(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
12. Februar 2015 (12.02.2015)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/018403 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01L 3/10 (2006.01) *G01L 1/14* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2014/200292

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Juli 2014 (01.07.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 215 320.1
5. August 2013 (05.08.2013) DE

(71) Anmelder: **SCHAEFFLER TECHNOLOGIES GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Industriestraße 1-3, 91074 Herzogenaurach (DE).

(72) Erfinder: **BENKERT, Frank**; Im Gärtlein 26, 97534 Waigolshausen (DE). **HOCHGRÄBER, Steffen**; Weinbergstr. 6, 74613 Öhringen (DE). **GLÜCK, Stefan**; Wilhelm-Bechert-Straße 20, 97424 Schweinfurt (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

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

(54) Title: DEVICE FOR DETECTING THE TORQUE IN A SHAFT

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG ZUR ERFASSUNG DES DREHMOMENTES IN EINER WELLE

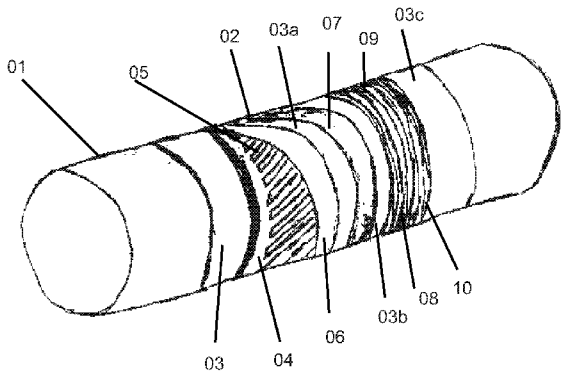


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a device for detecting a torque introduced into a shaft (01), comprising at least one passive electric tuned circuit (02) which is arranged on the shaft (01) and which has a resonance frequency that changes dependent on the torque and comprising an analyzing unit (15) which is stationary relative to the shaft (01) and which comprises a coil (14) that is inductively coupled to the tuned circuit (02). The device according to the invention is characterized in that at least one part of the passive electric tuned circuit (02) is in the form of a multilayer coating on the shaft (01).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erfassung eines in eine Welle (01) eingeleiteten Drehmoments umfassend mindestens einen, auf der Welle (01) angeordneten, passiven elektrischen Schwingkreis (02) mit einer sich in Abhängigkeit des Drehmoments ändernden Resonanzfrequenz sowie eine in Bezug zur Welle (01) feststehende Auswerteeinheit (15) mit einer Spule (14), welche mit dem Schwingkreis (02) induktiv gekoppelt ist. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sichdadurch aus, dass mindestens ein Teil despassivenelektrischen Schwingkreises(02) als mehrschichtige Beschichtung auf der Welle (01) realisiert ist.

WO 2015/018403 A1

Vorrichtung zur Erfassung des Drehmomentes in einer Welle

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erfassung eines in eine Welle eingeleiteten Drehmomentes.

Drehmomentsensoren werden in vielen Gebieten der Technik benötigt. Sie dienen der Erfassung des tatsächlichen Belastungszustandes von mechanischen Teilen, insbesondere rotierenden Wellen, und ermöglichen so eine Drehmoment optimierte Steuerung der die Welle antreibenden Leistung. Ein wesentliches Einsatzgebiet der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist die Drehmomentmessung in Tretlagern, insbesondere bei Fahrrädern, Pedelecs, E-Bikes oder Ergometern. Vorbekannte Lösungen verwenden beispielsweise Tretlagereinheiten mit magnetischen Sensoren zur Drehmomentmessung. Beispielhaft sei auf die DE 20 2010 017 366 U1 und die DE 10 2012 215 022 A1 verwiesen.

Aus dem Stand der Technik ist es weiterhin bekannt zur Messung eines an einer Welle angreifenden Drehmoments elektrische Schwingkreise zu verwenden. Die EP 1 026 492 A2 zeigt einen Drehmomentsensor, umfassend einen elektrischen Schwingkreis mit einer Anpassschaltung mit einem Wandler, einem akustischen Oberflächenwellenbauelement und einer Antenne. Der Wandler beinhaltet einen Kondensator mit einer ersten Elektrode, welcher an einer ersten Befestigungsstelle mit der Welle verbunden ist, und einer zweiten Elektrode, die an einer zweiten Befestigungsstelle mit der Welle verbunden ist, wobei die Befestigungsstellen axial voneinander beabstandet sind. Die beiden Elektroden sind relativ zueinander verschiebbar, so dass eine Verwindung der Welle durch ein Drehmoment eine Änderung der Resonanzfrequenz des Schwingkreises bewirkt.

Die GB 2195183 A beschreibt die Erfassung eines Drehmomentes in einer Welle anhand der Verzerrungen eines passiven Schwingkreises. Der Schwingkreis ist auf einer Welle befestigt und weist eine Resonanzfrequenz auf, welche sich in Abhängigkeit des Drehmoments ändert. Mit dem Schwingkreis ist eine

Schaltung induktiv gekoppelt, welche Schwankungen der Resonanzfrequenz erfasst.

Die DE 10 2009 027 997 A1 zeigt eine Messeinrichtung zur telemetrischen Auswertung eines einen elektrischen Schwingkreis aufweisenden passiven Sensors, welcher beispielsweise für die Messung eines Druckes innerhalb einer Abgasanlage eines Kraftfahrzeugs eingesetzt werden kann. Die Messeinrichtung umfasst mindestens eine Schwingungsquelle, eine Koppelspule und einen Phasendetektor, wobei mittels der Schwingungsquelle in einem Referenzzweig eine elektrische Referenzschwingung und in einem Messzweig eine elektrische Messschwingung erzeugbar ist. Die Koppelspule ist im Messzweig angeordnet und kann induktiv an eine Schwingkreisspule des Sensors angekoppelt werden. Der Phasendetektor greift die Referenzschwingung und die Messschwingung ab und ermittelt den Phasenunterschied zwischen Referenzschwingung und Messschwingung.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ausgehend von der GB 2195183 A eine verbesserte Vorrichtung zur Erfassung des in eine Welle eingeleiteten Drehmomentes zur Verfügung zu stellen, welche sich durch einen einfachen Aufbau auszeichnet, sich aufwandsarm an die Welle integrieren lässt und einen geringen Bauraum benötigt.

Zur Lösung der Aufgabe dient eine Vorrichtung gemäß dem Anspruch 1.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erfassung eines in eine Welle eingeleiteten Drehmoments umfasst mindestens einen, auf der Welle angeordneten, passiven elektrischen Schwingkreis mit einer sich in Abhängigkeit des Drehmoments ändernden Resonanzfrequenz sowie eine in Bezug zur Welle feststehende Auswerteeinheit mit einer Spule, welche mit dem Schwingkreis induktiv gekoppelt ist. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich dadurch aus, dass mindestens eine Element des passiven elektrischen Schwingkreises als mehrschichtige Beschichtung auf der Welle realisiert ist. Vorzugsweise werden

durch mehrere Schichten auf der Welle sämtliche Elemente des passiven Schwingkreises realisiert.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die durch die Erfindung vorgeschlagene Lösung nicht nur auf die Erfassung von Drehmomenten beschränkt ist. Ebenso lassen sich Größen wie Kraft, Biegemoment und Drehmoment mit einer entsprechend aufgebauten Sensorik registrieren, solange diese zu einer auswertbaren Dehnung im Schichtsystem führen. Weiterhin ist festzuhalten, dass die erfindungsgemäße Art der Sensorik, d. h. der Aufbau eines passiven elektrischen Schwingkreises in einer mehrlagigen Beschichtung selbstverständlich auch an planaren Maschinenelementen und auch stationär eingesetzt werden kann (nicht rotativ).

Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht darin, dass durch Realisierung einiger oder aller des Komponenten elektrischen Schwingkreises als mehrschichtige Beschichtung der als Sensor dienende Schwingkreis aufwandsarm an die Welle integriert werden kann. Hierzu ist lediglich ein entsprechender Beschichtungsprozess erforderlich. Der bislang erforderliche Aufwand für die Verdrahtung der Sensorik entfällt dadurch vorzugsweise vollständig. Es ist keine zusätzliche Aufbau- und Verbindungstechnik erforderlich. Hierdurch können Arbeitsschritte eingespart werden, beispielsweise entfällt die Kontaktierung, da die Kontaktierung bereits Bestandteil des mehrschichtigen Schichtaufbaus ist. Diese Art der Realisierung hat auch den Vorteil, dass sich das Handling vereinfacht, so besteht zum Beispiel keine Gefahr mehr durch Abreißen von Kabeln bzw. Drähten, wodurch sich nicht zuletzt auch die Zuverlässigkeit der Messvorrichtung erhöht.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung umfasst die zur Ausbildung des passiven elektrischen Schwingkreises dienende Beschichtung folgende, radial übereinander angeordnete Schichten: eine kapazitive Leiterschicht mit einer Strukturierung, eine der kapazitiven Leiterschicht nachfolgende Dielektrikum-Schicht , welche sich teilweise auch in Hohlräume der Strukturierung der kapazitiven Leiterschicht erstreckt und beispiels-

weise aus Titanoxid besteht, eine induktive Leiterschicht mit einer Strukturierung, eine ohmsche Leiterschicht sowie Isolationsschichten, welche zwischen den Leiterschichten und auf der Welle angeordnet sind. Außerdem ist eine sich radial erstreckende Kontaktierung zur elektrischen Kontaktierung der Leiterschichten vorgesehen.

Die Isolationsschichten können beispielsweise aus Aluminiumoxid bestehen oder als Plasma-Polymerschicht ausgebildet sein. Isolationsschichten sind aufgrund der übereinander angeordneten kapazitiven und induktiven Strukturen erforderlich. Die Leiterschichten bestehen vorzugsweise aus NiCr und weisen eine Strukturierung auf. Als zweckmäßig hat sich für die kapazitive Leiterschicht eine Strukturierung in Form von unter 45° zur Längsrichtung der Welle verlaufender Streifen erwiesen. Für die induktive Leiterschicht hat sich eine Strukturierung in Form von die Achse der Welle umlaufender Streifen bewährt. Es sind natürlich auch andere geeignete Ausführungsformen für die Strukturierungen von kapazitiver und induktiver Leiterschicht möglich.

Die induktive und/oder die kapazitive Leiterschicht sind vorzugsweise derart ausgeführt, dass sich die Kapazität und/oder Induktivität infolge einer mechanischen Krafteinwirkung auf die Welle ändert. Durch Änderung einer dieser beiden elektrischen Kenngrößen ändert sich bekanntlich die Resonanzfrequenz von elektrischen Schwingkreisen, wodurch Rückschlüsse auf die wirkende Kraft bzw. das an die Welle angreifende Drehmoment möglich sind. Im Zusammenhang mit der Realisierung der Leiterschichten wird auf die sogenannte Sensotect-Beschichtung der Anmelderin verwiesen. Die ohmsche Leiterschicht kann eine separate Schicht sein oder als Bestandteil der kapazitiven oder induktiven Leiterschicht ausgeführt sein.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform weist die Beschichtung eine zusätzliche Schicht mit hoher Permeabilität und geringer elektrischer Leitfähigkeit auf, welche benachbart zur induktiven Leiterschicht und von dieser durch eine Isolationsschicht getrennt, angeordnet ist. Diese zusätzliche Schicht, welche beispielsweise als Ferritschicht ausgeführt sein kann, dient zur Führung des mag-

netischen Flusses und damit zur Optimierung der induktiven Kopplung. Zur weiteren Optimierung der magnetischen Flussführung können an der induktiven Leiterschicht sich radial ausdehnende Flussleitelemente axial angeordnet werden.

Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn auf der Welle zwei gleichartige, passive elektrische Schwingkreise angeordnet sind, wobei jeder Schwingkreis mit jeweils einer Spule der Auswerteeinheit induktiv gekoppelt ist. Eine derartige Ausführung hat den großen Vorteil, dass eine Temperaturkompensation im verwendeten Auswerteverfahren implementiert werden kann. Des Weiteren kann ein Driften der Kennwerte durch Alterung oder ähnliche Effekte kompensiert werden, was ebenfalls entsprechend im Auswerteverfahren implementiert werden kann.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist die Spule der Auswerteeinheit Bestandteil eines zweiten Schwingkreises der Auswerteeinheit. Bei dieser Ausführung kann der Schwingkreis auf der Welle als zusätzlicher Blindwiderstand im Schwingkreis der Auswerteeinheit aufgefasst werden, dessen Wert durch die Deformation des Maschinenelements variiert wird. Wird nun der Schwingkreis der Auswerteeinheit als Oszillator betrieben, hängt dessen Resonanzfrequenz von der Deformation der Welle ab. Das Ausgangssignal des Oszillators kann beispielsweise in ein Rechtecksignal gewandelt werden, um eine Auswertung, zum Beispiel über die Periodendauer möglichst einfach zu gestalten.

Der Schwingkreis auf der Welle kann jedoch auch als zusätzliche Impedanz in der Auswerteeinheit aufgefasst werden, dessen Wert durch die Deformation der Welle variiert wird. Hierbei kann jedes Verfahren zur Bestimmung einer Impedanz zur Auswertung herangezogen werden, beispielsweise eine Brückenschaltung.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann vorzugsweise in ein Tretlager eingebaut sein und dort als Alternative zu den bislang gebräuchlichen magnetoelastischen Vorrichtungen dienen.

Weitere Vorteile, Einzelheiten und Weiterbildungen ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

Fig. 1: eine Welle mit einem als mehrschichtige Beschichtung ausgeführten Schwingkreis in perspektivischer Ansicht;

Fig. 2: die Welle mit dem als mehrschichtige Beschichtung ausgeführten Schwingkreis in einer stark vereinfachten Schnittansicht;

Fig. 3: eine Prinzipskizze einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 4: eine Prinzipskizze einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 5: eine Prinzipskizze einer dritten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 6: eine Prinzipskizze einer vierten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 7: eine Prinzipskizze einer fünften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Anhand der Fig. 1 und 2 soll die die erfindungsgemäße Vorrichtung kennzeichnende Ausführung eines auf einer Welle 01 als mehrschichtige Beschichtung ausgeführten passiven elektrischen Schwingkreises 02 erläutert werden. Fig. 1 zeigt die Welle 01 mit dem Schwingkreis 02 in perspektivischer Ansicht, wobei zur Erkennbarkeit der einzelnen Schichten diese teilweise geschnitten dargestellt sind, während Fig. 2 die Welle 01 mit dem Schwingkreis 02 in einer strukturellen Querschnittansicht zeigt (auf die Darstellung der Umfangskrümmung wurde verzichtet).

Die Welle 01, welche beispielsweise aus einem Chrom-legierten Wälzlagerstahl, wie 100Cr6 besteht, trägt als erstes eine Isolationsschicht 03, die zum Beispiel als Aluminiumoxidschicht oder als Plasma-Polymerschicht ausgeführt ist. Der Isolationsschicht 03 schließt sich radial nach außen eine kapazitive Leiterschicht 04 an, welche eine Strukturierung 05 aufweist und beispielsweise aus NiCr besteht. Die Strukturierung 05 der kapazitiven Leiterschicht 04 kann in Form von unter 45° zur Längsrichtung der Welle 01 verlaufender Streifen ausgeführt sein. Der kapazitiven Leiterschicht 04 schließt sich eine Dielektrikum-Schicht 06, zum Beispiel aus Titanoxid, an, welche sich teilweise auch in Hohlräume der Strukturierung 05 erstreckt. Die Kanten der Strukturierung 05 stellen die Kondensatorplatten dar, zwischen denen sich Dielektrikum 06 befindet. Die Kapazität ist vorzugsweise als Kammstruktur ausgebildet. Es ist jedoch auch eine flächige Anordnung in beliebiger Geometrie möglich.

Unter Krafteinfluss kommt es zu einer Änderung der Geometrie der kapazitiven Leiterschicht 04. Ebenso kann sich die Permittivität der Dielektrikum-Schicht 06 ändern.

Der Dielektrikum-Schicht 06 schließt sich eine weitere Isolationsschicht 03a an. Dieser weiteren Isolationsschicht 03a folgt eine Schicht mit hoher Permeabilität und geringer elektrischer Leitfähigkeit 07, welche beispielsweise als Ferritschicht, wie $NiFe_2O_4$ oder $ZnFe_2O_4$, ausgeführt ist. Der Schicht mit hoher Permeabilität und geringer elektrischer Leitfähigkeit 07 folgt eine weitere Isolationsschicht 03b, welcher sich eine induktive Leiterschicht 08 anschließt. Die induktive Leiterschicht 08 kann aus NiCr bestehen und weist eine Strukturierung 09 auf. Die Strukturierung 09 kann in Form von die Achse der Welle 01 umlaufender Streifen ausgeführt sein. Nach einer bevorzugten Ausführung wird eine helixförmige Induktivität realisiert. Alternativ sind jedoch auch eine Planarspule oder Kombinationen aus beiden möglich.

Unter Krafteinfluss ändert sich die Geometrie der induktiven Leiterschicht 08. Ebenso kann sich die Permeabilität der induktiven Leiterschicht 08 ändern.

Der induktiven Leiterschicht 08 schließt sich eine abschließende Isolationsschicht 03c an. Ausgehend von der kapazitiven Leiterschicht 04 erstreckt sich in radialer Richtung bis zur induktiven Leiterschicht 08 eine Kontaktierung 10, welche zur elektrischen Kontaktierung der Leiterschichten 04, 08 dient. Die Kontaktierung besteht vorzugsweise aus NiCr.

Bei abgewandelten Ausführungsformen kann die Schicht mit hoher Permeabilität und geringer elektrischer Leitfähigkeit 07 auch entfallen. Diese Schicht 07 hat jedoch den Vorteil, dass durch diese eine Führung des magnetischen Flusses erreicht wird und damit die induktive Kopplung optimiert wird.

Die ohmsche Leiterschicht ist im gezeigten Ausführungsbeispiel Bestandteil der kapazitiven Leiterschicht 04. Die Strukturierung 05 stellt auch den ohmschen Anteil dar. Bei alternativen Ausführungsformen kann die ohmsche Leiterschicht auch Bestandteil der induktiven Leiterschicht 08 sein. Es sind auch Ausführungen möglich, bei denen die ohmsche Leiterschicht als separate Leiterschicht ausgeführt ist. Die ohmschen Strukturen sind vorzugsweise als Mäander (DMS) ausgebildet. Es ist jedoch auch eine andere beliebige ein- oder mehrdimensionale Geometrie möglich.

Fig. 3 zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem vereinfachten Blockschaltbild. Auf der Welle 01 ist der passive elektrische Schwingkreis 02 angeordnet, welcher, wie bereits im Zusammenhang mit den Fig. 1 und 2 beschrieben, als mehrschichtige Beschichtung ausgeführt ist. Der passive elektrische Schwingkreis besteht aus einem Widerstand 11, einer Kapazität 12 und einer Induktivität 13. Durch entsprechende Gestaltung mindestens eines dieser Elemente ändert sich dessen Kennwert durch Einbringen einer mechanischen Deformation.

Der Schwingkreis 02 ist mit einer Spule 14 einer in Bezug zur Welle 01 feststehenden Auswerteeinheit 15 induktiv gekoppelt. Der Schwingkreis 02 wird mittels Spule 14 von der Auswerteeinheit 15 zum Schwingen in seiner Resonanzfrequenz angeregt. Hierzu wird ein bestimmter Frequenzbereich, beispielswei-

se mittels eines Sinussweeps durchfahren. Ein Sinussweep ist bekanntlich ein Signal mit einem Sinusverlauf mit ansteigender Frequenz und gleichbleibender Amplitude. Wird hierbei der Schwingkreis 02 mit seiner Resonanzfrequenz angeregt, ist seine Energieabsorption maximal, was sich deutlich in seiner Leistungsaufnahme zeigt. Wird nun die aufgenommene elektrische Leistung des Schwingkreises 02 beispielsweise durch Messung des Spulenstromes überwacht, ist ein Rückschluss auf die Resonanzfrequenz und somit auf die mechanische Deformation der Welle und damit auch auf das in die Welle 01 eingeprägte Drehmoment möglich. Dieses Messprinzip ist als DIP-Meter-Prinzip bekannt.

Fig. 4 zeigt eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem vereinfachten Blockschaltbild. Bei dieser Ausführung findet eine lastabhängige Frequenzmodulation statt. Hierzu weist die Auswerteeinheit 15 einen zweiten Schwingkreis 17 mit einer Spule 14 und einer Kapazität 19 auf. Die Spule 14 des zweiten Schwingkreises 17 ist derart angeordnet, dass sie mit der Spule 13 des auf der Welle 01 angeordneten Schwingkreises 02 einen Übertrager bildet. Hierbei kann der Schwingkreis 02 auf der Welle 01 als zusätzlicher Blindwiderstand im zweiten Schwingkreis 17 aufgefasst werden, dessen Wert durch die Deformation der Welle 01 variiert wird. Wenn nun der zweite Schwingkreis 17 als Oszillator betrieben wird, hängt dessen Resonanzfrequenz von der Deformation der Welle 01 ab. Das Ausgangssignal des Oszillators kann vorzugsweise in ein Rechtecksignal gewandelt werden, um eine Auswertung, beispielsweise über die Periodendauer möglichst einfach zu gestalten.

Fig. 5 zeigt eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem vereinfachten Blockschaltbild, bei welcher eine lastabhängige Amplitudenmodulation stattfindet. Diese Ausführung verwendet ebenfalls einen zweiten Schwingkreis 17 in der Auswerteeinheit 15, dessen Spule 14 zusammen mit der Spule 13 des Schwingkreises 02 auf der Welle 01 einen Übertrager bildet. Der Schwingkreis 02 auf der Welle 01 kann von der Auswerteeinheit 15 als zusätzliche Impedanz aufgefasst werden, deren Wert durch die Deformation

der Welle 01 variiert wird. Zur Auswertung können bekannte Verfahren zur Bestimmung einer Impedanz herangezogen werden, beispielsweise Brückenschaltung o. ä.

Fig. 6 zeigt eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. In den Schwingkreis 02 auf der Welle 01 wird mittels einer Spule 14 der Auswerteeinheit 15 eine breitbandige Anregung mit konstantem Leistungsdichtespektrum eingekoppelt, beispielsweise weißes Rauschen in einem bestimmten HF-Band. Wird nun das Signal nach der Kopplung, beispielsweise mittels Fouriertransformation, ausgewertet, wird sich bei der Resonanzfrequenz des Schwingkreises 02 auf der Welle 01, bedingt durch dessen Absorptionsverhalten bei Resonanz, ein Einbruch der Leistung bei Resonanzfrequenz ergeben. Da die Resonanzfrequenz eine Funktion der elastischen Deformation der Welle 01 darstellt, lässt dies einen Rückschluss auf die Deformation und somit auf die verursachende Kraft zu.

Fig. 7 zeigt eine fünfte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Bei dieser Ausführung sind auf der Welle 01 zwei gleichartige Schwingkreise 02 angeordnet. Jeder der beiden Schwingkreise 02 ist mit jeweils einem eigenen Schwingkreis 17 der Auswerteeinheit 15 gekoppelt. Adäquat zu der in Fig. 4 beschriebenen Ausführung findet hier ebenfalls eine lastabhängige Frequenzmodulation statt. Natürlich sind auch die im Zusammenhang mit den anderen Ausführungen beschriebenen Auswerteverfahren möglich. Die zwei Schwingkreise 17 der Auswerteeinheit 15 werden als Oszillator betrieben. Die Resonanzfrequenz hängt wiederum von der Deformation der Welle 01 ab. Durch die zweifache Ausführung der Schwingkreise 02 auf der Welle 01 kann eine Temperaturkompensation im entsprechenden Auswerteverfahren implementiert werden. Des Weiteren kann ein Driften der Kennwerte durch Alterung oder ähnliche Effekte kompensiert werden, was entsprechend im Auswerteverfahren implementiert werden kann.

Bezugszeichenliste

01 - Welle
02 - Schwingkreis auf der Welle
03 - Isolationsschicht
04 - kapazitive Leiterschicht
05 - Strukturierung der kapazitiven Leiterschicht
06 - Dielektrikum-Schicht
07 - Schicht mit hoher Permeabilität und geringer elektrischer Leitfähigkeit
08 - induktive Leiterschicht
09 - Strukturierung der induktiven Leiterschicht
10 - Kontaktierung
11 - Widerstand des Schwingkreises auf der Welle
12 - Kapazität des Schwingkreises auf der Welle
13 - Spule des Schwingkreises auf der Welle
14 - Spule der Auswerteeinheit
15 - Auswerteeinheit
16 - -
17 - Schwingkreis der Auswerteeinheit
18 - -
19 - Kapazität der Auswerteeinheit

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erfassung eines in eine Welle (01) eingeleiteten Drehmoments umfassend:
   - mindestens einen, auf der Welle (01) angeordneten, passiven elektrischen Schwingkreis (02) mit einer sich in Abhängigkeit des Drehmoments ändernden Resonanzfrequenz;
   - sowie eine in Bezug zur Welle (01) feststehende Auswerteeinheit (15) mit einer Spule (14), welche mit dem Schwingkreis (02) induktiv gekoppelt ist,

   dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Komponente des passiven elektrischen Schwingkreis (02) als mehrschichtige Beschichtung auf der Welle (01) realisiert ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zur Ausbildung des passiven elektrischen Schwingkreises (02) dienende Beschichtung folgende Schichten aufweist:
   - eine kapazitive Leiterschicht (04) mit einer Strukturierung (05);
   - eine der kapazitiven Leiterschicht (04) nachfolgende Dielektrikum-Schicht (06), welche sich teilweise auch in Hohlräume der Strukturierung (05) der kapazitiven Leiterschicht (04) erstreckt;
   - eine induktive Leiterschicht (08) mit einer Strukturierung (09);
   - eine ohmsche Leiterschicht;
   - Isolationsschichten (03), welche zwischen den Leiterschichten (04, 08) und auf der Welle (01) angeordnet sind;

   und eine sich radial durch vorgenannten isolierende Schichten erstreckende Kontaktierung (10) zur elektrischen Kontaktierung der Leiterschichten (04, 08).

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beschichtung weiterhin eine Schicht (07) mit hoher Permeabilität und geringer elektrischer Leitfähigkeit aufweist, welche benachbart zur induktiven Leiterschicht (08) und von dieser durch eine Isolationsschicht (03b) getrennt, angeordnet ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die kapazitive Leiterschicht (04) und/oder die induktive Leiterschicht (08) derart ausgeführt ist/sind, dass sich die Kapazität und/oder Induktivität infolge einer mechanischen Krafteinwirkung auf die Welle (01) ändert.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die induktive Leiterschicht (08) eine Strukturierung (09) in Form von die Achse der Welle (01) umlaufender Streifen aufweist, und/oder dass die kapazitive Leiterschicht (04) eine Strukturierung (05) in Form von Streifen aufweist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leiterschichten (04, 08) aus NiCr bestehen.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Isolationsschichten (03) als Plasma-Polymerschicht oder Aluminiumoxidschicht ausgeführt sind.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie zwei gleichartige, auf der Welle (01) angeordnete, passive elektrische Schwingkreise (02) aufweist, wobei jeder Schwingkreis (02) mit jeweils einer Spule (14) der Auswerteeinheit (15) induktiv gekoppelt ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spule (14) der Auswerteeinheit (15) Bestandteil eines zweiten Schwingkreises (17) der Auswerteeinheit (15) ist.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie in ein Tretlager eingebaut ist.

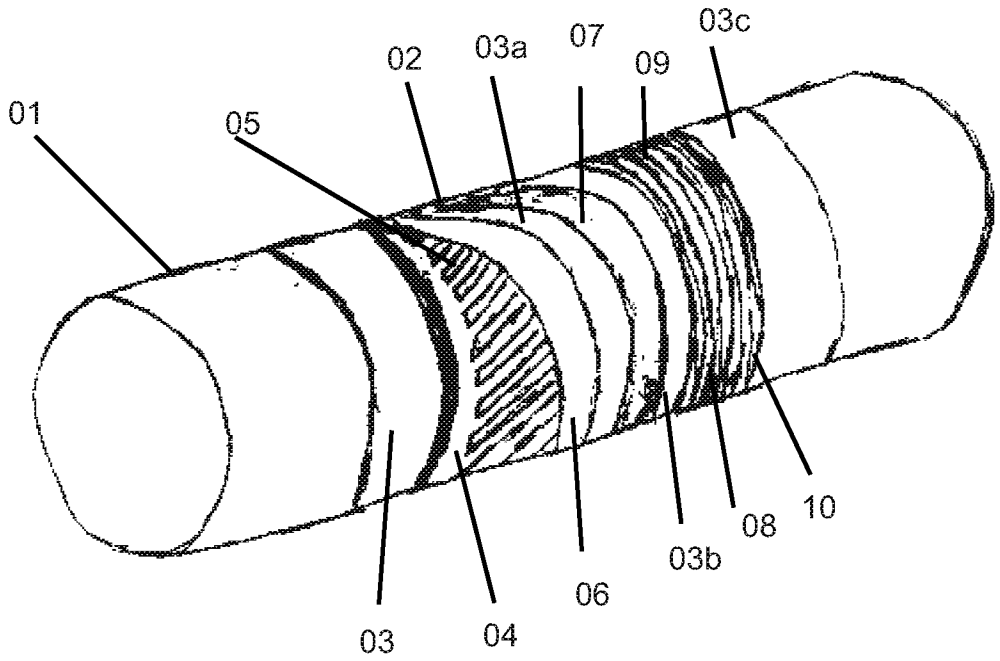

01
05
02
03a
07
09
03c
10
08
03b
06
04
03

Fig. 1

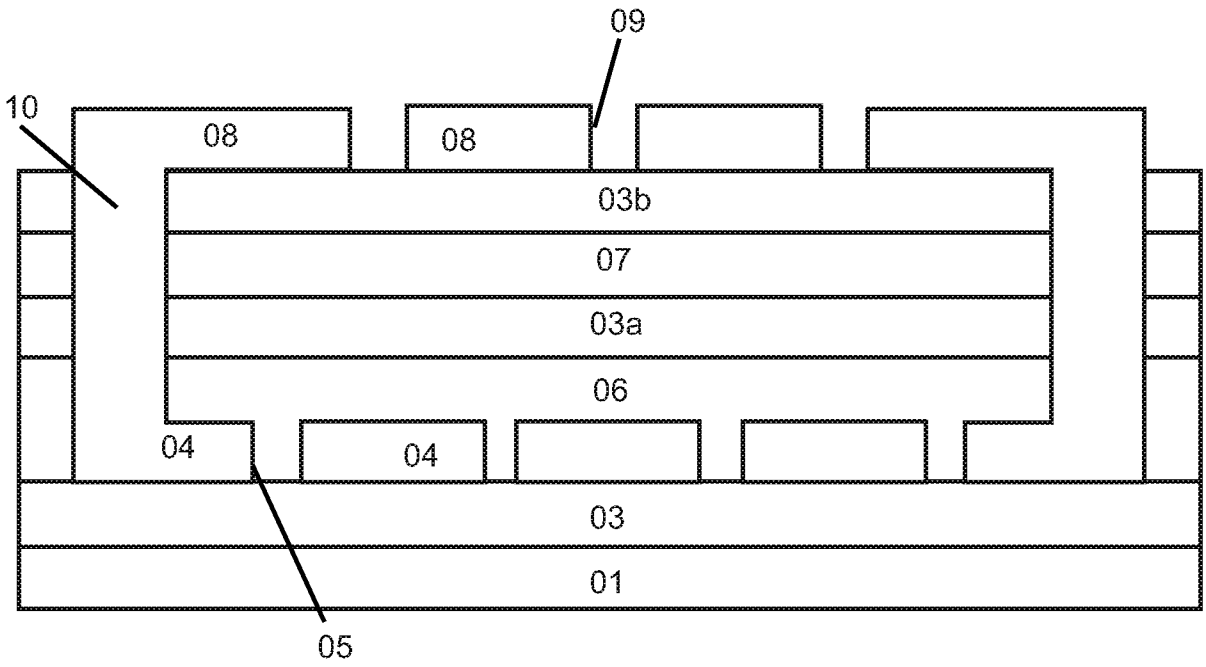

09
10
08
08
03b
07
03a
06
04
04
03
01
05

Fig. 2

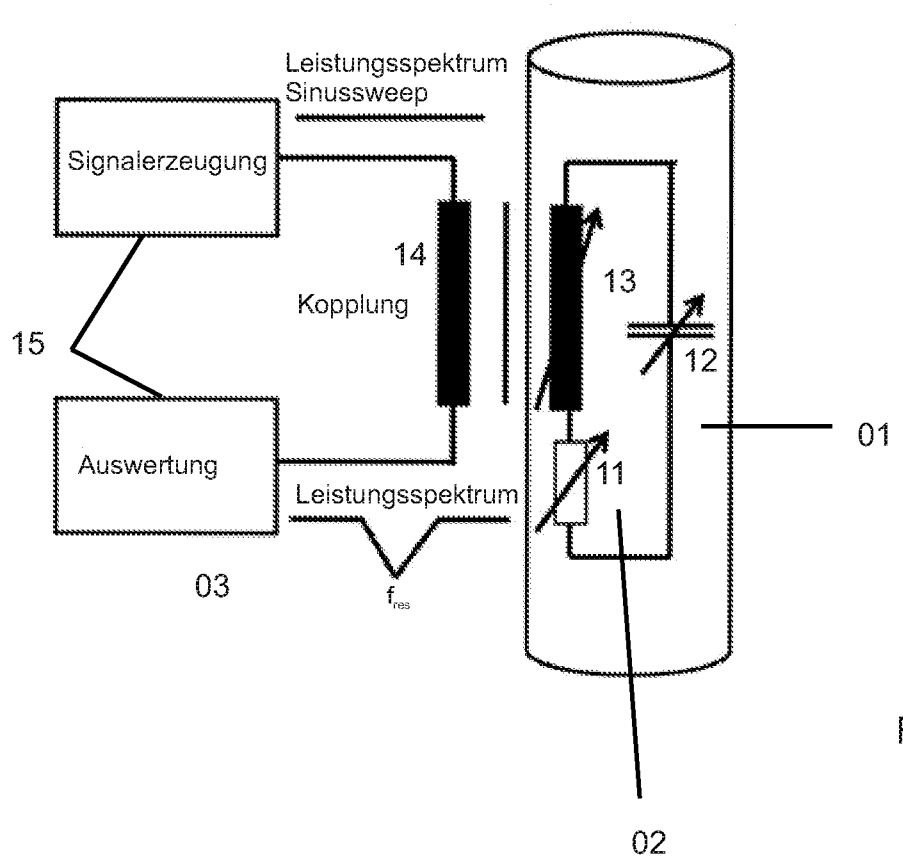

Leistungsspektrum
Sinussweep
Signalerzeugung
14
Kopplung
13
12
15
01
Auswertung
11
Leistungsspektrum
03
f_{res}
02

Fig. 3

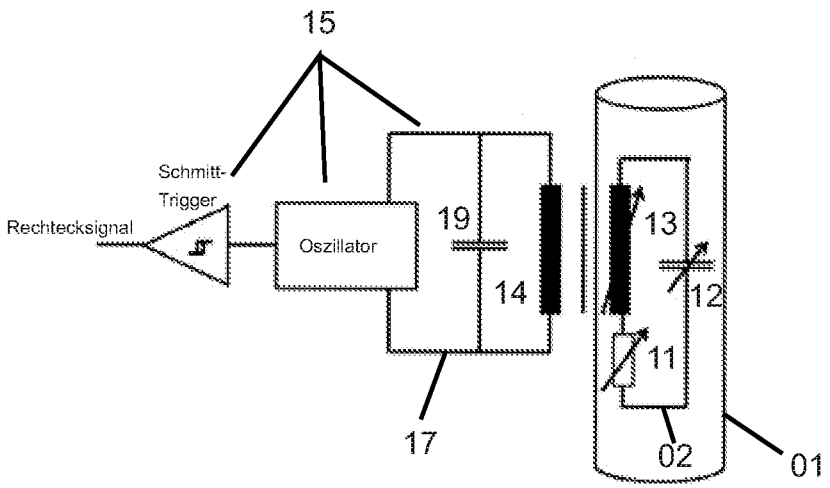

15
Schmitt-
Trigger
Rechtecksignal
Oszillator
19
14
13
12
11
17
02
01

Fig. 4

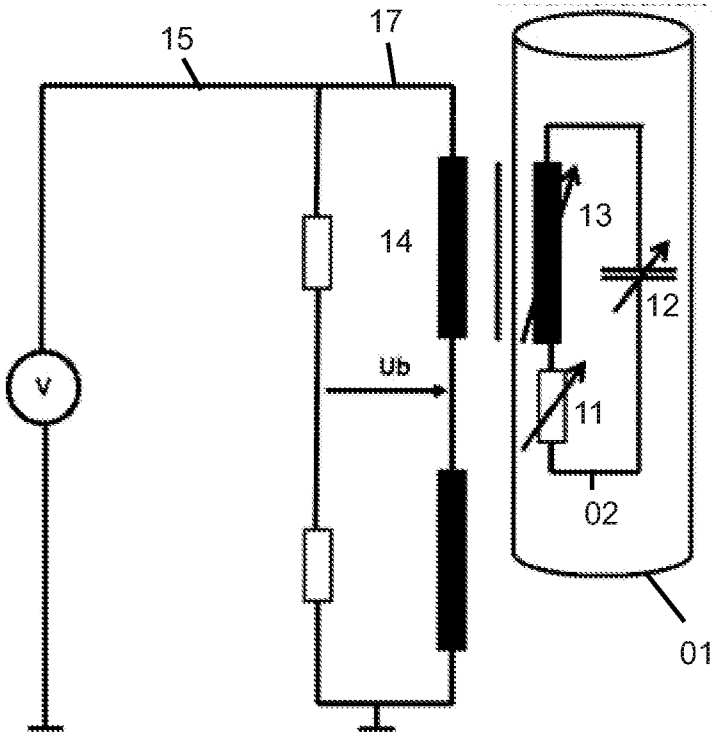


Fig. 5

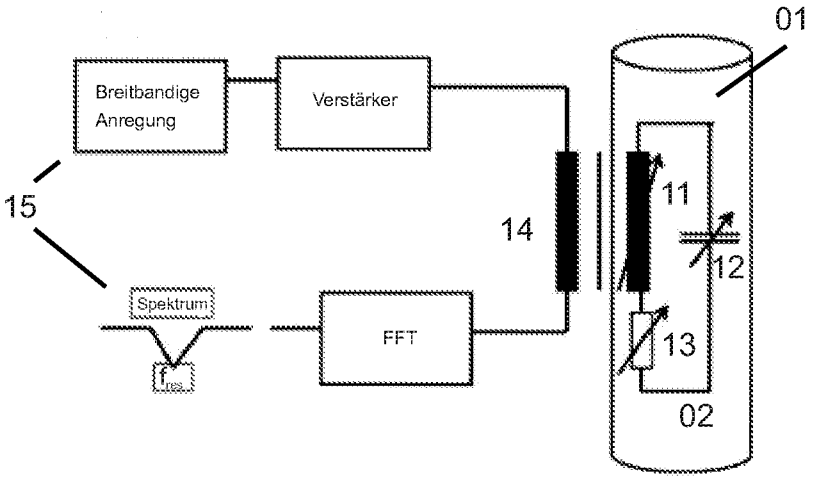


Fig. 6

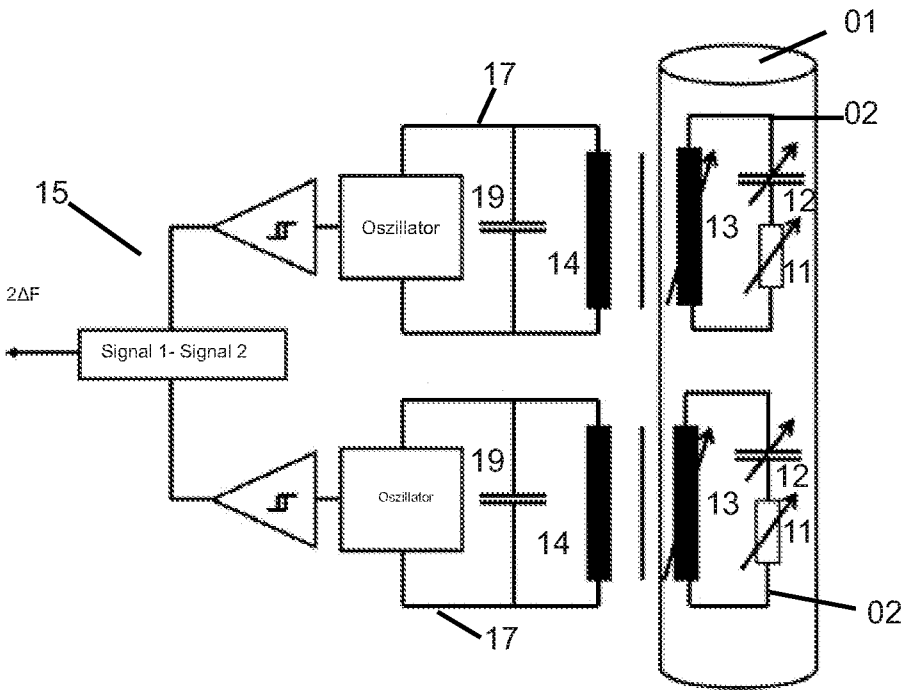


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2014/200292

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01L3/10 G01L1/14
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

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 practicable, 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	EP 1 132 727 A1 (TOKIN CORP [JP] NEC TOKIN CORP [JP]) 12 September 2001 (2001-09-12) Zusammenfassung figures 2,5,6 paragraphs [0001], [0011], [0012], [0019] - [0033], [0036], [0038], [0040], [0041], [0046] - [0053]	1-10
A	GB 2 195 183 A (FORD MOTOR CO FORD MOTOR CO [GB]) 30 March 1988 (1988-03-30) cited in the application the whole document	1-10
A	DE 10 2009 027997 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 27 January 2011 (2011-01-27) cited in the application 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 application or patent 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
17 October 2014	28/10/2014

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	Schambach, Philip

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/DE2014/200292

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1132727 A1	12-09-2001	CN 1337004 A	20-02-2002
		DE 60016164 D1	30-12-2004
		DE 60016164 T2	03-11-2005
		EP 1132727 A1	12-09-2001
		JP 2001153737 A	08-06-2001
		KR 100424026 B1	22-03-2004
		TW 442650 B	23-06-2001
		US 6601462 B1	05-08-2003
		WO 0120285 A1	22-03-2001
GB 2195183 A	30-03-1988	NONE	
DE 102009027997 A1	27-01-2011	CN 101963514 A	02-02-2011
		DE 102009027997 A1	27-01-2011
		FR 2948452 A1	28-01-2011

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2014/200292

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01L3/10 G01L1/14
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
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.
X	EP 1 132 727 A1 (TOKIN CORP [JP] NEC TOKIN CORP [JP]) 12. September 2001 (2001-09-12) Zusammenfassung Abbildungen 2,5,6 Absätze [0001], [0011], [0012], [0019] - [0033], [0036], [0038], [0040], [0041], [0046] - [0053]	1-10
A	GB 2 195 183 A (FORD MOTOR CO FORD MOTOR CO [GB]) 30. März 1988 (1988-03-30) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-10
A	DE 10 2009 027997 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 27. Januar 2011 (2011-01-27) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-10

☐ 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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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
17. Oktober 2014	28/10/2014

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	Schambach, Philip

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2014/200292

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1132727 A1	12-09-2001	CN 1337004 A	20-02-2002
		DE 60016164 D1	30-12-2004
		DE 60016164 T2	03-11-2005
		EP 1132727 A1	12-09-2001
		JP 2001153737 A	08-06-2001
		KR 100424026 B1	22-03-2004
		TW 442650 B	23-06-2001
		US 6601462 B1	05-08-2003
		WO 0120285 A1	22-03-2001
GB 2195183 A	30-03-1988	KEINE	
DE 102009027997 A1	27-01-2011	CN 101963514 A	02-02-2011
		DE 102009027997 A1	27-01-2011
		FR 2948452 A1	28-01-2011