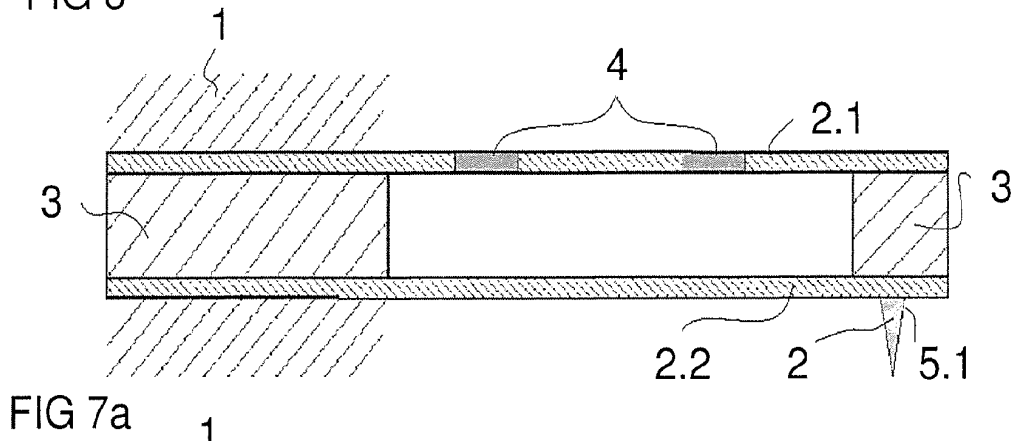
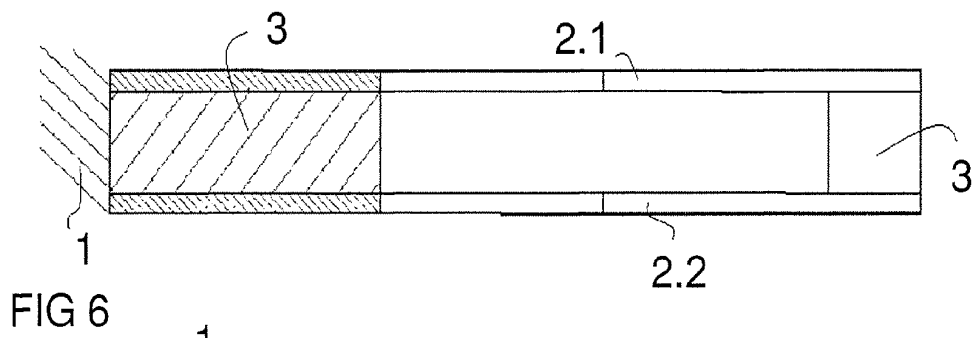


FIG 8

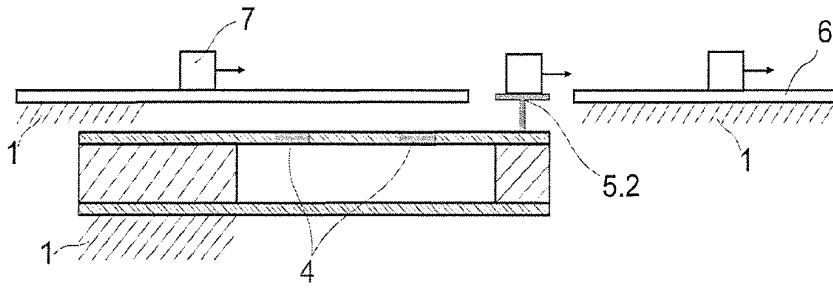


FIG 9

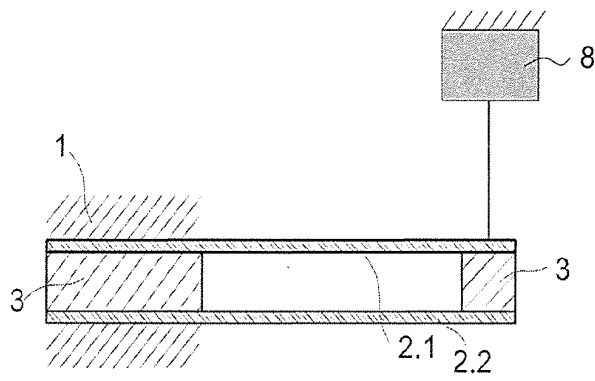


FIG 10