

(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
29. Dezember 2011 (29.12.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/160794 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01L 1/18 (2006.01) G01L 25/00 (2006.01)
G01L 5/00 (2006.01) H01L 41/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/003003

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. Juni 2011 (17.06.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2010 024 808.8 23. Juni 2010 (23.06.2010) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT E.V. [DE/DE]; Linder Höhe, 51147 Köln (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WAGNER, Hannes [DE/DE]; Altewiekring 22, 38102 Braunschweig (DE).

(74) Anwalt: GÜNTHER, Constantin; Gramm, Lins & Partner GbR, Freundallee 13a, 30173 Hannover (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, CL, 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, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, 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 Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

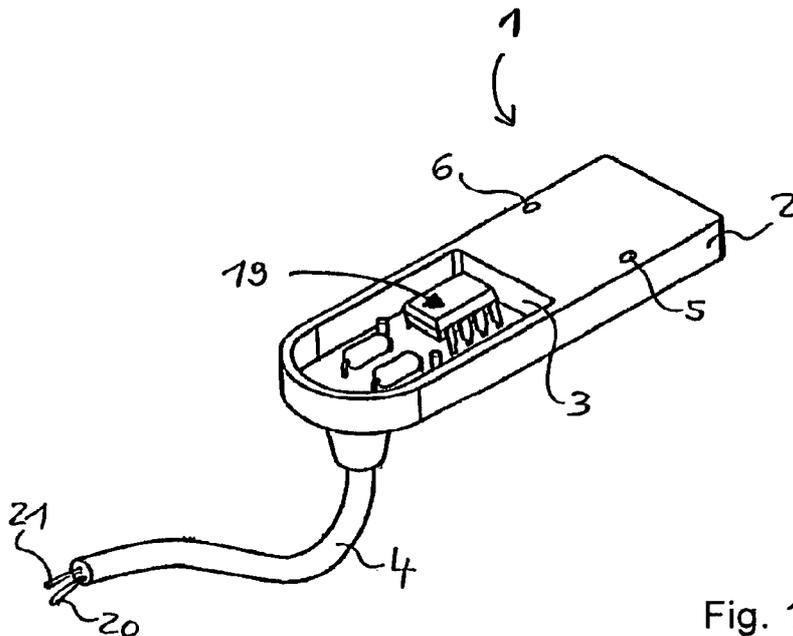
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PIEZORESISTIVE FORCE SENSOR

(54) Bezeichnung : PIEZORESISTIVER KRAFTSENSOR



(57) Abstract: The invention relates to a piezoresistive force sensor having a substrate, at least one piezoresistive sensor layer formed on the surface of the substrate with hydrocarbon, at least one first electrode applied to the piezoresistive sensor layer, and at least one insulation and wear protection layer which covers the piezoresistive sensor layer and the first electrode. The force sensor is produced as a separate part which, following the production thereof, is insertable into another component or is connectable thereto. The invention also relates to advantageous uses of the force sensor and to a method for providing a force sensor.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen piezoresistiven Kraftsensor mit einem Substrat, wenigstens einer auf der Oberfläche des Substrats mit Kohlenwasserstoff gebildeten piezoresistiven Sensorschicht, wenigstens einer auf die piezoresistive Sensorschicht aufgetragenen ersten Elektrode und wenigstens einer die piezoresistive Sensorschicht und die erste

Fig. 1

Elektrode abdeckenden Isolations- und Verschleißschutzschicht. Der Kraftsensor ist als separates Bauteil hergestellt, das nach seiner Herstellung in ein anderes Bauelement einsetzbar oder damit verbindbar ist. Die Erfindung betrifft außerdem vorteilhafte Verwendungen des Kraftsensors sowie ein Verfahren zur Bereitstellung eines Kraftsensors.

WO 2011/160794 A1

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

Piezoresistiver Kraftsensor

Die Erfindung betrifft einen piezoresistiven Kraftsensor gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Die Erfindung betrifft außerdem vorteilhafte Verwendungen des Kraftsensors gemäß den Ansprüchen 8 und 9 sowie ein Verfahren zur Bereitstellung eines Kraftsensors gemäß dem Anspruch 10.

Piezoresistive Kraftsensoren können zur Messung von mechanischen Kräften, Drücken oder Momenten verwendet werden. In der DE 102 43 095 B4 wird beispielsweise vorgeschlagen, ein Wälzlager mit derartigen Kraftsensoren zu versehen, um eine integrierte Zustandsmessung des Wälzlagers zu realisieren. Die Kraftsensoren werden dabei durch direkte Beschichtung eines Teils des Wälzlagers in das Wälzlager integriert. Eine solche Direktbeschichtung von komplexen Bauteilen erfordert eine spezielle Herstell- und Prozesstechnik in der Bauteilherstellung, die aufwendiger ist als die gängige, bereits bestehende Herstell- und Prozesstechnik für das komplexe Bauteil ohne Kraftsensoren. Hierdurch wird eine praktische Realisierung der vorgeschlagenen Kraftsensoren erschwert.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, Möglichkeiten anzugeben, mit denen der praktische Einsatz von piezoresistiven Kraftsensoren in Lagern und anderen Bauelementen erleichtert wird.

Diese Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen 1, 8, 9 und 10 angegebene Erfindung gelöst. Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung an.

Gemäß Anspruch 1 wird ein Kraftsensor vorgeschlagen, der als separates Bauteil hergestellt ist, das nach seiner Herstellung in ein anderes Bauelement einsetzbar oder damit verbindbar ist. Hierbei wird für die Aufbringung der piezoresistiven Sensorschicht ein Substrat verwendet, das nicht, wie im Stand der Technik, Bestandteil eines anderen, vom Kraftsensor zu vermessenden Bauteils ist, sondern ein zusätzliches Element, z.B. ein Sensorplättchen. Für den Aufbau des Kraftsensors wird das im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebene Dreischichtsystem verwendet. Hierdurch kann der Kraftsensor als äußerst flaches und kleinbauendes, kompaktes Bauteil realisiert werden, das beispielsweise in Kugellager oder andere Einrichtungen problemlos eingebaut werden kann. Der Kraftsensor kann z.B. mit einer Dicke von nur 1 mm realisiert werden.

Zugleich erlaubt die Erfindung, dass der Kraftsensor nach seiner Herstellung als separates elektrisches Bauteil verwendbar und handelbar ist. Dies ermöglicht es beispielsweise einem Hersteller von Wälzlagern, die separat von einem auf die Sensorfertigung spezialisierten Unternehmen hergestellten separaten Kraftsensor-Bauteile einzukaufen, in Wälzlager zu integrieren und entsprechende mit integrierten Kraftsensoren versehene Wälzlager anzubieten. Hierdurch muss der Hersteller der Wälzlager seine eigenen Herstellschritte nicht speziell auf die Herstellung von piezoresistiven Kraftsensoren anpassen.

Wie erkennbar ist, ergibt sich hieraus allgemein der Vorteil, dass die erfindungsgemäßen piezoresistiven Kraftsensoren als separate Bauteile universell in verschiedensten Bereichen einsetzbar sind, so dass hierdurch deren Verbreitung in praktischen Anwendungen gefördert wird. Dies ermöglicht wiederum eine kostengünstige Herstellung der erfindungsgemäßen Kraftsensoren im großen industriellen Umfang.

30

Gegenüber der direkten Aufbringung der Kraftsensoren auf Elementen eines Lagers oder anderen Bauteilen ergibt sich der zusätzliche Vorteil, dass der

Aufwand für eine Vorbereitung der Oberflächen der Bauteile zur Aufbringung der piezoresistiven Sensorschicht verringert wird, da nicht mehr großflächig die Oberfläche vorbereitet werden muss, sondern nur spezifisch auf dem separaten Substrat des Kraftsensors. Insgesamt müssen hierdurch nur noch erheblich
5 kleinere Oberflächen bearbeitet werden. Da die Vorbereitung unter anderem ein Polieren auf eine Rauheit $R_z=0,1$ erfordert, kann durch die Erfindung ein erhebliche Reduktion der Fertigungskosten der Kraftsensoren erzielt werden.

Eine weitere Verringerung der Kosten und der Entwicklungszeit neuer Bauteile
10 wird durch die Erfindung dadurch ermöglicht, dass die Kraftsensoren als fertige Bauteile lediglich in ein gewünschtes Bauelement integriert werden müssen. Bisher war es erforderlich, die piezoresistive Sensorschicht an die jeweilige Lagerbaugröße anzupassen und entsprechend zu optimieren. Dieser Aufwand kann mit der Erfindung entfallen. Der erfindungsgemäße Kraftsensor kann un-
15 abhängig von der Baugröße des Lagers eingesetzt werden.

Zudem kann mit der Erfindung die Ausfallsicherheit und Wartbarkeit von mit einem oder mehreren Kraftsensoren bestückten Bauelementen verbessert werden. Bei einer direkten Beschichtung eines Teils des Bauelements mit der piezoresistiven Sensorschicht ist eine voll funktionstüchtige Beschichtung mit ei-
20 ner für die Lagerüberwachung notwendigen Zahl an Sensorpaaren erforderlich. Der Ausfall eines einzigen Sensors würde dazu führen, dass das gesamte beschichtete Teil ersetzt werden muss. Die Erfindung erlaubt es, durch die mögliche Austauschbarkeit eines einzelnen Kraftsensors als einzelnes Bauteil die-
25 ses separat zu ersetzen. Auch hierdurch ist eine Kostenreduzierung möglich.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist der Kraftsensor ein erstes von außen kontaktierbares elektrisches Anschlusselement, das direkt oder indirekt mit dem Substrat verbunden ist, und wenigstens ein zweites
30 von außen kontaktierbares elektrisches Anschlusselement, das direkt oder indirekt mit der wenigstens einen Elektrode verbunden ist, zur elektrischen Kontak-

tierung des Kraftsensors auf. Hierdurch können vorteilhaft elektrische Außenanschlüsse des Kraftsensors realisiert werden.

Der Kraftsensor kann beispielsweise formschlüssig in einer entsprechend geformten Vertiefung des Bauelements, in das er eingesetzt werden soll, angeordnet werden. Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist der Kraftsensor wenigstens Befestigungselement auf, mittels dem der Kraftsensor an einem anderen Bauelement montierbar ist. Beispielsweise kann als Befestigungselement eine Gewindebefestigung oder entsprechende Bohrungen in einem Gehäuse des Kraftsensors vorgesehen sein, über die der Kraftsensor an ein Bauelement mit einer definierten Position angeschraubt werden kann. Das Befestigungselement kann auch als Befestigungsflansch ausgebildet sein. Vorteilhaft können die Befestigungselemente auch in Form von Bohrungen, die zur Aufnahme von Passstiften zur Positionierung vorgesehen sind, ausgestaltet sein.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist der Kraftsensor wenigstens ein Gehäuse auf. Wenigstens ein Teil des Gehäuses bildet das Substrat, oder das Substrat ist an dem Gehäuse befestigt. Hierbei weist das Gehäuse wenigstens ein Befestigungselement auf, mittels dem der Kraftsensor an einem anderen Bauelement montierbar ist. Durch das Gehäuse kann ein verbesserter Schutz des inneren Aufbaus des Kraftsensors gegen Umgebungseinflüsse realisiert werden. Zudem werden die Möglichkeiten zur Anordnung eines Befestigungselements vielfältiger gestaltet.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist der Kraftsensor eine in den Kraftsensor integrierte Auswerteschaltung auf. Die Auswerteschaltung kann insbesondere eine Messbrücke und/oder einen Signalverstärker aufweisen. Die Auswerteschaltung kann in integrierter oder diskreter Schaltungstechnik ausgeführt sein. Die in dem Kraftsensor integrierte Auswerteschaltung hat den Vorteil, dass eine definierte Außenschnittstelle mit einfach

auswertbaren Signalen des Kraftsensors geschaffen wird. Insbesondere kann hiermit eine Signal- und Pegelanpassung der Ausgangssignale an gängige Signal- und Schnittstellenstandards realisiert werden, wie z.B. eine 5V-Analogschnittstelle oder eine serielle Datenschnittstelle. Zudem wird hierdurch
5 eine störungsfreie Signalfernübertragung ermöglicht. Hierdurch eignen sich die erfindungsgemäßen Kraftsensoren insbesondere auch für den Einsatz in Umgebungen mit hoher elektromagnetischer Einstrahlung, d.h. für ein raues EMV-Umfeld.

10 Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Auswerteschaltung einerseits mit dem Substrat und der ersten Elektrode und andererseits mit dem ersten und dem zweiten von außen kontaktierbaren elektrischen Anschlusselement verbunden. Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Auswerteschaltung in dem Gehäuse des Kraftsensors angeordnet.

15 Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist der Kraftsensor wenigstens eine zweite Elektrode auf der piezoresistiven Sensorschicht oder einer weiteren auf der Oberfläche des Substrats aufgebracht, mit Kohlenwasserstoff gebildeten piezoresistiven Sensorschicht auf. Die zweite Elektrode
20 ist mit der Isolations- und Verschleißschicht oder einer weiteren Isolations- und Verschleißschicht abgedeckt. Die zweite Elektrode bildet mit dem Substrat einen Temperatursensor. Hierdurch wird der Kraftsensor um einen Temperatursensor erweitert und kann als kombinierter Kraft-/Temperatursensor eingesetzt werden. Vorteilhaft ist die zweite Elektrode neben
25 der ersten Elektrode angeordnet.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die zweite Elektrode derart angeordnet, dass der mit der zweiten Elektrode beschichtete Bereich der piezoresistiven Sensorschicht bei Montage des Kraftsensors an einem anderen
30 Bauelement zur Kraftmessung außerhalb des Kraftflusses der zu messenden Kraft ist. Hierbei wird davon ausgegangen, dass der mit der ersten Elektrode

beschichtete Bereich der piezoresistiven Sensorschicht innerhalb des Kraftflusses der zu messenden Kraft liegt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die zweite Elektrode als Temperaturkompensationselement mit der ersten Elektrode verschaltet. Hierdurch kann der Kraftsensor durch eine integrierte Temperaturkompensation ergänzt werden. Dies erlaubt die Herstellung von Kraftsensoren mit weitgehend temperaturneutralem Ausgangssignal. Vorteilhaft sind die mit der ersten und der zweiten Elektrode beschichteten Bereich relativ dicht beieinander angeordnet, so dass von im Wesentlichen gleichen Temperaturverhältnissen in beiden Bereichen ausgegangen werden kann.

Die Verschaltung des Kraftsensors mit dem Temperatursensor kann anwendungsabhängig erfolgen. Sofern eine Kraftmessung bei im Wesentlichen gleich bleibenden Temperaturen durchgeführt wird oder falls der Temperatureinfluss auf die Messgenauigkeit unwesentlich ist, kann das Signal des Kraftsensors direkt verwendet werden. Ebenso kann der Temperatursensor separat zur Sensierung der Temperatur verwendet werden. Für eine hochgenaue Kraftmessung kann vorteilhaft der Temperatursensor mit dem Kraftsensor zu einer Brücke verschaltet werden. Vorteilhaft ist die Anordnung der Sensoren in einer Wheatstoneschen Brückenschaltung.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der Kraftsensor mit einem dritten von außen kontaktierbaren elektrischen Anschlusselement, das direkt oder indirekt mit der zweiten Elektrode zur elektrischen Kontaktierung verbunden ist, versehen. Dies ermöglicht die Bereitstellung eines Temperatursignals an dem von außen zugänglichen dritten Anschlusselement. Hierdurch kann der erfindungsgemäße Kraftsensor zugleich zur Temperaturerfassung verwendet werden.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist der Kraftsensor eine in dem Kraftsensor integrierte Auswerteschaltung auf, insbesondere eine

Messbrücke und/oder einen Signalverstärker. Die Auswerteschaltung ist vorteilhaft einerseits mit dem Substrat, der ersten und der zweiten Elektrode und andererseits mit dem ersten und dem zweiten von außen kontaktierbaren elektrischen Anschlusselement verbunden.

5

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind eine dritte Elektrode, die mit dem Substrat einen Kraftsensor bildet, und eine vierte Elektrode, die mit dem Substrat einen Temperatursensor bildet, vorgesehen. Hierbei sind die erste, die zweite, die dritte und die vierte Elektrode miteinander zu einer Vollbrückenschaltung verbunden. Hiermit wird eine Sensorverschaltung vorgeschlagen, bei der zwei Kraftsensoren mittels der ersten und der dritten Elektrode und zwei Temperatursensoren mittels der zweiten und der vierten Elektrode zur Verfügung stehen und miteinander zu einer Vollbrückenschaltung verbunden sind. Dies ermöglicht eine Verdoppelung der Empfindlichkeit der Sensorik. Vorteilhaft werden die Kraftsensoren und die Temperatursensoren dabei unmittelbar nebeneinander angeordnet. Hierdurch verdoppelt sich die Empfindlichkeit der Schaltung.

Der erfindungsgemäße Kraftsensor kann grundsätzlich für verschiedenste Anwendungen eingesetzt werden. Vorteilhaft ist beispielsweise eine Verwendung in oder an drehenden Bauteilen, wie z.B. Lagern, wo ein oder mehrere Kraftsensoren zur Drehmomentmessung, zur Drehzahlmessung und/oder zur Erkennung von Drehunregelmäßigkeiten des drehenden Bauteils verwendet werden können. So treten bei drehenden Bauteilen auch bei guter Auswuchtung immer gewissen minimale Unwuchten auf, die bei entsprechender Anordnung eines Kraftsensors ausgewertet werden können und zur Drehzahlbestimmung verwendet werden können. Ebenso können Drehunregelmäßigkeiten, wie z.B. Lagerschäden oder starke Unwucht, hiermit erkannt werden.

30 Eine weitere vorteilhafte Anwendungsmöglichkeit des Kraftsensors besteht in einer Lastmessung und/oder in Lastbegrenzung bei einem lastübertragenden

Bauteil. So kann z.B. eine Lastmessung vorteilhaft mit einer elektronisch gesteuerten Lastbegrenzung verbunden werden, indem über eine Steuereinrichtung die gemessene Last erfasst und ausgewertet wird und bei Erreichen oder Überschreiten eines Grenzwertes die übertragene Last durch die Steuereinrichtung heruntergeregelt wird.

Die Erfindung betrifft außerdem ein vorteilhaftes Verfahren zur Bereitstellung eines piezoresistiven Kraftsensors mit den Schritten:

- a) Bilden einer piezoresistiven Sensorschicht durch Aufbringen von Kohlenwasserstoff auf die Oberfläche eines Substrats,
- b) Aufbringen wenigstens einer ersten Elektrode auf die piezoresistive Sensorschicht,
- c) Aufbringen wenigstens einer die piezoresistive Sensorschicht und die erste Elektrode abdeckenden Isolations- und Verschleißschutzschicht,
- d) Vorsehen eines ersten von außen kontaktierbaren elektrischen Anschluss-
elements, das direkt oder indirekt mit dem Substrat verbunden ist, und wenigstens eines zweiten von außen kontaktierbaren elektrischen Anschluss-
elements, das direkt oder indirekt mit der wenigstens einen ersten Elektrode verbunden ist, zur elektrischen Kontaktierung des Kraftsensors,
- e) Separieren des Kraftsensors als separates Bauteil.

Das so hergestellte Kraftsensorbauteil kann z.B. einzeln oder in Sammelverpackungen verpackt werden und über den Elektroteilehandel vertrieben werden.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist die piezoresistive Sensorschicht eine dotierte oder undotierte Kohlenwasserstoffschicht auf. Als Dotierungsmaterialien können Metalle wie Wolfram, Chrom oder Silber verwendet werden. Es können auch reine Kohlenstoffschichten Anwendung finden.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die erste, die zweite, die dritte und/oder die vierte Elektrode mit einer dünnen Metallschicht gebildet, z.B. aus Chrom.

- 5 Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Isolations- und Verschleißschicht aus einer siliziumdotierten Kohlenwasserstoffschicht gebildet.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Verwendung von Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen

- 15 Figuren 1 und 2 - einen Kraftsensor in zwei Ansichten und
Figuren 3a und 3b - eine Messschaltung und
Figur 4 - ein Dreischichtsystem und
20 Figur 5 - eine Klauenkupplung und
Figur 6 - ein Kugellager.

In den Figuren werden gleiche Bezugszeichen für einander entsprechende Elemente verwendet.

Die Figur 1 zeigt einen als separates Bauteil ausgeführten Kraftsensor 1 von der Rückseite eines Gehäuses 2 des Kraftsensors 1. Erkennbar ist ein längliches Gehäuse 2 mit einer Gehäusekammer 3, in der elektronische Bauelemente einer Auswerteschaltung 19 angeordnet sind. Die Auswerteschaltung 19 dient als Auswerteschaltung für die Signale des Kraftsensors 1. Die in der Figur

1 offen dargestellte Kammer 3 wird im Rahmen der Herstellung des Kraftsen-
sors 1 als Schutz gegen Umwelteinflüsse verschlossen, z.B. durch Aufsetzen
eines Deckels oder durch Vergießen des Hohlraums 3 mit einer Vergussmasse.
Das Gehäuse 2 ist vorteilhaft aus einem korrosionsbeständigen und hochfes-
5 tem Material, beispielsweise Stahl, gefertigt.

Von einer der Rückseite gegenüberliegenden Frontseite des Gehäuses 2 geht
eine mehradrige elektrische Leitung 4 aus, die dazu dient, den Kraftsensor 1
elektrisch mit weiteren Bauteilen zu kontaktieren. Das Gehäuse 2 weist ferner
10 als Befestigungselemente zwei Durchgangsbohrungen 5, 6 auf, über die der
Kraftsensor 1 beispielsweise über Passstifte oder Schrauben mit einer definier-
ten Justierung montiert werden kann.

Die Figur 2 zeigt den Kraftsensor 1 von der Frontseite. Die Frontseite weist auf
15 der Oberfläche des Gehäuses 2 einen Bereich auf, der das Substrat 7 bildet,
das aus einem elektrisch leitfähigen Material besteht, z.B. aus Metall. Vorteil-
haft kann das gesamte Gehäuse aus dem elektrisch leitfähigen Material beste-
hen. Auf dem Substrat 7 ist eine dünne Beschichtung in Form einer mit Koh-
lenwasserstoff gebildeten piezoresistiven Sensorschicht aufgebracht. Der ent-
20 sprechende Schichtaufbau wird nachfolgend noch anhand der Figur 4 näher
erläutert.

Auf der piezoresistiven Sensorschicht sind strukturierte Elektroden aufge-
bracht. Eine erste Elektrode 12 ist beispielsweise im Wesentlichen oval geformt
25 und über eine elektrische Verbindung 9 mit einem elektrischen Kontakt 13 ver-
bunden. Eine weitere Elektrode 17 weist z.B. eine im Wesentlichen rechteckige
Form auf. Die weitere Elektrode 17 ist über eine elektrische Verbindung 18 mit
einem Kontakt 10 verbunden. Die Kontakte 10, 13 sind elektrisch mit der Aus-
werteschaltung 19 in dem Gehäuse 2 verbunden. Mittels des im Bereich der
30 Elektrode 12 gebildeten piezoresistiven Sensorelements kann eine Kraftsensie-
rung durchgeführt werden, wobei dieser Bereich 12 dann im Einwirkungsbereich der

Kraft zu platzieren ist. Mit der Elektrode 17 kann eine Temperaturerfassung und -kompensation durchgeführt werden.

Die Figuren 3a und 3b zeigen eine Skizze mit einem Schaltprogramm zur temperaturkompensierten Kraftmessung mit einem Schaltbild einer Viertelbrücke zur Temperaturkompensation.

Gemäß Figur 3a ist durch den Bereich 8 die kraftbeaufschlagte Fläche dargestellt. Die für die Kraftsensierung vorgesehene Elektrode 12 ist innerhalb des Bereichs 8 angeordnet. Die für die Temperatursensierung vorgesehene Elektrode 17 ist außerhalb des Bereichs 8 angeordnet.

Die Kontakte 10, 13 sowie das Substrat 7 sind über elektrische Verbindungsleitungen 40, 41, 42 mit der Auswerteschaltung 19 verbunden. Die Verbindungsleitungen 40, 41, 42 können als einzelne Adern der elektrischen Leitung 4 ausgeführt sein. An die Leitung 42 und damit an das Substrat 7 ist eine Konstantspannungsquelle U mit einer konstanten Spannung angeschlossen.

Die piezoresistive Sensorschicht kann homogen auf einen Grundkörper, hier z. B. das Substrat 7, aufgetragen werden. Zur Ausbildung einzelner piezoresistiver Messaufnehmer ist es notwendig, Bereiche zu definieren, in denen die eigentliche Messung der Kontaktkräfte stattfinden soll. Hierfür kann vorteilhaft eine elektrisch leitfähige Beschichtung in dedizierten Bereichen des Grundkörpers vorgesehen werden, und zwar in Form der anhand der Figur 3a dargestellten Bereiche 9, 10, 12, 13, 17, 18. Vorteilhaft besteht jeder Sensorbereich aus zwei Elektroden F, T. Die für die Kraftmessung ausgebildete Elektrode F ist als Kombination zwischen einem rechteckigem Bereich 13, einem länglichen Verbindungsbereich 9 und einem gerundeten Bereich 12 ausgestaltet, wobei der gerundete Bereich vorteilhaft in Form eines lang gestreckten Ovals ausgebildet sein kann. Die für die Temperaturmessung ausgebildete Elektrode T ist als Kombination zwischen einem rechteckigem Bereich 10, einem länglichen Ver-

bindungsbereich 18 und einem rechteckigen Bereich 17 ausgestaltet. Wie in Figur 3a zu erkennen ist, befindet sich nur der ovale Bereich 12 der Elektrode innerhalb der kraftbeaufschlagten Fläche 8. Die Bereiche 9, 10, 13, 17, 18 der Elektroden befinden sich in dem nicht kraftbeaufschlagten Bereich. Somit befindet sich von der gesamten Sensoranordnung nur der ovale Bereich 12 im Kraftfluss der mechanischen Konstruktion. Die zusätzlich neben der Elektrode F angeordnete rechteckförmige Elektrode T befindet sich vorteilhaft in unmittelbarer Nähe zur Elektrode F, ist mit dieser jedoch nicht leitfähig verbunden. Die rechteckförmigen Bereiche 10, 13 der Elektroden dienen dabei zugleich der Kontaktierung der Anschlussdrähte zur Verbindung mit einer Messschaltung. Hierbei ist es vorteilhaft, dass die Bereiche 10+17+18 der Elektrode T den gleichen Flächenbereich einnehmen wie die Bereiche 9+12+13 der Elektrode F. Hierdurch ist mittels der Elektrode T eine optimale Temperaturkompensation möglich.

15

Wie in der Figur 3a ebenfalls erkennbar ist, ist das Substrat 7 als metallischer Grundkörper eine elektrische Referenz für die Erfassung der Sensorsignale. Das Substrat 7 liegt dabei beispielsweise auf Massepotenzial. Die Elektroden F, T werden über eine Messschaltung mit einer Spannungsquelle verbunden, deren Potenzial höher liegt als das Massepotenzial. Hierdurch bildet sich ein Stromfluss aus, bei dem die Ladungsträger zunächst über eine Verbindungsstelle in die Elektroden T, F fließen und von dort durch die Sensorschicht zur elektrischen Masse, d. h. über den metallischen Grundkörper des Substrats 7 zur Masse der Spannungsversorgung. Für die Funktion als Messaufnehmer kommen die Bereiche der Anordnung in Frage, in denen ein Stromfluss durch die piezoresistive Beschichtung fließt und eine Widerstandsänderung der Beschichtung messtechnisch erfasst werden kann. Die piezoresistive Sensorschicht ist prinzipbedingt sehr hochohmig. Aus diesem Grund kommt es nicht zu einem relevanten Stromfluss von einer Elektrode zur anderen, d. h. die Messungen an den einzelnen Elektroden beeinflussen sich gegenseitig nicht. Aufgrund des hohen spezifischen Widerstands der piezoresistiven Sensor-

30

schicht fließen die Ladungsträger, sozusagen nach dem Prinzip des Wegs des geringsten Widerstands, von einer Elektrode durch die relativ dünne Sensorschicht zur elektrischen Masse des Grundkörpers. Ein Stromfluss über den wesentlich hochohmigeren Weg über benachbarte Elektroden ist vernachlässigbar. Daher kann jede Elektrode als ein separater, veränderlicher ohmscher Widerstand betrachtet werden.

Die Sensoren F, T sind über elektrische Widerstände R_{trimm} und R_e an die Konstantspannungsquelle U angeschlossen. Statt einer Konstantspannungsquelle kann auch eine Konstantstromquelle verwendet werden. Eine Konstantstromquelle bietet verschiedene Vorteile bei der Übertragung der Messsignale in die Messschaltung, wie z. B. die Möglichkeit zur Erkennung von Leitungsbrüchen oder ausgefallenen Sensoren.

Kommt es durch den Einfluss von Druck bzw. Kraft oder Temperatur zu einer Veränderung des elektrischen Widerstands der Sensorschicht, kann dieser lokal im Bereich der Elektroden erfasst werden, da er den Stromfluss dort direkt beeinflusst. Für verschiedene Anwendungen besteht ein Bedarf daran, dass die Messung nicht durch Temperatureinflüsse ungenau wird. Es ist daher eine temperaturstabilisierte Messung anzustreben. Zu diesem Zweck wird eine Messschaltung gemäß Figur 3a bzw. Figur 3b verwendet. Bei dieser Messschaltung wird in Reihe zu jeder Elektrode ein externer Widerstand geschaltet. Ergänzt mit einer Spannungsquelle kann dann eine Brückenschaltung aufgebaut werden. Die Querspannung U_b der Brückenschaltung steht dabei in folgendem Zusammenhang mit den übrigen Größen der Messschaltung:

$$U_b = U \left[\frac{1}{1 + \frac{R_F}{R_{\text{trimm}}}} - \frac{1}{1 + \frac{R_T}{R_e}} \right]$$

Eine Änderung der Schichtwiderstände in der Sensorschicht macht sich daher in einer Änderung der Querspannung bemerkbar. Man kann erkennen, dass durch Anpassen des externen Widerstands R_{trimm} die Größenverhältnisse so eingestellt werden können, dass die Querspannung zwischen den Brücken-

5 zweigen zu Null wird. Ein solcher Abgleich kann einmalig erfolgen, z. B. im unbelasteten Zustand des Kraftsensors. Kommt es nun zu einer Krafteinwirkung auf die Elektrode F, reduziert sich an dieser Stelle der elektrische Widerstand der Sensorschicht. An der Elektrode T kann dies nicht erfolgen, da sie sich nicht innerhalb des kraftbeaufschlagten Bereichs 8 befindet. Die Elektrode T

10 verändert daher ihren Widerstand kraftbedingt nicht. Beide Elektroden F, T unterliegen aber zusätzlich einer temperaturbedingten Widerstandsänderung. Durch in etwa flächenmäßig gleich große Ausbildung der Bereiche 12, 17 und Anordnung der Bereiche 12, 17 nahe beieinander kann eine effiziente Temperaturkompensation erfolgen.

15

Als Folge der Kraftbeaufschlagung des Bereichs 12 ändert sich der Widerstand der darunter befindlichen Sensorschicht. Hierdurch sind die Widerstandsverhältnisse der Brückenschaltung nicht mehr so abgestimmt, dass die Querspannung U_b den Wert Null hat. Es ergibt sich somit eine von Null verschiedene

20 Querspannung. Dieser Spannungswert ist dann ein Maß für die einwirkende Kraft auf die Elektrode F, was von einer angeschlossenen Messeinheit 11 erfasst und verarbeitet werden kann. Die Messeinheit 11 kann z.B. einen Operationsverstärker zur Signalverstärkung aufweisen.

25 Kommt es zu einer Temperaturveränderung im Bereich der Sensoren, wirkt sich diese Temperaturveränderung auf die gesamte Sensorschicht in diesem Bereich aus. Entsprechend ändert sich der Widerstand der Sensorschicht in diesem Bereich. Durch die identische Größe der Bereiche 9+12+13 einerseits und der Bereiche 10+17+18 andererseits kommt es dabei nicht zu einem Un-

30 gleichgewicht in der Messung, sondern zu einer Kompensation innerhalb der Brückenschaltung. Es bleibt das Widerstandsverhältnis in den Brückenzweigen

gleich, so dass es auch nicht zu einer temperaturbedingten Änderung der Querspannung kommt. Die Schaltung ist somit automatisch temperaturkompensiert.

- 5 Figur 3b lässt mit dem Schaltdiagramm erkennen, dass die durch die piezoresistiven Strukturen gebildeten Elektroden T, F mit den Widerständen R_{trimm} und R_e in einer Brückenschaltung (Wheatstone-Brücke) verschaltet sind. Hierbei entspricht der dargestellte Widerstand R_F dem Widerstand der Elektrode F, der Widerstand R_T entspricht dem Widerstand der Elektrode T. Hiermit wird eine
- 10 Temperaturkompensation der Messung erreicht, die notwendig ist, da die Temperatur im Einsatzbereich des Messsystems in der Regel beträchtlichen Schwankungen unterworfen sein kann.

Die Temperaturkompensation der Messung wird durch die Anwendung einer

15 Viertelbrückenschaltung realisiert. Hierbei werden die elektrischen Widerstände R_T und R_F des jeweiligen Sensorpunktes durch zwei externe Widerstände R_{trimm} und R_E ergänzt, die in einem separaten Modul zusammen mit der zur Signalerfassung und -auswertung notwendigen Elektronik untergebracht sind und unter anderem auch die Abstimmung der Brückenspannung ermöglichen. Bei dieser

20 Art der Temperaturkompensation wird davon ausgegangen, dass sowohl die externen Widerstände R_{trimm} und R_e wie auch die Strukturen des Sensorpunktes jeweils ein weitgehend identisches Temperaturverhalten zeigen und auch gleichen Temperaturen ausgesetzt sind. Auf diese Weise bleibt die Brückenspannung auch bei Änderung der Temperatur entweder im Elektronikmodul oder am

25 Wälzlager konstant. Neben der Temperaturkompensation ist die Störnempfindlichkeit dieser Schaltung ein weiterer Vorteil. Insbesondere Störungen im Massepotential koppeln durch den Aufbau als Brückenschaltung als Gleichtaktstörungen in beide Brückenarme synchron ein und verfälschen so nicht die gemessene Brückenspannung.

Der Stromfluss in dieser Viertelbrücken-Schaltung ist derart, dass an den piezoresistiven Sensorstrukturen der Strom durch die Kontaktstellen in die piezoresistive Schicht eintritt, diese durchdringt und über das Substrat 7 wieder abfließt. Da sich der Strom hierbei bedingt durch das Prinzip des geringsten Widerstands den kürzesten Weg, das heißt senkrecht durch die Schicht, sucht, kommt es trotz der homogen auf das Substrat 7 aufgetragenen piezoresistiven Sensorschicht nicht zu einer gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Sensorstrukturen.

10 Der Aufbau der piezoresistiven Sensoren ist in der Figur 4 skizziert. Das Substrat 7 dient als Träger für eine flächig aufgebraute piezoresistive Sensorschicht 14 bestehend aus einer dotierten oder undotierten Kohlenwasserstoffschicht. Als Dotierungsmaterialien kommen beispielsweise Metalle, wie Wolfram, Chrom, Silber, Titan, Gold, Platin etc. in Frage. Als Material für die Sensorschicht 14 sind auch reine oder amorphe Kohlenstoffschichten möglich.

Auf die piezoresistive Sensorschicht 14 sind strukturierte Elektroden 15 zur Kraftmessung und zur Temperaturkompensation aufgebracht. Diese strukturierten Elektroden 15 bestehen aus einer dünnen Metallschicht, wie z. B. Chrom, Titan, Chrom-Nickel-Verbindungen etc. Die strukturierten Elektroden haben die in Figur 3 gezeigte und diskutierte Form und bilden die Bereiche 10, 12, 13, 17, 18.

Die piezoresistive Sensorschicht 14 sowie die strukturierten Elektroden 15 sind mit einer Isolations- und Verschleißschicht 16 abgedeckt, die z. B. aus einer siliziumdotierten Kohlenwasserstoffschicht gebildet ist. Denkbar ist auch die Verwendung von Silizium-Sauerstoff-, Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid-dotierten Kohlenwasserstoffschichten.

Bei dem dargestellten Schichtsystem haben alle Sensorstrukturen der piezoelektrischen Messaufnehmer dieselbe elektrische Masse, für die das metallische Substrat 7 verwendet wird.

- 5 Ein piezoresistiver Dünnschichtsensor bestehend aus einer auf einem Träger angeordneten Kohlenwasserstoffschicht mit piezoresistiven Eigenschaften und Elektrodenstrukturen auf der piezoresistiven Sensorschicht ist zudem aus der DE 10 2006 019 942 A1 bekannt.
- 10 In der Figur 5 ist eine vorteilhafte Verwendungsmöglichkeit des Kraftsensors 1 dargestellt. Die Figur 5 zeigt eine Klauenkupplung 50 mit einem ersten Kupplungsteil 51 und einem zweiten, dem ersten Kupplungsteil 51 zugeordneten Kupplungsteil 52. Das zweite Kupplungsteil 52 weist vorstehende Klauen 53, 54 auf. Das erste Kupplungsteil 51 weist Klauenaufnahmen 55, 56 auf, die zur
15 Aufnahme der Klauen 53, 54 vorgesehen sind. In die Klauen 53, 54 ist jeweils ein Kraftsensor 1 integriert. Die Kraftsensoren 1 sind in den Klauen 53, 54 derart angeordnet, dass die durch die Klauenaufnahmen 55, 56 auf die Klauen 53, 54 übertragenen Kräfte auf die jeweiligen Sensorbereiche 12 der Kraftsensoren 1 wirken.
- 20 Durch die mit Kraftsensoren 1 versehene Klauenkupplung 50 kann eine Momentenmesswelle bzw. eine Momenteneichwelle geschaffen werden. Die Kraftsensoren 1 sind in der Klauenkupplung 50 derart angeordnet, dass Kräfte in beiden Drehrichtungen gemessen werden können.
- 25 Bisher werden zur Messung von Drehmomenten Messwellen oder Messflansche verwendet, die mit Dehnungsmessstreifen bestückt sind. Bei solchen Messverfahren führt die Verformung des Trägermaterials, d.h. der Messwelle bzw. des Messflansches, zu einer Dehnung der Dehnungsmessstreifen, was
30 wiederum zu einer Widerstandsänderung des Messstreifens führt, die als Maß für die Bestimmung des anliegenden Moments herangezogen wird. Solche

Realisierungen mit Dehnungsmessstreifen haben den Nachteil, dass eine genaue Kenntnis der Dehnungseigenschaften des Trägermaterials für eine präzise Drehmomentenmessung erforderlich ist. Die Eigenschaften des Trägermaterials müssen daher, da sie einer Alterung unterliegen, regelmäßig geprüft werden, d.h. es ist eine regelmäßige Eichung solcher Messwellen oder Messflansche erforderlich.

Durch die vorgeschlagene Integration von Kraftsensoren in die Klauenkupplung können die genannten Nachteile überwunden werden. Die Verwendung des erfindungsgemäßen Kraftsensors ermöglicht die Produktion von hochgenauen Messwellen oder Messflanschen ohne die Notwendigkeit, die Materialeigenschaften des Trägermaterials genau zu kennen und regelmäßig zu prüfen.

Die durch die Kraftsensoren gemessene Kraft ist dabei proportional zum Drehmoment, das über die Klauen der Klauenkupplung übertragen wird. Sofern lediglich eine Drehmomentübertragung in eine Drehrichtung gemessen werden soll, ist lediglich ein Kraftsensor erforderlich.

Die Figur 6 zeigt eine Lagerstelle 60 mit einem Kugellager 61, 62, 63 und acht Kraftsensoren 1. Die Lagerstelle 60 ist zur besseren Erkennbarkeit der Anordnung der Kraftsensoren 1 teilweise geschnitten dargestellt, so dass zwei Kraftsensoren 1 erkennbar sind. Die übrigen sechs Kraftsensoren sind gleichmäßig über den Umfang der Lagerstelle 60 verteilt. Erkennbar sind die elektrischen Anschlusskabel 4 der Kraftsensoren 1, die aus jeweiligen Durchgangsöffnungen 66 eines äußeren Gehäuseteils 65 der Lagerstelle herausgeführt sind.

Die Lagerstelle 60 weist ein äußeres Gehäuseteil 65 und ein inneres Gehäuseteil 64 auf. Zwischen dem äußeren Gehäuseteil 65 und dem inneren Gehäuseteil 64 ist ein Kugellager angeordnet. Das Kugellager weist einen inneren Lagerring 61, einen äußeren Lagerring 63 sowie eine Mehrzahl von Kugeln 62 auf, die zusammen mit einem Kugelhalteelement zwischen dem inneren Lager-

ring 61 und dem äußeren Lagerring 63 angeordnet sind. Auf einer unteren Gehäusewand des äußeren Gehäuseteils 65 sind Kraftsensoren 1 sternförmig um das Zentrum der Lagerstelle 60 herum angeordnet. Die Kraftsensoren 1 sind dabei mit ihrem Sensorbereich 12 unterhalb des Außenrings 63 des Kugellagers zwischen dem Außenring 63 und der unteren Wand des äußeren Gehäuseteils 65 angeordnet. Hierdurch können in Längsrichtung des Kugellagers wirkende Kräfte, die beispielsweise aufgrund von Lagerungenauigkeiten oder Lagerschäden von den Kugeln 62 auf den Außenring 63 übertragen werden, über die Kraftsensoren 1 erfasst werden.

10

Im Bereich der Lagerüberwachung stellt heutzutage die Verwendung von Beschleunigungsaufnehmern den gängigen Stand der Technik dar. Beschleunigungsaufnehmer zeichnen sich durch eine hohe Empfindlichkeit aus, wodurch es möglich ist, sie am Lagerbock oder Maschinengehäuse zu montieren und mittels geeigneter Methoden der Signalverarbeitung Rückschlüsse auf den Zustand des betrachteten Wälzlagers zu ziehen. Eine solche Art der Lagerüberwachung hat jedoch auch Nachteile. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit der Sensoren setzt sich das Messsignal sowohl aus den Vibrationen des zu überwachenden Lagers als auch aus den Vibrationen anderer schwingender Komponenten des Gesamtsystems zusammen, deren Schwingungen über die Struktur zum Beschleunigungsaufnehmer übertragen werden. Hierdurch ist keine genaue Differenzierung zwischen den Ursachen der erfassten Schwingungen möglich. Daher kann wohl die Tatsache eines Lagerschadens erkannt werden, die Quelle des Schadens aber nicht eindeutig zugeordnet werden. Ein weiterer Nachteil der Lagerüberwachung mittels Beschleunigungssensoren besteht darin, dass die Beschleunigungssensoren nicht direkt am Lager angeordnet werden können. Somit können die vom Lager hervorgerufenen Vibrationen erst detektiert werden, nachdem sie sich vom Lager in den Lagerbock und von dort in den Beschleunigungssensor ausgebreitet haben. Hierdurch verschlechtert sich die Signalgüte, was zu einer verzögerten Erkennung von Lagerschäden führt.

30

Durch die Verwendung der erfindungsgemäßen Kraftsensoren direkt in einem Lager können diese Nachteile überwunden werden. Die Kraftsensoren können damit als Lagerüberwachungssensorik direkt einem Spalt zwischen einem Lager und einem Lagersitz angeordnet werden, was eine direktere Sensierung ermöglicht. Hierdurch kann eine Fehlererkennung in Lagern als auch eine genaue Lokalisierung des Fehlers schneller und zuverlässiger durchgeführt werden. Entsprechende Defekte im Lager wirken sich dabei auf unterschiedliche Druckverteilungen an der Lagerstirn und damit unterschiedliche erfasste Kräfte der Kraftsensoren aus.

Patentansprüche

1. Piezoresistiver Kraftsensor mit einem Substrat (7), wenigstens einer auf der Oberfläche des Substrats (7) mit dotiertem oder undotiertem Kohlenwasserstoff oder reinem Kohlenstoff gebildeten piezoresistiven Sensorschicht, wenigstens einer auf die piezoresistive Sensorschicht aufgebracht
5
10
15
20
25
30
ersten Elektrode (12) und wenigstens einer die piezoresistive Sensorschicht und die erste Elektrode abdeckenden Isolations- und Verschleißschicht, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kraftsensor (1) als separates Bauteil hergestellt ist, das nach seiner Herstellung in ein anderes Bauelement einsetzbar oder damit verbindbar ist.
2. Kraftsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kraftsensor (1) wenigstens ein Befestigungselement (5, 6) aufweist, mittels dem der Kraftsensor (1) an einem anderen Bauelement montierbar ist.
3. Kraftsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kraftsensor (1) wenigstens ein Gehäuse (2) aufweist, an dem das Substrat (7) befestigt ist oder wenigstens ein Teil des Gehäuses (2) das Substrat (7) bildet, wobei das Gehäuse (2) wenigstens ein Befestigungselement (5, 6) aufweist, mittels dem der Kraftsensor (1) an einem anderen Bauelement montierbar ist.
4. Kraftsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das der Kraftsensor (1) eine in den Kraftsensor integrierte Auswerteschaltung (19), insbesondere eine Messbrücke und/oder einen Signalverstärker, aufweist, die einerseits mit dem Substrat (7) und der ersten Elektrode (12) und andererseits mit wenigstens einem von außen kontaktierbaren elektrischen Anschlusselement (4) verbunden ist.

5. Kraftsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine zweite Elektrode (17) auf der piezoresistiven Sensorschicht oder einer weiteren auf der Oberfläche des Substrats (7) aufgebracht, piezoresistiven Sensorschicht vorgesehen ist, wobei die zweite Elektrode (17) mit der Isolations- und Verschleißschicht oder einer weiteren Isolations- und Verschleißschicht abgedeckt ist, wobei die zweite Elektrode (17) mit dem Substrat (7) einen Temperatursensor bildet.
- 10 6. Kraftsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Elektrode (17) ist als Temperaturkompensationselement mit der ersten Elektrode (12) verschaltet ist.
- 15 7. Kraftsensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Elektrode, die mit dem Substrat einen Kraftsensor bildet, und eine vierte Elektrode, mit dem Substrat einen Temperatursensor bildet, vorgesehen sind, wobei die erste, die zweite, die dritte und die vierte Elektrode miteinander zu einer Vollbrückenschaltung verbunden sind.
- 20 8. Verwendung eines Kraftsensors nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Drehmomentmessung, zur Drehzahlmessung und/oder zur Erkennung von Drehunregelmäßigkeiten eines drehenden Bauteils.
- 25 9. Verwendung eines Kraftsensors nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Lastmessung und/oder zur Lastbegrenzung bei einem lastübertragenden Bauteil.
- 30 10. Verfahren zur Bereitstellung eines piezoresistiven Kraftsensors mit den Schritten:

- a) Bilden einer piezoresistiven Sensorschicht durch Aufbringen von dotiertem oder undotiertem Kohlenwasserstoff oder reinem Kohlenstoff auf die Oberfläche eines Substrats (7),
- 5 b) Aufbringen wenigstens einer ersten Elektrode (12) auf die piezoresistive Sensorschicht,
- c) Aufbringen wenigstens einer die piezoresistive Sensorschicht und die erste Elektrode (12) abdeckenden Isolations- und Verschleißschutzschicht,
- 10 d) Vorsehen eines ersten von außen kontaktierbaren elektrischen Anschlusselements (20), das direkt oder indirekt mit dem Substrat (7) verbunden ist, und wenigstens eines zweiten von außen kontaktierbaren elektrischen Anschlusselements (21), das direkt oder indirekt mit der wenigstens einen ersten Elektrode (12) verbunden ist, zur elektrischen Kontaktierung des Kraftsensors (1),
- 15 e) Separieren des Kraftsensors als separates Bauteil.

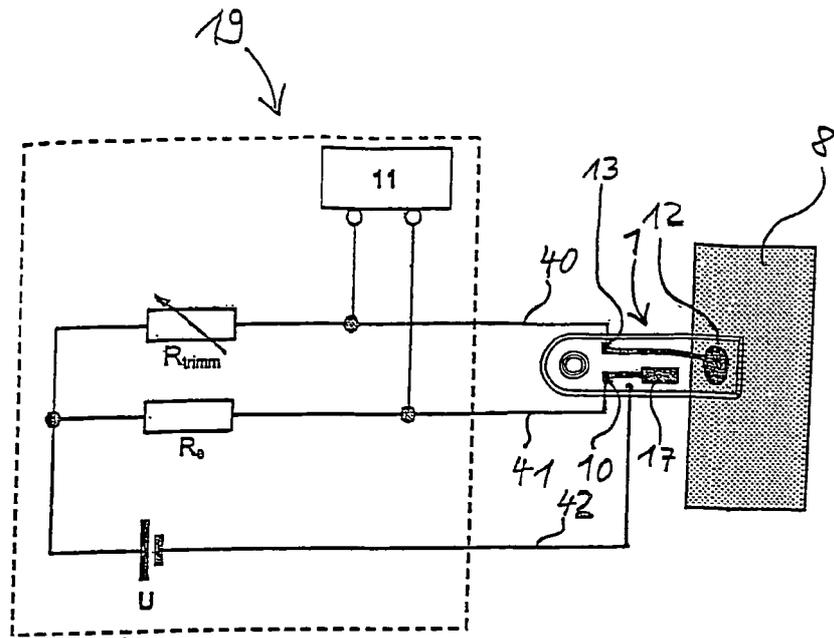


Fig. 3a

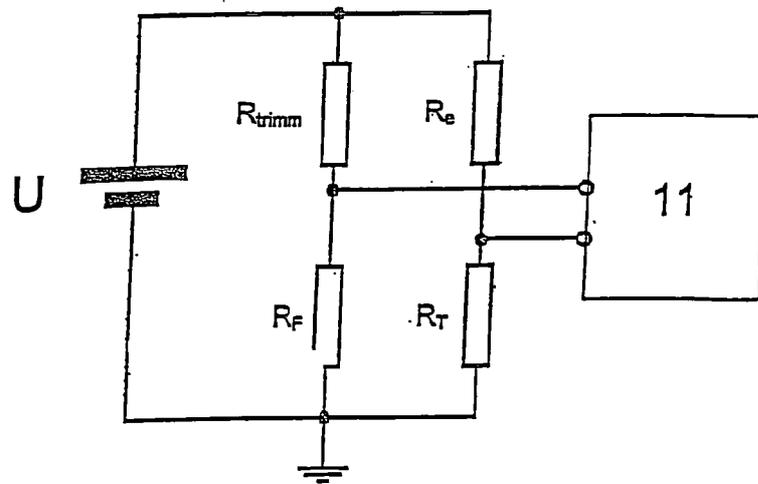


Fig. 3b

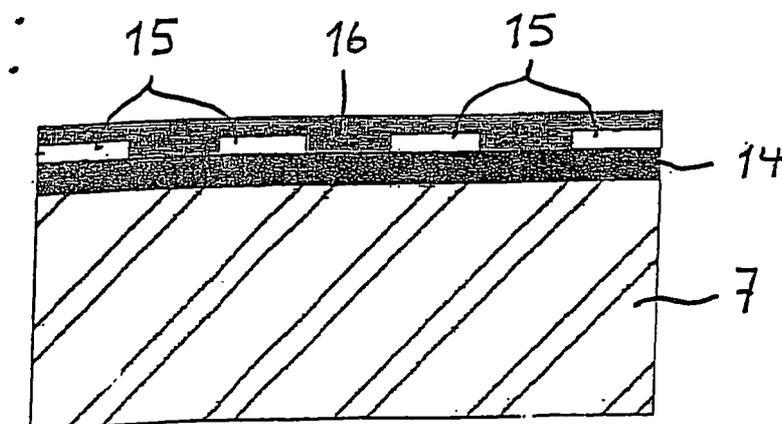


Fig. 4

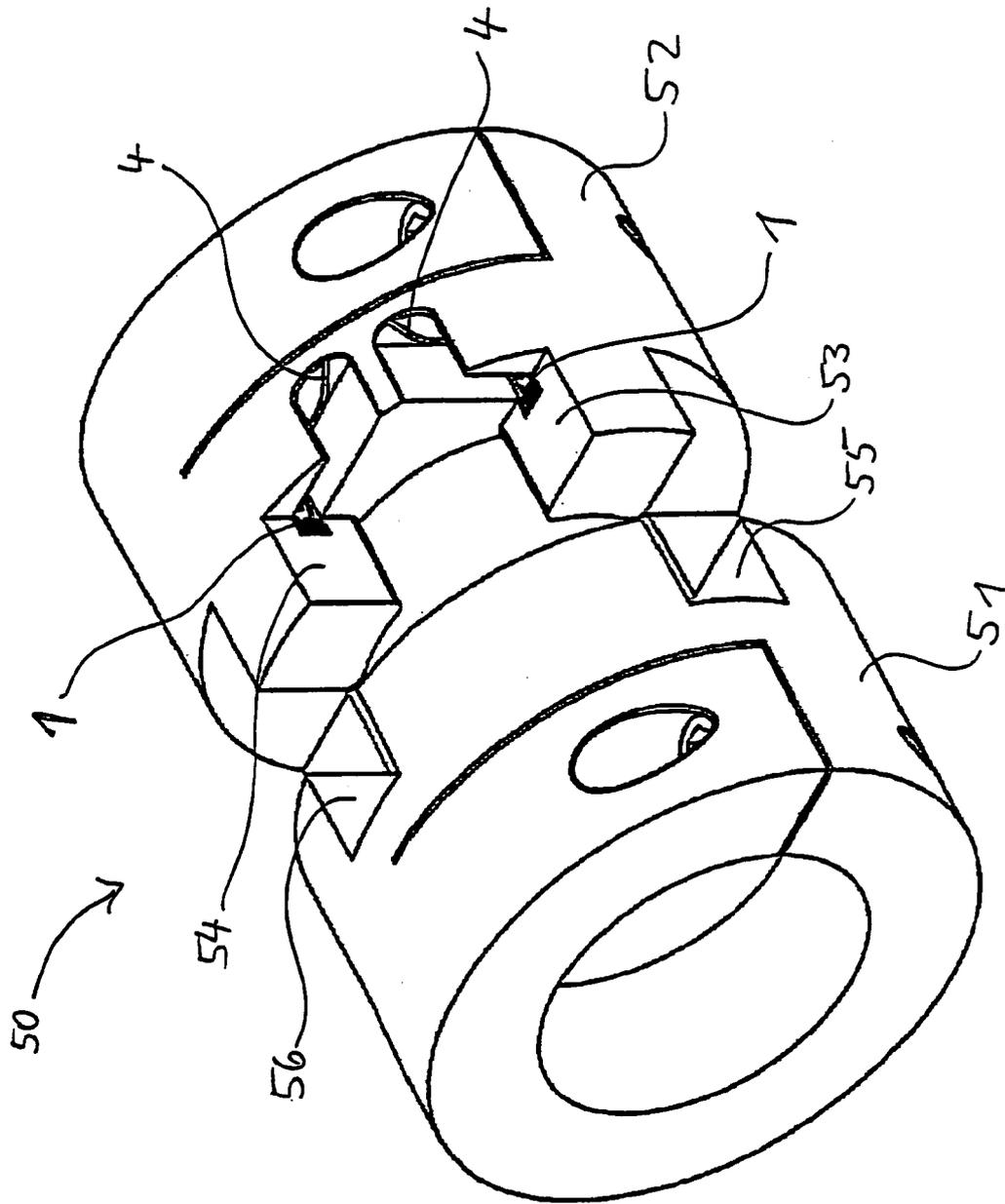


Fig. 5

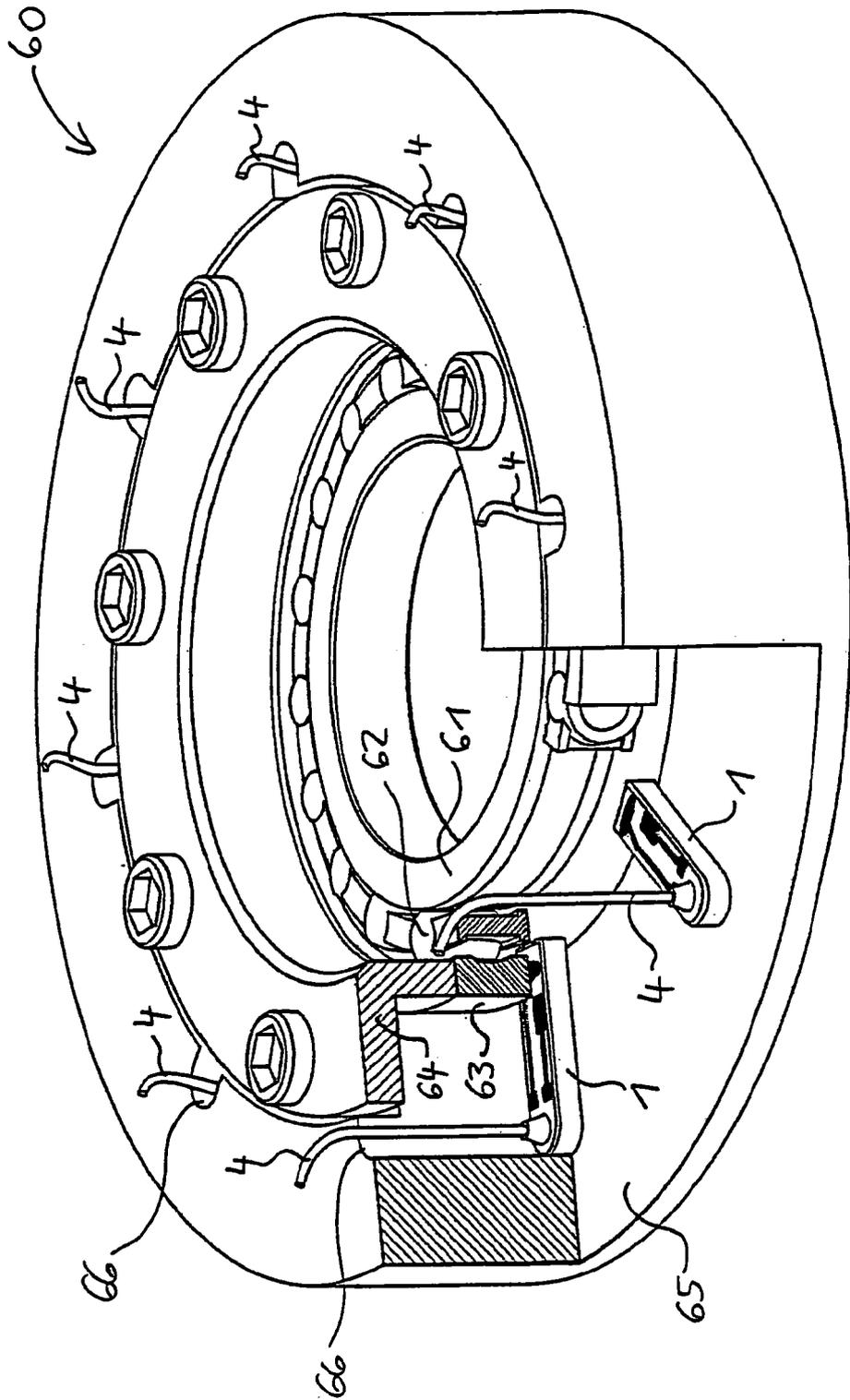


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/003003

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01L1/18 G01L5/00 G01L25/00 H01L41/04
ADD.
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)
G01L G01M H01L

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.
X	DE 199 54 164 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 13 June 2001 (2001-06-13) column 4, line 24 - line 36 column 5, line 24 - line 45 column 7, line 59 - column 8, line 41 figures 12,13	1-10
A	DE 10 2006 019942 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 31 October 2007 (2007-10-31) the whole document	1-10

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 12 October 2011	Date of mailing of the international search report 21/10/2011
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Reto, Davide

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/003003

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2004/048912 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; LUETHJE HOLGER [DE]; BANDORF RALF [DE];) 10 June 2004 (2004-06-10) page 2, line 8 - line 15 page 4, line 18 - line 24 page 10, line 19 - page 11, line 12 figures 3,6 -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/003003

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19954164	A1 13-06-2001	WO 02054031 A1	11-07-2002
		US 2003089177 A1	15-05-2003

DE 102006019942	A1 31-10-2007	EP 2013598 A1	14-01-2009
		WO 2007124940 A1	08-11-2007
		JP 2009535610 A	01-10-2009

WO 2004048912	A1 10-06-2004	AU 2003293650 A1	18-06-2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP2011/003003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01L1/18 G01L5/00 G01L25/00 H01L41/04
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01L G01M H01L

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.
X	DE 199 54 164 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 13. Juni 2001 (2001-06-13) Spalte 4, Zeile 24 - Zeile 36 Spalte 5, Zeile 24 - Zeile 45 Spalte 7, Zeile 59 - Spalte 8, Zeile 41 Abbildungen 12,13	1-10
A	DE 10 2006 019942 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]) 31. Oktober 2007 (2007-10-31) das ganze Dokument	1-10
	----- -/--	

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

<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p>	<p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"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</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>
--	---

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
12. Oktober 2011	21/10/2011

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

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 2004/048912 A1 (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE]; LUETHJE HOLGER [DE]; BANDORF RALF [DE];) 10. Juni 2004 (2004-06-10) Seite 2, Zeile 8 - Zeile 15 Seite 4, Zeile 18 - Zeile 24 Seite 10, Zeile 19 - Seite 11, Zeile 12 Abbildungen 3,6 -----	1-10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2011/003003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19954164 A1	13-06-2001	WO 02054031 A1 US 2003089177 A1	11-07-2002 15-05-2003
DE 102006019942 A1	31-10-2007	EP 2013598 A1 WO 2007124940 A1 JP 2009535610 A	14-01-2009 08-11-2007 01-10-2009
WO 2004048912 A1	10-06-2004	AU 2003293650 A1	18-06-2004