

(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

27. September 2012 (27.09.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2012/126960 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01L 1/18 (2006.01) G01B 5/30 (2006.01)

G01L 1/22 (2006.01) G01B 7/16 (2006.01)

G01B 21/32 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/055033

(22) Internationales Anmeldedatum:
21. März 2012 (21.03.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102011015081.1 24. März 2011 (24.03.2011) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT [DE/DE]; Goebenstrasse 40, 66117 Saarbrücken (DE). ZeMA gGmbH [DE/DE]; Gewerbepark Eschberger Weg, Gebäude 9, 66121 Saarbrücken (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHULTES, Günter [DE/DE]; Kohlweg 36, 66123 Saarbrücken (DE). BOCK, Jochen [DE/DE]; Hinter den Gärten 13, 66440 Blieskastel

(DE). GÖTTEL, Dirk [DE/DE]; Gartenstr. 6, 66798 Wallerfangen (DE).

(74) Anwalt: BANSE & STEGLICH; Herzog-Heinrich-Strasse 23, 80336 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, QA, RO, RS, RU, RW, 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, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SENSOR FIBER AND SENSOR FIBER ARRANGEMENT

(54) Bezeichnung : SENSORFASER SOWIE SENSORFASERANORDNUNG

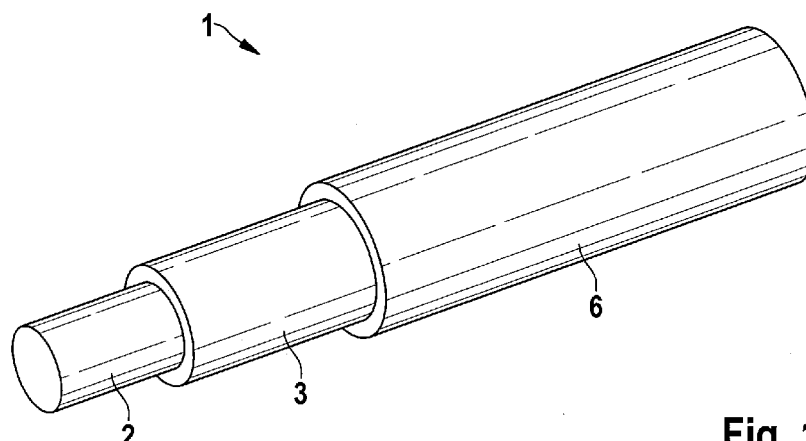


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a sensor fiber for measuring a deformation, comprising: a fiber core (2) that is not conductive at least on the fiber core lateral face; and a sensor layer (3) that surrounds the fiber core; wherein the sensor layer (3) contains a material which contains carbon and in which clusters (4) made of a conductive cluster material are embedded, said clusters (4) being separated from each other by the material which contains carbon.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Sensorfaser zum Messen einer Verformung, umfassend: einen zumindest

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/126960 A1



RS, SE, SI, SK, SM, 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)

an seiner Mantelfläche nicht leitenden Faserkern (2); eine den Faserkern umgebende Sensorschicht (3); wobei die Sensorschicht (3) ein kohlenstoffhaltiges Material enthält, in das Cluster (4) aus leitfähigem Clustermaterial eingebettet sind, wobei die Cluster (4) durch das kohlenstoffhaltige Material voneinander getrennt sind.

BESCHREIBUNG

5 Sensorfaser sowie Sensorfaseranordnung

Technisches Gebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Sensorfaser, insbesondere eine Sensorfaser,
10 die eine Längenänderung aufgrund von Zug oder Druck in Form einer Änderung
eines elektrischen Widerstands darstellt.

Stand der Technik

15 Sensorfasern zur Messung von Kräften und Drücken sind aus dem Stand der
Technik bekannt. Beispielsweise zeigt die Druckschrift DE 10 2008 058 882 A1 eine
faserverstärkte Kunststoffstruktur, die in Kunststoff eingebettete Verstärkungsfasern
und darin enthaltenen Sensorfasern umfasst. Die Sensorfasern weisen eine
elektrische Leitfähigkeit auf, die sich bei einer durch Einwirken einer Kraft
20 hervorgerufenen Längenänderung der Sensorfasern ändert. Dadurch ist es möglich,
Belastungen durch Druck- oder Zugkräfte in faserverstärkten Kunststoffstrukturen in
einfacher Weise festzustellen.

Bekannte Sensorfasern zum Detektieren einer Zugkraft sind in der Regel aus
25 metallischem Material gefertigt. Dieses Material hat jedoch den Nachteil, dass es
nur einen geringen k-Faktor von etwa 2 aufweist. Der k-Faktor gibt das Verhältnis
einer Widerstandsänderung zu einer Längenänderung der Sensorfaser an. Der k-
Faktor stellt ein direktes Maß für die Empfindlichkeit eines mit einer solchen
Sensorfaser aufgebauten Sensors dar.

30 Für viele Anwendungen ist jedoch die Empfindlichkeit von derartigen Sensorfasern
nicht ausreichend, so dass auf andere Sensormaterialien ausgewichen werden
kann. Andere Sensormaterialien, wie z. B. solche aus Keramik oder Halbleitern,

haben jedoch den Nachteil, dass sie eine relativ geringe Leitfähigkeit aufweisen, so dass ihre Nutzbarkeit eingeschränkt ist, da eine Widerstandsänderung bei hohen Widerständen aufgrund der resultierenden niedrigen Stromstärken schwieriger zu detektieren ist. Zudem sind solche Materialien oftmals spröde, so dass deren

5 Reversibilität einer Längenänderung nach Aufbringen einer Zugkraft deutlich hinter der von metallischen Materialien zurückbleibt. Solche Sensormaterialien sind daher nur in Anwendungsbereichen einsetzbar, in denen die zu erwartenden Längenänderung des Sensormaterials innerhalb eines vorbestimmten Bereichs bleibt.

10

Als besonders viel versprechende Sensormaterialien sind kohlenstoffhaltige Schichten mit Clustern aus leitfähigem Clustermaterial z. B. aus der Druckschrift WO 2009/129 930 bekannt. Die Cluster enthalten vorzugsweise ein Metall und sind in das kohlenstoffhaltige Material eingebettet, so dass die Cluster voneinander

15 durch das kohlenstoffhaltige Material getrennt sind. Derartige kohlenstoffhaltige Materialien weisen bei relativ geringem elektrischem Widerstand einen hohen k-Faktor auf, so dass Schichten aus diesem Material besonders für die Verwendung als Kraft- oder Drucksensor geeignet sind. Nachteilig ist, dass derartige kohlenstoffhaltige Schichten spröde und daher nicht zur Ausbildung von

20 Sensorfasern geeignet sind. Weiterhin können derartige kohlenstoffhaltige Schichten mit eingebetteten Clustern nur durch einen Abscheideprozess, wie z.B. einem Sputter-Prozess, hergestellt werden, wobei der Schichtaufbau relativ langsam erfolgt. Ein Aufbau einer Sensorfaser von signifikanter Dicke ist daher sehr aufwändig.

25

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Sensorfaser mit einer hohen Empfindlichkeit herzustellen, die zudem eine hohe Robustheit aufweist. Es ist weiterhin Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Sensorelement mit einer Sensorfaser sowie ein Herstellungsverfahren für eine Sensorfaser zur Verfügung zu

30 stellen.

Offenbarung der Erfindung

Diese Aufgabe wird durch die Sensorfaser gemäß Anspruch 1 sowie durch das Sensorelement mit einer Sensorfaser und das Verfahren zum Herstellen einer Sensorfaser gemäß den nebengeordneten Ansprüchen gelöst.

- 5 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Gemäß einem ersten Aspekt ist eine Sensorfaser zum Messen einer Verformung vorgesehen. Die Sensorfaser umfasst:

- 10 - einen zumindest an seiner Mantelfläche nicht leitenden Faserkern; und
- eine den Faserkern umgebende Sensorschicht;

wobei die Sensorschicht ein kohlenstoffhaltiges Material enthält, in das Cluster aus leitfähigem Clustermaterial eingebettet sind, wobei die Cluster durch das kohlenstoffhaltige Material voneinander getrennt sind.

15

Eine Idee der obigen Sensorfaser besteht darin, als Sensormaterial für die Sensorfaser ein kohlenstoffhaltiges Material zu verwenden, in das Cluster aus leitfähigem Material eingebracht sind. Das kohlenstoffhaltige Sensormaterial hat den Vorteil einer guten Temperaturbeständigkeit und einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Zug- und Stauchungskräften, d. h. eines hohen k-Faktors. Um ein Reißen des an sich spröden Sensormaterials bei einer Zugbelastung zu vermeiden, ist vorgesehen, die Sensorfaser mit einem vollständig nicht-leitenden oder mit einem zumindest an seiner Mantelfläche nicht-leitenden Faserkern zu versehen, der geeignet ist, hohe Zugkräfte (höhere Zugkräfte als das Material der Sensorschicht) aufzunehmen, und den Faserkern mit dem Sensormaterial zu umgeben. Die Dehnung der Sensorfaser aufgrund einer einwirkenden Kraft wird dann maßgeblich durch die Elastizität der Sensorfaser bestimmt. Eine derartige Sensorfaser kann die Vorteile einer hohen Zugfestigkeit mit dem Vorteil einer hohen Empfindlichkeit vereinen.

25
30

Das Sensormaterial weist eine elektrische Leitfähigkeit auf, die sowohl von der Dehnung bzw. Stauchung der Sensorfaser als auch von einem Druck eines die Sensorfaser umgebenden Mediums, der in radialer Richtung auf die Sensorfaser

wirkt, abhängt. Somit kann die Sensorfaser in flexibler Weise in Sensoranordnungen für sowohl Zug- und Stauchungskräfte als auch für Drücke eingesetzt werden.

- 5 Es kann vorgesehen sein, dass der Faserkern vollständig aus einem elektrisch nicht-leitenden Material gebildet ist oder einen an seiner Mantelfläche isolierten elektrischen Leiter umfasst. Insbesondere durch die zweitgenannte Variante ist es möglich, den Faserkern als elektrischen Leiter zu verwenden, der zu
- 10 Signalübertragung, Energieübertragung oder als Messelement z.B. für eine Temperaturmessung verwendet werden kann.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die Sensorfaser eine die Sensorschicht umgebende nicht-leitende Schicht umfasst, die als Isolationsschicht und/oder Schutzschicht dient.

15

Gemäß einer Ausführungsform kann die Sensorfaser eine die Sensorschicht umgebende elektrisch leitende Abschirmung umfassen.

- 20 Die Sensorfaser kann mehrere Sensorabschnitte umfassen, die durch mindestens eine Leiterschicht definiert sind, die in einem Bereich der Sensorfaser unmittelbar auf die Sensorschicht aufgebracht ist.

Gemäß einem weiteren Aspekt ist ein Sensorelement vorgesehen. Das Sensorelement umfasst:

25

- ein Trägermaterial;
- mindestens eine der obigen Sensorfasern, die auf das Trägermaterial aufgebracht oder in das Trägermaterial eingebracht ist.

- 30 Auf diese Weise wird ein Sensorelement geschaffen, das einfach herstellbar ist und die integrale Verformung eines Bauteils über einen größeren Streckenbereich ermitteln kann.

Es kann vorgesehen sein, dass Kontaktflächen zum Kontaktieren der Sensorfaser vorgesehen sind. Insbesondere kann das Trägermaterial mit mehreren parallel angeordneten Sensorfasern versehen sein, wobei die Kontaktflächen zum Kontaktieren der einzelnen Sensorfasern an einer Kontaktleiste an einem Ende des Trägermaterials angeordnet sind. Zwischen jeweils zwei der Sensorfasern an verschiedenen Positionen entlang der Erstreckung der Sensorfasern in dem Trägermaterial sind elektrisch leitende Verbindungen angeordnet.

Gemäß einem weiteren Aspekt ist ein textiles Gewebe mit einem oder mehreren der obigen Sensorfasern vorgesehen.

Gemäß einem weiteren Aspekt ist ein Verfahren zum Herstellen einer Sensorfaser vorgesehen, wobei ein reaktiver PVD-Prozess mit einem Sputtermaterial von einem Target auf einen Faserkern unter einer reaktiven Atmosphäre eines kohlenstoffhaltigen Gases, das insbesondere Ethan, Ethen oder Ethin enthält, durchgeführt wird, so dass das kohlenstoffhaltige Gas dissoziiert und eine kohlenstoffhaltige Schicht auf einer Oberfläche des Faserkerns abgeschieden wird, in der Cluster des Sputtermaterials eingebettet sind, wobei der Faserkern durch ein röhrenförmiges Target geführt wird, während er beschichtet wird.

Gemäß einem weiteren Aspekt ist ein Verfahren zum Herstellen der obigen Sensorfaser vorgesehen, wobei ein PVD-Prozess von einem Target mit kohlenstoffhaltigem Material und mit metallhaltigem Material auf einen Faserkern unter einer nicht-reaktiven Atmosphäre eines Inertgases durchgeführt wird, so dass eine kohlenstoffhaltige Schicht aus dem kohlenstoffhaltigen Material auf einer Oberfläche des Faserkerns abgeschieden wird, in der Cluster des metallhaltigen Materials eingebettet sind, wobei der Faserkern durch ein röhrenförmiges Target geführt wird, während er beschichtet wird.

Weiterhin kann das Target aus aufeinander, insbesondere wechselweise, aufgesetzten Ringen aus dem kohlenstoffhaltigen Material und aus dem metallhaltigen Material gebildet sein.

Weiterhin kann der Faserkern während des PVD- Prozesses auf eine Temperatur unter 600°C, insbesondere auf eine Temperatur zwischen 150°C und 300°C, aufgeheizt werden.

- 5 Es kann vorgesehen sein, dass der PVD-Prozess in einer Beschichtungskammer durchgeführt wird, wobei die Sensorfaser beim oder hinter dem Ausgang der Beschichtungskammer an eine negative Biasspannung angeschlossen wird, so dass der im Inneren der Beschichtungskammer befindliche Abschnitt der Sensorfaser elektrisch vorgespannt ist, um ein Bias-Sputtern durchzuführen.

10

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

15

Figur 1 eine perspektivische Darstellung einer Sensorfaser gemäß einer Ausführungsform;

Figur 2 eine Querschnittsdarstellung durch die Sensorfaser der Figur 1;

20

Figur 3 eine weitere perspektivische Darstellung einer weiteren Ausführungsform einer Sensorfaser;

Figur 4 eine Darstellung der Verwendung und Kontaktierung der Sensorfaser zur Messung von mechanisch auf die Sensorfaser einwirkenden Kräften;

25

Figur 5 eine Möglichkeit zur Verwendung der Sensorfaser für eine Messung eines Drucks eines Mediums in einem Druckbehälter;

30

Figur 6 eine Querschnittsdarstellung des Aufbaus einer Sensorfaser mit mehreren Sensorabschnitten;

- Figur 7 eine Draufsicht auf ein Ausführungsform eines Sensorelements mit einer Sensorfaser in Form eines Dehnungsmessstreifens;
- 5 Figur 8 eine Draufsicht auf eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements mit einer Sensorfaser in Form eines Dehnungsmessstreifens;
- Figur 9 eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements mit mehreren Sensorfasern;
- 10 Figur 10 eine Vorrichtung zum Herstellen einer Sensorfaser; und
- Figur 11 eine Querschnittsdarstellung eines Targets mit einer wechselweisen Anordnung von Ringen aus kohlenstoffhaltigem Material und Ringen aus metallhaltigen Material.
- 15

Beschreibung von Ausführungsformen

- 20 Figur 1 zeigt eine perspektivische Darstellung eines Abschnitts einer Sensorfaser mit teilweise ausgeschnittenen Schichten. Die Sensorfaser 1 weist einen Faserkern 2 auf, der aus einem elektrisch nicht-leitenden (isolierenden) Material ausgebildet ist. Beispielsweise kann als Faserkern 2 eine kommerziell erhältliche Glasfaser oder ein kommerziell erhältlicher Lichtwellenleiter, z. B. mit einem
- 25 Durchmesser zwischen 50 und 500 μm , insbesondere 125 μm , verwendet werden. Herkömmliche Glasfasermaterialien als Material für den Faserkern 2 weisen zudem eine enorm hohe Zugfestigkeit von etwa 3.500 N/mm² auf, was einem deutlich höheren Wert als beispielsweise bei metallischen Sensorfasern entspricht. Das E-Modul ist mit ca. 70.000 N/mm² mit dem von Aluminium vergleichbar. Auch die
- 30 Bruchdehnung liegt mit 3 bis 4% sehr hoch.

Alternativ kann der Faserkern 2 auch mit nicht-leitenden Aramid- oder Keramikfasern ausgebildet sein.

5 Auf dem Faserkern 2 ist eine Sensorschicht 3 als Dünnschicht aufgebracht. Im gezeigten Ausführungsbeispiel umgibt die Sensorschicht 3 den Faserkern 2 vollständig. Alternativ kann die Sensorschicht 3 den Faserkern 2 nur teilweise umgeben.

10 Die Sensorschicht 3 umfasst ein kohlenstoffhaltiges Material mit diamantartigem Kohlenstoff, graphitartigem Kohlenstoff, amorphem Kohlenstoff a-C oder amorphem Kohlenwasserstoff a-C:H. Das kohlenstoffhaltige Material der Sensorschicht 3 bildet eine so genannte Kohlenstoffmatrix, in die Cluster 4 aus einem leitfähigen Clustermaterial eingebettet sind. Die Cluster 4 stellen Inseln des Clustermaterials bzw. eines Carbids des Clustermaterials in der kohlenstoffhaltigen Schicht dar und
15 sind vorzugsweise gleichmäßig in der Sensorschicht 3 verteilt.

Figur 2 zeigt einen Ausschnitt einer Querschnittsansicht in radialer Richtung durch die Sensorfaser 1.

20 Die Cluster 4 können dabei in sphärischer oder unregelmäßiger Form vorliegen, die von einer Kohlenstoffmatrix der Sensorschicht 3 umgeben sind. Es wurden bei der Herstellung bei einer Variation von Prozessparametern auch elliptische und längliche Formen der Cluster 4 beobachtet. Es wurde festgestellt, dass die Form der Cluster 4 die Funktion der Sensorschicht 3 nicht wesentlich beeinträchtigt. Das
25 Clustermaterial ist in die kohlenstoffhaltige Sensorschicht 3 eingebettet. Das leitfähige Material der Cluster 4 enthält vorzugsweise ein Metall oder eine Metalllegierung, wobei Nickel, Nickellegierungen, Nickelverbindungen, Kobalt, Kobaltlegierungen, Kobaltverbindungen, Eisen, Eisenlegierungen oder Eisenverbindungen geeignet sind und insbesondere Nickel oder Nickellegierungen
30 besonders geeignet sind. Insbesondere sollte als Clustermaterial ein Material ausgewählt werden, bei dem im Wesentlichen keine Diffusionsbewegung der Cluster und/oder des Clustermaterials in dem kohlenstoffhaltigen Material auftritt.

Die aus dem Clustermaterial gebildeten Cluster 4 sind in das kohlenstoffhaltige Material eingebettet, so dass sie nicht miteinander in Kontakt sind. Der Übergang zwischen den Clustern 4 zu dem kohlenstoffhaltigen Material der Sensorschicht 3 kann unmittelbar sein oder in Form einer den Cluster umgebenden Hülle 5, wie z.B. einer Graphithülle, einer Graphenhülle mit einer oder mehreren Graphenlagen oder Segmenten von Graphit- oder Graphenlagen, die gekrümmt um die Cluster 4 angeordnet sind, ausgebildet sein. Graphit und Graphen sind Erscheinungsformen von Kohlenstoff. Bei Graphen sind die Kohlenstoffatome wabenförmig gebunden, so dass flächige Strukturen gebildet werden.

Das kohlenstoffhaltige Material trennt die Cluster 4 in der Sensorschicht 3 voneinander und verhindert eine Perkolation bzw. ein Zusammenschließen der Cluster 4, das zur Ausbildung eines leitfähigen Pfads durch die kohlenstoffhaltige Sensorschicht 3 führen kann. Der Anteil des Clustermaterials wird vorzugsweise so gewählt, dass dieser unterhalb einer sogenannten Perkolationsschwelle für das Clustermaterial in dem kohlenstoffhaltigen Material liegt, damit keine vollständige Perkolation der Cluster 4 in dem kohlenstoffhaltigen Material auftritt.

Um die Sensorfaser 1 mit einem definierten Temperaturkoeffizienten zu versehen, ist als leitfähiges Clustermaterial ein Material mit einem positiven Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstands auszuwählen. Somit kann der stark negative Temperaturkoeffizient des Widerstands der kohlenstoffhaltigen Sensorschicht 3 durch den positiven Temperaturkoeffizienten des Widerstands des Clustermaterials kompensiert werden. Insbesondere kann der Anteil des Clustermaterials in der kohlenstoffhaltigen Schicht so eingestellt werden, dass der Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes der Sensorfaser Null ist.

Eine wichtige Voraussetzung für die lineare Temperaturabhängigkeit ist, dass bei Verwendung des Materials Nickel als Clustermaterial Nickel in einer thermodynamisch stabilen Phase in den Clustern 4 vorliegt. Je nach Herstellungsverfahren für die Sensorschicht 3 kann es vorkommen, dass Nickel mit Kohlenstoff die metastabile Phase Ni_3C oder Ni (hexagonal) ausbildet. Diese Phasen sind thermisch instabil und können sich langsam und unkontrolliert in die thermodynamisch stabile

kubische (fcc) Phase umwandeln, wodurch sich der Widerstand der so gebildeten Sensorschicht 3 dauerhaft ändert.

5 Die Sensorschicht 3 der Sensorfaser 1 kann von einer Isolationsschicht 6 umgeben sein, die z. B. durch Aufbringen eines nicht leitenden Schutzlacks ausgebildet ist. Die Isolationsschicht 6 dient dazu, einen mechanischen Schutz sowie einen Schutz gegen Luftfeuchtigkeit und flüssige Medien bereitzustellen. Die Isolationsschicht 6 dient weiterhin einer elektrischen Isolation der Sensorschicht 3.

10 Wie in einer weiteren Ausführungsform der Figur 3 dargestellt, kann eine weitere Umhüllung in Form einer leitfähigen Abschirmung 7 vorgesehen sein, die die Isolationsschicht 6 umgibt. Die Abschirmung 7 kann als Metallgeflecht oder metallischer Überzug auf der Isolationsschicht 6 vorgesehen sein.

15 Die Abschirmung 7 kann beispielsweise dazu dienen, die Sensorfaser 1 gegen elektromagnetische Strahlung zu schützen und so das Messsignal insbesondere bei langen Sensorfasern 1 störungsfrei zu halten.

20 Die Sensorfaser 1 lässt sich zur Messung verschiedener Kräfte bzw. Drehmomente verwenden. Beispielsweise kann eine besonders hohe Empfindlichkeit bei einer Dehnung oder Stauchung der Sensorfaser erreicht werden. Bei einem Beispiel einer Sensorfaser 1 beträgt der ohmsche Widerstand der Sensorschicht 3 bei einer Länge von 10 cm etwa 10 k Ω . Bei einer Dehnung der Faser um 0,4% ändert sich der Widerstand um 10%, was einem k-Faktor von 25 entspricht. Zudem weist die
25 Sensorfaser 1 im Gegensatz zu herkömmlichen Sensorfasern eine Empfindlichkeit gegenüber Drücken des die Sensorfaser 1 umgebenden Medium auf. Weiterhin ermöglicht die Sensorfaser 1 durch ihren Aufbau eine Verdrillung zu detektieren, da die dehnungsempfindliche Schicht den nicht-leitenden Faserkern umgibt und somit bei einer Verdrillung gedehnt wird.

30

In Figur 4 ist ein Beispiel für die Verwendung der Sensorfaser 1 dargestellt. Die Sensorfaser 1 wird an zwei gegenüberliegenden Enden kontaktiert, indem die

Isolationsschicht 6 entfernt wird, so dass die aktive Sensorschicht 3 freiliegt. Die Sensorschicht 3 wird mit einem elektrisch leitfähigen Kontaktring 8 umgeben, der die Sensorschicht 3 vollumfänglich kontaktiert, um eine möglichst gleichmäßige Stromverteilung zu gewährleisten. Der Kontaktring 8 wird über eine Leiterver-

5 bindung mit einer Messvorrichtung 9 zum Messen des elektrischen Widerstands verbunden. Auch andere Varianten der Kontaktierung der Sensorschicht 3 wie z.B. durch einfache Kontaktflächen sind möglich.

In einer weiteren Variante der Sensorfaser 1 kann der Faserkern auch mit einem elektrischen Leiter, der an seiner Mantelfläche isoliert ist, ausgebildet sein. Der elektrische Leiter kann beispielsweise als metallischer Draht, z. B. aus Nickel, Platin, Stahl oder einem sonstigen Metall oder leitenden Material, ausgebildet sein, der an seiner Mantelfläche umfänglich mit einer geeigneten Isolierung versehen ist. Die Isolierung kann beispielsweise Polyimid oder Keramik umfassen. Ein so

10 ausgebildeter Faserkern kann ansonsten, wie oben beschrieben, mit der Sensorschicht 3 und bei Bedarf mit der Isolationsschicht 6 und eventuell der Abschirmung 7 versehen werden. Die Isolierung des elektrischen Leiters des Faserkerns ist so vorzusehen, dass ein Kurzschluss zwischen dem elektrischen Leiter und der Sensorschicht 3 ausgeschlossen ist.

Der elektrische Leiter im Inneren des Faserkerns kann aus einem Metall oder anderen Material ausgebildet sein, das einen sehr hohen Temperaturkoeffizienten aufweist. Beispielsweise ist Nickel zur Verwendung als elektrischer Leiter mit einem Temperaturkoeffizienten von etwa 6.000 ppm/K geeignet. Bei der Verwendung der

15 Sensorfaser 1 in einem Sensorelement kann die Sensorfaser 1 sowohl an der Sensorschicht 3 als auch an dem elektrischen Leiter im Inneren des Faserkerns kontaktiert werden. Die Kontaktierung kann beispielsweise an den gleichen Positionen erfolgen, an denen auch die Sensorschicht 3 kontaktiert wird. Auf diese Weise kann die Sensorfaser 1 sowohl zur Dehnungsmessung bzw. zur Messung

20 einer Stauchung, Verdrillung oder Biegung, als auch zur Temperaturmessung an dem exakten Ort der Dehnungsmessung verwendet werden.

Als weitere Möglichkeit ergibt sich bei ausschließlicher Verwendung als Dehnungssensor die Möglichkeit, die Sensorfaser nur einseitig elektrisch zu kontaktieren. Dabei wird an einer Position der Sensorfaser 1, z. B. an einem ersten Ende, eine elektrische Verbindung zwischen der Sensorschicht 3 und dem in dem Faserkern vorgesehenen elektrischen Leiter hergestellt. An einer anderen Position, z. B. an einem gegenüberliegenden Ende, werden der elektrische Leiter des Faserkerns und die Sensorschicht 3 separat kontaktiert und stellen somit die Kontakte für ein durch die Sensorfaser 1 gebildetes Sensorelement dar.

- 5 Eine mögliche Verwendung der Sensorfaser 1 besteht in dem Einweben in einen textilen Stoff, Gewebe oder dergleichen, wo die Sensorfaser 1 aufgrund ihrer oben genannten Eigenschaften als Sensoreinheit für diverse Verformungen des Stoffes oder auf den Stoff wirkende Drücke dienen kann. Sensorfasern 1 können einzeln oder zu mehreren in vorbestimmten Abständen zueinander in dem Stoff vorgesehen sein. Die Sensorfasern können in verschiedenen Erstreckungsrichtungen in dem textilen Stoff vorgesehen sein, um Zugbelastungen in mehreren Richtungen zu erfassen. Als ein mögliches Anwendungsgebiet kann ein mit einer oder mehreren Sensorfasern versehenes textiles Gewebe für einen Bezug eines Sitzes für ein Kraftfahrzeug oder dergleichen verwendet werden, z.B. um eine Belegung des Sitzes zu erkennen und insbesondere eine Angabe über ein Gewicht der auf dem Sitz sitzenden Person zu erfassen.

- Eine weitere Anwendung ist in Figur 5 dargestellt. Figur 5 zeigt einen Druckbehälter 20, der mit der Sensorfaser 1 umwickelt ist, so dass die Sensorfaser 1 an der äußeren Behälterfläche anliegt. Aufgrund der Isolationsschicht 6 der Sensorfaser 1 ist es nicht notwendig, den Druckbehälter 20 elektrisch zu isolieren, bevor dieser mit der Sensorfaser 1 umwickelt wird. Steigt der Druck eines Mediums im Inneren des Druckbehälters 20, so vergrößert sich das Volumen durch eine entsprechende Verformung (Ausdehnung) des Behälters und die Sensorfaser 1 wird gedehnt. Die Dehnung der Sensorfaser 1 kann, wie oben beschrieben, durch eine Änderung des ohmschen Widerstands der Sensorfaser 1 detektiert werden. Somit stellt die Anordnung der Figur 5 eine Möglichkeit zur Druckmessung von Medien in Druckbehältern dar. Alternativ kann eine Isolationsschicht auf der Oberfläche des

Druckbehälters 20 angeordnet sein, um die die Sensorfaser 1 gewickelt ist. Die verwendete Sensorfaser 1 kann dann auch ohne Isolationsschicht 6 vorgesehen sein, solange sich benachbarte Windungen nicht aneinander anliegen und sich dadurch elektrisch kontaktieren.

5

Gemäß einer weiteren Ausführungsform, die in Figur 6 schematisch dargestellt ist, können bei den zuvor beschriebenen Anordnungen unmittelbar auf die Sensorschicht 3 abschnittsweise eine oder mehrere Leiterschichten 16 aus einem elektrisch leitfähigem Material aufgebracht werden, so dass die Sensorfaser 1 nur in

10

Sensorabschnitten 17 gegenüber einer Dehnung empfindlich ist. Die dehnungsempfindlichen Sensorabschnitte 17 der Sensorfaser 1 sind dann in den Bereichen vorgesehen, die nicht von den Leiterschichten 16 überdeckt sind. Auf diese Weise lässt sich der elektrische Widerstand der Sensorfaser 1 erniedrigen, so dass auch lange Sensorfasern 1 mit Längen von mehreren Metern zur Verwendung

15

in einem Sensorelement 1 geeignet sind. Dadurch kann das Problem umgangen werden, dass bei einer sehr langen Sensorfaser 1 der Widerstand der Sensorschicht 3 zu groß wird und sich aufgrund der niedrigen Ströme nicht mehr mit gewünschter Genauigkeit messen lässt. Durch die Auswahl der Positionen und Längen der abschnittsweise vorgesehenen Leiterschichten 16 können diejenigen

20

Abschnitte der Sensorfaser 1 ausgewählt werden, in denen die Verformung der Sensorfaser 1 integral ausgewertet werden soll. Alternativ ist bei entsprechender Kontaktierung der Leiterschichten 16 auch eine abschnittsweise Auswertung der einzelnen Sensorabschnitte 17 möglich.

25

Auch kann der Faserkern 2 der Sensorfaser 1 generell als eine Glasfaser vorgesehen sein, die zusätzlich auch als Lichtwellenleiter für eine Informationsübertragung genutzt werden kann. Dadurch sind Kombisensoren möglich, die einerseits die oben beschriebene Widerstandsänderung der Sensorschicht 3 erfassen und andererseits physikalische Einflüsse auf die Lichtausbreitung in dem Faserkern 2

30

nutzen. Beispielsweise können auf diese Weise die Dehnung der Sensorfaser 1 und die Temperatur der Sensorfaser 1 separat voneinander erfasst werden.

Figur 7 zeigt ein Sensorelement 10 zur einfacheren Handhabung eines mit einer der zuvor beschriebenen Sensorfasern 1 ausgebildeten Sensors in Form eines Dehnungsmessstreifens. Das Sensorelement 10 weist ein flexibles Trägersubstrat 11 (Trägermaterial) auf, insbesondere aus einem flexiblen (elektrisch nicht leitenden) Kunststoffmaterial. Auf das Trägersubstrat 11 ist eine Sensorfaser 1 aufgebracht. Die Sensorfaser 1 wird dazu entweder mit einem geeigneten Klebstoff auf dem Trägersubstrat 11 fixiert oder zwischen dem flexiblen Trägersubstrat 11 und einer Deckschicht (nicht gezeigt) eingebettet, die gleichzeitig die Sensorfaser 1 vor äußeren Einwirkungen schützt. Die Sensorfaser 1 wird an deren Enden über Kontaktflächen 12 kontaktiert. Die Sensorfaser 1 ist in der Ausführungsform der Fig. 7 im Wesentlichen geradlinig auf dem Trägermaterial 11 angeordnet. Zur Verwendung als Dehnungssensor wird das Trägermaterial 11 flächig auf ein Bauelement aufgebracht, z. B. geklebt, so dass eine Biegung oder Dehnung des Bauelements zu einer entsprechenden Dehnung (oder Stauchung) des Sensorelements 10 führt. Diese kann dann durch eine Messung der Leitfähigkeit oder davon abhängiger elektrischer Größen ermittelt werden.

Wie in Fig. 8 gezeigt, kann ein Sensorelement auch mit einer mäanderförmigen Sensorfaser 1 auf dem Trägersubstrat 11 vorgesehen sein. Vorzugsweise sind dann die Kontaktflächen 12 an einer Seite bzw. nebeneinander angeordnet, um die Kontaktierung des Sensorelements zu vereinfachen.

Bei den Ausführungsformen des Dehnungsmessstreifens kann die Sensorfaser 1 auch zwischen der Trägerschicht 11 und einer darauf scherfest angebrachten Deckschicht angeordnet sein. Das Material des Trägersubstrats 11 und, sofern vorhanden, der Deckschicht können so vorgesehen sein, dass diese einer Längenänderung der Sensorfaser 1 keinen nennenswerten Widerstand entgegensetzen. Vorzugsweise ist die Elastizität des Trägersubstrats 11 oder des Verbunds aus dem Trägersubstrat 11 und der Deckschicht um das 10- bis 20-fache größer als die Elastizität der Sensorfaser 1, um den Einfluss auf die Dehnung der Sensorfaser 1 zu reduzieren. Als Ergebnis erhält man ein robustes und leicht handhabbares flexibles Sensorelement 10, mit dem integrale Dehnungen über kurze wie auch längere Streckenbereiche gemessen werden können.

Alternativ kann, wenn die Sensorfaser 1 mit der nicht-leitenden Isolations- oder Schutzschicht 6 versehen ist, das Trägersubstrat 11 und/oder die Deckschicht auch leitend, z.B. als metallische Schicht, vorgesehen sein. Durch die Steifheit von metallischen Schichten kann allgemein ein zusätzlicher Schutz der Sensorfaser 1 gegen Überdehnung während der Montage und im Betrieb erreicht werden.

In Figur 9 ist eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements 20 dargestellt, bei dem mehrere Sensorfasern 1 im Wesentlichen parallel auf das Trägersubstrat 11 aufgebracht sind. Das Trägersubstrat 11 ist im Wesentlichen bandförmig vorgesehen und an einem Ende mit einer Kontaktierungsleiste 13 versehen, über die die einzelnen Sensorfasern 1 kontaktiert werden können. Die Kontaktierungsleiste 13 weist dazu leitende Kontaktflächen 12 auf. Jeweils zwei der Sensorfasern 1 sind mithilfe einer elektrisch leitenden Brücke 15 an einer vorbestimmten Position auf dem Trägersubstrat 11 miteinander verbunden. Ein solches Sensorelement 10 ist in einfacher Weise durch automatisiertes Aufbringen der Sensorfasern 1 auf das Trägersubstrat 11 herstellbar.

Das Sensorelement der Figur 9 bietet die Möglichkeit, je nach Auswahl der Kontaktflächen 12 zum Messen des Sensorsignals die Biegung bzw. Dehnung integral über verschiedene Längenbereiche ausgehend von der Kontaktleiste 13 zu ermitteln.

Innerhalb eines Bereichs zwischen den zwei Brücken 15 auf dem Trägermaterial 11 kann das Sensorelement 10 abgetrennt werden, wobei die Länge des zur Verfügung stehenden Sensorbereichs durch diejenigen Kontaktflächen 12 angegeben wird, zwischen denen eine elektrisch leitende Verbindung besteht. Ist der Widerstand zwischen zwei Kontaktflächen 12 hochohmig, so sind diese mit denjenigen Sensorfasern 1 verbunden, deren Brücken 15 durch das Kürzen des Trägersubstrats 11 auf eine bestimmte Länge abgetrennt worden sind. Auf diese Weise kann durch Messen der elektrischen Widerstände zwischen den Kontaktflächen die tatsächlich verwendete Länge des Sensorelements 10 bestimmt werden.

Da Sensorfasern 1 in der Regel quasi als Endlos-Sensorfasern hergestellt werden können, ist die Herstellung von Sensorelementen 10, wie sie in der Figuren 7, 8 und 9 dargestellt sind, in einfacher Weise realisierbar.

5

Die Sensorfaser 1 kann mithilfe einer Vorrichtung 30, die in Figur 10 schematisch dargestellt ist, hergestellt werden. Die Vorrichtung 30 umfasst eine Vakuumkammer 35, in der eine Beschichtungsvorrichtung 36 angeordnet ist. Dazu wird eine Glasfaser 2 als Faserkern von einer Quellspindel 31 durch ein röhrenförmiges

10

Target 32, wie z.B. ein Nickeltarget, mit einer vorgegebenen, vorzugsweise konstanten Geschwindigkeit geführt und als beschichtete Sensorfaser 2,3 auf eine Zielspindel 33 aufgewickelt. Die Quellspindel 31, das röhrenförmige Nickeltarget 32 und die Zielspindel 33 befinden sich in der Vakuumkammer 35.

15

Die Beschichtung erfolgt in einer in der Vakuumkammer 35 befindlichen Beschichtungskammer 34, in der die Glasfaser 2 in einer Niederdruck-Atmosphäre aus einem Schutzgas oder einem Inertgas, wie z. B. Argon, und einem kohlenstoffhaltigen Gas, wie z. B. Ethen, durch das röhrenförmige Nickeltarget 32 geführt wird. Der Anteil des kohlenstoffhaltigen Gases bezüglich des Schutzgases

20

beträgt zwischen 1 % und 5 %.

In der Beschichtungskammer 34 ist ein Plasmaprozess gezündet, wobei das Material des röhrenförmigen Targets 32 abgetragen wird. Dadurch wird die Glasfaser 2 durch einen kombinierten Sputter- und Gasphasenabscheideprozess homogen beschichtet, wobei sich eine kohlenstoffhaltige Schicht ausbildet, in der
25 voneinander getrennte Cluster von leitfähigem Material eingebettet sind. Die beschichtete Sensorfaser 2, 3 liegt dann auf der Zielspindel 33 vor und kann aus der Beschichtungskammer 34 entnommen werden und weiter bearbeitet werden. Beispielsweise können die Schutzschicht 6 und/oder die Abschirmung 7 in
30 nachfolgenden Prozessen aufgebracht werden.

Die Dicke der Sensorschicht 3 kann durch die Leistung des Plasmaprozesses und/oder durch die Geschwindigkeit, mit der der Faserkern 2 durch das

röhrenförmige Target geführt wird, eingestellt werden. Auch kann durch negatives Vorspannen der Zielspindel 33 oder eines ausgangsseitigen Abschnittes der hergestellten Sensorfaser 1 der Sputterprozess als ein so genanntes Bias-Sputtern durchgeführt werden, durch das sich die Schicht-Eigenschaften der aufgetragenen Sensorschicht verbessert.

Alternativ kann zum Herstellen einer metallhaltigen Kohlenstoff-Sensorschicht, d.h. einer Sensorschicht, die keinen Wasserstoff enthält, vorgesehen sein, dass das Target 32 für einen PVD-Prozess ein metall- und kohlenstoffhaltiges Material

umfasst. Ein Beispiel für ein solches Target 32 ist in Fig. 11 dargestellt. Das Target 32 kann mit ringförmigen, in axialer Richtung aufeinander, z.B. wechselweise angeordneten Metallscheiben 38 und Graphitscheiben 37 bzw. Metall- und Graphitringen aufgebaut sein, die zusammen das röhrenförmige Target 32 bilden.

Die Dicken der einzelnen Metall- 38 und Graphitscheiben 37 bestimmen die Zusammensetzung des gesputterten Schichtmaterials, d.h. den Anteil des kohlenstoffhaltigen Materials zu dem Clustermaterial. Als Gasatmosphäre wird dann vorzugsweise reines Inertgas, wie z.B. Argon, ohne Zusatz eines kohlenstoffhaltigen Gases verwendet. Werden für das Target 32 Nickelringe und Graphitringe 37 verwendet, so wird eine kohlenstoffhaltige Sensorschicht mit Nickel-Clustern ausgebildet.

PATENTANSPRÜCHE

- 5 1. Sensorfaser (1) zum Messen einer Verformung, umfassend:
- einen zumindest an seiner Mantelfläche nicht leitenden Faserkern (2);
- eine den Faserkern (2) umgebende Sensorschicht (3);
wobei die Sensorschicht (3) ein kohlenstoffhaltiges Material enthält, in das
Cluster (4) aus leitfähigem Clustermaterial eingebettet sind, wobei die
10 Cluster (4) durch das kohlenstoffhaltige Material voneinander getrennt sind.
2. Sensorfaser (1) nach Anspruch 1, wobei der Faserkern vollständig aus einem
elektrisch nicht-leitenden Material gebildet ist oder einen an seiner
Mantelfläche isolierten elektrischen Leiter umfasst.
- 15 3. Sensorfaser (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Sensorfaser (1) eine die
Sensorschicht (3) umgebende nicht-leitende Schicht (6) umfasst, die als
Isolationsschicht und/oder Schutzschicht dient.
- 20 4. Sensorfaser (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Sensorfaser
(1) eine die Sensorschicht (3) umgebende elektrisch leitende Abschirmung
(7) umfasst.
- 25 5. Sensorfaser (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Sensorfaser
(1) mehrere Sensorabschnitte (17) umfasst, die durch mindestens eine
elektrisch leitende Leiterschicht (16) definiert sind, die in einem Bereich der
Sensorfaser (1) unmittelbar auf die Sensorschicht (3) aufgebracht ist.
- 30 6. Sensorelement umfassend:
- ein Trägermaterial (11);
- mindestens eine Sensorfaser (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, die
auf das Trägermaterial (11) aufgebracht oder in das Trägermaterial (11)
eingebracht ist.

7. Sensorelement nach Anspruch 6, wobei Kontaktflächen (12) zum Kontaktieren der Sensorfaser (1) vorgesehen sind.
- 5 8. Sensorelement nach Anspruch 7, wobei das Trägermaterial (11) mit mehreren parallel angeordneten Sensorfasern (1) versehen ist, wobei die Kontaktflächen zum Kontaktieren der einzelnen Sensorfasern (1) an einer Kontaktleiste (12) an einem Ende des Trägermaterials (11) angeordnet sind, wobei zwischen jeweils zwei der Sensorfasern (1) an verschiedenen
- 10 Positionen entlang der Erstreckung der Sensorfasern (1) in dem Trägermaterial elektrisch leitende Verbindungen (15) angeordnet sind.
9. Textiles Gewebe mit einem oder mehreren Sensorfasern (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5.
- 15 10. Verfahren zum Herstellen einer Sensorfaser (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein PVD-Prozess mit einem Sputtermaterial von einem röhrenförmigen Target (32) auf einen Faserkern (2) unter einer reaktiven Atmosphäre eines kohlenstoffhaltigen Gases, das insbesondere Ethan,
- 20 Ethen oder Ethin enthält, durchgeführt wird, so dass das kohlenstoffhaltige Gas dissoziiert und eine kohlenstoffhaltige Schicht auf einer Oberfläche des Faserkerns (2) abgeschieden wird, in der Cluster (4) des Sputtermaterials eingebettet sind, wobei der Faserkern durch ein röhrenförmiges Target geführt wird, während er beschichtet wird.
- 25 11. Verfahren zum Herstellen einer Sensorfaser (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei ein PVD-Prozess von einem röhrenförmigen Target (32) mit kohlenstoffhaltigem Material und mit metallhaltigem Material auf einen Faserkern (2) unter einer nicht-reaktiven Atmosphäre eines Inertgases
- 30 durchgeführt wird, so dass eine kohlenstoffhaltige Schicht aus dem kohlenstoffhaltigen Material auf einer Oberfläche des Faserkerns (2) abgeschieden wird, in der Cluster (4) des metallhaltigen Materials eingebettet

sind, wobei der Faserkern (2) durch ein röhrenförmiges Target (32) geführt wird, während er beschichtet wird.

- 5 12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Target aus aufeinander,
insbesondere wechselweise, aufgesetzten Ringen (37, 38) aus dem
kohlenstoffhaltigem Material und aus dem metallhaltigen Material gebildet ist.
- 10 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei der Faserkern (2)
während des PVD- Prozesses auf eine Temperatur unter 600°C,
insbesondere auf eine Temperatur zwischen 150°C und 300°C, aufgeheizt
wird.
- 15 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei der PVD-Prozess in
einer Beschichtungskammer (35) durchgeführt wird, wobei die Sensorfaser
(1) beim oder hinter dem Ausgang der Beschichtungskammer (35) an eine
negative Biasspannung angeschlossen wird, so dass der im Inneren der
Beschichtungskammer (35) befindliche Abschnitt der Sensorfaser (1)
elektrisch vorgespannt ist, um ein Bias-Sputtern durchzuführen.

20

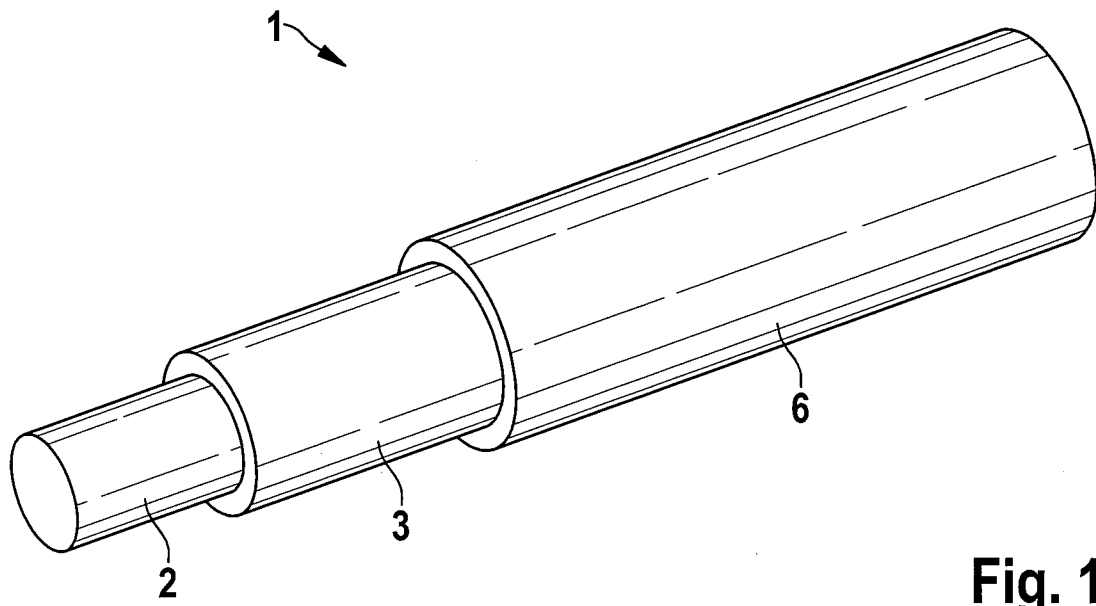


Fig. 1

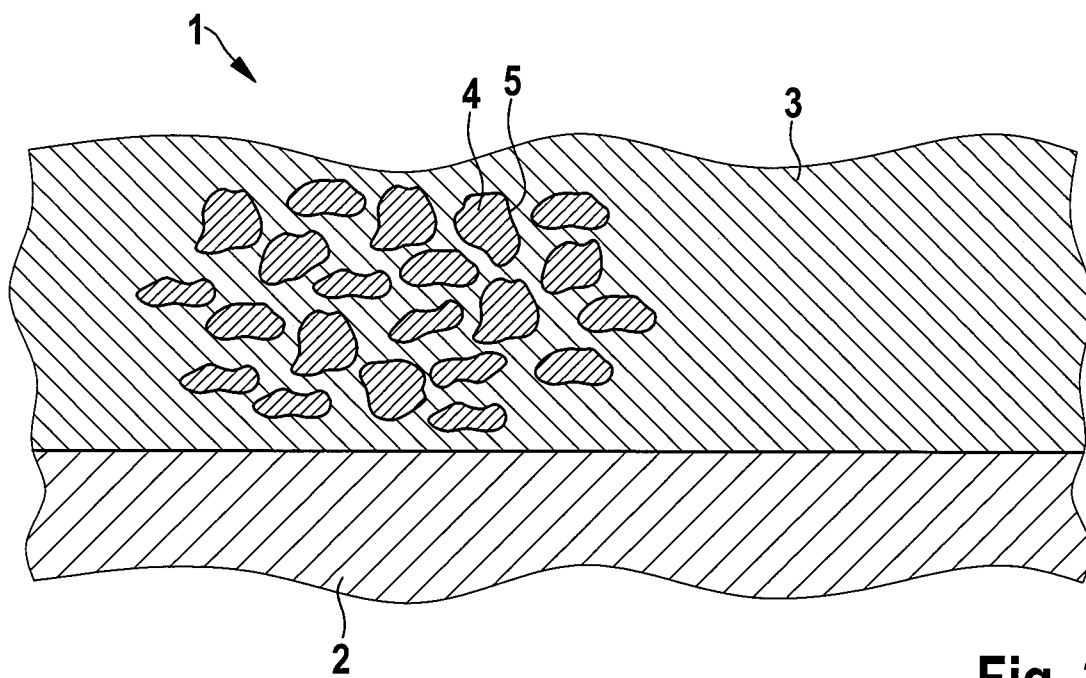


Fig. 2

2/7

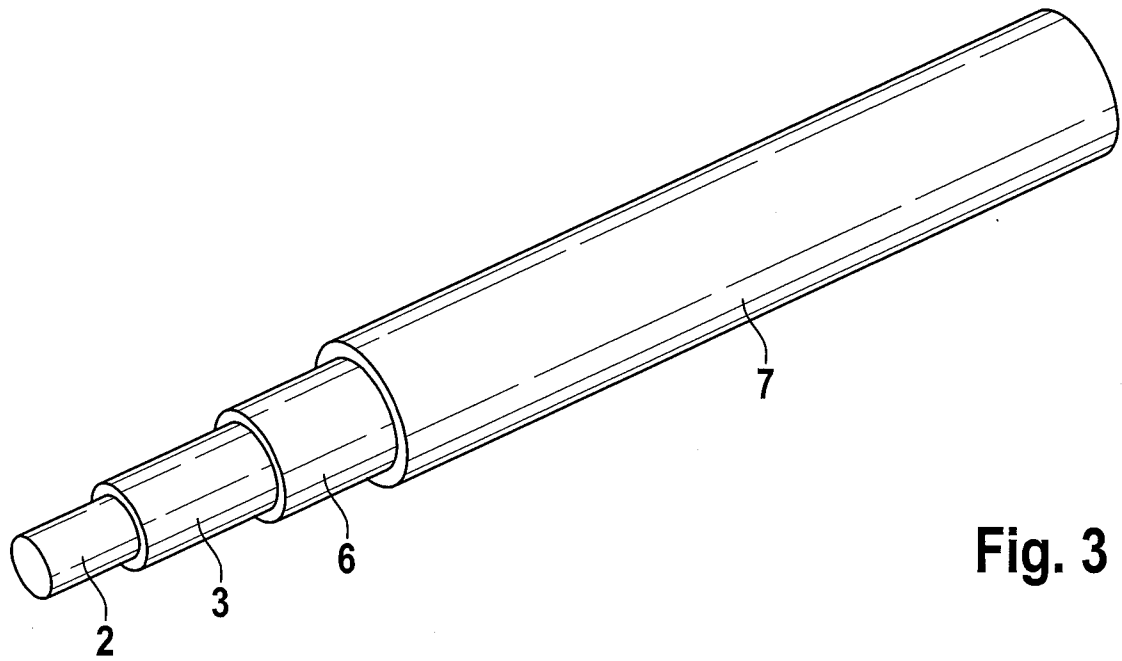


Fig. 3

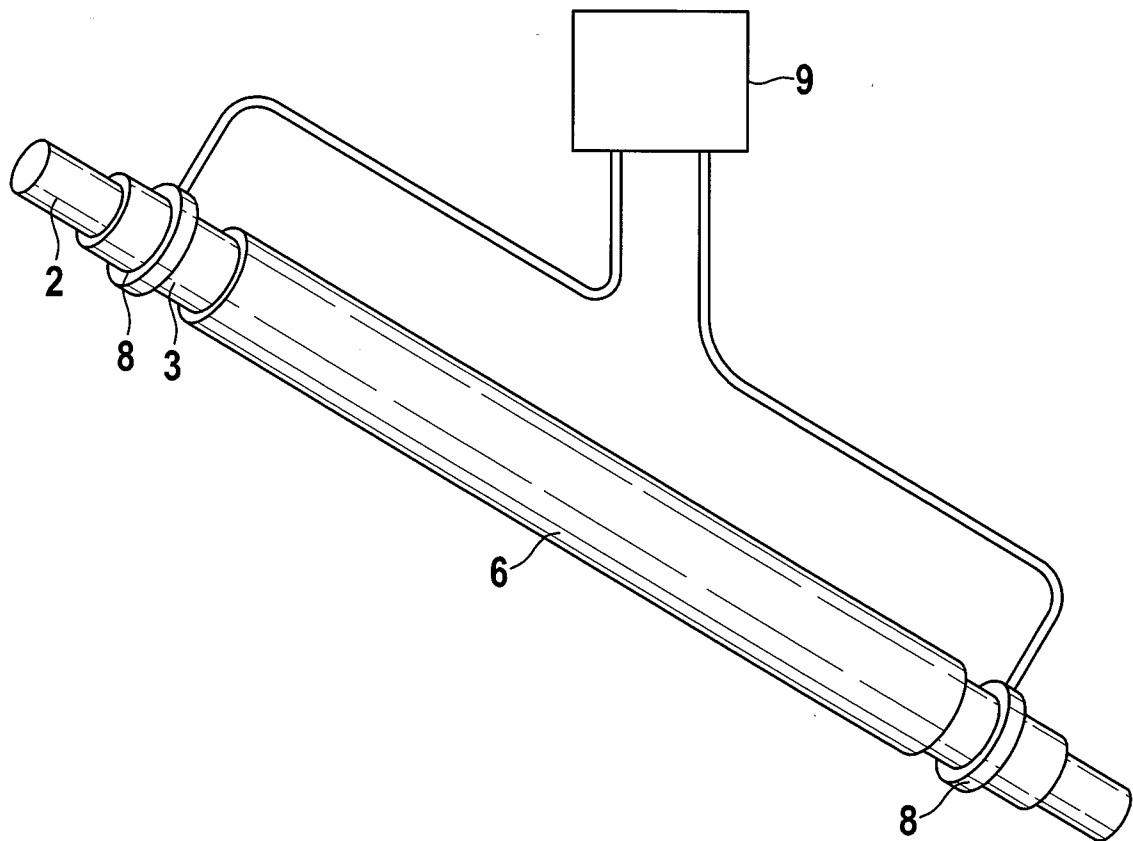


Fig. 4

2 / 7

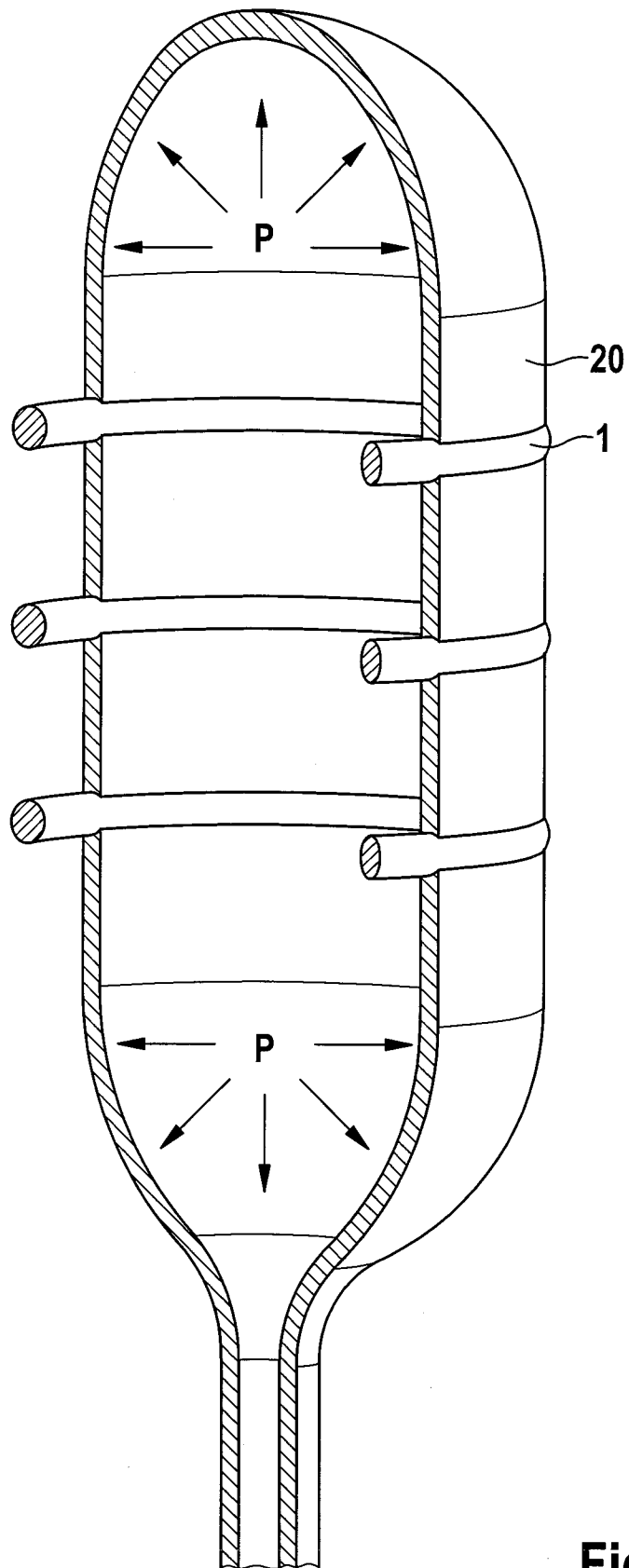


Fig. 5

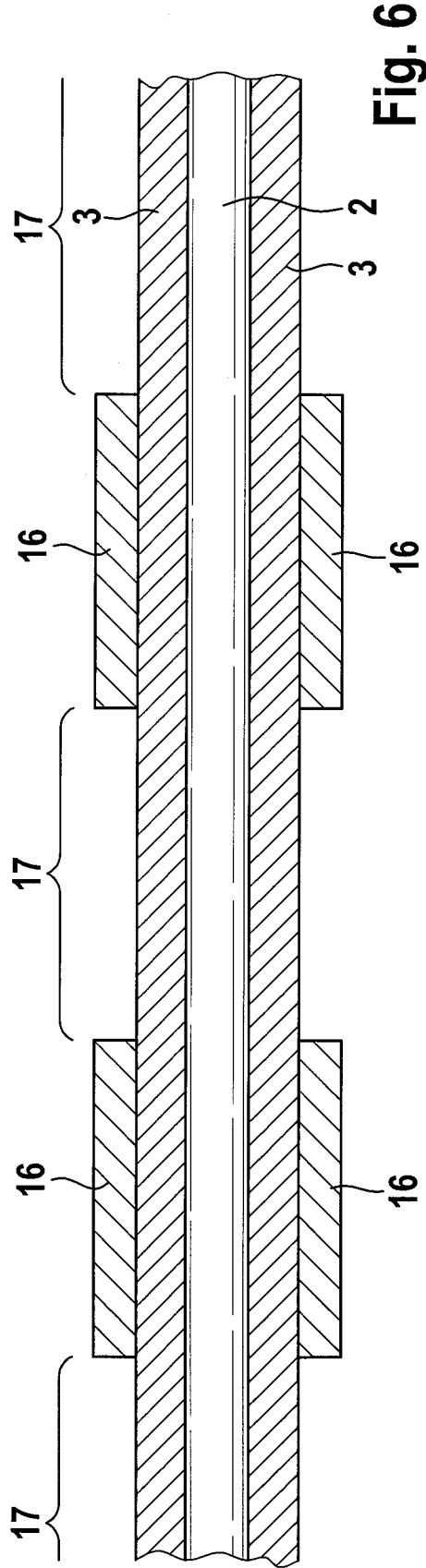


Fig. 6

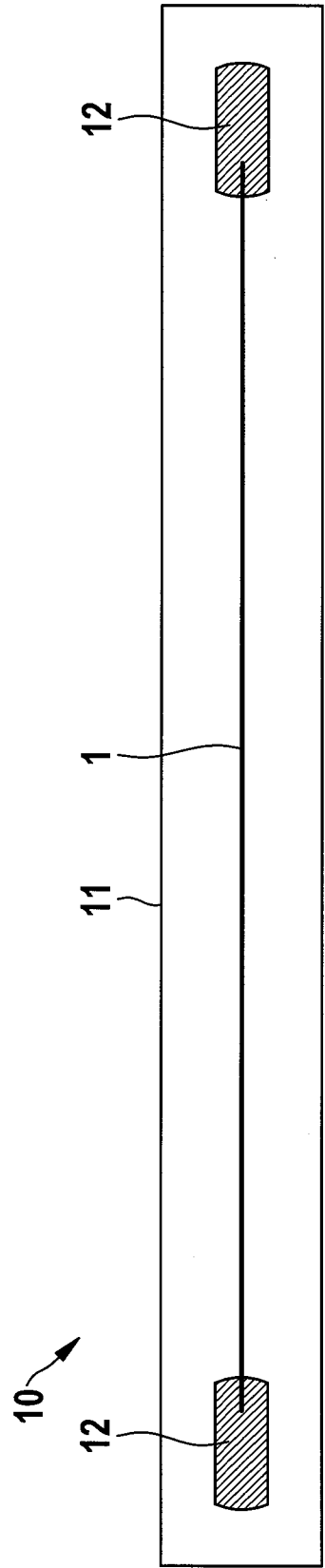


Fig. 7

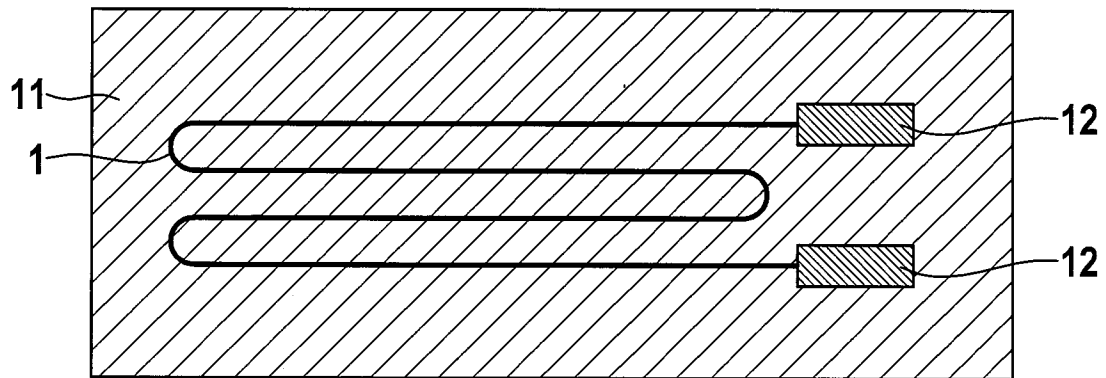


Fig. 8

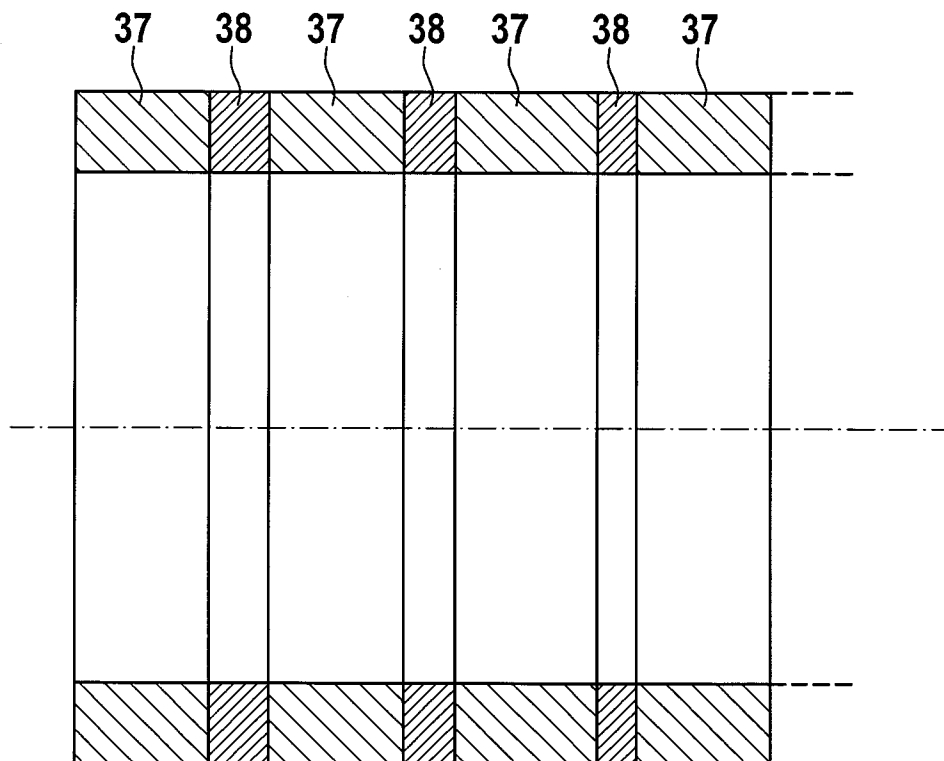


Fig. 11

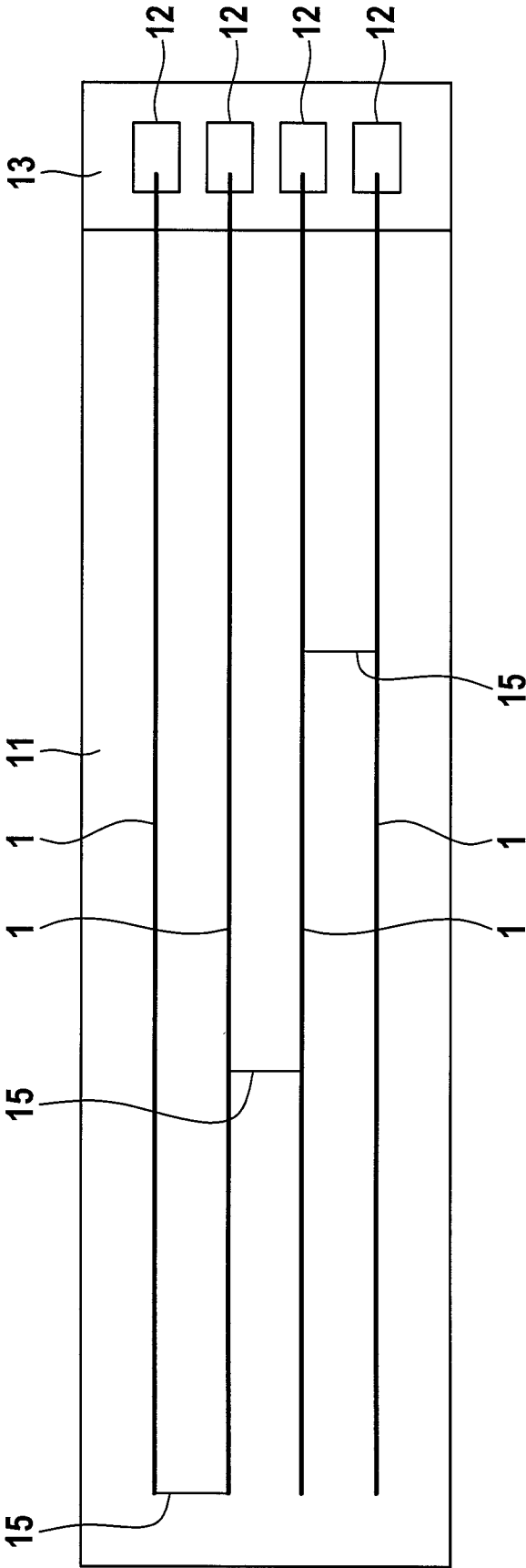


Fig. 9

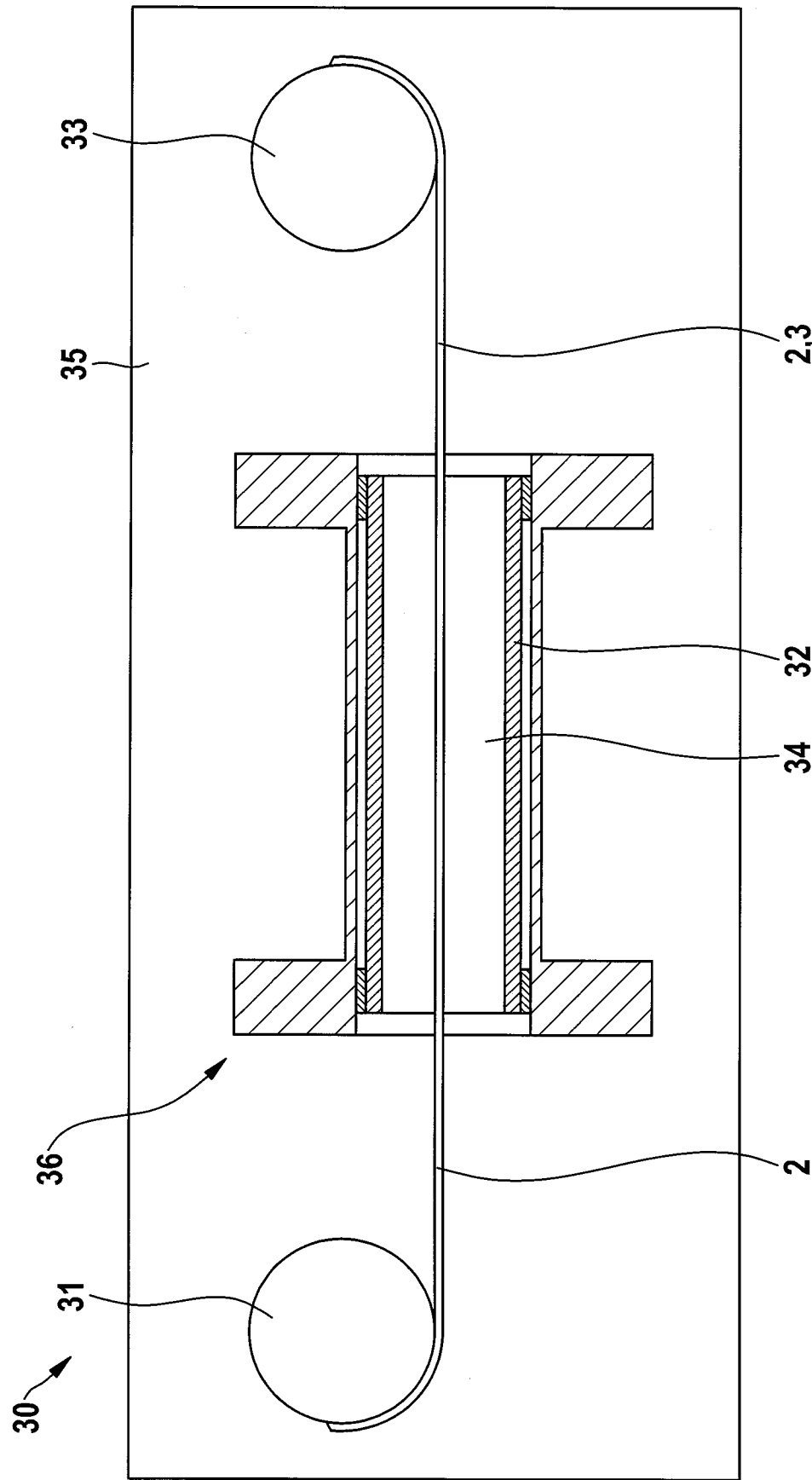


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/055033

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G01L1/18 G01L1/22 G01B21/32 G01B5/30 G01B7/18 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01L G01B G01M H01C		
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.
Y	WO 2009/129930 A1 (HTW DRESDEN [DE]; SCHULTES GUENTHER [DE]; GOETTEL DIRK [DE]; KOPPERT R) 29 October 2009 (2009-10-29) cited in the application the whole document	1-14
Y	US 2008/307899 A1 (VON LILIENFELD-TOAL HERMANN [DE] ET AL) 18 December 2008 (2008-12-18) paragraph [0024] - paragraph [0025]; figure 3	1-14
☐ 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
15 May 2012		23/05/2012
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
		Grand, Jean-Yves

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/055033

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2009129930	A1	29-10-2009	EP 2277177 A1 26-01-2011
			US 2011102127 A1 05-05-2011
			WO 2009129930 A1 29-10-2009

US 2008307899	A1	18-12-2008	CA 2630523 A1 31-05-2007
			DE 102005055842 A1 24-05-2007
			EP 1956979 A2 20-08-2008
			JP 2009516839 A 23-04-2009
			US 2008307899 A1 18-12-2008
			WO 2007059971 A2 31-05-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/055033

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01L1/18 G01L1/22 G01B21/32 G01B5/30 G01B7/18 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01L G01B G01M H01C		
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.
Y	WO 2009/129930 A1 (HTW DRESDEN [DE]; SCHULTES GUENTHER [DE]; GOETTEL DIRK [DE]; KOPPERT R) 29. Oktober 2009 (2009-10-29) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-14
Y	US 2008/307899 A1 (VON LILIENFELD-TOAL HERMANN [DE] ET AL) 18. Dezember 2008 (2008-12-18) Absatz [0024] - Absatz [0025]; Abbildung 3 -----	1-14
☐ 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 15. Mai 2012		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 23/05/2012
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 Grand, Jean-Yves

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/055033

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2009129930 A1	29-10-2009	EP 2277177 A1	26-01-2011
		US 2011102127 A1	05-05-2011
		WO 2009129930 A1	29-10-2009

US 2008307899 A1	18-12-2008	CA 2630523 A1	31-05-2007
		DE 102005055842 A1	24-05-2007
		EP 1956979 A2	20-08-2008
		JP 2009516839 A	23-04-2009
		US 2008307899 A1	18-12-2008
		WO 2007059971 A2	31-05-2007
