(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2010 012 441 A1** 2011.09.29

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 012 441.9**
(22) Anmeldetag: **23.03.2010**
(43) Offenlegungstag: **29.09.2011**

(51) Int Cl.: ***G01L 1/04*** (2006.01)
G01L 1/18 (2006.01)
G01L 1/22 (2006.01)
G01L 5/16 (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)
G01B 5/28 (2006.01)

(71) Anmelder:
Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch den Bundesminister für Wirtschaft, dieser vertreten durch den Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 38116, Braunschweig, DE

(74) Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER GbR, 38122, Braunschweig, DE

(72) Erfinder:
Bütefisch, Sebastian, Dr., 38229, Salzgitter, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 10 2007 033441 A1
DE 197 13 881 A1

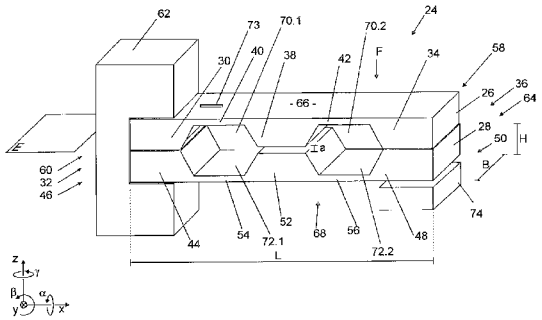
Nesterov,V., Brand,U.: Modelling and investigation of the silicon twin design 3D miro probe. In: J. Micromech. Microeng. 15 (2005) 514-520

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Millinewton-Mikrokraftmesser und Verfahren zum Herstellen eines Millinewton-Mikrokraftmessers**

(57) Zusammenfassung: Millinewton-Mikrokraftmesser (24) zum Messen von Kräften (F) unterhalb von 500 Millinewton, mit einem Mikrosensor (58), der ein erstes längliches Sensorelement (26), das einen ersten Erstelement-Auflagerbereich (30) an einem ersten Erstelement-Ende (32), einen zweiten Erstelement-Auflagerbereich (34) an einem dem ersten Erstelement-Ende (32) gegenüberliegenden zweiten Erstelement-Ende (36) und einen Erstelement-Federbereich (40, 42) zwischen den Erstelement-Auflagerbereichen (30, 34) aufweist, und ein zweites längliches Sensorelement (28), das einen ersten Zweitelement-Auflagerbereich (44) an einem ersten Zweitelement-Ende (46), einen zweiten Zweitelement-Auflagerbereich (48) an einem dem ersten Zweitelement-Ende (46) gegenüberliegenden zweiten Zweitelement-Ende (50) und einen Zweitelement-Federbereich (54, 56) zwischen den Zweitelement-Auflagerbereichen (44, 48) aufweist, umfasst, wobei der erste Erstelement-Auflagerbereich (30) mit dem ersten Zweitelement-Auflagerbereich (44) an einem ersten Sensorende (60) und der erste Zweitelement-Auflagerbereich (44) mit dem zweiten Zweitelement-Auflagerbereich (48) einem zweiten Sensorende (64) verbunden sind, und einer Haltevorrichtung (62), an der der Mikrosensor (58) mit dem ersten Sensorende (60) befestigt ist. Das zweite Sensorende (64) ist ein relativ zur Haltevorrichtung (62) bewegliches freies Ende.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Millinewton-Kraftmesser zum Messen von Kräften unterhalb von 500 Millinewton, mit einem Mikrosensor, der (a) ein erstes längliches Sensorelement, das einen ersten Erstelement-Auflagerbereich an einem Erstelement-Ende, einen zweiten Erstelement-Auflagerbereich an einem dem ersten Erstelement-Ende gegenüberliegenden zweiten Erstelement-Ende und einen Erstelement-Federbereich zwischen den Erstelement-Auflagerbereichen aufweist, und (b) ein zweites längliches Sensorelement, das einen ersten Zweitelement-Auflagerbereich an einem ersten Zweitelement-Ende, einen zweiten Zweitelement-Auflagerbereich an einem dem ersten Zweitelement-Ende gegenüberliegenden Zweitelement-Ende und ein Zweitelement-Federbereich zwischen den Zweitelement-Auflagerbereichen aufweist, umfasst, wobei (c) der erste Erstelement-Auflagerbereich mit dem ersten Zweitelement-Auflagerbereich an einem ersten Sensorende und der erste Zweitelement-Auflagerbereich mit dem zweiten Zweitelement-Auflagerbereich an einem zweiten Sensorende verbunden sind und (d) eine Haltevorrichtung, an der der Mikrosensor mit dem ersten Sensorende befestigt ist.

[0002] Bekannt sind konventionelle Kraftsensoren, die feinmechanisch hergestellt sind und technologiebedingt eine minimale Messbereichsuntergrenze von ca. 500 Millinewton haben. Bekannt sind zudem, beispielsweise aus der DE 198 10 256 A1 und dem Aufsatz von Nesterov und Brand „Modelling and investigation of the silicon twin design 3D micro probe", Journal of Micromechanics and Microengineering 15 (2005) 514–520, mikrotechnisch hergestellte Kraftsensoren, die vom unteren Millinewton- bis hinunter in den Mikronewtonbereich arbeiten. Für den Messbereich zwischen 10 Millinewton und 500 Millinewton werden bislang feinmechanisch hergestellte Kraftsensoren verwendet. Diese Millinewton-Kraftmesser sind jedoch aufwendig in der Fertigung und weisen eine relativ geringe Messgenauigkeit auf.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

[0004] Die Erfindung löst das Problem durch einen gattungsgemäßen Millinewton-Mikrokraftmesser, bei dem das zweite Sensorende ein relativ zur Haltevorrichtung bewegliches freies Ende ist.

[0005] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch ein Verfahren zum Herstellen eines Millinewton-Mikrokraftsensors, mit den Schritten (i) Aufbringen eines piezoresistiven Elements auf einen Siliziumwafer, (ii) nasschemisches Herausätzen von zwei Ausnehmungen, so dass ein erster Erstelement-Auflagerbereich an einem Erstelement-Ende, ein zweiter Erstelement-Auflagerbereich und einem dem ersten Erstelement-Ende gegenüberliegenden zweiten Erstelement-Ende, eine Versteifungsmarkierung, ein erster Erstelement-Federbereich zwischen dem ersten Erstelement-Auflagerbereich und der Versteifungsmarkierung und ein zweiter Erstelement-Federbereich zwischen der Versteifungsmarkierung und dem zweiten Erstelement-Auflagerbereich entsteht, (iii) Verbinden zweier gemäß der vorgenannten Schritte hergestellter Siliziumwafer in den jeweiligen Auflagerbereichen zu einem Doppelwafer und (iv) Vereinzeln von Mikrosensoren aus dem Doppelwafer.

[0006] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass der vorher nicht abgedeckte Messbereich zwischen 500 Millinewton und 10 Millinewton abgedeckt werden kann. Hierunter ist insbesondere zu verstehen, dass in dem genannten Messbereich eine Messgenauigkeit von besser als 10^{-4} erreichbar ist.

[0007] Vorteilhaft ist zudem, dass die Empfindlichkeit des Mikrosensors über eine Membrandicke des Sensorelementes eingestellt werden kann. Die Membrandicke bezeichnet die Dicke des Sensorelements in den Federbereichen.

[0008] Besonders vorteilhaft ist, dass im Gegensatz zu bekannten mikro-elektromechanischen Kraftsensoren, die auch als Cantilever bezeichnet werden, die Empfindlichkeit am freien Ende auf Kräfte nahezu unabhängig vom Krafteinleitungspunkt ist. Daraus resultiert eine erhöhte Messgenauigkeit.

[0009] Die Größe der Flächen am freien Ende ist zudem im Vergleich zu bekannten Kraftsensoren, die als mikro-elektromechanisches System aufgebaut sind, so groß, dass der erfindungsgemäße Millinewton-Mikrokraftsensor problemlos zur Kalibrierung von Antastkräften von Tastschnittgeräten genutzt werden kann.

[0010] Ein weiterer Vorteil ist die hohe Präzision bei der Fertigung, da die Sensorelemente durch gut beherrschte Ätzprozesse in Silizium hergestellt werden können.

[0011] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter den Sensorelementen insbesondere eine Vorrichtung in Form eines Streifensensors verstanden. Aufgrund seiner gelenkigen Gestalt kann das Sensorelement auch als Cantilever bezeichnet werden.

[0012] Die Federbereiche sind vorzugsweise durch membranartige Abschnitte konstanter Dicke gebildet.

[0013] Unter einem Millinewton-Mikrokraftmesser zum Messen von Kräften innerhalb von 500 Millinewton wird eine Vorrichtung verstanden, die für eine Kraft unterhalb von 500 Millinewton und oberhalb

von 10 Millinewton eine relative Messgenauigkeit von besser als 10^{-4} erreicht. Grundsätzlich ist jeder Kraftmesser geeignet, auch kleine Kräfte zu messen, das aber wird den Anforderungen an einen Kraftmesser nicht gerecht. So ist ein Millinewton-Mikrokraftmesser nur dann als Messgerät geeignet, wenn er zumindest die genannte Messgenauigkeit erreicht.

[0014] Es ist günstig, wenn das längliche Sensorelement eine Breite von höchstens 2 mm aufweist. Auf diese Weise ergibt sich ein besonders kleiner Millinewton-Mikrokraftsensor. Vorteilhaft ist zudem, wenn die Auflagerbereiche eine Fläche von weniger als 5 mm^2 aufweisen.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das erste Sensorelement eine Erstelement-Versteifungsmarkierung zwischen dem ersten Erstelement-Auflagerbereich und dem zweiten Erstelement-Auflagerbereich auf, wobei das zweite Sensorelement eine Zweitelement-Versteifungsmarkierung zwischen dem ersten Zweitelement-Auflagerbereich und dem zweiten Zweitelement-Auflagerbereich aufweist und im lastfreien Fall die Erstelement-Versteifungsmarkierung und die Zweitelement-Versteifungsmarkierung voneinander beabstandet sind. Die Versteifungsmarkierungen können auch als „Center boss" bezeichnet werden und führen dazu, dass bei einer Deformation durch Bewegen des zweiten Sensorendes am freien Ende sich die Deformation in den Bereichen konzentriert, in denen die Federbereiche in die Auflagerbereiche bzw. die Versteifungsmarkierungen übergehen. Derartige Versteifungsmarkierungen sind zwar für Mikro-Elektro-Mechanische Systeme (MEMS) bekannt, diese sind aber nur für kleinere Kräfte geeignet und in Millinewton-Messbereichen nicht einsetzbar.

[0016] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind das erste Sensorelement und das zweite Sensorelement prismatisch. Sie lassen sich dann, wie weiter unten beschrieben ist, besonders leicht herstellen. Prismatische Sensorelemente können so aufgebaut sein, dass die gesamte Struktur der Sensorelemente prismatisch ist. Es existieren in diesem Fall keine Bereiche, in denen die Sensorelemente von der prismatischen Struktur abweichen.

[0017] Vorzugsweise sind das erste Sensorelement und das zweite Sensorelement aus Silizium gefertigt und miteinander durch Bonden verbunden. Auf diese Weise lässt sich der Millinewton-Mikrokraftmesser besonders leicht fertigen.

[0018] Vorzugsweise hat das erste Sensorelement eine ebene erste Breitseite und das zweite Sensorelement eine ebene zweite Breitseite, wobei die Breitseiten einander abgewandt orientiert sind. In diesem Fall sind die Federbereiche durch Ausnehmungen gebildet, die einander zugewandt angeordnet sind.

[0019] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform weist das erste Sensorelement zwischen dem ersten Erstelement-Auflagerbereich und der Versteifungsmarkierung und zwischen der Versteifungsmarkierung und dem zweiten Erstelement-Auflagerbereich jeweils eine Ausnehmung auf, wobei das zweite Sensorelement zwischen dem ersten Zweitelement-Auflagerbereich und der Versteifungsmarkierung und zwischen der Versteifungsmarkierung und dem zweiten Zweitelement-Auflagerbereich jeweils eine Ausnehmung aufweist. Die Ausnehmung des ersten Sensorelements sind den Ausnehmungen des zweiten Sensorelements zugewandt orientiert. Es kann dabei bevorzugt vorgesehen sein, dass das zweite Sensorelement bezüglich einer Kontaktebene, in der die beiden Sensorelemente miteinander befestigt sind, spiegelbildlich zum ersten Sensorelement aufgebaut ist. In diesem Fall ergibt sich ein besonders leicht zu fertigender Sensor, der zudem eine besonders hohe Messgenauigkeit gestattet.

[0020] Erfindungsgemäß ist zudem ein Tastschnittgerät mit einem erfindungsgemäßen Millinewton-Kraftmesser und einem an einem freien Ende des Sensorelements befestigten Tastkopf. Ein derartiges Tastschnittgerät umfasst zudem in der Regel eine Auswerteeinheit, die ausgebildet ist zum automatischen Auslesen eines elektrischen Widerstands eines piezoresistiven Elements auf dem Sensorelement und zum Errechnen und Ausgeben einer Kraft aus einer Widerstandsänderung des piezoresistiven Elements. Tastschnittgeräte dienen zum Erfassen der makroskopischen Oberflächentopografie. Rasterkraftmikroskope stellen selbstverständlich keine Tastschnittgeräte dar.

[0021] Erfindungsgemäß ist zudem ein Verfahren zum Herstellen eines Millinewton-Mikrokraftmessers, mit den Schritten (i) Aufbringen eines piezoresistiven Elements auf einen Siliziumwafer, nasschemisches Herausätzen von zwei Ausnehmungen, so dass ein erster Erstelement-Auflagerbereich an einem ersten Erstelement-Ende, ein zweiter Erstelement-Auflagerbereich an einem dem ersten Erstelement-Ende gegenüberliegenden zweiten Erstelement-Ende, eine Versteifungsmarkierung, ein erster Erstelement-Federbereich zwischen dem ersten Erstelement-Auflagerbereich und der Versteifungsmarkierung und ein zweiter Erstelement-Federbereich zwischen der Versteifungsmarkierung und dem zweiten Erstelement-Auflagerbereich entsteht, (ii) Verbinden zweier gemäß der Schritte (i) und (ii) hergestellter Siliziumwafer in den jeweiligen Auflagerbereichen zu einem Doppelwafer und (iv) Vereinzeln von Mikrosensoren aus dem Doppelwafer.

[0022] Vorteilhaft an diesem Verfahren ist, dass es die Massenfertigung von Millinewton-Mikrokraftmessern gestattet. Es ist dabei nicht notwendig, dass zwei gesondert hergestellte Siliziumwafer aneinan-

der befestigt werden. Es ist auch möglich, dass der zweite der beiden Siliziumwafer durch Zerschneiden des ersten Siliziumwafers hergestellt worden ist.

[0023] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

[0024] Fig. 1a eine Draufsicht auf einen bekannten Kraftsensor in MEMS (Micro Electro Mechanical System)-Bauweise,

[0025] Fig. 1b einen Querschnitt durch den Kraftsensor gemäß Fig. 1a und

[0026] Fig. 2 einen erfindungsgemäßen Millinewton-Mikrokraftmesser.

[0027] Fig. 1a zeigt einen Kraftmesser gemäß dem Stand der Technik, bei dem auf einer Membran eine Versteifungsmarkierung angebracht ist. Fig. 1b zeigt, dass die Kraft an einem zentrischen Krafteinleitungselement **10** einzuleiten ist. Wird beispielsweise die Kraft F auf das Krafteinleitungselement **10** aufgebracht, so dehnen sich ein erster Bereich **12** und ein zweiter Bereich **14**, da eine obere Hälfte **16** und eine untere Hälfte **18** sowohl in einem umlaufenden Rahmenbereich **20** als auch mittig in einem Boss **22** miteinander verbunden sind.

[0028] Fig. 2 zeigt einen erfindungsgemäßen Millinewton-Mikrokraftmesser **24**, der ein erstes längliches Sensorelement **26** und ein zweites Sensorelement **28** umfasst.

[0029] Das erste Sensorelement **26** besitzt einen ersten Erstelement-Auflagerbereich **30** an einem ersten Erstelement-Ende **32**, einen zweiten Erstelement-Auflagerbereich **34** an einem zweiten Erstelement-Ende **36** sowie eine Erstelement-Versteifungsmarkierung **38**. Zwischen dem ersten Erstelement-Auflagerbereich **30** und der Erstelement-Versteifungsmarkierung **38** ist ein erster Erstelement-Federbereich **40** angeordnet. Zwischen der Erstelement-Versteifungsmarkierung **38** und dem zweiten Erstelement-Auflagerbereich **34** ist ein zweiter Erstelement-Federbereich **40** vorhanden.

[0030] Das zweite Sensorelement **28** ist bezüglich einer Kontaktebene E symmetrisch zum ersten Sensorelement **26** aufgebaut. Das zweite Sensorelement **28** umfasst demgemäß einen ersten Zweitelement-Auflagerbereich **44** an einem ersten Zweitelement-Ende **46**, einen zweiten Zweitelement-Auflagerbereich **48** an einem zweiten Zweitelement-Ende **50** sowie eine Zweitelement-Versteifungsmarkierung **52** nebst einem ersten Zweitelement-Federbereich **54** und einem zweiten Zweitelement-Federbereich **56**.

[0031] Beide Sensorelemente **26**, **28** sind streng prismatisch aufgebaut und haben damit entlang ihrer Breite B stets den gleichen Querschnitt. Die Breite B liegt zwischen 1000 Mikrometer und 5 mm. Die Höhe H liegt zwischen 300 Mikrometer und einem 1 mm. Die Länge L liegt zwischen 3 mm und 10 mm.

[0032] Die beiden Sensorelement **26**, **28** sind mit ihren jeweiligen Auflagerbereichen **30** und **44** einerseits sowie **34** und **48** andererseits miteinander fest verbunden. Die Versteifungsmarkierungen **38**, **52** haben jedoch einen Abstand a voneinander, der beispielsweise größer als 2 Mikrometer ist. So miteinander verbunden bilden die Sensorelement **26** und **28** einen Mikrosensor **58**.

[0033] Der Mikrosensor **58** ist mit einem ersten Sensorende **60**, das dem Erstelement-Ende **32** und dem Zweitelement-Ende **46** entspricht, in einer Haltevorrichtung **62** befestigt. Das gegenüberliegende, freie Ende **64** dient zur Kraftanleitung der Kraft F. Das erste Sensorelement **26** besitzt eine erste Breitseite **66**, die einer zweiten Breitseite **68** des zweiten Sensorelementes **28** abgewandt ist. Auf diese Weise sind Ausnehmungen **70.1**, **70.2** des ersten Sensorelementes **26** sowie 72.1 und **72.2** des zweiten Sensorelements **28** einander zugewandt.

[0034] Benachbart zum ersten Sensorende **60** ist ein piezoresistives Element **73** auf zumindest dem ersten Sensorelement **26** angeordnet und über nicht eingezeichnete elektrische Leitungen mit einer ebenfalls nicht eingezeichneten Auswerteeinheit verbunden.

[0035] Am freien Ende **64** ist zudem eine schematisch eingezeichnete Aufnahme **74** befestigt, an der ein nicht eingezeichneter Tastkopf befestigt werden kann. Der Millinewton-Mikrokraftmesser **24** kann dann Teil eines Tastschnittgeräts sein, mit dem beispielsweise die Oberflächenrauheit wie die Rautiefe eines Bauteils bestimmt werden kann.

[0036] Der Millinewton-Kraftmesser **24** wird hergestellt, indem zunächst das piezoresistive Element **73** auf den Siliziumwafer aufgebracht wird. Vorzugsweise wird eine Mehrzahl von derartigen piezoresistiven Elementen **73** aufgebracht, die danach zu unterschiedlichen Mikrosensoren gehören.

[0037] Danach werden die Ausnehmungen **70.1**, **70.2** herausgeätzt und nachfolgend der übrig gebliebene Centerboss bzw. die Erstelement-Versteifungsmarkierung **38** in ihrer Höhe durch nasschemisches Ätzen verringert. Nachfolgend wird der Wafer halbiert und die beiden Hälften so miteinander verbunden, dass die jeweiligen Auflagerbereiche gegenüberliegen. In einem weiteren Schritt werden die Mikrosensoren vereinzelt und mit den übrigen Komponenten zu einem Millinewton-Mikrokraftmesser verbaut.

[0038] Alternativ zum Reduzieren der Höhe der Erstelement-Versteifungsmarkierung **38** durch Ätzen

können auch zumindest die Auflagerbereiche mit einer Schicht versehen werden, die für den Abstand der beiden Versteifungsmarkierungen sorgt. Es ist möglich, diese Schicht zunächst überall aufzubringen und dann im Bereich der Versteifungsmarkierung wieder zu entfernen.

Bezugszeichenliste

10	Krafteinleitungselement
12	erster Bereich
14	zweiter Bereich
16	Hälfte
18	Hälfte
20	Rahmenbereich
22	Boss
24	Millinewton-Mikrokraftmesser
26	erstes Sensorelement
28	zweites Sensorelement
30	erster Erstelement-Auflagerbereich
32	erstes Erstelement-Ende
34	zweiter Erstelement-Auflagerbereich
36	zweites Erstelement-Ende
38	Erstelement-Versteifungsmarkierung
40	erster Erstelement-Federbereich
42	zweiter Erstelement-Federbereich
44	erster Zweitelement-Auflagerbereich
46	erstes Zweitelement-Ende
48	zweiter Zweitelement-Auflagerbereich
50	zweites Zweitelement-Ende
52	Zweitelement-Versteifungsmarkierung
54	erster Zweitelement-Federbereich
56	zweiter Zweitelement-Federbereich
58	Mikrosensor
60	erstes Sensorende
62	Haltevorrichtung
64	zweites Sensorende, freies Ende
66	erste Breitseite
68	zweite Breitseite
70	Ausnehmung
72	Ausnehmung
73	piezoresistives Element
74	Aufnahme
E	Kontaktebene
F	Kraft
B	Breite
a	Abstand

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 19810256 A1 [0002]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Nesterov und Brand „Modelling and investigation of the silicon twin design 3D micro probe", Journal of Micromechanics and Microengineering 15 (2005) 514–520 [0002]

Patentansprüche

1. Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) zum Messen von Kräften (F) unterhalb von 500 Millinewton, mit einem Mikrosensor (**58**), der
(a) ein erstes längliches Sensorelement (**26**), das
– einen ersten Erstelement-Auflagerbereich (**30**) an einem ersten Erstelement-Ende (**32**),
– einen zweiten Erstelement-Auflagerbereich (**34**) an einem dem ersten Erstelement-Ende (**32**) gegenüberliegenden zweiten Erstelement-Ende (**36**) und
– einen Erstelement-Federbereich (**40**, **42**) zwischen den Erstelement-Auflagerbereichen (**30**, **34**) aufweist, und
(b) ein zweites längliches Sensorelement (**28**), das
– einen ersten Zweitelement-Auflagerbereich (**44**) an einem ersten Zweitelement-Ende (**46**),
– einen zweiten Zweitelement-Auflagerbereich (**48**) an einem dem ersten Zweitelement-Ende (**46**) gegenüberliegenden zweiten Zweitelement-Ende (**50**) und
– einen Zweitelement-Federbereich (**54**, **56**) zwischen den Zweitelement-Auflagerbereichen (**44**, **48**) aufweist, umfasst,
(c) wobei der erste Erstelement-Auflagerbereich (**30**) mit dem ersten Zweitelement-Auflagerbereich (**44**) an einem ersten Sensorende (**60**) und
der erste Zweitelement-Auflagerbereich (**44**) mit dem zweiten Zweitelement-Auflagerbereich (**48**) einem zweiten Sensorende (**64**) verbunden sind, und
(d) einer Haltevorrichtung (**62**), an der der Mikrosensor (**58**) mit dem ersten Sensorende (**60**) befestigt ist,
dadurch gekennzeichnet, dass
(e) das zweite Sensorende (**64**) ein relativ zur Haltevorrichtung (**62**) bewegliches freies Ende ist.

2. Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
– das erste Sensorelement (**26**) eine Erstelement-Versteifungsmarkierung (**38**) zwischen dem ersten Erstelement-Auflagerbereich (**30**) und dem zweiten Erstelement-Auflagerbereich (**34**) aufweist,
– das zweite Sensorelement (**28**) eine Zweitelement-Versteifungsmarkierung (**52**) zwischen dem ersten Zweitelement-Auflagerbereich (**44**) und dem zweiten Zweitelement-Auflagerbereich (**48**) aufweist und
– die Erstelement-Versteifungsmarkierung (**38**) und die Zweitelement-Versteifungsmarkierung (**52**) voneinander beabstandet sind.

3. Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Sensorelement (**26**) und das zweite Sensorelement (**28**) prismatisch sind.

4. Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Sensorelement (**26**) und das zweite Sensorelement (**28**) aus Silizium gefertigt und miteinander durch Bonden verbunden sind.

5. Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) nach einem der Ansprüche 2 oder 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
– das erste Sensorelement (**26**) eine ebene erste Breitseite (**66**) und
– das zweite Sensorelement (**28**) eine ebene zweite Breitseite (**68**) hat
– wobei die Breitseiten (**66**, **68**) einander abgewandt orientiert sind.

6. Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass
– das erste Sensorelement (**26**) zwischen dem ersten Erstelement-Auflagerbereich (**30**) und der Versteifungsmarkierung (**38**) und zwischen der Erstelement-Versteifungsmarkierung (**38**) und dem zweiten Erstelement-Auflagerbereich (**34**) jeweils eine Ausnehmung (**72.1**, **72.2**) aufweist, und
– das zweite Sensorelement (**28**) zwischen dem ersten Zweitelement-Auflagerbereich (**44**) und der Zweitelement-Versteifungsmarkierung (**52**) und zwischen der Versteifungsmarkierung und dem zweiten Zweitelement-Auflagerbereich (**48**) jeweils eine Ausnehmung (**72.1**, **72.2**) aufweist,
– wobei die Ausnehmungen (**70**) des ersten Sensorelements (**26**) den Ausnehmungen (**72**) des zweiten Sensorelements (**28**) zugewandt orientiert sind
und/oder das zweite Sensorelement (**28**) bezüglich einer Kontaktebene (E), in der die beiden Sensorelemente (**26**, **28**) aneinander befestigt sind, spiegelbildlich zum ersten Sensorelement (**26**) ist.

7. Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikrosensor (**58**) bei einer zu messenden Kraft (F) oberhalb von 10 Millinewton eine relative Messgenauigkeit von besser als 10^{-3}, insbesondere von besser als 10^{-4}, aufweist.

8. Tastschnittgerät mit
– einem Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) nach einem der vorstehenden Ansprüche und
– einem an einem freien Ende (**64**) des Sensorelements befestigten Tastkopf.

9. Verfahren zum Herstellen eines Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**), mit den Schritten:
(i) Aufbringen eines piezoresistiven Elements (**72**) auf einen Siliziumwafer,
(ii) nasschemisches Herausätzen von zwei Ausnehmungen (**70**), so dass
– ein erster Erstelement-Auflagerbereich (**30**) an einem ersten Erstelement-Ende (**32**),
– ein zweiter Erstelement-Auflagerbereich (**34**) an einem dem ersten Erstelement-Ende (**32**) gegenüberliegenden zweiten Erstelement-Ende (**36**),
– eine Versteifungsmarkierung (**38**),
– ein erster Erstelement-Federbereich (**40**) zwischen dem ersten Erstelement-Auflagerbereich (**30**) und der Versteifungsmarkierung und

– ein zweiter Erstelement-Federbereich (**42**) zwischen der Versteifungsmarkierung und dem zweiten Erstelement-Auflagerbereich (**34**) entsteht,
(iii) Verbinden zweier gemäß der Schritte (i) und (ii) hergestellter Siliziumwafer in den jeweiligen Auflagerbereichen zu einem Doppelwafer und
(iv) Vereinzeln von Mikrosensoren aus dem Doppelwafer.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von Millinewton-Mikrokraftmesser (**24**) aus einem Doppelwafer vereinzelt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

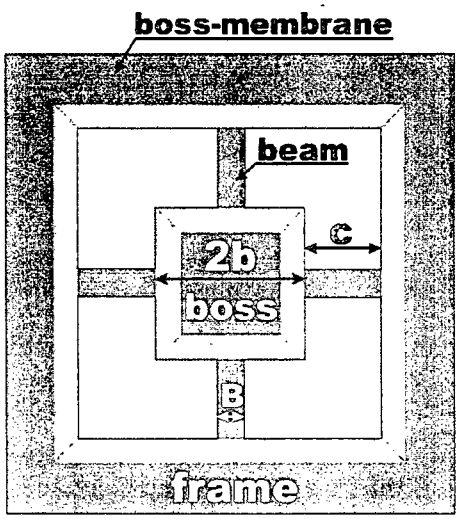


Fig. 1a

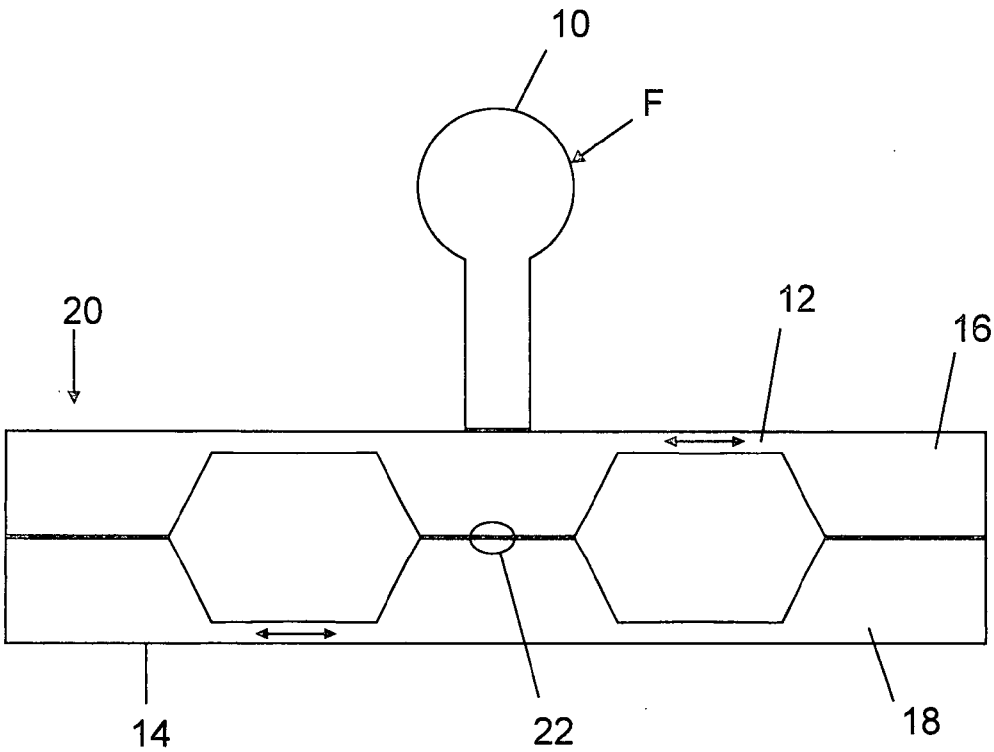


Fig. 1b

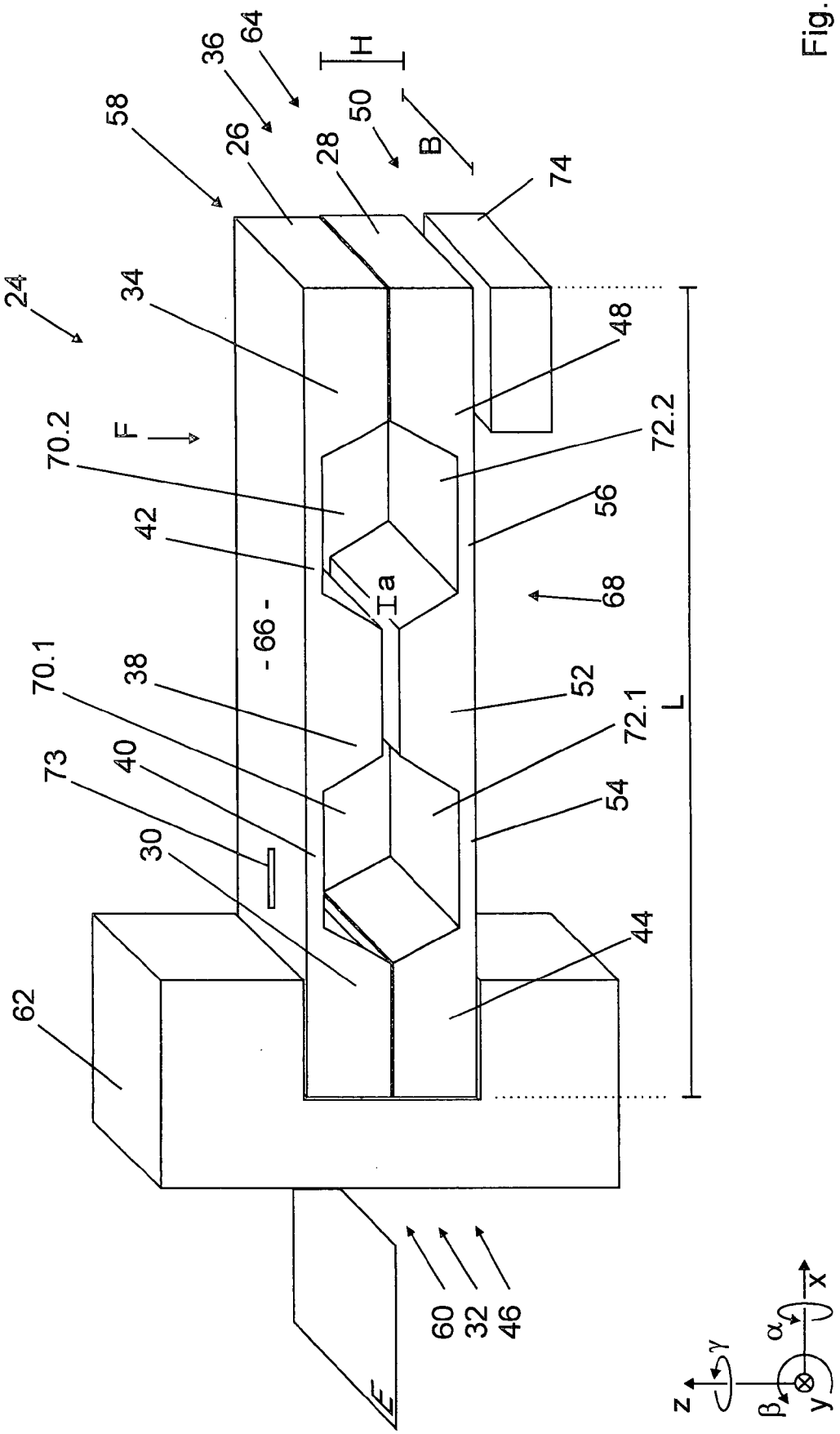

24
58
36
64
H
50
B
26
28
74
34
48
F
70.2
72.2
42
56
Ia
68
- 66 -
70.1
38
52
72.1
L
73
40
54
30
44
62
60
32
46
E
z
γ
β
y
α
x

Fig. 2