(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. Dezember 2009 (03.12.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/143838 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01P 21/00 (2006.01) *G01L 25/00* (2006.01)
G01N 3/30 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/075023

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. Mai 2009 (18.05.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 025 866.0 29. Mai 2008 (29.05.2008) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SPEKTRA SCHWINGUNGSTECHNIK UND AKUSTIK GMBH DRESDEN** [—/DE]; Gostritzer Str. 61-63, 01217 Dresden (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **BRUCKE, Martin** [DE/DE]; Berggartenstr. 17, 01277 Dresden (DE).

(74) Anwälte: **HOFMANN, Klaus** et al.; Ammonstr. 72, Pätzelt-Seltmann-Hofmann, 01067 Dresden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)*

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: METHOD AND DEVICE FOR CALIBRATING ACCELERATION AND FORCE SENSORS

(54) **Bezeichnung**: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KALIBRIERUNG VON BESCHLEUNIGUNGS- UND KRAFTSENSOREN

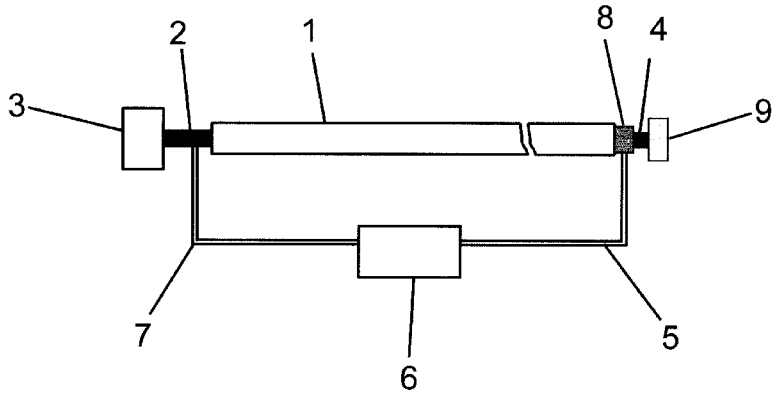


Fig. 2

(57) **Abstract**: The stimulation of waves in bars, in particular at high amplitudes, is used for the calibration of acceleration and force sensors. The invention relates to a method and a device for calibrating acceleration and force sensors by means of a Hopkinson bar for controlled influencing of the signal form the signal amplitude and the pulse duration of the signals over a large amplitude range. A reference sensor and the sensor for calibration are arranged on the Hopkinson bar. At the end of the Hopkinson bar opposite the sensors the stimulation is carried out by means of an electromechanical actuator for converting an electrical signal into a mechanical force. The electromechanical actuator may be controlled by a control and regulation electronic circuit. A targeted influence and change in the acceleration and force pulse form can be achieved.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/143838 A1

WO 2009/143838 A1

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Die Anregung von Wellen in Stäben wird zur Kalibrierung von Beschleunigungssensoren und Kraftsensoren, insbesondere mit hohen Amplituden, eingesetzt. Die Erfindung umfaßt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kalibrierung von Beschleunigungs- und Kraftsensoren mittels eines Hopkinson-Stabes zwecks gezielter Beeinflussung der Signalform, der Signalamplitude und der Impulsdauer der Signale über einen großen Amplitudenbereich. Am Hopkinson-Stab befinden sich eine Referenzsensorik sowie der zu kalibrierende Sensor. An dem am Sensor gegenüber liegenden Ende des Hopkinson-Stabes erfolgt eine Erregung mittels eines elektromechanischen Aktors zur Wandlung eines elektrischen Signals in eine mechanische Kraft. Der elektromechanische Aktor ist über eine Steuer- und Regel elektronik ansteuerbar. Es kann eine gezielte Beeinflussung und Veränderung der Beschleunigungs- bzw. Kraftimpulsform erfolgen.

Verfahren und Vorrichtung zur Kalibrierung von Beschleunigungs- und Kraftsensoren

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Anregung von Wellen in Stäben zur Kalibrierung von Beschleunigungssensoren und Kraftsensoren, insbesondere mit hohen Amplituden. Ein solcher Sensor ist ein elektromechanischer Wandler, der die mechanische Größe Beschleunigung bzw. Kraft in ein elektrisch messbares Signal, z.B. Ladung oder Spannung wandelt. Um das Übertragungsverhalten des Sensors zu ermitteln, muss eine Kalibrierung durchgeführt werden.

Zur Kalibrierung von Beschleunigungssensoren sind verschiedene Einrichtungen bekannt. Vorrichtungen und Verfahren zur Kalibrierung von Schwingungs- und Stoßaufnehmern sind in ISO 16063 beschrieben. Bei der Kalibrierung mit Beschleunigungsamplituden > 1000 m/s² müssen stoßförmige, das heißt zeitlich begrenzte Signale verwendet werden. Das allgemein bekannte Hammer-Amboss-Prinzip, das auf dem Zusammenstoß zweier Festkörper beruht, arbeitet zufriedenstellend bis zu Beschleunigungsamplituden von 5000 m/s². Um höhere Beschleunigungen, für hochwertige Kalibrierungen zu erzeugen, muss das Hopkinson-Stab-Prinzip genutzt werden. Das beschriebene Kalibrierverfahren ist in ISO 16063-13 erläutert. Zur Kalibrierung von Kraftsensoren werden üblicherweise statische Verfahren eingesetzt. Das heißt der Sensor wird mit einer statischen Gewichtskraft belastet. Die Kalibrierung von Kraftsensoren mittels zeitlich veränderlicher Signale, die mit einem Hopkinson-Stab erzeugt werden, stellt eine Neuheit dar.

Prinzipiell sind 3 verschiedene Methoden zur Kalibrierung mittels eines Hopkinson-Stabes bekannt. Diese unterschiedlichen Methoden betreffen die verwendete Referenzsensorik.

Die Beschleunigung am Stabende kann mittels eines optischen Messsystems (z.B. Laservibrometer) oder eines Referenzbeschleunigungssensors bzw. Kraftsensors gemessen werden. Eine weitere Methode zur Kalibrierung ist die Messung der Dehnung des Stabes mittels Dehnungsmessstreifen. Aus der Stabdehnung kann die Beschleunigung des Stabendes berechnet werden.

Das Hopkinson-Stab-Prinzip basiert darauf, dass sich eine mechanische Welle in einem langen schlanken Stab ausbreitet. Durch die Reflektion der Welle an einem freien Stabende entsteht eine Bewegung, welche die für die Kalibrierung der Sensoren geforderte Beschleunigung bzw. Kraft erzeugt. Durch die Eigenschaften eines langen schlanken Stabes können diese Beschleunigungen und Kräfte sehr hohe Amplituden (> 1.000.000 m/s² bzw. >100.000 N) erreichen.

Beim klassischen Hopkinson-Stab wird ein Festkörper, z.B. eine Stahlkugel, auf ein Ende des Stabes geschossen, woraus ein mechanischer Kraftstoß resultiert. Durch diesen Kraftstoß wird eine longitudinale Dehnwelle im Stab ausgelöst und kann sich entlang des Stabes fortpflanzen. Der zeitliche Verlauf der Dehnung sowie der Beschleunigungs- und Kraft-Zeit-Verlauf am Stabende ist durch den Kraft-Zeit-Verlauf des Kraftstoßes am Stabanfang definiert. Zum Beispiel regen große Stahlkugeln ein sehr schmales Frequenzspektrum an. Mit kleiner werdendem Kugeldurchmesser werden die Frequenzspektren breiter. Die Maximalamplituden nehmen jedoch mit größer werdendem Kugeldurchmesser stark zu.

Die Hauptnachteile des klassischen Hopkinson-Stabes sind:

- Die Beschleunigungssignalform ist nicht beeinflussbar.
- Die Impulsdauer der Beschleunigung ist durch die Stoßpartner vorgegeben und kann somit nur aufwändig beeinflusst werden
- Die Reproduzierbarkeit der Beschleunigungssignale und damit das Kalibrierergebnis sind durch den Verschleiß der Stoßpartner eingeschränkt
- eingeschränkter unterer Amplitudenbereich von ca. > 5.000 m/s².

In US 5 000 030 A ist ein Verfahren und ein Apparat zur Messung der dynamischen Charakteristiken eines Stoss-Accelerometers beschrieben. An einem Hopkinson-Stab befindet sich eine Referenzsensorik sowie an seinem Ende der zu kalibrierende Sensor. Die Erregung eines mechanischen Stoßes kann unter anderem auch mittels eines piezoelektrischen Elementes erfolgen. Eine gezielte Beeinflussung der Signalform, der Signalamplitude als auch der Impulsdauer der Signale erfolgt nicht.

Ein Testsystem zur Kalibrierung von Beschleunigungssensoren beschreibt US 3 830 091 A, wobei seitlich an einem Aluminiumstab montierte elektromechanische Aktoren den Stab mittels einer Steuer- und Regelelektronik in Resonanz-schwingungen versetzen und wobei an einem Ende des Stabes der zu testende Beschleunigungssensor sowie ein Referenzbeschleunigungssensor montiert ist. Bei diesem Testsystem lassen sich harmonischen Beschleunigungen erzeugen. Die Frequenzen der Beschleunigung sind jedoch lediglich in ganzzahligen Vielfachen einer Grundfrequenz (z. B. 1 kHz, 2kHz, 3kHz...) einstellbar. Die erzielbare Beschleunigungsamplitude beträgt lediglich ca. 3.000m/s².

Die Aufgabe der Erfindung besteht in der Entwicklung eines Verfahrens und einer Vorrichtung zur Kalibrierung von Beschleunigungs- und Kraftsensoren mittels eines Hopkinson-Stabes, mit deren Hilfe eine gezielte Beeinflussung der Signalform, der Signalamplitude als auch der Impulsdauer der Signale über einen großen Amplitudenbereich ermöglicht wird. Die Vorrichtung soll einfach aufgebaut sein und sicher und wartungsarm funktionieren.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale des Verfahrensanspruches 1 sowie durch die Merkmale des Vorrichtungsanspruches 3 gelöst. Ausgestaltende Merkmale sind in den Unteransprüchen 2 und 4 bis 5 beschrieben.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kalibrierung von Beschleunigungs- und Kraftsensoren nutzt eine an einem Hopkinson-Stab in üblicher Weise ausgebildete Referenzsensorik. Die Referenzsensorik kann ein optisches Messsystem (z.B. Laservibrometer) oder ein Referenzsensor sein. Eine weitere Methode zur Kalibrierung ist die Messung der Dehnung des Stabes mittels Dehnungsmessstreifen. Aus der Stabdehnung kann die Beschleunigung bzw. die Kraft des Stab-endes berechnet werden.

Ein üblicherweise verwendeter Hopkinson-Stab ist ein etwa 2 m bis 4 m langer, etwa 18 mm bis 30 mm dicker Metallstab.

Am Ende des Hopkinson-Stabes ist der zu kalibrierende Sensor befestigt. Zur Erregung eines Beschleunigungs- oder Kraftimpulses dient ein am gegenüberliegenden Ende des Hopkinson-Stabes befestigter elektromechanischer Aktor.

Entgegengesetzt zum Hopkinson-Stab ist am elektromechanischen Aktor eine Gegenmasse befestigt, die viel kürzer als

die Stablänge sein muss und eine Masse > 1/100 der Stabmasse haben muss. Diese Gegenmasse hat die Funktion die Aktorkraft in den Stab einzuleiten.

Der elektromechanische Aktor ist über eine Steuerleitung mit einer Steuer- und Regelelektronik verbunden.

Der elektromechanische Aktor kann vorzugsweise ein piezoelektrischer Aktor oder auch ein magnetostriktiver Aktor sein. Ein magnetostriktiver Aktor lässt sich sehr einfach an den Stab ankoppeln, hat aber einen deutlich schlechteren Wirkungsgrad als ein piezoelektrischer Aktor.

Von der Referenzsensorik kann eine Steuerleitung zur Steuer- und Regelelektronik führen.

Die Vorrichtung kann zur Kalibrierung von Kraft oder Beschleunigungssensoren verwendet werden. Um Beschleunigungssensoren zu kalibrieren, muss der Sensor am freien Stabende montiert werden. Um Kraftsensoren zu kalibrieren, muss der Sensor zuzüglich einer Ankoppelmasse am freien Stabende montiert werden.

Die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist wie folgt:

Die beschriebenen Nachteile von bekannten Kalibrierungsverfahren mittels Hopkinson-Stäben haben die Ursache darin, dass die Welle im Stab durch einen mechanischen Kraftstoß ausgelöst wird. Die vorliegende Erfindung beruht darauf, den mechanischen Kraftstoß durch eine alternative Methode zur Anregung der Wellen im Stab zu ersetzen. Diese Methode soll ein elektrisches Ansteuersignal in einen definierten Kraftstoß wandeln. So geartete Wandler können allgemein als

Aktoren bezeichnet werden. Zur Kalibrierung von Beschleunigungs- und Kraftsensoren mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung kommen insbesondere elektromechanische Aktoren zum Einsatz, die einen großen Kraftdynamikbereich (1 mN bis 5 kN) und einen großen nutzbaren Frequenzbereich (> 10 kHz) haben.

Eine Regelung der Beschleunigungs- bzw. Kraftimpulsform kann durch Messung der jeweiligen Größe an der Referenzsensorik erfolgen. Die Messgröße wird an eine Regelelektronik übergeben und es kann eine gezielte Vorverzerrung der Ansteuersignale des elektromechanischen Aktors erfolgen.

Wenn der Hopkinson-Stab bei seinen Längs-Eigenfrequenzen in den Zustand der Resonanz versetzt wird, erfolgt bei konstanter Erregerleistung eine Maximierung der Beschleunigungs- bzw. Kraftamplitude am Stabende. Dadurch lassen sich besonders energieeffizient große Beschleunigungs- bzw. Kraftamplituden erreichen.

Durch Überlagerung von Wellen wird die Beschleunigungs- bzw. Kraftamplitude am Ende des Stabes maximiert. Durch wiederholte Energiezufuhr in Form von erneuter Anregung des Hopkinson-Stabes mittels des elektromechanischen Aktors wird die Kraft- bzw. Beschleunigungsamplitude stufenweise erhöht.

Durch die Erfindung können die Nachteile des klassischen Kalibrierungsverfahrens mittels eines Hopkinson-Stabes behoben werden.

Die Vorteile der Erfindung bestehen darin, dass die Beschleunigungssignalform elektrisch beeinflussbar wird. Auch die Impulsdauer des Beschleunigungssignals ist elektrisch

beeinflussbar. Die Erfindung ermöglicht eine Beeinflussung der Signalform (harmonische Signale, impulsförmige Signale), der Signalamplitude (typisch 20 m/s² bis 100.000 m/s²) als auch der Impulsdauer (typisch 50 µs bis 500µs) der Signale.

Es entsteht praktisch kein Verschleiß, wodurch die Reproduzierbarkeit der Beschleunigungssignale und des Kalibrierergebnisses verbessert wird.

Weiterhin lassen sich als vorteilhafte Eigenschaften der Kalibriereinrichtung die Möglichkeit der einfachen Automatisierung der Kalibrierabläufe und eine energieeffizientere Arbeitsweise im Vergleich zur herkömmlichen Kalibriereinrichtung nennen.

Nachfolgend wird die Erfindung an zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Kalibriervorrichtung mit Laservibrometer als Referenzsensorik

Fig. 2 Kalibriervorrichtung mit Kraftsensor als Referenzsensorik

Die Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zur Kalibrierung von Beschleunigungssensoren. Die Vorrichtung besteht aus einem Hopkinson-Stab 1, der als metallischer zylindrischer Stab mit einer Länge von 2 m und einem Durchmesser von 20 mm ausgebildet ist. Am linken Stabanfang ist ein piezoelektrischer Aktor 2 kraftschlüssig mit dem Hopkinson-Stab 1 verbunden. Eine zylindrische metallische Gegenmasse 3 mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Länge von 30 mm ist mit dem Aktor 2 verklebt. Am rechten Stabende ist der zu kalibrierende Sensor 4 montiert. Die Referenzsensorik 8 ist als

Laser ausgeführt. Die Steuer- bzw. Regelelektronik steuert über eine Steuerleitung 7 den piezoelektrischen Aktor 2.

Fig. 2 beschreibt eine Vorrichtung zur Kalibrierung von Kraftsensoren. Die Vorrichtung besteht aus einem Hopkinson-Stab 1, der üblicherweise als metallischer zylindrischer Stab mit einer Länge von 2 m und einem Durchmesser von 20 mm ausgebildet ist. Am linken Stabanfang ist ein piezoelektrischer Aktor 2 kraftschlüssig mit dem Hopkinson-Stab 1 verbunden. Eine zylindrische metallische Gegenmasse 3 besitzt einen Durchmesser von 50 mm und eine Länge von 30 mm. Sie ist mit dem piezoelektrischen Aktor 2 verklebt, also stoffschlüssig verbunden. Am rechten Stabende ist der zu kalibrierende Sensor 4, der Referenzsensor 8 und die Ankoppelmasse 9 montiert. Die Steuer bzw. Regelelektronik 6 steuert über eine Steuerleitung 7 den piezoelektrischen Aktor 2.

Die Signale des zu kalibrierenden Sensors 4 und der Referenzsensorik 8 werden einer Steuer- bzw. Regelelektronik 6 zugeführt. Durch die Ansteuerung des piezoelektrischen Aktors 2 mit definierten elektrischen Signalen werden in dem Stab definierte Wellen erzeugt. Aus der Reflektion der Wellen am rechten Stabende lassen sich somit definierte Beschleunigungs-Zeit bzw. Kraft-Zeit Signale erzeugen.

Durch die Änderung der elektrischen Ansteuersignale am piezoelektrischen Aktor 2 lassen sich die Signale am rechten Stabende gezielt beeinflussen. Die Erfindung ermöglicht so sowohl eine Beeinflussung der Signalform (harmonische Signale, impulsförmige Signale), der Signalamplitude (typisch 20 m/s^2 bis 100.000 m/s^2) als auch der Impulsdauer (typisch 50 μs bis 500μs) der Signale.

Um ein definiertes Soll-Signal am Stabende zu erzeugen, können die Ist-Signale der Referenzsensorik genutzt werden um diese mit dem Soll-Signal zu vergleichen. Mittels geeigneter mathematischer Methoden kann eine Vorverzerrung der Ansteuersignale für den Aktor berechnet werden, so dass das Soll-Signal am Stabende erzeugt wird. Dadurch lassen sich Kalibriersignale erzeugen, die auf den jeweiligen zu kalibrierenden Sensor abgestimmt sind.

Für die Erzielung von besonders hohen Signalamplituden am rechten Stabende können die Kontinuumseigenschaften des Stabes genutzt werden.

Zum einen kann der Stab in der Längs-Eigenfrequenz mit harmonischen Signalen angeregt werden. Dadurch lassen sich besonders hohe Signalamplituden am Stabende mit einem Minimum an eingebrachter elektrischer Leistung erreichen.

Zum anderen kann der Aktor mit dem gleichen Signal periodisch angesteuert werden. Wenn die Periode der Ansteuerung an die Laufzeit der Welle durch den Stab angepasst wird überlagert sich die ursprüngliche Welle mit der jeweils neu erzeugten Welle. Durch diese Überlagerung lassen sich ebenfalls besonders hohe Signalamplituden am Stabende mit einem geringen elektrischen Leistungseintrag erzielen.

Bezugszeichenaufstellung

1	Stab
2	elektromechanischer Aktor
3	Gegenmasse
4	zu kalibrierender Sensor
5	Steuerleitung
6	Steuer- bzw. Regelelektronik
7	Steuerleitung
8	Referenzsensorik
9	Ankoppelmasse

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung von Beschleunigungs- und Kraftsensoren mittels eines Hopkinson-Stabes, wobei sich am Hopkinson-Stab eine in üblicher Weise ausgebildete Referenzsensorik sowie an einem Ende des Hopkinson-Stabes der zu kalibrierende Sensor befinden, an dem am Sensor gegenüber liegenden Ende des Hopkinson-Stabes eine Erregung mittels eines elektromechanischen Aktors zur Wandlung eines elektrischen Signals in eine mechanische Kraft erfolgt, dadurch gekennzeichnet, dass der elektromechanische Aktor über ein Steuer- und Regelelektronik ansteuerbar ist und dass die Regelung einer Beschleunigungs- bzw. Kraftimpulsform durch Messung der jeweiligen Größe mittels der Referenzsensorik erfolgt, die Messgröße an die Steuer- und Regelelektronik übergeben wird und eine gezielte Vorverzerrung der Ansteuersignale des elektromechanischen Aktors erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beschleunigungs- bzw. Kraftamplitude am Ende des Hopkinson-Stabes durch Überlagerung von Wellen maximiert wird.

3. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 1, wobei sich an einem Hopkinson-Stab (1) eine in üblicher Weise ausgebildete Referenzsensorik (8) sowie am Ende des Hopkinson-Stabes (1) der zu kalibrierende Sensor (4) befinden und dass an einem Ende des Hopkinson-Stabes (1) ein elektromechanischer Aktor (2) fest montiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass der elektromechanische Aktor (2) über eine Steuerleitung (7) mit einer Steuer- und Regelelektronik (6) verbunden ist, dass

- am elektromechanischen Aktor (2) entgegengesetzt zum Hopkinson-Stab (1) eine Gegenmasse (3) befestigt ist, und
- dass von der Referenzsensorik (8) eine Steuerleitung (5) zur Steuer- und Regelelektronik (6) führt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der elektromechanische Aktor (2) ein piezoelektrischer Aktor ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der elektromechanische Aktor (2) ein magnetostriktiver Aktor ist.

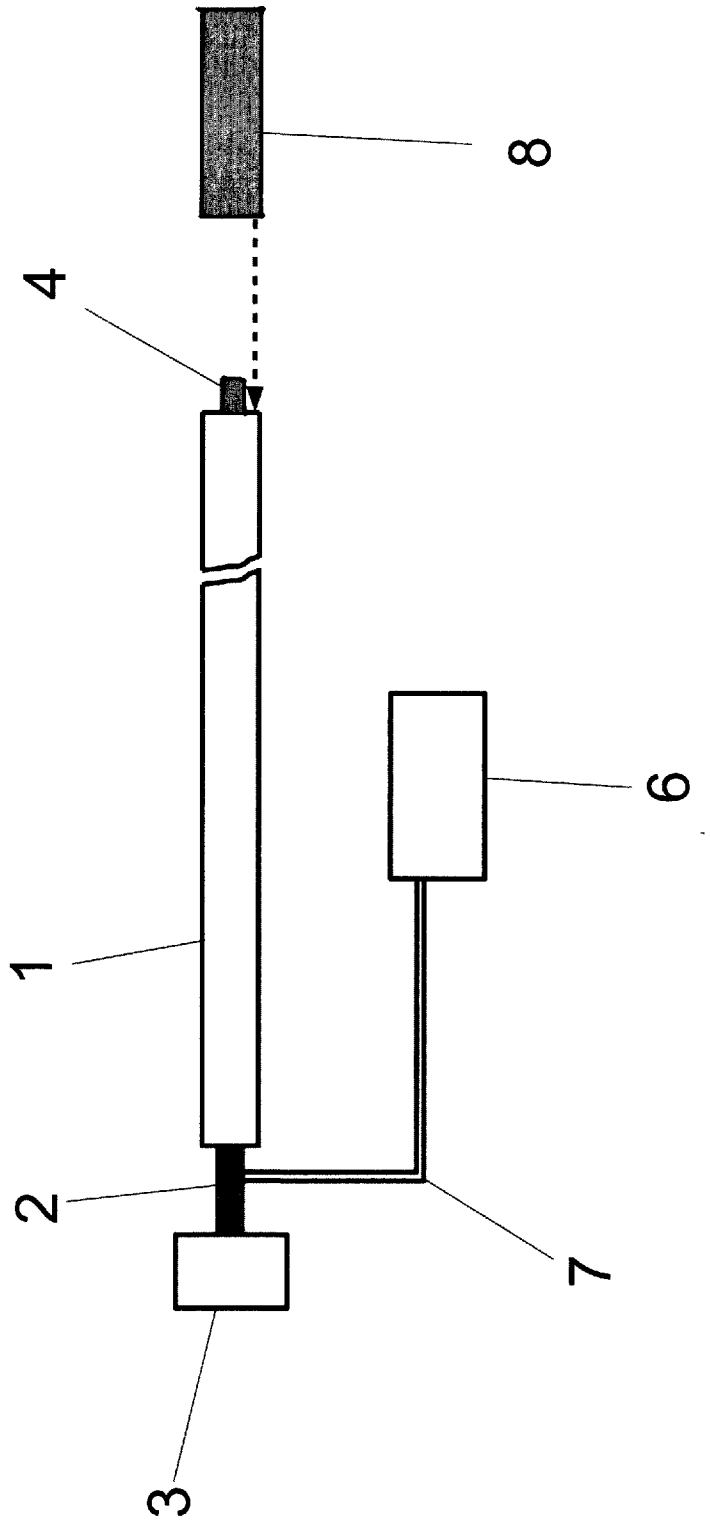
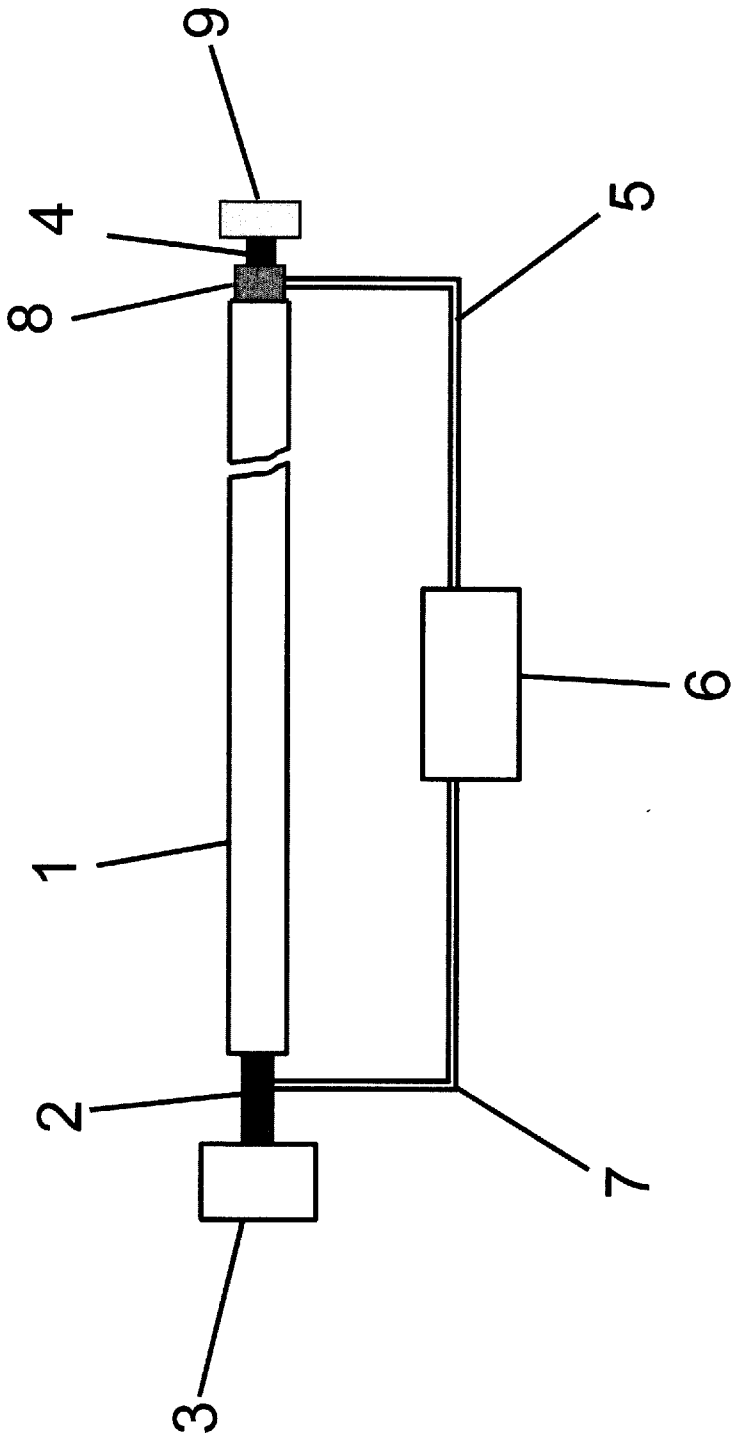


Fig. 1

Fig. 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2009/075023

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01P21/00 G01N3/30 G01L25/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01P G01N G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 000 030 A (UMEDA AKIRA [JP] ET AL) 19 March 1991 (1991-03-19) cited in the application the whole document	1-5
A	US 7 343 776 B2 (UMEDA AKIRA [JP]) 18 March 2008 (2008-03-18) column 10, lines 20-27	1-5
A	US 3 830 091 A (SINSKY J) 20 August 1974 (1974-08-20) cited in the application the whole document	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
5 Oktober 2009	19/10/2009

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Asthalter, Tanja

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/DE2009/075023

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5000030 A	19-03-1991	CH 683949 A5	15-06-1994
		DK 76690 A	05-02-1991
		JP 1902031 C	08-02-1995
		JP 3067175 A	22-03-1991
		JP 6052270 B	06-07-1994
US 7343776 B2	18-03-2008	AU 2003221066 A1	27-10-2003
		WO 03087849 A1	23-10-2003
		JP 4304326 B2	29-07-2009
		JP 2003294785 A	15-10-2003
		US 2005160785 A1	28-07-2005
US 3830091 A	20-08-1974	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2009/075023

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01P21/00 G01N3/30 G01L25/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01P G01N G01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 000 030 A (UMEDA AKIRA [JP] ET AL) 19. März 1991 (1991-03-19) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-5
A	US 7 343 776 B2 (UMEDA AKIRA [JP]) 18. März 2008 (2008-03-18) Spalte 10, Zeilen 20-27 -----	1-5
A	US 3 830 091 A (SINSKY J) 20. August 1974 (1974-08-20) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-5

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
5. Oktober 2009	19/10/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Asthalter, Tanja

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2009/075023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5000030	A	19-03-1991	CH	683949 A5	15-06-1994
			DK	76690 A	05-02-1991
			JP	1902031 C	08-02-1995
			JP	3067175 A	22-03-1991
			JP	6052270 B	06-07-1994
US 7343776	B2	18-03-2008	AU	2003221066 A1	27-10-2003
			WO	03087849 A1	23-10-2003
			JP	4304326 B2	29-07-2009
			JP	2003294785 A	15-10-2003
			US	2005160785 A1	28-07-2005
US 3830091	A	20-08-1974	KEINE		