

(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
17. Dezember 2009 (17.12.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/149908 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01L 1/24 (2006.01) G01D 5/353 (2006.01)
G01K 11/32 (2006.01)

SCHANZE, Thomas [DE/DE]; Sfaxer Strasse 3, 35037
Marburg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/004159

(74) Anwalt: BEHRENS, Helmut; Gross-Gerauer Weg 55,
64295 Darmstadt (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Juni 2009 (10.06.2009)

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

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 027 931.5 12. Juni 2008 (12.06.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK
GMBH [DE/DE]; Im Tiefen See 45, 64293 Darmstadt
(DE).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,

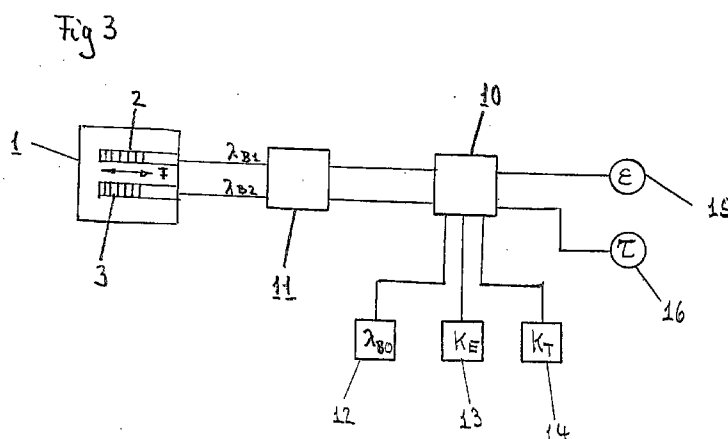
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HAASE, Karl-Heinz
[DE/DE]; Büchnerweg 27, 64319 Pfungstadt (DE).
KREUZER, Manfred [DE/DE]; Georg-Büchner-Strasse
6B, 64331 Weiterstadt (DE). GÜNTHER, Bernd
[DE/DE]; Lohengrinstrasse 2, 76185 Karlsruhe (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTICAL EXTENSION SENSOR

(54) Bezeichnung: OPTISCHER DEHNUNGSSENSOR



(57) Abstract: An optical extension sensor (1) contains a level planar carrier layer (8) on or in which at least one optical waveguide (6, 7) is arranged in a force-fitting manner, said optical waveguide having at least one section with a Bragg grating (2, 3) for detecting the extension, wherein a first optical waveguide has an index of refraction and the Bragg grating (2, 3) has a particular grating constant. At least one further, second optical waveguide (7) or optical waveguide section (7) with a Bragg grating (3), which is arranged in a parallel manner, is also provided on or in the carrier layer (8). This second optical waveguide (7) is thermo-mechanically coupled to at least the first optical waveguide (6) or the first optical waveguide section and has a different temperature coefficient of the index of refraction to the first optical waveguide (6). The temperature-independent extension of the deformation body can be determined by measuring the two reflected wavelengths and by means of the refraction with a linear system of equations.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Ein optische Dehnungssensor (1) enthält eine ebene planare Trägerschicht (8), auf der oder in der mindestens ein Lichtwellenleiter (6, 7) kraftschlüssig angeordnet ist, der mindestens einen Abschnitt mit einem Bragg-Gitter (2, 3) zur Erfassung der Dehnung aufweist, wobei ein erster Lichtwellenleiter einen Brechungsindex und das Bragg-Gitter (2, 3) eine bestimmte Gitter-Konstante aufweist. Auf oder in der Trägerschicht (8) ist mindestens noch ein weiterer parallel angeordneter zweiter Lichtwellenleiter (7) oder Lichtwellenleiterabschnitt (7) mit einem Bragg-Gitter (3) vorgesehen. Dieser zweite Lichtwellenleiter (7) ist mit mindestens dem ersten Lichtwellenleiter (6) bzw. dem ersten Lichtwellenleiterabschnitt thermomechanisch gekoppelt und weist einen anderen Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex als der erste Lichtwellenleiter (6) auf. Durch die Messung der beiden reflektierten Wellenlängen und durch die Brechnung mit einem linearen Gleichungssystem ist die Ermittlung der temperaturunabhängigen Verformungskörperdehnung möglich.

Optischer Dehnungssensor

Die Erfindung betrifft einen optischen Dehnungssensor nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie ein Messverfahren
5 mittels eines derartigen optischen Dehnungssensors nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 9.

Optische Dehnungssensoren enthalten meist einen Lichtwellenleiter, in dem ein Bragg-Gitter eingeprägt ist. Zur
10 Dehnungsmessung werden derartige Dehnungssensoren mit einem Verformungskörper fest verbunden, dessen Dehnung erfasst werden soll. Das Messprinzip derartiger Dehnungssensoren mit Bragg-Gittern beruht darauf, dass in Durchstrahlrichtung eines Lichtwellenleiters eine periodische Änderung des
15 Brechungsindex als sogenanntes Bragg-Gitter eingebracht wird. Dieses Bragg-Gitter wirkt wie ein frequenzselektives Filter, dessen Gitterkonstanten so gewählt sind, dass bei einem breitbandig eingestrahlten Licht ein sehr schmalbandiges Intensitätsmaximum als ein sogenannter Peak reflektiert wird.
20 Entscheidend für die Lage des Intensitätsmaximums ist dabei die räumliche Distanz innerhalb der periodischen Abfolge der Zonen mit unterschiedlichem Brechungsindex.

Derartige Lichtwellenleiter mit Bragg-Gittern werden für den
25 Einsatz in Messstellen als Bragg-Gitter-Sensoren vorzugsweise zur Erfassung von Dehnungen genutzt. Wird nun ein Lichtwellenleiter im Bereich der periodischen Änderung des Brechungsindex gedehnt oder gestaucht, so verändert sich die Lage des Intensitätsmaximums als Peak in seiner Wellenlänge.
30 Diese Verschiebung der Wellenlänge λ lässt sich erfassen und im Sinne einer Bestimmung der Größe der verursachten Dehnung auswerten. Allerdings wird die Dehnung immer auch von der Temperatur des Verformungskörpers beeinflusst, so dass bei einer genaueren Dehnungsmessung diese Temperatur immer
35 mitberücksichtigt werden muss.

Aus der DE 10 2005 030 753 A1 ist ein optischer Dehnungsmessstreifen bekannt, der zur mehrachsigen Dehnungsmessung unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur vorgesehen ist. Dazu sind drei Lichtwellenleiter in drei winkelversetzten Führungskanälen innerhalb einer Trägerfolie fixiert. Die drei Lichtwellenleiter sind als gleichartige runde Lichtleitfasern aus Glasfaserwerkstoffen mit gleichen optischen Materialeigenschaften ausgebildet, wie sie üblicherweise auch in der Telekommunikation eingesetzt werden. Diese Lichtleitfasern bestehen alle aus einem runden Faserkern, einem Fasermantel und einer diesen umgebenden Faserschutzschicht. Die Lichtzuführung erfolgt über einen gleichartigen Zuführungswellenleiter mit einem Strahlaufteilungselement. Zur Erfassung der Dehnung ist in den einzelnen Lichtwellenleitern ein Bragg-Gitter eingeprägt, das jeweils eine andere Gitterkonstante Λ aufweist, damit für jedes Bragg-Gitter eine vorgegebene Referenz-Bragg-Wellenlänge λ_{B0} zur Verfügung steht, die den unbelasteten Sensorzustand charakterisiert. Derartige optische Dehnungsmessstreifen werden zur Dehnungsmessung auf einen Verformungskörper appliziert, dessen Oberflächendehnung erfasst werden soll. Bei einer entsprechenden Dehnung ändert sich die Bragg-Wellenlänge proportional zur Dehnung, woraus in einem Spektrometer mit entsprechenden Fabry-Pérot-Filtern / Interferometern die reflektierte Bragg-Wellenlänge λ_{B1} ermittelt wird, die einem Wert der Dehnung entspricht. Da die Dehnung eines Verformungskörpers nicht nur von der Kraftbeaufschlagung, sondern gleichfalls auch von der Temperatur abhängig ist, enthält der optische Dehnungsmessstreifen in seinem Zuführungswellenleiterabschnitt noch ein viertes Bragg-Gitter, das außerhalb des Verformungskörpers angeordnet ist. Durch dieses vierte Bragg-Gitter wird die temperaturabhängige Wellenlängenänderung erfasst, die zur Temperaturkompensation von der dehnungsabhängigen Wellenlängenänderung der übrigen

Bragg-Gitter subtrahiert wird. Ein derartiger optischer Dehnungsmessstreifen hat den Nachteil, dass das zur Temperaturkompensation vorgesehene Bragg-Gitter zwar dicht an den übrigen Lichtwellenleitern angebracht sein muss, aber mechanisch von diesem entkoppelt ist. Derartige Dehnungsmessstreifen sind deshalb in modernen Verformungskörpern aus Kohlenfaserwerkstoffen nicht zu integrieren.

- 10 Eine optische Wellenleitervorrichtung mit eingebautem temperaturkompensierten Bragg-Gitter ist aus der EP 0 507 877 B1 bekannt. Dabei wird der Lichtwellenleiter mit dem Bragg-Gitter linear zwischen zwei Kompensationsglieder eingespannt, die unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen.
- 15 Die beiden Materialien der Kompensationsglieder sind dabei so ausgewählt und ausgeformt, dass sich die temperaturabhängige Dehnung bei einer Kraftbelastung zwischen den beiden Materialien kompensiert, so dass nur die durch die Kraftbelastung verursachte Dehnung durch die
- 20 Wellenlängenänderung erfasst wird. Dazu sind die beiden Kompensationsglieder kompliziert ausgeformt, um die temperaturbedingten Ausdehnungen kompensieren zu können. Dabei unterliegen die Kompensationsglieder auch einer geometrischen und materiellen Herstellungstoleranz, durch die die
- 25 Kompensation der Wärmeausdehnung nachteilig beeinflusst werden kann, so dass Temperaturschwankungen in der Praxis nicht immer ganz auszugleichen sind.

- Aus der EP 0 713 084 B1 ist ein optisches Mikrosystem des Typs Rosettenspannungslehre mit dielektrischen Leitern zur Messung der longitudinalen Spannung in Planarstruktur bekannt, bei dem Temperaturschwankungen auf mathematische Weise berücksichtigt werden. Dazu ist eine Rosettenspannungslehre mit dielektrischen Leitern vorgesehen, die als optische Fasern
- 35 ausgebildet sind, wie sie üblicherweise zum Messen von

Dehnungen unbekannter Richtung eingesetzt werden. Dabei enthält die optische Faser oder die drei optischen Fasern drei Bragg-Gitter unterschiedlicher charakteristischer Wellenlängen, die vorzugsweise um 120° oder 45° gegeneinander versetzt sind, wobei die Rosette nur einer Längsspannung vorbestimmter Richtung ausgesetzt wird. Dabei sind alle optischen Lichtwellenleiter identisch ausgebildet und verfügen über denselben Wärmeausdehnungskoeffizienten. Zur besseren Applikation sind alle Bragg-Gitter mit dem sie verbindenden Lichtwellenleiter auf einer Trägerfolie aus einem elastischen Kunststoff fixiert. Wird nun diese Trägerfolie einer Längsspannung ausgesetzt, werden die reflektierten Wellenlängen der drei Bragg-Gitter in einer Auswertevorrichtung erfasst und die Differenz zu ihrer unbelasteten Referenzwellenlänge errechnet. Dazu muss mindestens ein Verformungskoeffizient bekannt sein, der die Wellenlänge mit der Verformung bei einer vorgegebenen Temperatur verknüpft, sowie der Wärmeausdehnungskoeffizient des Verformungskörpers. Desweiteren müssen auch noch die Winkelabstände der Rosetten-Lichtwellenleiter und der Ausrichtungswinkel der Rosette zur Hauptspannungsrichtung bekannt sein. Mithilfe der vorbekannten temperatur- und winkelabhängigen Faktoren und der gemessenen Reflektionswellenlängen in den drei Bragg-Gittern kann mit einem Gleichungssystem daraus die temperaturunabhängige Längsspannung errechnet werden. Dabei lag der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass sich die Temperatureffekte durch die Spannungsmessungen in verschiedenen Spannungsrichtungen der Rosette mathematisch kompensieren lassen. Allerdings müssen bei der Verwendung derartiger optischer Rosetten zur Dehnungsmessung vorab eine Reihe von Material-Koeffizienten des Verformungskörpers bekannt sein, die in der Praxis von den tatsächlichen Werten abweichen können. Desweiteren gehen in die drei Dehnungsberechnungen Winkelangaben ein, die Toleranzen aufweisen, die insbesondere bei der Mikroausführung

der Rosette zu einem Messfehler der errechneten Linearspannung führen kann.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen
5 optischen Dehnungssensor mit Bragg-Gittern zu schaffen, mit dessen Hilfe auf einfache Weise eine genaue, möglichst temperaturunabhängige Dehnungsmessung möglich ist. Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 und 9 angegebene Erfindung gelöst. Weiterbildungen und vorteilhafte
10 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung hat den Vorteil, dass bei dem erfindungsgemäßen optischen Dehnungssensor mit den zwei unterschiedlichen
15 Lichtwellenleitern in thermo-mechanisch harter Kopplung, durch ein einfaches Rechenverfahren die temperaturunabhängige Dehnung ermittelbar ist. Dazu sind lediglich zwei Bragg-Gitter in den zwei optischen Lichtleitermaterialien mit unterschiedlichem Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex
20 notwendig, dessen Materialienkonstanten vorbestimmbar sind, so dass aus zwei erfassten reflektierten Wellenlängenpeaks und einer einfachen Rechenschaltung in einer Auswertevorrichtung vorteilhafterweise die gesuchte belastungsabhängige Dehnung errechenbar ist, ohne dass es auf die jeweilige
25 Messstellentemperatur ankommt. Im einfachsten Falle können dazu vorteilhafterweise zwei parallele Wellenleiter-Abschnitte mit unterschiedlichen optischen Materialeigenschaften eingesetzt werden, die längs der Belastungsrichtung ausgerichtet sind. Da eine derartige Dehnungsmessung mit
30 einfachen linearen optischen Dehnungssensoren ausführbar ist, bei denen lediglich die konstanten optischen Materialeigenschaften bekannt sein müssen, kommt es bei der Auswertung nur auf die Messgenauigkeit der beiden reflektierten Lichtwellenlängen an, so dass vorteilhafterweise

mit den erfindungsgemäßen optischen Dehnungssensoren hohe Messgenauigkeiten erzielbar sind.

Die Erfindung hat weiterhin den Vorteil, dass eine
5 temperaturunabhängige Dehnungsmessung mit einem sehr einfach herstellbaren optischen Dehnungssensor ausführbar ist, der durch die harte thermo-mechanische Kopplung der beiden Wellenleiterabschnitte auch leicht in dehnungsempfindlichen Werkstoffen integrierbar ist oder auf vorgesehenen
10 Verformungskörpern auf einfache Art in Dehnungsrichtung appliziert werden kann.

Eine besondere Ausführung der Erfindung mit Lichtwellenleiter-Abschnitten aus einem Ormocer-Kunststoff hat den Vorteil, dass
15 damit auf einfache Weise optische Wellenleiterabschnitte in unterschiedlichen geometrischen Formen und mit unterschiedlichen optischen Materialeigenschaften auf einem gemeinsamen Träger ausgebildet werden können, dessen Materialkonstanten bekannt oder vorgebar sind. Dabei sind
20 vorzugsweise gleichzeitig auch die Trägerfolie und die Abdeckfolie aus Ormocer-Kunststoffen mit vorgegebenem Brechungsindex herstellbar, so dass derartige optische Dehnungssensoren sehr einfach und kompakt ausführbar sind. Durch die vorgebbaren optischen Materialkonstanten können
25 derartige Dehnungssensoren leicht zur Verwendung auf Verformungskörpern aus Stahl, Aluminium und Titan ausgelegt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den einfachen thermo-
30 mechanisch gekoppelten optischen Dehnungssensoren hat den Vorteil, dass die zu ermittelnde belastungsabhängige Dehnung mittels eines einfachen Rechenverfahrens und der Messung von nur zwei Bragg-Gitter-Wellenlängen möglich ist, ohne dass die Temperatur bei den Messungen bekannt oder konstant sein
35 müsste.

- Dazu ist vorteilhafterweise auch nur eine vorbekannte Spektrometer-Vorrichtung und eine elektronische Auswertevorrichtung notwendig, wobei in der
- 5 Auswertevorrichtung auf einfache Weise die vorgesehenen Materialkonstanten (K_E , K_T) sowie die Bragg-Gitter-Konstanten (n , Λ) durch Einstellglieder eingebbar sind. Durch ein derartiges Auswerteverfahren ist auch ein sehr genaues Messergebnis ermittelbar, weil die vorgesehenen
- 10 Materialkonstanten und Bragg-Gitter-Konstanten weitgehend linear ins Messergebnis eingehen und die vorbekannten bzw. vorgegebenen Konstanten kaum fertigungsbedingte Toleranzen aufweisen.
- 15 Eine besondere Ausführung des Auswerteverfahrens hat noch den Vorteil, dass mit einem derartigen erfindungsgemäßen optischen Dehnungssensor nicht nur die Dehnung temperaturunabhängig, sondern auch nur die Temperatur dehnungsunabhängig oder neben der Dehnung zusätzlich auch noch die
- 20 Verformungskörpertemperatur ermittelt werden kann.

Die Erfindung wird anhand eines Ausführungsbeispiels, das in der Zeichnung dargestellt ist, näher erläutert. Es zeigen:

- 25 Fig. 1: eine Draufsicht auf einen optischen Dehnungssensor;
- Fig. 2: eine Schnittdarstellung durch die Draufsicht des optischen Dehnungssensors, und
- 30 Fig. 3: ein Blockschaltbild einer Messkette mit einem optischen Dehnungssensor.

In Fig. 1 der Zeichnung ist ein optischer Dehnungssensor 1 mit zwei Lichtwellenleitern 6, 7 auf einer Trägerfolie 8

35 dargestellt, wobei die Lichtwellenleiter 6, 7 unterschiedliche

opto-thermo-mechanische Materialeigenschaften (K_E , K_T , n) aufweisen und in die jeweils ein Bragg-Gitter 2, 3 mit unterschiedlicher Gitterkonstante (Λ) eingeprägt ist.

- 5 Der optische Dehnungssensor 1 enthält eine planare Trägerfolie 8 zur Fixierung der beiden Lichtwellenleiter 2, 3, die vorzugsweise aus einem Kunststoff wie z.B. Polyamid besteht. Die Trägerfolie kann aber auch aus anderen Kunststoffen, Metallen, Glas oder Keramik hergestellt werden. Die
- 10 Trägerfolie 8 dient dabei hauptsächlich dazu, dem optischen Dehnungssensor 1 auf einem vorgesehenen Verformungskörper zu applizieren oder in einem belastbaren Bauelement positionsgerecht und kraftschlüssig zu integrieren. Die Trägerfolie 8 ist planar ausgebildet und besitzt vorzugsweise
- 15 eine quadratische oder rechteckige Form mit Kantenlängen von 2 bis 15 mm und einer Dicke von 0,2 bis 0,8 mm. Die Grundfläche richtet sich im Wesentlichen nach der Länge der Bragg-Gitter 2, 3 in den Lichtwellenleitern 6, 7 und der Ausbildung des Dehnungssensors 1 für eine ein- oder mehrachsige
- 20 Dehnungserfassung. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist lediglich eine einachsige Dehnungserfassung in Längsrichtung 17 vorgesehen, so dass die Trägerfolie 8 rechteckig ausgebildet ist und vorzugsweise eine Länge von 12 mm und eine Breite von 5 mm aufweist.

- 25 Zur Dehnungserfassung ist auf der Trägerfolie 8 ein linearer Zuführungslichtwellenleiter 4 aufgebracht, der sich nach einer Strahlaufteilung 5 in zwei parallele lineare Lichtwellenleiter 6, 7 bzw. Lichtwellenleiterabschnitte 6, 7 teilt. Die
- 30 Lichtwellenleiter 6, 7 besitzen vorzugsweise einen rechteckigen Querschnitt, in den jeweils ein Faser-Bragg-Gitter 2, 3 eingeprägt ist. Die Anordnung und Ausprägung der beiden Lichtwellenleiter 6, 7 ist im Einzelnen aus der Schnittdarstellung in Fig. 2 der Zeichnung ersichtlich. Dabei
- 35 besitzen die beiden Lichtwellenleiter 6, 7 vorzugsweise eine

Breite von ca. 0,35 mm und eine Höhe von ca. 0,15 mm. Die Lichtwellenleiter 6, 7 bestehen dabei vorzugsweise aus einem lichtdurchlässigen Kunststoff, der einfach in strukturierbaren Schichten mit definierten optischen Eigenschaften ausführbar ist.

Ein derartiger Kunststoff wird unter dem Markennamen Ormocer® vertrieben und besteht aus hybriden polymeren Werkstoffen, die insbesondere nach dem Sol-Gel-Verfahren synthetisiert werden.

Dabei wird durch eine gesteuerte Hydrolyse und Kondensation von organisch modifizierten Silizium-Alkoxiden zunächst ein anorganisches Netzwerk aufgebaut. Eine Kokondensation mit anderen Metallalkoxiden (Titan, Aluminium-Alkoxide) ist ebenfalls möglich.

Aus diesem Kunststoff lassen sich funktionelle Schichten mit bestimmter mechanischer Beständigkeit und niedrigen optischen Verlusten und beliebigen Ausformungen herstellen. Deshalb wird auf die Trägerfolie 8 zunächst eine bestimmte Menge optisch gut leitfähiges Ormocer zur Ausbildung der Lichtwellenleiterbahnen 4, 5, 6, 7 aufgetragen, das mit einem Stempel in die endgültige Form gebracht wird. Der Stempel ist dabei als Negativform der aufzuprägenden Lichtwellenleiterstruktur mit dem Zuführungslichtwellenleiter 4, der Strahlungsaufteilung 5 und den beiden parallelen linearen Lichtwellenleitern 6, 7 ausgeformt. In einem Prägeprozess formt der Stempel die Lichtwellenleiterstruktur auf der Trägerfolie 8 aus, wobei die Leiterstruktur durch UV-Strahlung aushärtbar ist und fest auf der Trägerfolie 8 haftet. Zum Ausformen wird dann der Prägestempel entfernt, so dass die Leiterstruktur fest auf der Trägerfolie 8 fixiert ist. Dabei können auch andere Leiterstrukturen ausgeformt werden wie z.B. zwei durchgehende parallele lineare Lichtwellenleiter.

Durch eine vorgegebene Dotierung der Schichten lässt sich eine bestimmte optische Leitfähigkeit und ein vorgegebbarer Brechungsindex n der Lichtwellenleiter 4, 5, 6, 7 herstellen. Dabei ist bei diesen Lichtwellenleitern 4, 5, 6, 7

5 insbesondere vorgesehen, dass diese mindestens in ihren parallelen Zweigen der beiden Lichtwellenleiterabschnitte 6, 7 im Bereich der Bragg-Gitter 2, 3 unterschiedliche Temperaturkoeffizienten der Brechungsindizes n_1 , n_2 aufweisen. Die vorgesehenen Temperaturkoeffizienten der Brechungszahlen
10 n_1 , n_2 können durch unterschiedliche Mischungsverhältnisse oder durch eine Nachbehandlung eingestellt werden. Dabei können die unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten der Brechungszahlen n_1 oder n_2 in praktischen Versuchen ermittelt oder überprüft werden. Vorzugsweise können dazu die Brechungszahlen mittels
15 eines Refraktometers direkt gemessen werden, wobei dabei dann in Abhängigkeit unterschiedlicher Temperatureinflüsse die Brechungszahlen zu ermitteln sind. Aus den temperaturabhängigen Werten können dann die unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten abgeleitet werden.

20 In jedem Fall müssen die Brechungszahlen n_1 , n_2 der Lichtwellenleiter 6, 7 höher sein als die der Trägerfolie 8 und deren Abdeckung 9, um eine Lichtleitfähigkeit wie bei einem herkömmlichen Glasfaser-Lichtwellenleiter zu erreichen.
25 Deshalb wird vorzugsweise auch die Trägerschicht 8 aus einer Ormocer-Folie mit entsprechend niedriger Brechungszahl n_3 ausgeführt.

Mit einem gleichartigen Kunststoff wird auch die
30 Lichtwellenleiterstruktur nach oben mit einer Abdeckfolie 9 abgedeckt, deren Struktur ebenfalls durch einen entsprechenden Stempel herstellbar ist. Mit dem Einprägeprozess der Lichtwellenleiterstruktur können gleichzeitig auch die beiden Bragg-Gitter 2, 3 eingeprägt werden. Dazu werden in jeden der
35 beiden Lichtwellenleiter 6, 7 parallele streifenförmige

Unregelmäßigkeiten im Abstand Λ eingeprägt, die dann als Bragg-Gitter 2, 3 wirken. Diese können auch kammartige Erhebungen oder auch Vertiefungen darstellen, die auf einer Länge von 3 bis 10 mm ein Bragg-Gitter 2, 3 bilden, das die
5 eingespeisten Lichtwellen mit einer vorgegebenen Wellenlänge λ_{B01} , λ_{B02} reflektieren. Andererseits können auf der Trägerfolie 8 auch zwei lineare herkömmliche Glasfaser-Lichtleiter mit unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten der Brechungszahlen n_1 , n_2 parallel nebeneinander fixiert werden, in die jeweils
10 ein Bragg-Gitter eingeprägt ist. Die beiden unterschiedlichen Lichtwellenleiterabschnitte könnten auch zu einem durchgehenden Lichtwellenleiter verbunden werden.

Durch ein derartiges Herstellungsverfahren mit zwei
15 Lichtwellenleitern 6, 7 unterschiedlicher Temperaturkoeffizienten der Brechungszahlen n_1 , n_2 und dem umgebenden Träger- 8 und Abdeckungsmaterial 9 mit einer niedrigeren Brechungszahl n_3 wird ein Dehnungssensor 1 geschaffen, mit dem erfindungsgemäß eine temperaturunabhängige
20 Dehnungsmessung erfolgen kann. Denn bei einer Zuführung eines breitbandigen Lichtstrahls im Zuführungslichtwellenleiter 4 wird durch die Strahlaufteilung 5 gleichfalls in jeden der beiden Lichtwellenleiter 6, 7 ein derartiger Lichtstrahl eingeleitet. Durch die Bragg-Gitter 2, 3 wird ein Teil des
25 Lichtstrahls mit bestimmter Wellenlänge λ_{B1} , λ_{B2} in Form eines Lichtpeaks reflektiert. Dabei ergibt sich für jedes Bragg-Gitter 2, 3 im unbelasteten Zustand eine Reflektionswellenlänge λ_{B0} nach der Formel $\lambda_{B0} = 2n \cdot \Lambda$, wobei n der Brechungsindex des Lichtwellenleiters 6, 7 im Bereich des
30 Bragg-Gitters 2, 3 und Λ die Gitterkonstante des jeweiligen Bragg-Gitters 2, 3 ist.

Der Kern der Erfindung besteht bei den vorliegenden optischen Dehnungssensoren darin, in einem Dehnungssensor zwei
35 thermisch-mechanisch gekoppelte Lichtwellenleiter 6, 7 mit

unterschiedlichen materialabhängigen Temperaturkoeffizienten des Brechungsindizes n_1 und n_2 im Bereich der Bragg-Gitter 2, 3 vorzusehen. Im dehnungslosen Zustand ergeben sich zwei unterschiedliche Reflektionswellenlängen nach der Funktion:

5

$$\lambda_{B01} = 2n_1 \cdot \Lambda_1;$$

$$\lambda_{B02} = 2n_2 \cdot \Lambda_2,$$

10 die sowohl von den unterschiedlichen Gitterkonstanten Λ_1 und Λ_2 als auch von dem unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex n_1 und n_2 abhängen. Dadurch ergibt sich ein Dehnungssensor mit dem eine Dehnung eines Verformungskörpers temperaturunabhängig erfassbar ist. Denn üblicherweise war
15 bisher nicht eindeutig feststellbar, welcher Dehnungsanteil von einer temperaturabhängigen Dehnung und welcher Anteil von einer belastungsabhängigen Dehnung verursacht wurde, denn die Bragg-Gitter-Wellenlänge λ_B shiftet als Funktion der Dehnung ε und der Temperaturänderung ΔT nach der Beziehung:

20

$$\frac{\Delta \lambda_B}{\lambda_{B0}} = K_E \cdot \varepsilon + K_T \cdot \Delta T.$$

25 Dabei entspricht:

λ_{B0} = Bragg-Gitter-Wellenlänge im dehnungslosen Zustand;

K_E = der Empfindlichkeitsfaktor der Dehnung;

ε = die Dehnung;

30 K_T = der Empfindlichkeitsfaktor der Temperatur und

ΔT = die Temperaturänderung.

Da man nach der vorstehenden Beziehung allerdings nicht zwischen der temperatur- und belastungsbedingten Bragg-
35 Wellenlängenänderungen $\Delta \lambda_B$ unterscheiden kann und eine

gleichbleibende Temperaturkonstanz nicht immer einhaltbar ist, liegt der Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dies durch einen thermo-mechanisch hart gekoppelten zweiten

Lichtwellenleiterabschnitt 6, 7 mit unterschiedlichen

5 optischen Materialeigenschaften zu erreichen. Denn dass von einem Bragg-Gitter 2, 3 reflektierte Licht der Wellenlänge λ_B wird nicht nur von der Dehnung ε und der Temperatur T beeinflusst, sondern hängt auch von den Materialeigenschaften der Lichtwellenleiter 6, 7 ab, die den Brechungsindex n mitbestimmen. Somit konnten durch zwei thermo-mechanisch hart gekoppelte Bragg-Gitter-Wellenleiterabschnitten 6, 7 mit vorbekannten aber unterschiedlichen Materialeigenschaften die Dehnungs- und die Temperaturbeeinflussung arithmetisch

10 getrennt und damit separiert voneinander ermittelt werden. Denn bei einer belastungs- und thermoabhängigen Dehnung der hart gekoppelten Bragg-Gitter-Wellenleiterabschnitte 6, 7 sind zwei verschiedene Wellenlängenänderungen $\Delta\lambda_{B1}$ und $\Delta\lambda_{B2}$ gegenüber dem dehnungslosen Zustand λ_{B01} , λ_{B02} des optischen Dehnungssensors 1 erfassbar. Die sich nach folgenden Funktionen:

20

$$\frac{\Delta\lambda_{B1}}{\lambda_{B01}} = K_{E1} \cdot \varepsilon_1 + K_{T1} \Delta T_1 \text{ und}$$

25 $\frac{\Delta\lambda_{B2}}{\lambda_{B02}} = K_{E2} \cdot \varepsilon_2 + K_{T2} \Delta T_2$

ergeben. Durch die thermo-mechanisch harte Kopplung der beiden Lichtwellenleiterabschnitte 6, 7 entspricht dabei die erfasste

30 wirksame Dehnung $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ und die Temperaturänderung $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T$, so dass aus den beiden oben genannten Funktionen mithilfe einer Determinantenberechnung sowohl die gemeinsame Dehnung ε als auch die gemeinsame Temperaturänderung ΔT bei verschiedenen Wellenlängenmessungen nach folgenden Formeln:

35

$$\varepsilon = \frac{a_1 \cdot K_{T2} - a_2 \cdot K_{T1}}{K_{E1} \cdot K_{T2} - K_{E2} \cdot K_{T1}}$$

$$\text{mit } a_i = \frac{\Delta\lambda_{Bi}}{\lambda_{B0i}} ; i = 1, 2 \text{ und}$$

5

$$\Delta T = \frac{a_1 \cdot K_{E2} - a_2 \cdot K_{E1}}{K_{E1} \cdot K_{T2} - K_{E2} \cdot K_{T1}}$$

errechenbar ist. Aus den vorstehenden mathematischen
 10 Funktionen ist erkennbar, dass mit einem derart gekoppelten
 optischen Dehnungssensor zumindest eine temperaturkompensierte
 Ermittlung der gemeinsamen Dehnung oder die
 dehnungskompensierte Temperaturänderung errechenbar ist,
 sofern die optischen Materialkonstanten bezüglich der
 15 Dehnungsempfindlichkeit K_E und der Temperaturempfindlichkeit K_T
 bekannt sind. Diese sind aber z.B. für die
 Temperaturempfindlichkeit aus den Referenzwellenlängen λ_{B01} und
 λ_{B02} für die reflektierte Wellenlänge der Bragg-Gitter im
 dehnungsfreien Zustand ableitbar, die sich nach der Funktionen

20

$$\frac{\Delta\lambda_{B1}}{\Delta\lambda_{B01}} = K_{T1} \cdot \Delta T_1 \quad \text{und}$$

$$25 \quad \frac{\Delta\lambda_{B2}}{\Delta\lambda_{B02}} = K_{T2} \cdot \Delta T_2$$

bestimmen lassen.

30 Dabei sind mindestens die Gitterkonstanten Λ zur Einprägung
 der Bragg-Gitter 2, 3 vorgegeben, so dass nach Durchlaufen
 unterschiedlicher Temperaturniveaus ΔT durch Messung der
 Referenzwellenlänge λ_{B0} rechnerisch auf den
 Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex n geschlossen
 35 werden kann, sofern dieser nicht schon bei der Herstellung der

Lichtwellenleiter vorgegeben wird. Da weiterhin bekannt ist, dass sich die Wellenlängenänderung $\Delta\lambda_B$ proportional zur Längendehnung des Bragg-Gitters 2, 3 verhält, ergibt sich wegen des linearen Zusammenhangs der Empfindlichkeitsindizes

5 K_E , K_T und der relativen Wellenlängenänderung $\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_{B0}}$ im

Dehnungsfall, so dass sich im Fall kombinierter Beanspruchung durch eine Dehnungs- und Temperaturänderung diese aus dem Gleichungssystem:

10

$$\varepsilon = \frac{a_1 \cdot K_{T2} - a_2 \cdot K_{T1}}{K_{E1} \cdot K_{T2} - K_{E2} \cdot K_{T2}} \quad \text{mit } a_i = \frac{\Delta\lambda_{Bi}}{\lambda_{B0i}} ; i = 1, 2 \text{ und}$$

15

$$\Delta T = \frac{a_1 \cdot K_{E2} - a_2 \cdot K_{E1}}{K_{E1} \cdot K_{T2} - K_{E2} \cdot K_{T2}}$$

20 ergibt.

Daraus folgt die Erkenntnis, dass mit einer Messkette zur Erfassung der beiden reflektierten Wellenlängen λ_{B1} und λ_{B2} des Dehnungssensors 1 und eines Spektrometers 11 sowie einer elektronischen Auswertevorrichtung 10 unter Berücksichtigung der Materialkonstanten mindestens die temperaturkompensierte Dehnung an oder in einen Verformungskörper errechenbar ist.

25

Eine derartige Messkette ist im Einzelnen in Fig. 3 der Zeichnung dargestellt, die einen optischen Dehnungssensor 1, ein Spektrometer 11, eine Auswertevorrichtung 10, ein Referenzwellenlängeneinstellglied 12, ein Dehnungsempfindlichkeitseinstellglied 13, ein Temperaturempfindlichkeitseinstellglied 14, eine Temperatur - 16 und eine Dehnungsanzeige 15 enthält.

35

Bei einer Dehnungsmessung des optischen Dehnungssensors 1 wird zunächst mithilfe eines Fabry-Pérot-Detektors als Spektrometer 11 die aus den beiden Bragg-Gittern 2, 3 reflektierte
 5 gemessene Wellenlänge λ_{B1} und λ_{B2} detektiert. In der Auswertevorrichtung 10 wird nun die Differenz aus den vorgegebenen Referenz-Bragg-Wellenlängen λ_{B01} und λ_{B02} und den gemessenen beiden Wellenlängen λ_{B1} und λ_{B2} nach den Funktionen

$$10 \quad \Delta\lambda_{B1} = \lambda_{B01} - \lambda_{B1} \quad \text{und}$$

$$\Delta\lambda_{B2} = \lambda_{B02} - \lambda_{B2}$$

gebildet, so dass man mit $\Delta\lambda_{B1}$ und $\Delta\lambda_{B2}$ einen Wert erhält, der
 15 der Dehnung ε bzw. dem Belastungswert F und der Temperaturdehnung ΔT proportional ist. Dazu wurden die Referenzwellenlängen λ_{B01} und λ_{B02} der Auswertevorrichtung 10 durch das Referenzwellenlängeneinstellglied 12 vorgegeben. Da die Empfindlichkeitsfaktoren für die Dehnung K_E und für die
 20 Temperatur K_T sich weitgehend aus den Funktionen:

$$\frac{\Delta\lambda_{B1}}{\lambda_{B01}} = K_{E1} \cdot \varepsilon_1 + K_{T1} \cdot \Delta T_1$$

25

$$\frac{\Delta\lambda_{B2}}{\lambda_{B02}} = K_{E2} \cdot \varepsilon_2 + K_{T2} \cdot \Delta T_2$$

mit dem gewählten Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex n_1
 30 und n_2 und den bekannten Gitterkonstanten Λ_1 und Λ_2 ergeben, kann in der Auswertevorrichtung 10 die belastungsrelevante Dehnung ε nach der vorstehend entwickelten Funktion:

$$\varepsilon = \frac{a_1 \cdot K_{T2} - a_2 \cdot K_{T1}}{K_{E1} \cdot K_{T2} - K_{E2} \cdot K_{T1}} \quad \text{mit } a_i = \frac{\Delta\lambda_{Bi}}{\lambda_{B0i}} \quad ; \quad i = 1, 2$$

35

errechnet werden.

5 Aus der vorstehenden Funktion ist ersichtlich, dass sich die temperaturabhängige Dehnung an einem Verformungskörper offensichtlich kompensieren lässt, wenn man zwei unterschiedliche dehnungsempfindliche Lichtwellenleiter 6, 7 mit Bragg-Gittern 2, 3 thermo-mechanisch starr miteinander
10 koppelt. Dazu ist dann nur notwendig, dass die Konstanten K_{E1} und K_{E2} und K_{T1} und K_{T2} anhand der gewählten Temperaturkoeffizienten der Brechungszahlen n_1 , n_2 und Gitterkonstanten Λ_1 , Λ_2 ermittelt und in der Auswertevorrichtung 10 gespeichert werden. Da gleichfalls die
15 dehnungsfreie Referenz-Bragg-Wellenlänge λ_{B01} und λ_{B02} aus den folgenden Funktionen:

$$\lambda_{B01} = 2n_1 \cdot \Lambda_1 \quad \text{und}$$

20 $\lambda_{B02} = 2n_2 \cdot \Lambda_2$

bekannt oder in der Auswertevorrichtung 10 errechenbar ist, wird mittels des Referenzwelleneinstellglieds 12, des Dehnungsempfindlichkeitseinstellglieds 13 und des
25 Temperaturempfindlichkeitsglieds 14 die Referenzwellenlängen λ_{B01} und λ_{B02} sowie die Empfindlichkeitsfaktoren K_{E1} , K_{E2} , K_{T1} und K_{T2} eingegeben. Dann wird in der Auswertevorrichtung 10 aus den eingegebenen Faktoren und aus den beiden gemessenen Bragg-Wellenlängen λ_{B1} und λ_{B2} nach der oben stehenden Formel die
30 gesuchte Dehnung ε errechnet und in einer Dehnungsanzeige 15 angezeigt.

Eine derartige temperaturkompensierte Dehnungserfassung kann nicht nur bei linear beaufschlagten optischen Dehnungssensoren
35 1, sondern auch bei optischen Rosettendehnungsmessstreifen,

die mehrere winkelvesetzte Wellenleiterabschnitte mit Bragg-Gittern aufweisen, durchgeführt werden. Dabei wird lediglich zu einem dieser Bragg-Wellenleiter-Abschnitte ein zweiter Bragg-Gitter-Wellenleiter-Abschnitt mit unterschiedlicher Brechungszahl und Gitterkonstante parallel angeordnet und mit allen thermo-mechanisch starr gekoppelt.

Mit den vorstehend beschriebenen optischen Dehnungssensoren 1 kann gleichzeitig auch die Temperaturänderung ΔT zwischen zwei Wellenlängenmessungen errechnet werden, ohne dass dabei die Messkörper-Dehnung bekannt sein müsste. Denn nach den beiden vorstehenden Grundgleichungen $\Delta\lambda_{B1}$ und $\Delta\lambda_{B2}$ kann mathematisch auch die Temperaturänderung ΔT nach folgender Formel:

$$\Delta T = \frac{a_1 \cdot K_{E2} - a_2 \cdot K_{E1}}{K_{E1} \cdot K_{T2} - K_{E2} \cdot K_{T1}} \quad \text{mit } a_i = \frac{\Delta\lambda_{Bi}}{\lambda_{B0i}} ; i = 1, 2$$

in der Auswertevorrichtung 10 separiert werden. Damit kann durch vorstehendes Rechenverfahren und aus den ermittelten Wellenlängen-Differenzen $\Delta\lambda_{B1}$, $\Delta\lambda_{B2}$ und den vorgegebenen Empfindlichkeitsfaktoren K_{E1} , K_{E2} und K_{T1} , K_{T2} in der Auswertevorrichtung gleichzeitig auch die Temperaturdifferenz ΔT ermittelt werden.

Ein derartiger optischer Dehnungssensor 1 könnte aber durch ein besonderes Auswerteverfahren auch nur zur Temperaturermittlung eingesetzt werden. Dabei könnte die bei einer vorbekannten Temperatur ermittelte Wellenlänge λ_{B01} und λ_{B02} als Referenztemperatur T_0 der Auswertevorrichtung 10 vorgegeben werden. Aus einer nachfolgend erfassten Wellenlängenänderung $\Delta\lambda_{B1}$ und $\Delta\lambda_{B2}$ kann dann die Temperaturänderung ΔT errechnet und zur Referenztemperatur T_0 in der Auswertevorrichtung 10 addiert werden, um die aktuelle Temperatur T zu ermitteln.

Optischer Dehnungssensor

Patentansprüche

- 5 1. Optischer Dehnungssensor, der eine ebene planare Trägerschicht enthält, auf oder in der mindestens ein Lichtwellenleiter (6, 7) kraftschlüssig angeordnet ist, der mindestens einen Abschnitt mit einem Bragg-Gitter (2, 3) zur Erfassung der Dehnung (ε) aufweist, wobei ein
- 10 erster Lichtwellenleiter (6) einen bestimmten Brechungsindex (n_1) und ein erstes Bragg-Gitter (2) eine bestimmte Gitterkonstante (Λ_1) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass auf oder in der Trägerschicht (8) mindestens noch ein weiterer parallel angeordneter zweiter
- 15 Lichtwellenleiter (7) oder Lichtwellenleiterabschnitt (7) mit einem Bragg-Gitter (3) vorgesehen ist, der mindestens mit dem ersten Lichtwellenleiter (6) bzw. Lichtwellenleiterabschnitt (6) thermo-mechanisch gekoppelt ist und wobei der zweite Lichtwellenleiter (7) mindestens
- 20 einen anderen Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex (n_2) als der erste Lichtwellenleiter (6) aufweist.
2. Optischer Dehnungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf oder in einer dünnen Trägerfolie
- 25 mindestens zwei parallel nebeneinander angeordnete lineare Lichtwellenleiter (6, 7) mit mindestens zwei Bragg-Gittern (2, 3) angeordnet sind, wobei beide Lichtwellenleiter (6, 7) mindestens einen unterschiedlichen Temperaturkoeffizienten des Brechungsindex (n_1 , n_2)
- 30 aufweisen.
3. Optischer Dehnungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf oder in einer dünnen Trägerfolie (8) ein Zuführungswellenleiter (4) angeordnet ist, der
- 35 eine nachfolgende Strahlaufteilung (5) aufweist, nach der

zwei parallel zueinander und linear ausgerichtete Lichtwellenleiterabschnitte (6, 7) unterschiedlicher Materialkonstanten (K_{E1} , K_{E2} ; K_{T1} , K_{T2}) mit jeweils einem Bragg-Gitter (2, 3) folgen.

5

4. Optischer Dehnungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bragg-Gitter (2, 3) unterschiedliche Gitterkonstanten (Λ_1 , Λ_2) aufweisen.

10

5. Optischer Dehnungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens die Lichtwellenleiterabschnitte (6, 7) mit den Bragg-Gittern (2, 3) aus einem Ormocer®-Kunststoff mit unterschiedlichem Brechungsindex (n_1 , n_2) bestehen, wobei diese zwischen der Trägerfolie (8) und einer Abdeckfolie (9) angeordnet sind, die beide einen Brechungsindex (n_3) mit niedrigerer Brechungszahl als die Lichtwellenabschnitte (6, 7) aufweisen.

15

20

6. Optischer Dehnungssensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Trägerfolie (8) und die Abdeckfolie (9) aus einem Ormocer-Kunststoff mit gleichen Materialkonstanten (K_E , K_T) bestehen, dessen Materialkonstanten sich von denen der Bragg-Gitter-Abschnitte (6, 7) unterscheiden.

25

7. Optischer Dehnungssensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass neben den beiden linearen Bragg-Gitter-Abschnitten (6, 7) noch mindestens zwei weitere lineare Bragg-Gitter-Abschnitte wie bei einer Rosette auf oder in einer gemeinsamen Trägerfolie (8) vorgesehen sind, die vorgegebene Winkelabstände voneinander und von den beiden linearen Bragg-Gitter-Abschnitten (6, 7) aufweisen.

30

35

8. Messanordnung mit mindestens einem optischen Dehnungssensor, der mindestens zwei lineare parallel angeordnete Wellenleiter-Anschnitte (6, 7) mit unterschiedlichem Brechungsindex (n_1 , n_1) und jeweils einem Bragg-Gitter (2, 3) aufweist, und der auf oder in einem dehnungsbelastbaren Verformungskörper fixiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Wellenleiter-Abschnitte (6, 7) mit einem Spektrometer (11) verbunden sind, das einen Wert der beiden reflektierten Bragg-Wellenlängen (λ_{B1} , λ_{B2}) einer nachfolgenden elektronischen Auswertevorrichtung (10) übermittelt, die daraus und aus den vorbekannten dehnungslosen beiden Bragg-Wellenlängen (λ_{B01} , λ_{B02}) und den vorgegebenen dehnungs- und temperaturabhängigen Empfindlichkeitskonstanten (K_E , K_T) nach einem linearen, mathematischen Gleichungssystem die temperaturunabhängige Dehnung (ε) und/oder die dehnungsunabhängige Temperatur T des Verformungskörpers errechnet.

9. Messverfahren mit mindestens einem planaren optischen Dehnungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, der auf oder in einem Verformungskörper fixiert ist, dessen reflektierte Wellenlängen (λ_{B1} , λ_{B2}) mit einem Spektrometer (11) ermittelt werden und aus dessen Werten eine Differenz zu einer Referenz-Bragg-Wellenlänge (λ_{B01} , λ_{B02}) gebildet wird, wobei aus diesen beiden Differenz-Wellenlängen ($\Delta\lambda_{B1}$, $\Delta\lambda_{B2}$) und den beiden vorgegebenen Empfindlichkeitsfaktoren der Dehnung (K_{E1} , K_{E2}) und den beiden vorgegebenen Empfindlichkeitsfaktoren der Temperatur (K_{T1} , K_{T2}) der beiden Lichtwellenleiterabschnitte (6, 7) mit den beiden Bragg-Gittern (2, 3) die Verformungskörperdehnung (ε) und/oder die Verformungskörpertemperatur (T) in einer Auswertevorrichtung (10) errechnet wird.

10. Messverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,
dass die temperaturunabhängige Verformungskörperdehnung
(ε) in der Auswertevorrichtung (10) nach folgender
Funktion:

$$\varepsilon = \frac{a_1 \cdot K_{T2} - a_2 \cdot K_{T1}}{K_{E1} \cdot K_{T2} - K_{E2} \cdot K_{T1}} \quad \text{mit } a_i = \frac{\Delta\lambda_{Bi}}{\lambda_{B0i}} ; i = 1, 2$$

errechnet wird.

11. Messverfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,
dass die dehnungsunabhängige Verformungskörper-Temperatur
(T) in einer Auswertevorrichtung (10) aus einer Referenz-
temperatur-Messung (T_0) bei einer vorherigen
Wellenlängenmessung ($\Delta\lambda_{B1}$, $\Delta\lambda_{B2}$) und der
Temperaturabweichung (ΔT) bei einer nachfolgenden Messung
nach der Funktion:

$$T = T_0 + \Delta T$$

ermittelt wird.

12. Messverfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,
dass die dehnungsunabhängige Temperaturabweichung (ΔT) in
der Auswerteschaltung (10) nach folgender mathematischer
Funktion:

$$\Delta T = \frac{a_1 \cdot K_{E2} - a_2 \cdot K_{E1}}{K_{E1} \cdot K_{T2} - K_{E2} \cdot K_{T1}} \quad \text{mit } a_i = \frac{\Delta\lambda_{Bi}}{\lambda_{B0i}} ; i = 1, 2$$

errechnet wird.

Fig 1

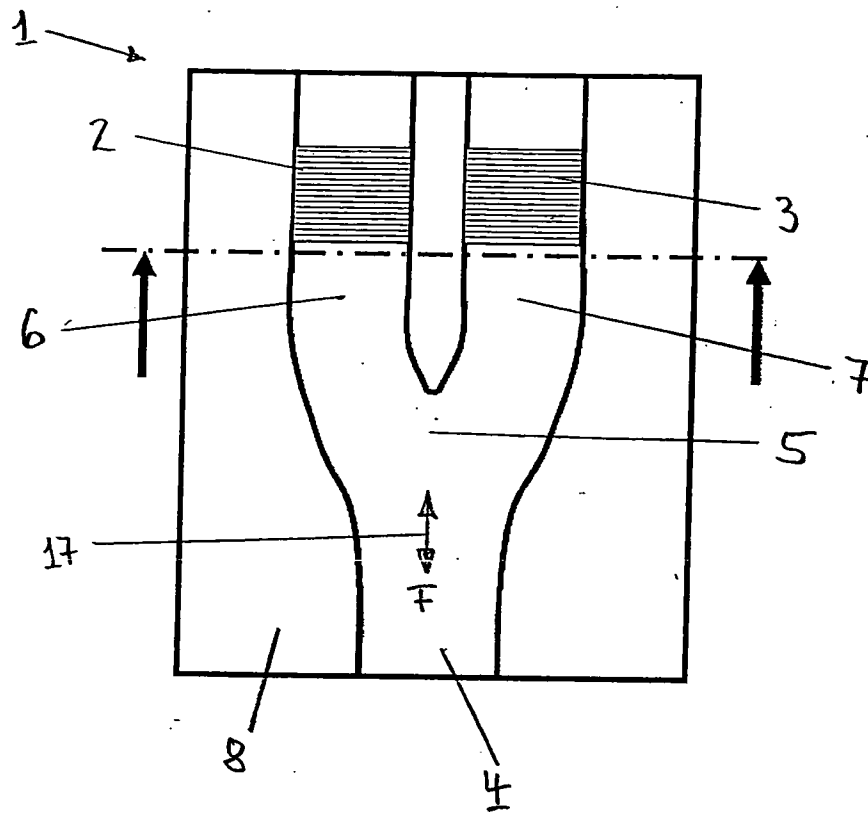


Fig 2

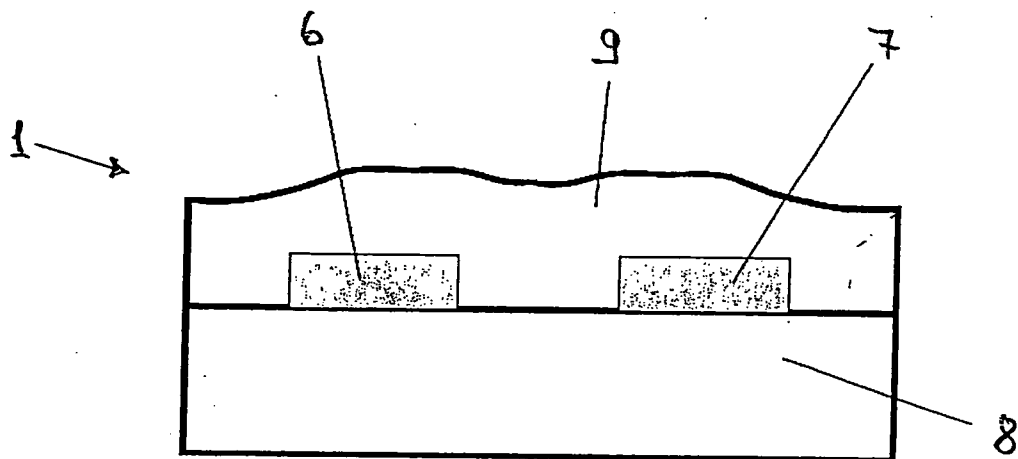
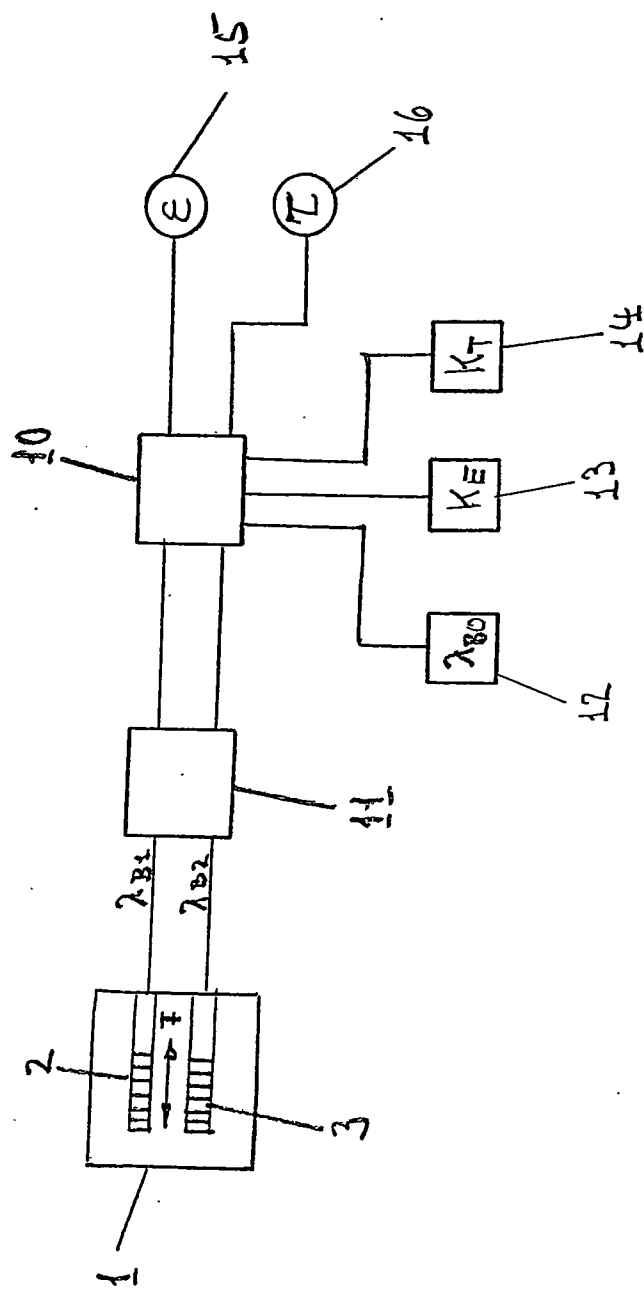


Fig 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/004159

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01L1/24 G01K11/32 G01D5/353

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 G01B G01D G01K G01M G02B

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2005 030753 A1 (HOTTINGER MESSTECHNIK BALDWIN [DE]) 11 January 2007 (2007-01-11) cited in the application figures 1,2 paragraph [0018] - paragraph [0020] paragraph [0025]	1-12
Y	WO 03/038493 A (ASTON PHOTONIC TECHNOLOGIES LT [GB]; SHU XUEWEN [GB]; LIU YU [GB]; ZHA) 8 May 2003 (2003-05-08) figures 1-9 page 4, line 15 - page 5, line 4 idem ----- -/--	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 August 2009

Date of mailing of the international search report

04/09/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040;
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Giesen, Fabian

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/004159

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 563 967 A (HAAKE JOHN M [US]) 8 October 1996 (1996-10-08)	1-7,9-12
X	figures 1-4 column 6, line 21 - line 47 column 7, line 10 - line 50 column 8, line 54 - column 11, line 22 column 12, line 1 - line 21	8
A	BUESTRICH R ET AL: "ORMOCERS FOR OPTICAL INTERCONNECTION TECHNOLOGY" JOURNAL OF SOL-GEL SCIENCE AND TECHNOLOGY, SPRINGER, NEW YORK, NY, US, vol. 20, no. 2, 1 February 2001 (2001-02-01), pages 181-186, XP001058795 ISSN: 0928-0707 the whole document	5,6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2009/004159

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102005030753 A1	11-01-2007	CA 2613613 A1	04-01-2007
		CN 101228421 A	23-07-2008
		EP 1899700 A1	19-03-2008
		WO 2007000323 A1	04-01-2007
		JP 2008545124 T	11-12-2008
		US 2009080829 A1	26-03-2009
WO 03038493 A	08-05-2003	AT 325358 T	15-06-2006
		EP 1324082 A1	02-07-2003
		US 2003085344 A1	08-05-2003
US 5563967 A	08-10-1996	AU 7162196 A	14-04-1998
		WO 9812525 A1	26-03-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/004159

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01L1/24 G01K11/32 G01D5/353

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01L G01B G01D G01K G01M G02B

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2005 030753 A1 (HOTTINGER MESSTECHNIK BALDWIN [DE]) 11. Januar 2007 (2007-01-11) in der Anmeldung erwähnt Abbildungen 1,2 Absatz [0018] - Absatz [0020] Absatz [0025]	1-12
Y	WO 03/038493 A (ASTON PHOTONIC TECHNOLOGIES LT [GB]; SHU XUEWEN [GB]; LIU YU [GB]; ZHA) 8. Mai 2003 (2003-05-08) Abbildungen 1-9 Seite 4, Zeile 15 - Seite 5, Zeile 4 idem	1-12

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

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. August 2009

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04/09/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Giesen, Fabian

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/004159

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 5 563 967 A (HAAKE JOHN M [US]) 8. Oktober 1996 (1996-10-08)	1-7,9-12
X	Abbildungen 1-4 Spalte 6, Zeile 21 - Zeile 47 Spalte 7, Zeile 10 - Zeile 50 Spalte 8, Zeile 54 - Spalte 11, Zeile 22 Spalte 12, Zeile 1 - Zeile 21 -----	8
A	BUESTRICH R ET AL: "ORMOCERS FOR OPTICAL INTERCONNECTION TECHNOLOGY" JOURNAL OF SOL-GEL SCIENCE AND TECHNOLOGY, SPRINGER, NEW YORK, NY, US, Bd. 20, Nr. 2, 1. Februar 2001 (2001-02-01), Seiten 181-186, XP001058795 ISSN: 0928-0707 das ganze Dokument -----	5,6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/004159

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005030753 A1	11-01-2007	CA 2613613 A1	04-01-2007
		CN 101228421 A	23-07-2008
		EP 1899700 A1	19-03-2008
		WO 2007000323 A1	04-01-2007
		JP 2008545124 T	11-12-2008
		US 2009080829 A1	26-03-2009
WO 03038493 A	08-05-2003	AT 325358 T	15-06-2006
		EP 1324082 A1	02-07-2003
		US 2003085344 A1	08-05-2003
US 5563967 A	08-10-1996	AU 7162196 A	14-04-1998
		WO 9812525 A1	26-03-1998