(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
26. Februar 2015 (26.02.2015)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/024915 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 15/24 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/067599

(22) Internationales Anmeldedatum:
18. August 2014 (18.08.2014)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2013 216 722.9
22. August 2013 (22.08.2013) DE

(71) Anmelder: **LEONI KABEL HOLDING GMBH** [DE/DE]; Marienstraße 7, 90402 Nürnberg (DE).

(72) Erfinder: **FOSS, Wolfgang**; Am Festplatz 21, 76709 Kronau (DE). **KUFNER, Maria**; Pommernstr. 32, 96242 Sonnefeld (DE). **KUFNER, Stefan**; Pommernstr. 32, 96242 Sonnefeld (DE). **RADEV, Angel**; 6, Rue du Muhlbruchel, F-67200 Strassbourg (FR). **ROSS, Benjamin**; Bahnhofstraße 112, 76356 Weingarten (Baden) (DE).

(74) Anwalt: **FDST PATENTANWÄLTE**; Nordostpark 16, 90411 Nürnberg (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, DE, 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**: SENSOR UNIT

(54) **Bezeichnung** : Sensorbaueinheit

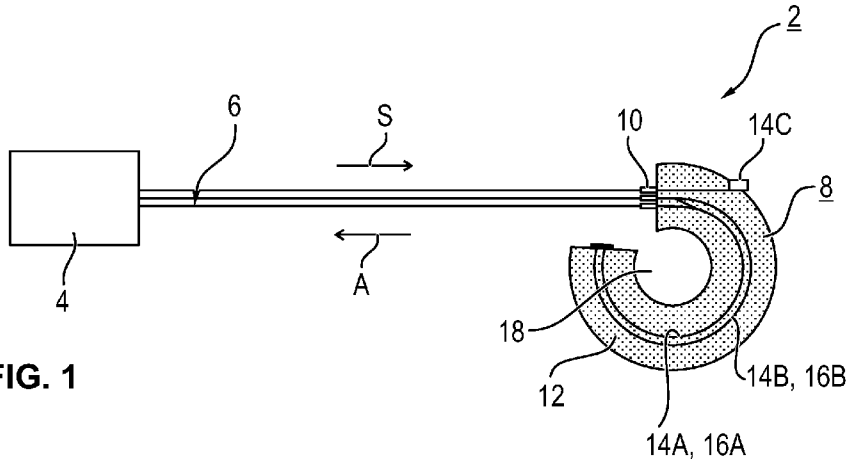


FIG. 1

(57) **Abstract**: The sensor unit (2) has a sensor element (8) which has a substrate and a plurality of optical components (16A, B, C, D; 26), which are integrated into the substrate (12), for forming a plurality of integrated optical sensors (14A, B, C, D). The optical sensors (14A, B, C, D) are an optical current sensor (14A) based on the Faraday effect, an optical voltage sensor (14C) based on the Pockel effect, an optical strain sensor (14B) and/or a wavelength sensor (14D). Response signals (A) from the individual sensors (14A, B, C, D) are evaluated in an evaluation unit (4), wherein the response signals (A) from the expansion sensor (14B) and/or from the wavelength sensor (14D) are preferably used for evaluating the response signals (A) from the other sensors (14, 14C). Fig.

(57) **Zusammenfassung**: Die Sensor-Baueinheit (2) weist ein Sensorelement (8), welches ein Substrat

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/024915 A1

und mehrere in das Substrat (12) integrierte optische Komponenten (16A,B,C,D;26) zur Ausbildung von mehreren integrierten optischen Sensoren (14A,B,C,D) auf- weist. Bei den optischen Sensoren (14A,B,C,D) handelt es sich um einen opti- schen Stromsensor (14A) auf Basis des Faraday-Effekts, einem optischen Span- nungssensors (14C) auf Basis des Pockels-Effekts, einem optischen Dehnungs- sensor (14B) und/oder einen Wellenlängensensor (14D). Antwortsignale (A) der einzelnen Sensoren (14A,B,C,D) werden in einer Auswer- teeinheit (4) ausgewertet, wobei vorzugsweise die Antwortsignale (A) des Deh- nungssensors (14B) und/oder des Wellenlängensensors (14D) für die Auswertung der Antwortsignale (A) der weiteren Sensoren (14,14C) herangezogen werden. Fig.

Beschreibung

Sensorbaueinheit

Die Erfindung betrifft eine Sensor-Baueinheit mit dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der EP 0 477 415 B1 ist eine derartige Sensorbaueinheit zu entnehmen, welches ein optisches Sensorelement zur Messung des elektrischen Stroms unter Ausnutzung des Faradays-Effekts aufweist. Hierzu ist ein in einem Substrat ausgebildeter optischer Wellenleiter umlaufend um eine zentrale Ausnehmung geführt. Durch die zentrale Ausnehmung wird der Leiter durchgeführt, durch den der zu messende Strom fließt.

Die Verwendung von optischen Sensoren zur Überwachung beispielsweise von elektrischen oder sonstigen Geräten ist grundsätzlich bekannt. Hierbei wird grundsätzlich ausgenutzt, dass eine zu messende Größe, wie beispielsweise der elektrische Strom, die elektrische Spannung, oder aber auch eine Umgebungstemperatur die Lichtausbreitung innerhalb eines speziell ausgebildeten Sensorelements beeinflusst und ein charakteristisches Antwortsignal generiert.

Dabei sind neben dem bereits erwähnten Stromsensor aufbauend auf dem Faraday-Effekt auch ein Spannungssensor basierend auf dem sogenannten Pockels-Effekt bekannt. Der Einfluss einer Temperatur kann mittels eines Bragg-Gitters ermittelt werden.

Aus der US 2004/0024937 A1 ist ein elektrischer Leistungskonverter beschrieben, welcher beispielsweise in einem Schaltschrank angeordnet ist, und welcher über mehrere derartige optische Sensoren überwacht wird, die entsprechend an geeigneten Stellen positioniert sind.

Aus der US 5,545,080 B1 ist ebenfalls eine Sensoranordnung mit mehreren optischen Sensoren zu entnehmen. Für die unterschiedlichen Sensorelemente wer-

den dabei jeweils speziell geeignete Kristalle mit einer geeigneten Dicke eingesetzt, welche faseroptisch angebunden sind.

Weiterhin ist aus der DE 101 40 482 A1 eine optische Sensoreinrichtung zu entnehmen, bei der dem eigentlichen optischen Sensorelement, beispielsweise einem Stromsensor ein Kompensationselement, insbesondere in Form eines Bragg-Gitters, zugeordnet ist. Ein eingespeistes Messsignal wird durch das Kompensationselement in Abhängigkeit einer äußeren Störgröße, wie beispielsweise Temperatur oder Vibration, beeinflusst. Das derart beeinflusste Messsignal durchläuft anschließend den eigentlichen Sensor, so dass die von außen einwirkende Störgröße für den eigentlich zu messenden Effekt kompensiert ist.

Die bekannten optischen Sensoranordnungen weisen häufig einen aufwendigen und komplexen Aufbau auf.

Ausgehend hiervon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Sensor-Baueinheit anzugeben.

Die Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst durch eine Sensorbaueinheit mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Bevorzugte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen niedergelegt.

Die Sensor-Baueinheit umfasst dabei ein Sensorelement mit einem Substrat, in das zumindest eine optische Komponente zur Ausbildung eines ersten optischen Sensors integriert ist, welcher zur Messung einer elektrischen Größe, insbesondere des elektrischen Stroms ausgebildet ist. Bei dieser zumindest einen integrierten optischen Komponente handelt es sich dabei um zumindest einen integrierten Messwellenleiter, welcher zur Ausbildung des integrierten optischen Sensors dient, der also zur Messung einer elektrischen Größe ausgebildet ist. Unter Messwellenleiter wird hierbei insbesondere verstanden, dass die zu messende insbesondere elektrische Größe im Bereich des Messwellenleiters die Ausbreitung eines in den Wellenleiter eingespeisten optischen Sensorsignals beeinflusst.

Unter integrierte optische Komponente wird vorliegend verstanden, dass die Komponente in das Substrat eingebettet ist. Unter integriert wird dabei auch verstanden, wenn eine nicht-faseroptische Komponente an das Substrat unmittelbar, also ohne Zwischenschaltung einer optischen Faser, durch ein geeignetes Bonding-Verfahren direkt angekoppelt ist.

Unter integriert wird in bevorzugter Variante verstanden, dass die Komponenten, insbesondere Messwellenleiter, durch eine Modifikation des Substrats selbst ausgebildet sind, zweckdienlicherweise durch einen an sich bekannten Ionendiffusionsprozess.

Auf dem Substrat ist neben diesem integrierten Messwellenleiter für die Ausbildung eines ersten Sensors zumindest eine und vorzugsweise sind mehrere weitere optischen Komponenten integriert, die zur Ausbildung zumindest eines weiteren integrierten optischen Sensors ausgebildet sind. Bei diesen weiteren optischen Komponenten handelt es sich dabei zweckdienlicherweise um weitere Wellenleiter, insbesondere Messwellenleiter, die zur Messung einer weiteren, in der Regel physikalischen Größe dienen.

Unter einem integrierten optischen Sensor wird allgemein verstanden, dass zumindest einige für die Funktionalität des Sensors erforderliche Komponenten in das Substrat unmittelbar integriert sind. Zweckdienlicherweise sind sämtliche für die Funktionsweise des Sensors erforderlichen Komponenten in das Substrat integriert. Insgesamt sind vorzugsweise sämtliche für die einzelnen ausgebildeten optischen Sensoren erforderlichen Komponenten Bestandteil des einen gemeinsamen Sensorelements.

Die integrierten optischen Sensoren sind dabei ausgewählt aus einem optischen Stromsensor auf Basis des Faraday-Effekts zur Messung eines elektrischen Stroms in einem stromdurchflossenen Leiter. Ein derartiges Messprinzip ist beispielsweise aus der eingangs genannten EP 0 477 415 B1 zu entnehmen. Weiterhin sind alternativ oder in Kombination ein optischer Spannungssensor, ein optischer Dehnungssensor sowie ein Wellenlängensensor integriert. Der optische

Spannungssensor ist dabei auf Basis des Pockels-Effekts zur Messung einer elektrischen Spannung, der optische Dehnungssensor zur Messung einer insbesondere thermisch bedingten Ausdehnung und der Wellenlängensensor zur Messung einer optischen Wellenlänge des eingespeisten Sensorsignals ausgebildet.

Die optische Spannungsmessung auf Basis des Pockels-Effekts ist grundsätzlich ebenfalls bekannt und beruht auf der Verwendung von speziellen doppelbrechenden Kristallen, bei denen sich die Doppelbrechung bei Auftreten eines elektrischen Feldes verändert. Diese Veränderung ist dabei typischerweise linear proportional zum elektrischen Feld.

Der optische Dehnungssensor beruht auf dem Effekt einer durch eine Ausdehnung des Substrats bedingten optischen Weglängenänderung, welche in geeigneter Weise erfasst wird. Durch die unmittelbare Integration des Wellenleiters (Messwellenleiter) in das Substrat wird daher eine thermisch bedingte Ausdehnung unmittelbar erfasst.

Der Wellenlängensensor beruht grundsätzlich auf der Integration einer wellenlängen-sensitiven Komponente in das Substrat, beispielsweise ein Gitter, dessen Gitterperiode auf eine definierte Wellenlänge des eingespeisten Sensorsignals abgestimmt ist, so dass bei einer Variation der Wellenlänge diese erkannt werden kann. Mit Hilfe des Wellenlängensensors ist es dabei insbesondere möglich, das eingespeiste Sensorsignal im Hinblick auf eine Drift im Laufe des Betriebs zu überwachen.

Für jeden Sensor wird dabei in das Substrat ein Sensorsignal in geeigneter Weise eingekoppelt, welches durch den Einfluss der zu messenden Größe durch die jeweilige integrierte optische Komponente des jeweiligen Sensors zu der zu messenden Größe verändert wird und ein hierdurch generiertes optisches Antwortsignal wird mit Hilfe einer Auswerteeinheit ausgewertet. Bei der zu messenden Größe handelt es sich um elektrischen Strom, um elektrische Spannung, um Temperatur oder auch um die Wellenlänge des Messsignals. Das Antwortsignal wird allgemein wieder aus dem Sensorelement ausgekoppelt und an die Auswerteeinheit übermit-

telt. Die Auswerteeinheit gibt zweckdienlicherweise zugleich auch das eingespeiste Sensorsignal vor. Sensorsignal und Antwortsignal werden vorzugsweise zwischen dem Sensorelement und der Auswerteeinheit faseroptisch übertragen. Eine entsprechende optische Übertragungsfaser ist daher an dem Träger zum Ein- und/oder Auskoppeln des Sensorsignals bzw. des Antwortsignals angekoppelt. Die Ein- und Auskoppelstellen in bzw. aus dem Sensorelement für das Sensor- sowie Antwortsignal sind dabei gemäß einer ersten Ausführungsvariante an verschiedenen Positionen und gemäß einer zweiten Ausführungsvariante an der identischen gleichen Position angeordnet, so dass bei der zweiten Variante lediglich auch nur eine Faser sowohl für die Einspeisung des Sensorsignals als auch für die Rückführung des Antwortsignals vorgesehen ist.

Durch die Mehrfachintegration von verschiedenen optischen Sensoren, die zur Messung von unterschiedlichen insbesondere physikalischen Größen ausgebildet sind, auf nur einem Träger-Substrat wird insgesamt eine hohe integrierte Sensoranordnung geschaffen, welche sehr kompakt und Platz sparend ausgebildet ist.

Zweckdienlicherweise werden dabei solche Antwortsignale, die für die Sensor-Baueinheit inhärent sind und quasi Eigenschaften oder Änderungen der Baueinheit und damit des Mess-Aufbaus charakterisieren, für die Auswertung der Antwortsignale der optischen Sensoren zur Messung der elektrischen Größen herangezogen. Da für eine zuverlässige Messung die genaue Kenntnis der eingesetzten Wellenlänge sowie der optischen Weglänge und damit der Phasenbeziehungen von entscheidender Bedeutung ist, wird durch diesen integriert-optischen Aufbau eine Sensor-Baueinheit zur Verfügung gestellt, welche für eine zuverlässige, und effektive und genaue Messung beispielsweise von Strom- und/oder Spannungswerten besonders geeignet ist.

Es ist daher in bevorzugter Ausgestaltung eine Auswerteeinheit vorgesehen, die die optischen Antwortsignale des Stromsensors und/oder Spannungssensors in Abhängigkeit der optischen Antwortsignale des Dehnungssensors und/oder des Wellenlängensensors ermittelt.

Im Hinblick auf eine weitergehende Integration und kompakte Ausgestaltung ist vorzugsweise weiterhin ein Messwellenleiter gleichzeitig für mehrere verschiedene Sensoren verwendet. Über einen gemeinsamen Messwellenleiter werden daher unterschiedliche Messgrößen ermittelt. Dadurch ist der Fertigungsaufwand reduziert. Weiterhin ist in zweckdienlicher Weise vorgesehen, dass ein integrierter Lichtwellenleiter durch einen integrierten Verteiler, insbesondere einen integrierten Y-Verteiler, auf mehrere Messwellenleiter aufgeteilt wird. Hierdurch besteht daher die Möglichkeit, mit nur lediglich einem eingespeisten Sensorsignal dieses parallel für mehrere integrierte Sensoren zu verwenden.

Der optische Dehnungssensor bildet zweckdienlicherweise ein Michelson-Interferometer aus und weist hierzu zwei in das Substrat integrierte Messwellenleiter auf, die als Wellenleiterarme bezeichnet sind. Die beiden Wellenleiterarme weisen dabei zur Ausbildung des Michelson-Interferometers unterschiedliche optische Weglängen auf. Ausgewertet wird ein Laufzeitunterschied des aufgeteilten optischen eingespeisten Sensorsignals.

Zur Ausbildung der unterschiedlichen optischen Wellenlängen sind die Wellenleiterarme dabei zweckdienlicherweise gebogen und weisen insbesondere unterschiedliche Biegeradien auf. Durch die gebogene Ausgestaltung wird die Grundgeometrie der Ausgestaltung des Stromsensors aufgenommen, bei dem grundsätzlich ein Messwellenleiter (teil-)kreisförmig ausgebildet ist.

In bevorzugter Ausgestaltung ist dabei weiterhin einer der Wellenarme zugleich durch einen Messwellenleiter für einen der weiteren Sensoren, insbesondere für den Stromsensor, ausgebildet. Der Wellenleiterarm weist daher eine Doppelfunktion zur Erfassung von zwei unterschiedlichen Größen auf. Von besonderem Vorteil ist, wenn das ausgewertete Antwortsignal des Dehnungssensors für die Auswertung des Antwortsignals des Stromsensors herangezogen wird. Da hier zumindest eine teilweise Identität des Messwellenleiters besteht, fließen daher unmittelbar die Eigenschaften dieses Messwellenleiters in die Auswertung des Antwortsignals für den Stromsensor ein.

Der Wellenlängensensor weist zweckdienlicherweise zur Erkennung von Änderungen der Wellenlänge des eingespeisten Sensorsignals ein Bragg-Gitter und/oder einen Resonatorring oder auch einen Richtkoppler auf.

Mehrere der optischen Sensoren sind dabei vorzugsweise auf einem gemeinsamen Wafer integriert. Sie bestehen also nicht aus verschiedenen einzelnen zusammengesetzten Substrat-Teilen. Insbesondere werden sie auf einem gemeinsamen beispielsweise 6-Zoll-Wafer integriert. Durch die Integration auf einem gemeinsamen Wafer wird gewährleistet, dass das Substrat insgesamt möglichst homogen ist.

Zumindest ein Teil, vorzugsweise zumindest ein Großteil oder auch alle der optischen Komponenten der Sensoren sind dabei als in den Wafer integrierte Bauelemente ausgebildet. Hierunter wird verstanden, dass die optischen Bauelemente durch spezielle Präparation des Wafers auf diesem selber ausgebildet sind.

Als Substrat für den Wafer wird dabei vorzugsweise ein Glas, insbesondere ein geeignetes Spezialglas herangezogen, wie es beispielsweise aus der EP 0 477 415 A1 zu entnehmen ist. Insbesondere wird ein von der Firma Schott im Handel angebotenes Spezialglas mit der Bezeichnung BGG 31 verwendet. Das Substrat hat typischerweise eine Dicke im Bereich von einigen Millimetern, beispielsweise 1 bis 5 mm, vorzugsweise kleiner 3mm und insbesondere 1,5mm.

Dieses Glas weist zweckdienlicherweise keine oder allenfalls eine geringfügige Doppelbrechung auf. Dies ist besonders wichtig für eine zuverlässige Funktionsweise der eingesetzten Sensoren. Hierzu ist eine besonders kontrollierte Herstellung des Substrats, insbesondere Spezialglas, erforderlich, und zwar derart, dass beim Herstellprozess möglichst keine mechanischen Spannungen in das Substrat eingebracht werden.

In bevorzugter Ausgestaltung wird gezielt zur Ausbildung von optischen Bauelementen mit Doppelbrechung in Teilbereichen des Substrat dieses quasi nachbehandelt. In Teilbereichen ist daher eine doppelbrechende Funktion in das Substrat

integriert. Insbesondere dient dies zur Ausbildung von Lambda-Viertel-Komponenten.

Die integrierten optischen Bauteile sind vorzugsweise mit Hilfe eines Ionenaustauschprozesses in das Substrat eingebracht. Dieser Ionenaustauschprozess ist im Vergleich zu anderen Strukturierungsprozessen sehr schonend und führt beispielsweise nicht zu Spannungen im Substrat, welche zu einer unerwünschten Doppelbrechung führen könnten.

Die integrierten optischen Bauteile können dabei in verschiedenen Ausführungsformen vorliegen, beispielsweise als optische Wellenleiter sowohl in gerader als auch in gekrümmter Form, als polarisations-verändernde optische Elemente, wie das bereits erwähnte Lambda-Viertel-Element. Weiterhin können die integrierten optischen Bauelemente als Ankoppelstellen zur Ein- und Auskopplung von Licht, als verspiegelte Oberfläche, als Endflächen und/oder als optische Gitter ausgebildet sein. All diese Bauelemente werden insbesondere durch einen gezielten Ionendiffusionsprozess und / oder durch weitere lithographische Prozesse erzeugt.

Ein derartiges ergänzendes lithographisches Verfahren ist z.B. die Ätztechnik, bei dem die gewünschten Strukturen durch ein Ätzverfahren – entweder nasschemisch oder auch trocken beispielsweise durch ein reaktives Ionenätzen eingebracht werden. Zusätzlich zum Ätzen wird vorzugsweise die ausgebildete Struktur noch mit einem geeignetem Beschichtungsverfahren behandelt.

So wird beispielsweise zur Erzeugung des Lambda-Viertel-Elements ein durch Ätzen gebildeter Graben direkt über dem eingebrachten Wellenleiter erzeugt, wobei der Graben eine definierte Länge und Tiefe aufweist. Dieser Graben wird bevorzugt noch mit einer optischen Beschichtung versehen, um den gewünschten Lambda-Viertel-Effekt zu erzeugen.

Bei der Ausbildung des optischen Gitters wird dieses bevorzugt ebenfalls durch Ätzen (nasschemisch oder trocken) erzeugt, gegebenenfalls wiederum mit einer

optischen Beschichtung. Über ein solches Ätzverfahren kann die Gitterperiode genau kontrolliert werden.

Alternativ zu dieser integrierten Ausgestaltung dieser optischen Komponenten können diese auch als zusätzliche externe Komponenten realisiert werden, die bevorzugt unmittelbar an das Substrat angekoppelt sind. So kann beispielsweise das Lambda-Viertel-Element als Faserstück oder als Kristallplättchen realisiert werden, welches direkt – ähnlich wie eine Ferrule – an den Wellenleiter angebracht werden kann.

Die Funktionsweise und der Aufbau des optischen Stromsensors sowie auch des optischen Spannungssensors sind im Prinzip bekannt. Zweckdienlicherweise weist der optische Spannungssensor folgende Abfolge auf und besteht vorzugsweise aus dieser Abfolge: Eine Ankoppelstelle für eine polarisationserhaltende Faser (PM-Faser), ein optisches Lambda-Viertel-Element, insbesondere gebildet durch einen speziell präparierten, integrierten Wellenleiterabschnitt, sowie einem Messwellenleiter, der in einem für den Pockels-Effekt geeigneten doppelbrechenden Substrat integriert ist. Bevorzugt ist dieser Messwellenleiter endseitig verspiegelt.

Dieses doppelbrechende Substrat, insbesondere ein geeigneter Kristall, ist dabei zweckdienlicherweise über eine geeignete weitere Ankoppelstelle an dem (Grund-) Substrat angekoppelt. Beispielsweise wird der Kristall mit einer Stirnseite über ein geeignetes Bonding-Verfahren an eine plane Seitenfläche des Substrats angekoppelt, so dass ein gemeinsamer Träger mit zwei verschiedenen Substraten, nämlich ein doppelbrechendes und ein nicht doppelbrechendes gebildet ist.

Beim Bonding-Verfahren, also beispielsweise beim Ankoppeln des Kristalls an das Substrat, werden üblicherweise die flächigen Koppelstellen am Substrat und am Kristall poliert und aneinander beispielsweise durch einen Haftfilm befestigt. In das Substrat sowie in den Kristall sind zuvor bereits die integrierten Wellenleiter ausgebildet. Zum Zusammenführen wird dann ein optischen Signal in den Wellenleiter eingespeist. Die Positionierung der beiden Komponenten zueinander erfolgt unter Auswertung des von der einen in die andere Komponente übermittelten Signals.

Alternativ zu diesem integrierten Aufbau mit dem in den Träger integrierten weiteren Substrat ist ein Aufbau vorgesehen, bei dem das Licht von dem in das Substrat integrierten Wellenleiter vorzugsweise über ein Lambda-Viertel-Element und eine optische-Linse, insbesondere eine sogenannte GRIN-Linse in den doppelbrechenden Kristall eingekoppelt wird. Zweckdienlicherweise ist dieser endseitig wiederum verspiegelt und das reflektierte optische Signal wird als Antwortsignal auf dem Rückweg wieder über die Linse und über das Lambda-Viertel-Element in den im Substrat integrierten Wellenleiter eingekoppelt. Über die optische Linse wird das Signal kollimiert und in den Kristall eingekoppelt. Die optische Linse ist vorzugsweise unmittelbar an dem Substrat des Wafers durch ein Bonding-Verfahren angekoppelt, ohne Zwischenschaltung einer faseroptischen Komponente. Alternativ hierzu ist ein sogenannter Freiraum- Aufbau möglich, bei dem die Linse und der Kristall über eine faseroptische Komponente an das Substrat angebunden sind.

Für das doppelbrechende Substrat wird insbesondere ein Lithiumniobat-Kristall eingesetzt. Anstelle des Lithiumniobat-Kristalls können auch andere spannungsdoppelbrechende Kristalle verwendet werden, insbesondere ADP (Ammoniumdihydrogenphosphat) oder KDP (Kaliumdihydrogenphosphat). Der Spannungssensor beruht auf dem bekannten Pockels-Effekt.

Der Stromsensor nutzt allgemein in an sich bekannter Weise den sogenannten Faraday-Effekt aus. Er weist dabei vorzugsweise folgende Abfolge auf bzw. besteht aus dieser: Eine Ankoppelstelle für eine polarisationserhaltende Faser, ein vorzugsweise integriertes optisches Lambda-Viertel-Element, ein in das Substrat integrierten gekrümmten Wellenleiter sowie vorzugsweise eine verspiegelte Endfläche des Wellenleiters. Das Substrat weist ergänzend eine zentrale, vorzugsweise kreisrunde Ausnehmung aus, durch die der zu messende stromführende elektrische Leiter durchgeführt ist. Hierbei reicht aus, wenn der gekrümmte Wellenleiter den Stromleiter teilweise beispielsweise halbkreisförmig umschließt und das Substrat entsprechend auch nur einen Halbkreisring definiert. Das Substrat ist allgemein als ein Kreisringsegment ausgebildet. Die Außenkontur wird beispielsweise

von dem ursprünglichen Wafer übernommen. Diese kann grundsätzlich auch rechteckig sein.

Der insbesondere als Michelson-Interferometer ausgebildete Dehnungssensor (kurz auch als Michelson-Sensor bezeichnet) dient insbesondere zur Bestimmung der thermischen Ausdehnung und umfasst vorzugsweise eine Kombination von zwei gebogenen Wellenleitern, die bezogen auf den Wafermittelpunkt verschiedene Radien haben und sich längenmäßig damit verschieden stark ausdehnen.

In besonders zweckdienlicher Weise nutzt dabei der als Michelson-Interferometer ausgebildete Dehnungs- oder Temperatursensor einen Wellenleiter eines weiteren Sensors, insbesondere des Stromsensors. Es erfolgt also eine Doppelnutzung von einem der auf dem Substrat integrierten Wellenleiter, der also eine Doppelfunktion hat.

Bevorzugt ist zur Ausbildung des Michelson-Sensors eine zusätzliche Wellenleiterbahn insbesondere konzentrisch zur Wellenleiterbahn des Stromsensors geführt und an eine zusätzliche Faser, insbesondere eine Einmoden-Faser (single Mode, SM-Faser) angekoppelt.

Auf dem Substrat ist vorzugsweise zumindest ein Verzweiger integriert, der die zusätzliche Wellenleiterbahn mit der Wellenleiterbahn des anderen Sensors (Stromsensor) verbindet, vorzugsweise nachfolgend zum Lambda-Viertel Element.

Das Lambda-Viertel-Element kann allgemein als definiertes Stück einer optischen Faser, als ein definiertes kleines Kristallplättchen (doppelbrechend) und in bevorzugter Ausgestaltung als integrierter optischer Wellenleiter mit doppelbrechender Funktion auf dem Substrat ausgebildet sein.

Der insbesondere als Bragg-Sensor ausgebildete Dehnungssensor kann zur Bestimmung der thermischen Ausdehnung herangezogen werden und umfasst vorzugsweise eine Ankoppelstelle für eine insbesondere mono-modigen optische Faser sowie ein in das Substrat integrierten optischen Wellenleiter, in den ein Ober-

flächengitter mit einer definierten Gitterperiode, insbesondere durch einen Ionendiffusionsprozess eingebracht ist.

Das Oberflächengitter ist dabei derart ausgebildet, dass es zu einer Rückreflektion einer ausgewählten Wellenlänge führt, die von der Gitterperiode des Oberflächengitters abhängt. Durch diesen Messaufbau lassen sich Änderungen der optischen Wegstrecke aufgrund beispielsweise von thermisch bedingten Längenänderungen ermitteln. Mit diesem Messaufbau sind grundsätzlich Wellenlängenänderungen erfassbar. Für die Erfassung von Wellenlängenänderungen, beispielsweise zur Erkennung von einer Wellenlängen-Drift der verwendeten optischen Sensorsignale, ist bevorzugt ein zusätzlicher Wellenlängen-Sensor beispielsweise als Resonatorring oder Richtkoppler eingesetzt ist.

Die Sensor-Baueinheit wird insbesondere zur Messung der elektrischen Größen wie Strom und / oder Spannung in einer Leistungs-Anlage, insbesondere einer Stromverteiler-Anlage eingesetzt. Bevorzugt wird die Baueinheit in einer Mittelspannungs-Anlage eingesetzt, in der Ströme im Bereich bis zu einigen hundert Ampere geschaltet werden und Spannungen im Bereich von einigen Kilovolt oder auch einigen zehn Kilovolt anliegen. Mit der Sensor-Baueinheit werden derartige Ströme oder Spannungen gemessen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Diese zeigen jeweils in schematischen Darstellungen:

Fig. 1 eine Sensor-Baueinheit mit einem Träger als sensoraktives Element, welcher faseroptisch an einer Auswerteeinheit angeschlossen ist,
Fig. 2 eine erste Variante eines Sensorelements,
Fig. 3 eine zweite Variante eines Sensorelements,
Fig. 4 eine erste Ausführungsvariante der optischen Komponenten eines Spannungssensors sowie
Fig. 5 eine zweite Ausführungsvariante für die optischen Komponenten eines Spannungssensors.

In den Figuren sind funktionsgleiche Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Eine Sensor-Baueinheit 2 gemäß Fig. 1 umfasst eine gemeinsame Auswerteeinheit 4, welche über mehrere optische Fasern 6, im Ausführungsbeispiel drei optische Fasern 6, mit einem Sensorelement 8 verbunden sind. Jeder optischen Faser ist dabei ein separater Kanal der Auswerteeinheit 4 zugewiesen. Die einzelnen optischen Fasern 6 sind dabei mit Hilfe von Koppelelementen an Ankoppelstellen 10 mit dem Sensorelement 8 verbunden. Insbesondere werden sie mit Hilfe von sogenannten Ferrulen an die Sensoreinheit angekoppelt. Bei den Ferrulen handelt es sich um Röhrchen typischerweise aus Metall, in die die optische Faser 6 konzentrisch einliegt, insbesondre eingeklebt ist.

Das Sensorelement 8 weist ein Substrat 12 als Träger auf und besteht vorzugsweise vollständig aus diesem Träger-Substrat, zumindest sind mehrere Sensoren 14A,B,C in das Substrat 12 integriert. Bei dem Sensorelement 8 bzw. dem Substrat 12 handelt es sich insbesondere um Glas.

Auf dem Substrat 12 sind die unterschiedlichen optischen Sensoren 14A,B,C integriert. Diese dienen zum Messen von unterschiedlichen Messgrößen. Hierzu sind – wie nachfolgend anhand der Fig. 3 bis 5 näher ausgeführt wird – mehrere optische Komponenten in das Substrat 12 integriert, nämlich insbesondere ein erster Messwellenleiter 16A, ein zweiter Messwellenleiter 16B sowie ein dritter Messwellenleiter 16C.

Im Betrieb wird von der Auswerteeinheit 4 für jeden Kanal ein optisches Sensorsignal S über eine jeweilige optische Faser 6A,B,C in einen jeweiligen Messwellenleiter 16A,B,C eingekoppelt. Bei den Sensorsignalen kann es sich hierbei um unterschiedliche oder auch um gleiche Sensorsignale handeln. Für die einzelnen Kanäle weist die Auswerteeinheit dabei bevorzugt verschiedene Lichtquellen zur Erzeugung des jeweiligen optischen Sensorsignals auf. Alternativ kann auch eine Lichtquelle für mehrere Kanäle gemeinsam vorgesehen sein. Als Sensorsignal wird üblicherweise ein gepulstes Lichtsignal beispielsweise mit einer Frequenz im

MHz-Bereich eingesetzt. Als Lichtquelle wird bevorzugt eine Laserdiode verwendet, die ein Sensorsignal S mit einer Wellenlänge im IR-Bereich (von etwa 800 nm bis 1700 nm), insbesondere im Bereich von etwa 830nm erzeugt.

Die einzelnen Messwellenleiter 16A,B,C sind zueinander unterschiedlich ausgebildet und beeinflussen das eingespeiste Sensorsignal S in unterschiedlicher Weise. Im Ausführungsbeispiel werden die Sensorsignale S jeweils zurückgeworfen und über die gleiche optische Wegstrecke wieder als Antwortsignal A der Auswerteeinheit 4 zurück übermittelt. In dieser erfolgt die Auswertung der verschiedenen Antwortsignale A der einzelnen Sensoren 14A,B,C. Jedem Sensor 14A,B,C ist daher ein eigener Auswertekanal zugewiesen.

Bei dem Substrat 12 handelt es sich um ein insbesondere Kreisring-Segment, welches sich vorzugsweise zumindest etwa über 180° erstreckt und im Ausführungsbeispiel sich beispielsweise über etwa 270° bis 300° erstreckt. Das Substrat 12 ist daher nach Art eines Kreisrings um eine zentrale Ausnehmung 18 herum ausgebildet. Das Substrat 12 ist aus einem Wafer ausgebildet, welcher insbesondere einen Durchmesser von 6 Zoll aufweist. Entsprechend der kreisringförmigen Ausgestaltung verlaufen zumindest der erste und der zweite Messwellenleiter 16A,16B kreisringförmig. Sie weisen dabei einen Wellenleiterradius im Bereich von mehreren 10 Millimetern und beispielsweise von maximal 70 mm auf. Der maximale Innenradius der zentralen Ausnehmung 18 liegt beispielsweise bei 50 bis 60 mm. Die beiden Messwellenleiter 16A,16B verlaufen insbesondere konzentrisch zu einem gemeinsamen Kreismittelpunkt. Die optische Weglänge insbesondere der ersten und zweiten Messwellenleiter16A,16B liegt bei einigen 100 Millimetern, und beträgt beispielsweise bis zu etwa 450 bis 500 mm.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsvariante ist das Sensorelement 8 mit einem integrierten optischen Stromsensor 14A sowie mit einem integrierten optischen Dehnungssensor 16B ausgebildet. Der Dehnungssensor dient zur Messung insbesondere einer thermischen Ausdehnung des Sensorelements 8 selbst und ist insbesondere nach Art eines Michelson-Interferometers ausgebildet. Hierzu weist der Dehnungssensor zwei Wellenleiterarme 21A, 21B auf, die durch den zweiten

Messwellenleiter 16B sowie abschnittsweise durch den ersten Messwellenleiter 16A gebildet sind.

Der erste Messwellenleiter 16A dient zur Ausbildung des Stromsensors 14A. Das Sensorsignal S wird über eine erste Ankoppelstelle 10A in den ersten Messwellenleiter 16A und ein weiteres oder das gleiche Sensorsignal S über eine zweite Ankoppelstelle 10B in den zweiten Messwellenleiter 16B eingekoppelt. Die Koppelstellen sind beispielsweise als sogenannte Ferrulen ausgebildet. Über eine als Y-Verteiler 20 ausgebildete Verzweigung 20 wird das eine Sensorsignal S aufgeteilt und vom zweiten Messwellenleiter 16B parallel auch in den ersten Messwellenleiter 16A eingespeist. Hierdurch sind die beiden Wellenleiterarme 21A,21B des Michelson-Interferometers gebildet. Am Ende der beiden Messwellenleiter 16A,16B ist eine stirnseitige Endfläche 22 des Substrats 12 zur Ausbildung eines Spiegels 24 geeignet präpariert.

Zur Ausbildung des Stromsensors 14A wird als optische Faser 6 vorzugsweise eine polarisationserhaltende Faser (PM-Faser) 6A über die als Ferrule ausgebildete Ankoppelstelle 10A an das Substrat 12 an den kreisförmig geführten Messwellenleiter 16A angekoppelt. Nachfolgend zur Ankoppelstelle 16A ist im Substrat 12A ein Lambda-Viertel-Element 26 ausgebildet, insbesondere durch die Integration eines geeigneten doppelbrechenden Wellenleiterabschnitts. Bis auf diese speziellen Teilbereiche, die durch eine spezielle Bearbeitung, nämlich durch Ionendiffusion doppelbrechend ausgebildet sind, ist das Substrat 12 frei von einer Doppelbrechung, was für die angestrebten sensorischen Eigenschaften insbesondere für den Stromsensor 14A gewünscht und erforderlich ist.

Über das Lambda-Viertel-Element 26 wird das eingekoppelte Sensorsignal S, also das eingekoppelte Licht, in zirkular polarisiertes Licht umgewandelt. Das reflektierte und zurückgeworfene Licht wird anschließend wiederum durch das Lambda-Viertel-Element 26 in linear polarisiertes Licht – wie das eingekoppelte Sensorsignal S – umgewandelt.

Während des Betriebs ist durch die zentrale Ausnehmung 18 ein hier nicht näher dargestellter stromführender Leiter geführt. Die Strommessung basiert auf dem an sich bekannten Faraday-Effekt, bei dem durch den stromdurchflossenen Leiter das in dem ersten Messwellenleiter 16A sich ausbreitende Licht in definierter Weise beeinflusst wird, welches später durch Auswertung des Antwortsignals A in der Auswerteeinheit 4 zur Ermittlung eines Stromwerts ausgewertet wird.

Bei der Ausführungsvariante gemäß der Fig. 3 ist wiederum der Stromsensor 14A ausgebildet. Weiterhin ist auch hier der Dehnungssensor 16B mit dem Michelson-Interferometer mit zwei Wellenleiterarmen 21A,B ausgebildet. In dieser Ausführungsvariante teilt sich der Dehnungssensor 14B jedoch keinen Messwellenleiter 16A mit einem anderen Sensor 14A. Auch erfolgt die Einkopplung der Sensorsignale S an verschiedenen Positionen des Substrats 12. Hierzu ist insbesondere eine Einkerbung 28 im Substrat 12 vorgesehen. Am Ende der beiden Wellenleiterarme 21A,B ist eine weitere Einkerbung 28 ausgebildet, an der wiederum beispielsweise durch eine Beschichtung der Endfläche 22 ein Spiegel 24 ausgebildet ist.

Im Ausführungsbeispiel der Fig. 3 ist ergänzend ein Spannungssensor 14C ausgebildet. Dieser umfasst – ebenso wie der Stromsensor 14A – eine Ankoppelstelle 10C, bei der mit Hilfe einer Ferrule ebenfalls eine vorzugsweise polarisationserhaltende Faser 6C angekoppelt ist. Nach dem Lamda-Viertel-Element 26 schließt sich noch ein integrierter Wellenleiterabschnitt an, welcher dann als dritter Messwellenleiter 16C in einem doppelbrechenden Kristall 30 als weiteres Substrat weitergeführt ist. An der Stirnendseite des Kristalls 30 ist wieder ein Spiegel 24 ausgebildet, so dass das eingespeiste Sensorsignal S nach Durchlaufen des Kristalls 30 wieder zurückgeworfen wird und das Sensorelement 8 als Antwortsignal verlässt.

Schließlich ist bei der Ausführungsvariante der Fig. 3 noch ein vierter optischer Sensor 14D integriert, welcher als Wellenlängensensor ausgebildet ist und welcher sensitiv auf die Wellenlänge des eingespeisten Sensorsignals S ist. Hierzu weist der Wellenlängensensor einen vierten Messwellenleiter 16D auf sowie er-

gänzend ein Bragg-Gitter 32. Beide Komponenten, zumindest der vierte Messwellenleiter 16D, sind in das Substrat 12 durch einen Ionendiffusionsprozess eingebracht, ggf. in Ergänzung mit weiteren lithographischen Prozessen. So ist beispielsweise das Bragg-Gitter 32 durch einen Ätzprozess mit anschließender Beschichtung ausgebildet. Das Sensorsignal S wird – ähnlich wie auch bei dem Dehnungssensor 14B - über eine vorzugsweise Singlemode-Faser 6D und eine Ferrule als Ankoppelstelle 6D eingekoppelt. Bei dem Sensorsignal S handelt es sich vorzugsweise um das gleiche Sensorsignal S, wie es für den Stromsensor 14A oder den Spannungssensor 14C verwendet ist. Über den Wellenlängensensor kann eine Wellenlängendrift des eingespeisten Sensorsignals detektiert werden.

Der Aufbau des Spannungssensors 14C gemäß der Fig. 3 ist mit seinen wesentlichen optischen Komponenten nochmals in Fig. 4 dargestellt. Hieraus ist zu entnehmen, dass die polarisationserhaltende Faser 6C über die Ankoppelstelle 10C an das Substrat 12 angekoppelt ist und in einem durch Ionendiffusion ausgebildeten integrierten Wellenleiterabschnitt im Substrat 12 weitergeführt wird. Daran schließt sich das Lambda-Viertel-Element 26 an, welches wiederum durch eine weitere Koppelstelle mit dem Kristall 30 gekoppelt ist, in dem dann der Messwellenleiter 16C vorzugsweise wiederum durch einen Ionendiffusionsprozess als integrierter Wellenleiter ausgebildet ist. Der Kristall 30 wird hierbei an das Substrat 12 durch ein an sich bekanntes Bonding-Verfahren angekoppelt.

Im Unterschied hierzu ist gemäß der Fig. 5 eine sogenannte freiraumoptische Ausführungsvariante dargestellt, bei der sich im Unterschied zu der Ausführungsvariante gemäß der Fig. 4 an das Lambda-Viertel-Element 26 zunächst eine optische Linse anschließt, insbesondere eine sogenannte GRIN-Linse 34, über die das Sensorsignal S, also das eingespeiste Licht, kollimiert und in den Kristall 30 eingekoppelt wird. Hierzu ist zwischen der GRIN-Linse 34 und dem Kristall 30 eine weitere Koppelstelle ausgebildet, insbesondere durch ein geeignetes Bonding-Verfahren. Schließlich ist auch hier am Ende des Kristalls 30 ein Spiegel 24 ausgebildet. Die GRIN-Linse 32 ist dabei gemäß einer ersten Variante ebenfalls unmittelbar an dem Substrat 12 durch ein Bonding-Verfahren angekoppelt. Alternativ

kann zwischen Substrat 12 und der GRIN-Linse 34 noch eine optische Faser zwischengekoppelt sein, so dass der Kristall 30 auch entfernt von dem Substrat 12 positioniert werden kann.

Hervorzuheben bei dem Sensorelement 8 ist insbesondere die Integration von mehreren optischen Sensoren14,B,C,D innerhalb des gemeinsamen Sensorelements 8, so dass mit einer einheitlichen Baueinheit mehrere unterschiedliche Größen messtechnisch erfasst werden können. Weiterhin ist von besonderem Vorteil, dass inhärente Eigenschaften des Sensorelements 8, nämlich beispielsweise eine Dehnung, unmittelbar durch den Dehnungssensor 14C erfasst wird. Es wird daher unmittelbar der Zustand des Sensorelements 8 erfasst und in der Auswerteeinheit 4 für die Auswertung der Antwortsignale A der weiteren optischen Sensoren, insbesondere des Stromsensors 14A sowie des Spannungssensors 14C herangezogen.

In ähnlicher Weise wird auch das Antwortsignal A des Wellenlängensensors 16D für die Auswertung der weiteren Antwortsignale A herangezogen. Insbesondere wird hiermit festgestellt, ob die für die Erzeugung des Sensorsignals S verwendete Lichtquelle eine ausreichende Konstanz aufweist oder ob evtl. die Wellenlänge variiert, also eine Wellenlängen-Drift auftritt. Wird eine solche Drift erfasst, wird dies für die Auswertung der anderen Antwortsignale A berücksichtigt

Der Wellenlängensensor 16D kann parallel durch die Verwendung des Bragg-Gitters 32 auch als Dehnungssensor zur Bestimmung der thermischen Ausdehnung herangezogen werden. Für die Bestimmung der Dehnung kann daher sowohl ein derartiges Gitter 32 als auch das beschriebene Michelson-Interferometer-Prinzip herangezogen werden. Das Gitter 32 ist durch einen Ionendiffusionsprozess und / oder durch einen weiteren lithographischen Prozess in die Oberfläche des Substrats 12 mit einer geeigneten Gitterperiode eingebracht. Das Gitter 32 ist dabei derart ausgebildet, dass es zu einer Rückreflektion einer ausgewählten Wellenlänge kommt. Dadurch lassen sich Änderungen der optischen Wegstrecke ermitteln, beispielsweise infolge von thermisch bedingten Längenänderungen. Daneben besteht wie beschrieben auch die Möglichkeit, eine Wellenlängen-Drift zu

erkennen. Für die Erkennung einer Wellenlängen-Drift einer verwendeten optischen Lichtquelle kann dabei zusätzlich oder alternativ ein Wellenlängensensor, beispielsweise ein Resonatorring oder ein Richtkoppler eingesetzt sein.

Im Hinblick auf den Dehnungssensor wird das Messprinzip nach dem Michelson-Interferometer bevorzugt, da hierfür die Auswertung einer einfachen Intensitätsmodulation ausreichend ist, welche gegenüber einem ansonsten erforderlichen Spektrometer beim Bragg-Sensor einfacher ausgebildet ist.

Bezugszeichenliste

2	Sensor-Baueinheit
4	Auswerteeinheit
6,6A,6B,6C,6D	optische Fasern
8	Sensorelement
10,10A,10B,10C,10D	Ankoppelstellen
12	Substrat
14A,14B,14C,14D	optische Sensoren
16A,16B,16C,16D	Messwellenleiter
18	zentrale Ausnehmung
20	Verzweigung
21A,21B	Wellenleiterarm
22	Endfläche
24	Spiegel
26	Lambda-Viertel-Element
28	Einkerbung
30	Kristall
32	Bragg-Gitter
34	GRIN-Linse
A	Antwortsignal
S	Sensorsignal

Ansprüche

1. Sensor-Baueinheit (2) mit einem Sensorelement (8) mit einem Substrat (12) und mit zumindest einer in das Substrat (12) integrierten optischen Komponente (16A,26), nämlich mit zumindest einem integrierten Messwellenleiter (16A) zur Ausbildung eines integrierten optischen Sensors (14A), der zur Messung einer elektrischen Größe ausgebildet ist,

dadurch gekennzeichnet,

dass auf dem Substrat (12) zumindest eine weitere optische Komponente (16B,C,D) integriert ist zur Ausbildung eines weiterer integrierten optischen Sensors (14B,C,D), so dass auf dem Substrat (12) mehrere optische Komponenten (16A,B,C,D;26) zur Ausbildung von mehreren optische Sensoren (14A,B,C,D) integriert sind, wobei die optischen Sensoren (14A,B,C,D) ausgewählt sind aus

a) einem optischen Stromsensor (14A) auf Basis des Faraday-Effekts zur Messung eines elektrischen Stroms in einem stromdurchflossenen Leiter
b) einem optischen Spannungssensor (14C) auf Basis des Pockels-Effekts zur Messung einer elektrischen Spannung,
c) einem optischen Dehnungssensor (14B) zur Messung einer Ausdehnung und/ oder
d) einem Wellenlängen-Sensor (14D) zur Messung einer Änderung einer optischen Wellenlänge.

2. Sensor-Baueinheit (2) nach Anspruch 1, bei der eine gemeinsame Auswerteeinheit (4) für die Auswertung von Antwortsignalen (A) der optischen Sensoren (14A,B,C,D) angeordnet ist, die derart ausgebildet ist, dass op-

tische Antwortsignale (A) des Spannungssensors (14C) und/ oder des Stromsensors (14A) unter Berücksichtigung von optischen Antwortsignalen (A) des Dehnungssensors (14B) und/ oder des Wellenlängen-Sensors (14D) ausgewertet werden.

3. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der einer der Messwellenleiter (16A) gleichzeitig für mehrere verschiedene Sensoren (14A,14B) verwendet ist.

4. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der optische Dehnungssensor (14B) ein Michelson-Interferometer ausbildet und hierzu zwei in das Substrat integrierte, vorzugsweise gebogene Wellenleiterarme (21A,B) mit unterschiedlichen optischen Weglängen, insbesondere unterschiedlichen Biegeradien aufweist.

5. Sensor-Baueinheit (2) nach Anspruch 4, bei der einer der Wellenarme (21A) zugleich durch einen Messwellenleiter (16A) für einen weiteren Sensor, insbesondere für den Stromsensor (14A) gebildet ist.

6. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Wellenlängensensor (14D) wahlweise oder in Kombination ein Bragg-Gitter (32), einen Resonator-Ring oder einen Richtkoppler aufweist.

7. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die optischen Komponenten (16A,B,C,D;26) auf einem gemeinsamen Substrat (12) in Form eines Wafers integriert sind, der vorzugsweise als ein 6-Zoll-Wafer ausgebildet ist.

8. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der jedem optischen Sensor (14A,B,C,D) eine optische Faser zugeordnet ist, welche zum Einkoppeln eines Sensorsignals (S) in das Substrat (12)

und/oder zum Auskoppeln eines Antwortsignals (A) aus dem Substrat (12) angeordnet ist.

9. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der als Substrat (12) ein nicht doppelbrechendes Substrat verwendet ist, in dem in einem Teilbereich gezielt eine Doppelbrechung erzeugt ist zur Ausbildung einer integrierten optischen Komponente mit doppelbrechender Funktion, insbesondere zur Ausbildung eines Lambda-Viertel-Elements (26).

10. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die integriert-optischen Komponenten (16A,B,,D; 26) mit Hilfe eines Ionendiffusionsprozesses im Substrat erzeugt sind und das Substrat (12) vorzugsweise Glas ist.

11. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die integriert-optischen Komponenten (16A,B,C,D;26) wahlweise ausgebildet sind als optischer Wellenleiter (16A,B,C,D) in gerader oder gekrümmter Form, als polarisations-verändernde optische Komponenten, wie z.B. Lambda-Viertel-Element (26), als Ankoppelstellen (10A,B,C,D) zur Ein- und Auskopplung von Licht, als verspiegelte Oberflächen und Endflächen (22) sowie als optische Gitter (32.)

12. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der optische Spannungssensor (14C) aufweist eine Ankoppelstelle (10C) für eine insbesondere polarisationserhaltende Faser (6C), die an das Substrat (12) angekoppelt ist, ein integriertes optisches Lambda-Viertel-Element (26) sowie einen Messwellenleiter (16C) , welcher in einem für den Pockels-Effekt geeigneten doppelbrechenden Substrat (30) integriert ist.

13. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei der der optische Spannungssensor (14C) aufweist eine Ankoppelstelle (16C) für eine insbesondere polarisationserhaltende Faser (6C), die an das Substrat (12) angekoppelt ist, ein integriertes optisches Lambda-Viertel-Element (26) sowie eine Kombination aus einer optischen Linse (34) und einem für den Pockels-Effekt geeigneten doppelbrechenden Substrat (30).

14. Sensor-Baueinheit (2) nach Anspruch 12 oder 13, bei der für das doppelbrechende Substrat (30) ein doppelbrechender Kristall, bevorzugt ein Lithiumniobat-Kristall oder auch ADP (Ammoniumdihydrogenphosphat) oder KDP (Kaliumdihydrogenphosphat) verwendet ist.

15. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Stromsensor (14A) aufweist eine Ankoppelstelle (10A) für eine insbesondere polarisationserhaltende Faser (6A), die an das Substrat (12) angekoppelt ist, ein optisches Lambda-Viertel-Element (26) sowie einen gekrümmten Wellenleiter als Messwellenleiter (16A), der vorzugsweise endseitig verspiegelt ist.

16. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Dehnungssensor (14B) aufweist eine Ankoppelstelle (10AB) für eine insbesondere mono-modige optische Faser (6B), die an das Substrat (12) angekoppelt ist sowie einen integriert-optischen Wellenleiter (16B), in den ein Oberflächengitter mit einer geeigneten Gitterperiode eingebracht ist.

17. Sensor-Baueinheit (2) nach Anspruch 16, bei der eine temperaturbedingte Variation des Oberflächengitters zur Temperaturmessung verwendet ist.

18. Sensor-Baueinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die zur Strom- oder Spannungsmessung in einer Mittelspannungsanlage angeordnet ist.

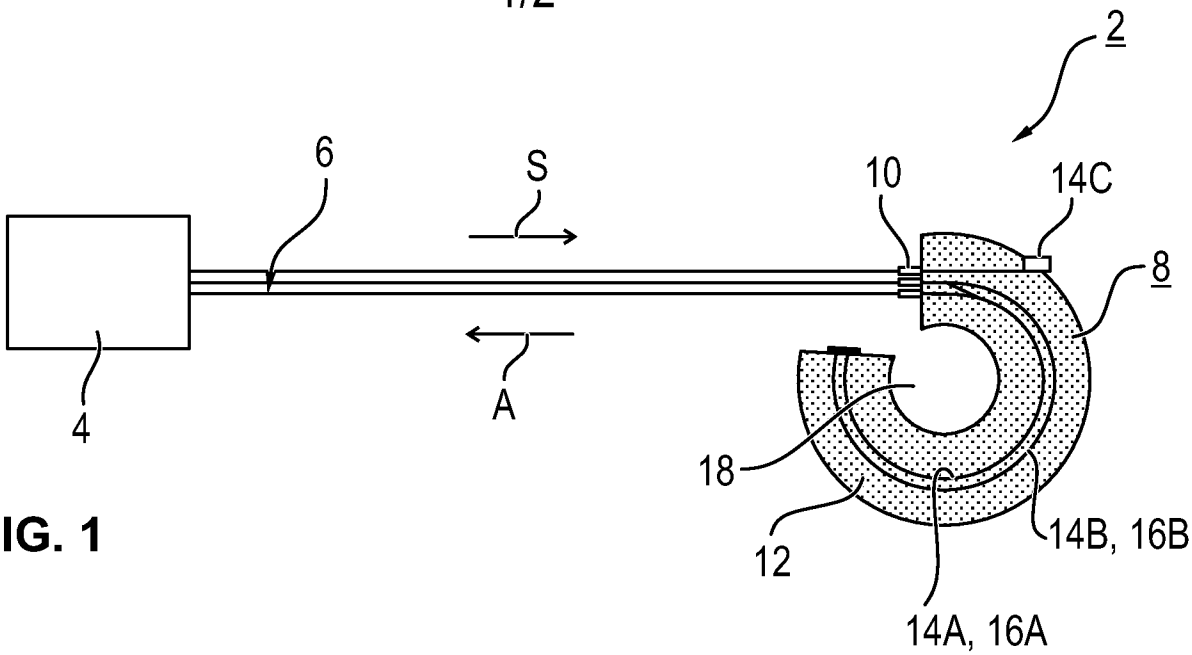

2
6
S
10
14C
8
4
A
18
12
14B, 16B
14A, 16A

FIG. 1

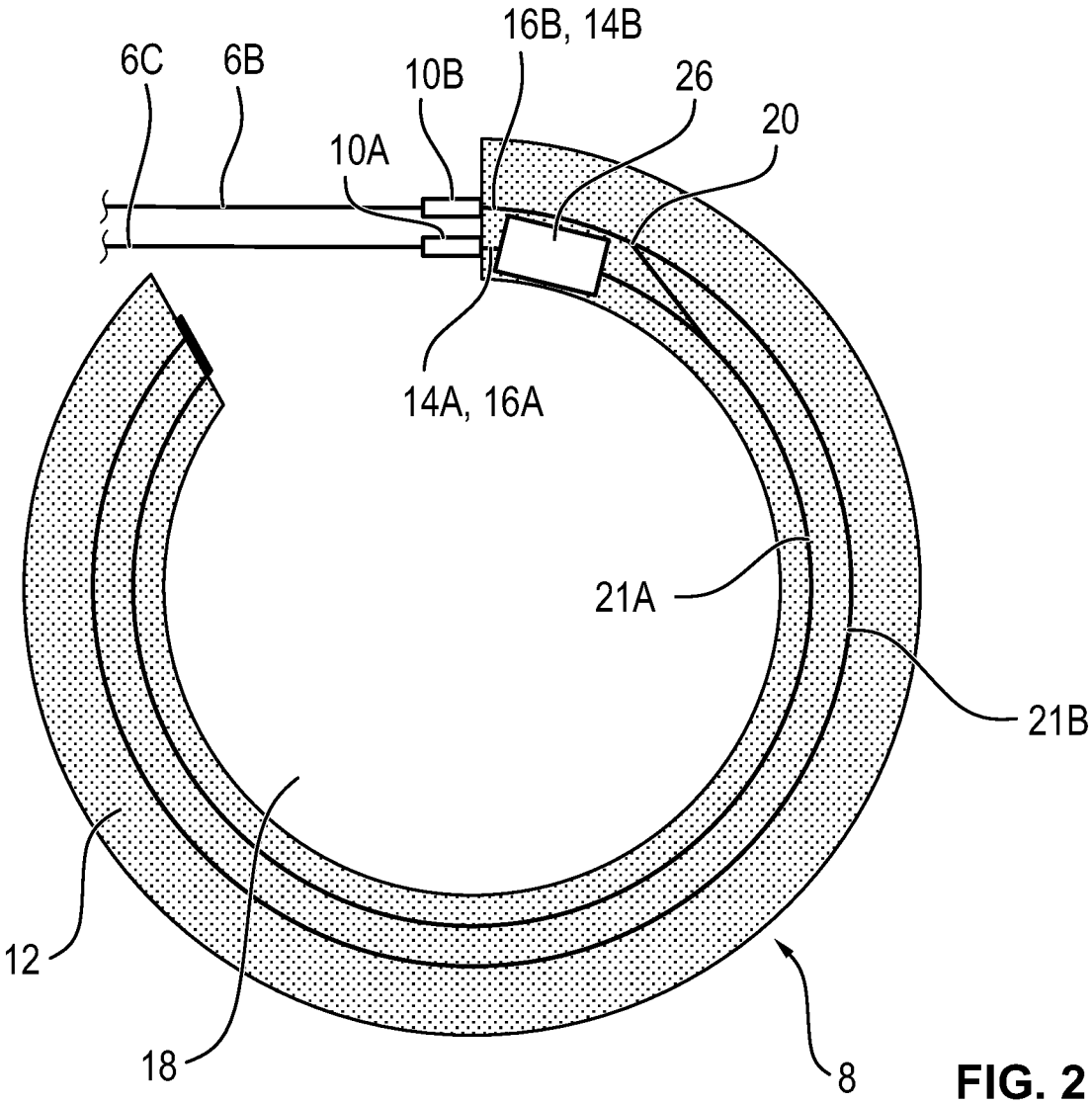

16B, 14B
6C
6B
10B
26
20
10A
14A, 16A
21A
21B
12
18
8

FIG. 2

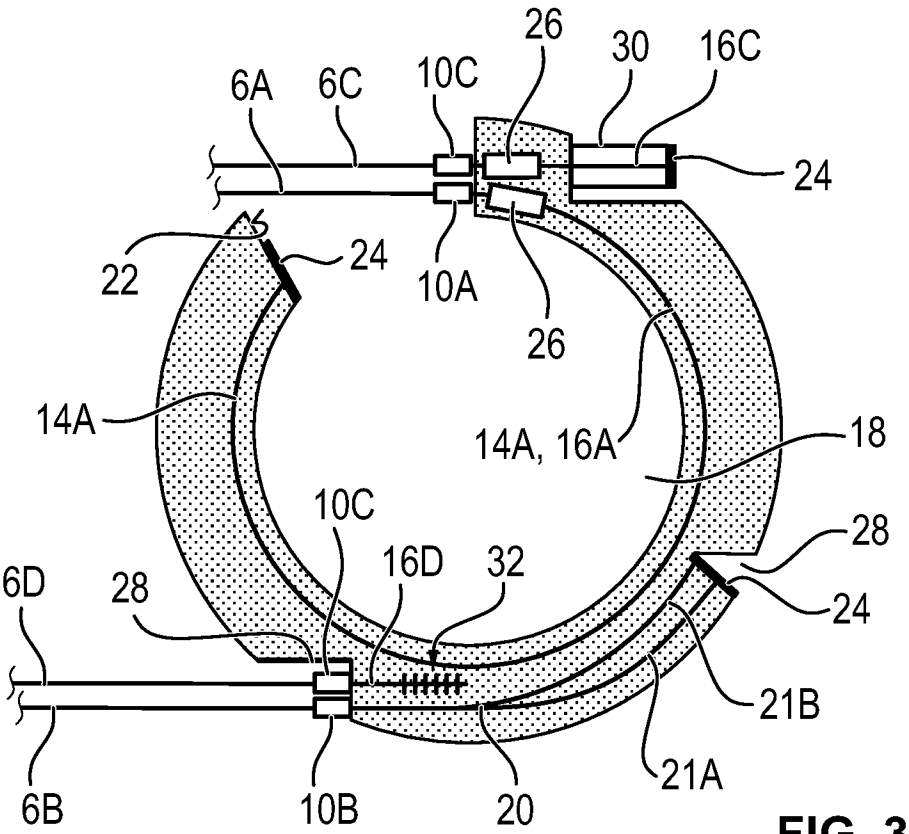


FIG. 3

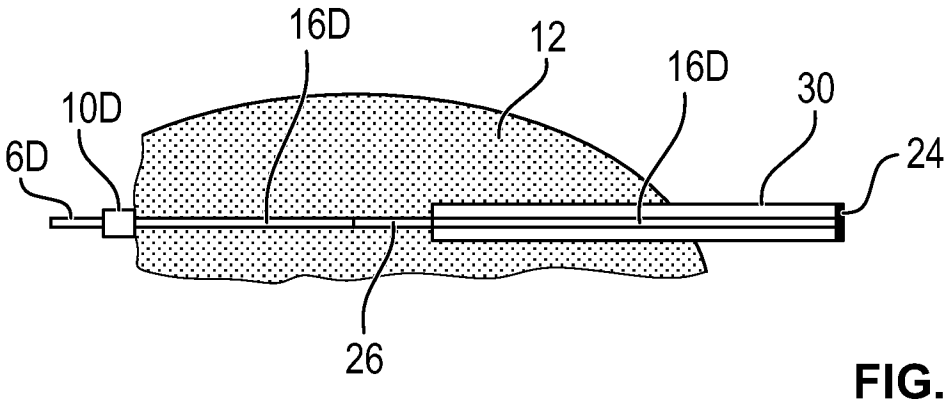


FIG. 4

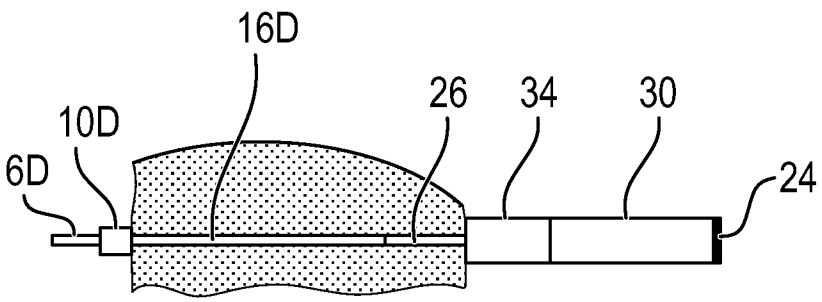


FIG. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/067599

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01R15/24
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)
G01R

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	US 5 053 617 A (KAKIZAKI YUICHI [JP] ET AL) 1 October 1991 (1991-10-01) column 16, line 19 - column 18, line 55; figure 7; example 3	1-18
A	WO 2013/001268 A2 (UNIV STRATHCLYDE [GB]; NIEWCZAS PAWEL [GB]; ORR PHILIP [GB]) 3 January 2013 (2013-01-03) the whole document	1-18
A	RAJKUMAR N ET AL: "FIBER SENSOR FOR THE SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF CURRENT AND VOLTAGE IN A HIGH-VOLTAGE SYSTEM", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC; US, vol. 32, no. 7, 1 March 1993 (1993-03-01), pages 1225-1228, XP000345965, ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.32.001225 the whole document	1-18

☐ 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
20 November 2014	01/12/2014

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	Dogueri, Ali Kerem

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2014/067599

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5053617 A	01-10-1991	DE 69015401 D1	09-02-1995
		DE 69015401 T2	10-08-1995
		EP 0390581 A2	03-10-1990
		JP H0670653 B2	07-09-1994
		JP H02262067 A	24-10-1990
		US 5053617 A	01-10-1991
WO 2013001268 A2	03-01-2013	EP 2726824 A2	07-05-2014
		US 2014211202 A1	31-07-2014
		WO 2013001268 A2	03-01-2013

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/067599

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01R15/24
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01R

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	US 5 053 617 A (KAKIZAKI YUICHI [JP] ET AL) 1. Oktober 1991 (1991-10-01) Spalte 16, Zeile 19 - Spalte 18, Zeile 55; Abbildung 7; Beispiel 3	1-18
A	WO 2013/001268 A2 (UNIV STRATHCLYDE [GB]; NIEWCZAS PAWEL [GB]; ORR PHILIP [GB]) 3. Januar 2013 (2013-01-03) das ganze Dokument	1-18
A	RAJKUMAR N ET AL: "FIBER SENSOR FOR THE SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF CURRENT AND VOLTAGE IN A HIGH-VOLTAGE SYSTEM", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC; US, Bd. 32, Nr. 7, 1. März 1993 (1993-03-01), Seiten 1225-1228, XP000345965, ISSN: 0003-6935, DOI: 10.1364/AO.32.001225 das ganze Dokument	1-18

☐ 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
20. November 2014	01/12/2014

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	Dogueri, Ali Kerem

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/067599

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5053617 A	01-10-1991	DE 69015401 D1	09-02-1995
		DE 69015401 T2	10-08-1995
		EP 0390581 A2	03-10-1990
		JP H0670653 B2	07-09-1994
		JP H02262067 A	24-10-1990
		US 5053617 A	01-10-1991
WO 2013001268 A2	03-01-2013	EP 2726824 A2	07-05-2014
		US 2014211202 A1	31-07-2014
		WO 2013001268 A2	03-01-2013