

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2013 019 774 B4** 2019.05.09

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 019 774.0**

(22) Anmeldetag: **23.11.2013**

(43) Offenlegungstag: **28.05.2015**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **09.05.2019**

(51) Int Cl.: **G01D 5/26 (2006.01)**

G01B 11/16 (2006.01)

G02B 6/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Westsächsische Hochschule Zwickau, 08056
Zwickau, DE**

(72) Erfinder:
**Hartmann, Peter, 07973 Greiz, DE; Taudt,
Christopher, 08056 Zwickau, DE; Baselt, Tobias,
08056 Zwickau, DE**

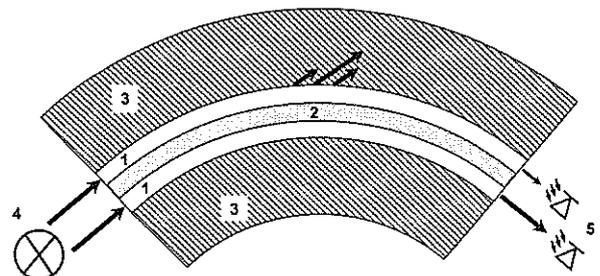
(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	10 2006 029 020	B3
DE	100 26 330	A1
US	6 256 090	B1
US	6 888 623	B2

US	7 772 541	B2
US	7 781 724	B2
US	2003 / 0 209 655	A1
US	4 298 794	A
US	5 321 257	A
US	4 295 738	A
EP	0 210 372	A2
EP	0 649 007	A1
WO	94/ 29 671	A1
WO	00/ 68 645	A1
WO	2011/ 071 750	A1

(54) Bezeichnung: **Optische Anordnung zur Bestimmung von Lageänderungen, Positionen, Verformung, Bewegungen, Beschleunigungen und Geschwindigkeiten**

(57) Hauptanspruch: Eine optische Anordnung, bestehend aus mindestens drei unterschiedlichen, definiert zueinander positionierten, lichtleitenden Materialien mit jeweils unterschiedlichem Brechungsindex, welche in axialer Richtung als Lichtleiter ausgebildet und derart angeordnet sind, dass die aus dem Material 1 (Brechzahl n_1) ausgebildeten Lichtleiter in radialer Richtung vom Material 2 (Brechzahl n_2) und Material 3 (Brechzahl n_3) jeweils teilweise umschlossen sind, sodass Licht von einem Material in die jeweils anderen Materialien übertreten kann, sodass in die Lichtleiterstruktur eingekoppeltes moduliertes oder unmoduliertes, polarisiertes oder unpolarisiertes Licht einer oder mehrerer Wellenlängen (UV, VIS, IR) über den Verlauf der Struktur separat nachgewiesen werden kann, wobei die relative Differenzsignalintensität an mehreren unterschiedlichen Detektoren, welche über den axialen Verlauf der Anordnung verteilt sind, zur Erfassung einer orts aufgelösten, dreidimensionalen Lageänderung entlang der Achse der optischen Anordnung erfolgen kann, aus welcher die Berechnung weiterer Größen wie Verformung, Bewegung, Beschleunigung möglich ist, wobei die optische Anordnung einzeln oder an einer beliebigen Einrichtung an welcher die Anordnung angebracht oder in welche sie integriert ist betrieben werden kann.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung zur Erfassung von Positionen, Lageänderungen, Verformungen, Bewegungen, Beschleunigungen und Geschwindigkeiten der optischen Anordnung relativ zu einem beliebigen Bezugspunkt oder einer beliebigen Einrichtung an welcher die optische Anordnung angebracht oder in welcher die optische Anordnung integriert ist.

Stand der Technik

[0002] Faseroptische Lage- bzw. Verformungssensoren sind aus dem Stand der Technik bekannt. So beschreibt zum Beispiel US 6 256 090 B1 „Method and apparatus for determining the shape of a flexible body“ und US 7 781 724 B2 „Fiber optic position and shape sensing device and method relating thereto“ die Erfassung von Form- und Lageänderungen mittels einer optischen Faser, welche an definierten Messpunkten durch die Einbringung von Gitterstrukturen (Faser-Bragg-Gitter) modifiziert ist. Die Form- und Lageänderung kann aus der Veränderung der Wellenlänge in Folge der lokalen Dehnung der Gitterstruktur berechnet werden.

[0003] Eine orts aufgelöste Methode zur Bestimmung der Form- und Lageänderung mittels optischer Sensoren, welche zum Beispiel die lokale Dehnung einer optischen Faser und die Position der Dehnung über die Auswertung der in der Faser rückgestreuten optischen Strahlung und deren Größe im Vergleich zur eingestrahlten Strahlung ermittelt, ist die Auswertung der rückgestreuten Rayleigh Strahlung in einer oder mehreren Fasern, wie in US 7 772 541 B2 „Fiber optic position and/or shape sensing based on rayleigh scatter“ beschrieben.

[0004] Außerdem sind faseroptische Verformungssensoren bekannt, die auf Basis der Auskoppelung von Licht an die Umgebung die Verformung der optischen Faser bestimmen. Hierbei werden lokale Strukturierungen eingebracht (DE 10 2006 029 020 B3 „Optische Sensorfaser mit einer biegesensitiven Zone, Sensor mit einer solchen Sensorfaser und Verfahren zu deren Herstellung“; US 5 321 257 A „Fiber optic bending and positioning sensor including a light emission surface formed on a portion of a light guide“; EP 0 649 007 A1 „Lichwellenleitersensor und Verfahren zu seiner Herstellung.“; WO 94/29671 A1 „Fiber optic bending and positioning sensor“) die als Messpunkt dienen oder lokal der Kontakt zu einer weiteren Faser hergestellt, die das ausgekoppelte Licht aufnimmt (WO 00/68645 A1 „Fiber optic curvature sensor“). Weiterhin sind optische Verformungssensoren auf Faserbasis bekannt, bei denen Licht entsprechend

der auftretenden Verformung gezielt in den Mantel ausgekoppelt wird (DE 100 26 330 A1 „Verformungssensor“; EP 0 210 372 A2 „Optical deformation sensor“). In einer anderen Realisierung wird singlemodiges Licht in zwei gleichartigen Kernen geführt, wobei ein Übersprechen von einem zum anderen Kern als Messinformation interpretiert wird (US 4 295 738 A „Fiber optic strain sensor“). Diese Art von Sensoren ermöglicht keine richtungs- oder orts aufgelöste Detektion von Kennwerten.

Aufgabenstellung

[0005] Es besteht die Aufgabe Positionen, Lageänderungen, Verformungen, Bewegungen, Beschleunigungen und Geschwindigkeiten mittels einer optischen Anordnung relativ zu einem beliebigen Bezugspunkt oder von einer beliebigen Einrichtung an welcher die optische Anordnung angebracht oder in welcher die optische Anordnung integriert ist, zu erfassen. Die optische Anordnung sollte Veränderungen in der Lage der eines Bauteils, bzw. der optischen Anordnung selbst, welche zum Beispiel durch die Verformung der Faser hervorgerufen wird, anhand mehrerer aufgenommener optische Kennwerte, wie zum Beispiel Dämpfung / Verlust optischer Strahlung über den Verlauf der optischen Anordnung zu erfassen. Infolgedessen sollen die Werte der entsprechenden Raumkoordinaten aus den erfassten optischen Werten errechnet werden. Außerdem sollen die Beschleunigung und Geschwindigkeit der Lageänderung über den zeitlichen Verlauf der Lageänderung errechnet werden.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer optischen Anordnung gelöst, welche aus mindestens drei unterschiedlichen lichtleitenden Materialien mit jeweils unterschiedlichem Brechungsindex besteht.

[0007] Die lichtleitenden Materialien mit jeweils unterschiedlichem Brechungsindex sind als definiert zueinander positionierte Lichtleiter in axialer Richtung ausgebildet.

[0008] In radialer Richtung sind die als Lichtleiter ausgebildeten Materialien erfindungsgemäß derart formschlüssig angeordnet, dass Licht von einem Material in die jeweils anderen Materialien übertreten kann. Die aus dem Material 1 (Brechzahl n_1) gebildeten Lichtleiter (mindestens vier identische Lichtleitern) sind in radialer Richtung von den Materialien 2 (Brechzahl n_2) und 3 (Brechzahl n_3) jeweils teilweise umschlossen.

[0009] Erfindungsgemäß wird moduliertes oder unmoduliertes, polarisiertes oder unpolarisiertes Licht einer oder mehrerer Wellenlängen (UV, VIS, IR) an

einem Ende in eine oder mehrere axiale Lichtleiterstrukturen eingekoppelt. Der Nachweis des Messlichtes erfolgt über entsprechende Detektoren in der optischen Anordnungsstruktur. Erfindungsgemäß sind über den axialen Verlauf der Anordnung mehrere optische Detektoren verteilt. Dies kann z.B. am jeweils anderen Ende der lichtleitenden Strukturen erfolgen oder auch gleichmäßig verteilt entlang des axialen Verlaufes realisiert werden.

[0010] Bei Veränderungen der optische Anordnung, z.B. durch Beschleunigung, Biegung, Stauchung, Druck oder Lageänderung wird Licht von einer lichtleitenden Struktur in eine andere lichtleitende Struktur übergekoppelt. Die dabei auftretenden Änderung der Lichtintensität in einem oder mehreren lichtleitenden Strukturen ermöglicht die Analyse der jeweiligen mechanischen Veränderung der optischen Anordnungsstruktur und damit die Bestimmung der Messgröße, z.B. der Lageänderung, der Beschleunigung, des Druckes oder der Biegung.

[0011] Die Detektion des Intensitätssignals an der, der Lichtquelle abgewandten Seite der lichtleitenden Strukturen basiert zum Einen auf der Dämpfung des in den lichtleitenden Strukturen geführten Lichtes und zum Anderen im Übersprechen des Lichtes von einer lichtleitenden Struktur zur anderen lichtleitenden Struktur.

[0012] Durch die symmetrische Anordnung der lichtleitenden Strukturen ist eine vorzeichen- und richtungsabhängige Erfassung der mechanischen Messgrößen möglich.

Figurenliste

[0013] Die optische Anordnung kann in zwei bevorzugten Varianten realisiert werden. Ausführungsbeispiel 1 (siehe **Fig. 1** (Querschnitt) und **Fig. 2** (Längsschnitt)) ist als monolithische, faserbasierte optische Anordnung aufgebaut. Die optische Anordnung besteht aus drei Hauptbaugruppen (Lichtquellen [1], Lichtleiterstruktur [2a, 2b, 2c] und einem oder mehreren Detektoren [3]). Das Messlicht der Lichtquellen [1], welches in die gesamte oder in Teile der Lichtleiterstruktur [2a, 2b, 2c], jeweils mit korrespondierendem Brechungsindex n_a , n_b , n_c , eingekoppelt wird, wird durch die zu messenden äußeren Einflüsse modifiziert (Dämpfung, Aus- und Überkopplung in die jeweils andere lichtleitenden Struktur). Die in den Detektoren registrierte zeitliche Änderung der Lichtintensität ermöglicht die Messung der äußeren Einflussgrößen z.B. Lageänderung, Biegung, Beschleunigung oder Verformung. Die symmetrische Anordnung mehrerer lichtleitenden Strukturen [2a] ermöglicht die vorzeichen- und richtungsabhängige Detektion der äußeren Einflüsse (Messgrößen).

Die **Fig. 1** zeigt die Ausführung mit vier Lichtleitfasern [2a] und symmetrischem Lichtleitkern [2b] umgeben vom Lichtleitmantel [2c]. Wie aus **Fig. 2** ersichtlich wird das Licht einer Lichtquelle [1] in die Stirnfläche der vier Lichtleitstrukturen [2a] eingekoppelt. An den gegenüberliegenden Stirnflächen wird die Intensität des transmittierten Lichtes durch entsprechende Detektoren gemessen. Der Vergleich der vier Messpfade ermöglicht die richtungsabhängige Analyse der Veränderung der optischen Anordnungsstruktur durch die äußeren Messgrößen.

Die **Fig. 3** zeigt das bevorzugte Ausführungsbeispiel 2. In dieser Variante der optischen Anordnung sind die Lichtdetektoren [3] über den axialen Verlauf der Anordnung gleichmäßig oder ungleichmäßig verteilt. Die Signaldetektion erfolgt in diesem Fall orts aufgelöst entlang der Achse der optischen Anordnung. Diese Art der Signaldetektion ermöglicht die dreidimensionale Detektion der äußeren Messgrößen.

[0014] Alternativ zur Ausführung als lokalisierbarer Fasermantel [2c] kann die lichtleitende Struktur bestehend aus vier Lichtleitern [2a] und einem lichtleitendem Kern [2b] in beiden bevorzugten Ausführungsbeispielen auch in ein komplexes Bauteil [2d] aus transparentem Material (z.B. Kunststoff) integriert werden (siehe **Fig. 4**).

Patentansprüche

1. Eine optische Anordnung, bestehend aus mindestens drei unterschiedlichen, definiert zueinander positionierten, lichtleitenden Materialien mit jeweils unterschiedlichem Brechungsindex, welche in axialer Richtung als Lichtleiter ausgebildet und derart angeordnet sind, dass die aus dem Material 1 (Brechzahl n_1) ausgebildeten Lichtleiter in radialer Richtung vom Material 2 (Brechzahl n_2) und Material 3 (Brechzahl n_3) jeweils teilweise umschlossen sind, sodass Licht von einem Material in die jeweils anderen Materialien übertreten kann, sodass in die Lichtleiterstruktur eingekoppeltes moduliertes oder unmoduliertes, polarisiertes oder unpolarisiertes Licht einer oder mehrerer Wellenlängen (UV, VIS, IR) über den Verlauf der Struktur separat nachgewiesen werden kann, wobei die relative Differenzsignalintensität an mehreren unterschiedlichen Detektoren, welche über den axialen Verlauf der Anordnung verteilt sind, zur Erfassung einer orts aufgelösten, dreidimensionalen Lageänderung entlang der Achse der optischen Anordnung erfolgen kann, aus welcher die Berechnung weiterer Größen wie Verformung, Bewegung, Beschleunigung möglich ist, wobei die optische Anordnung einzeln oder an einer beliebigen Einrichtung an welcher die Anordnung angebracht oder in welche sie integriert ist betrieben werden kann.

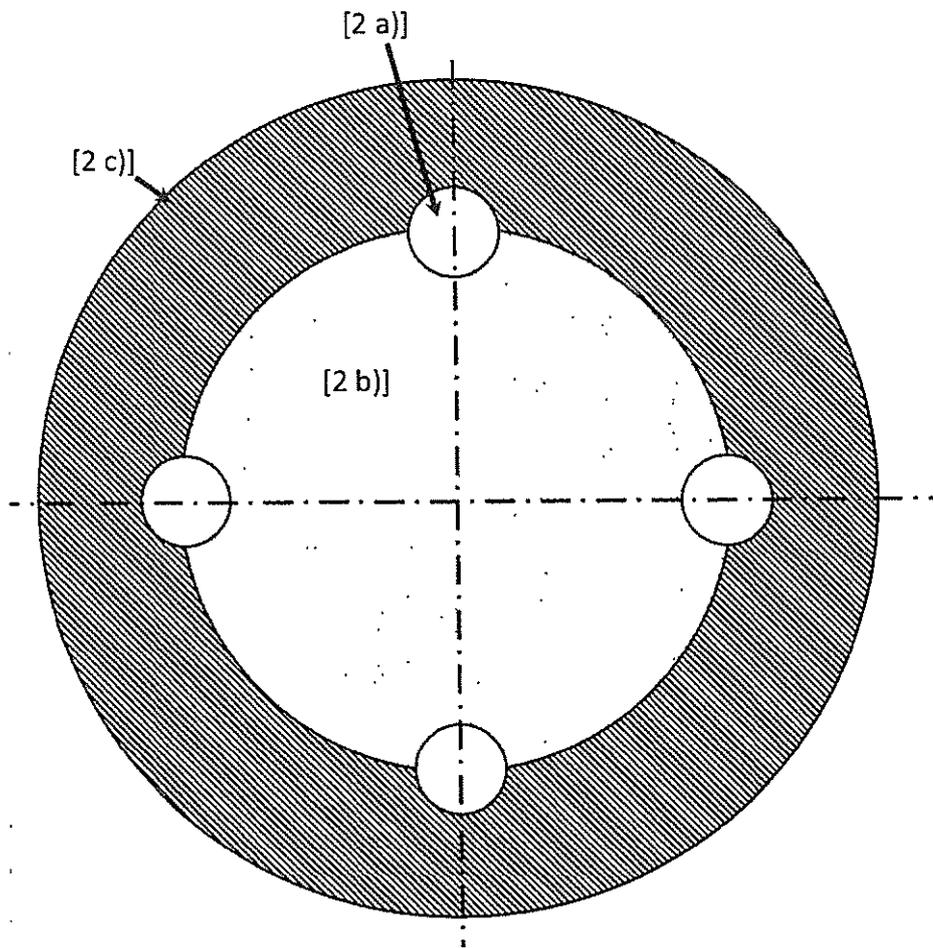
2. Eine optische Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optische Anordnung aus beliebigen optischen Leitern wie Fasern, Mikrolichtleitern, Schichten, flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen bestehen kann.

3. Eine optische Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messung einer oder mehrerer entsprechender Größen direkt als Veränderung der optischen Anordnung oder als Veränderung eines Bauteils an welchem die optische Anordnung montiert ist oder eines Bauteils in welchem die optische Anordnung strukturell integriert ist, wie zum Beispiel Textilien, Faserverbundwerkstoffe, zähe Flüssigkeiten, erfolgen kann.

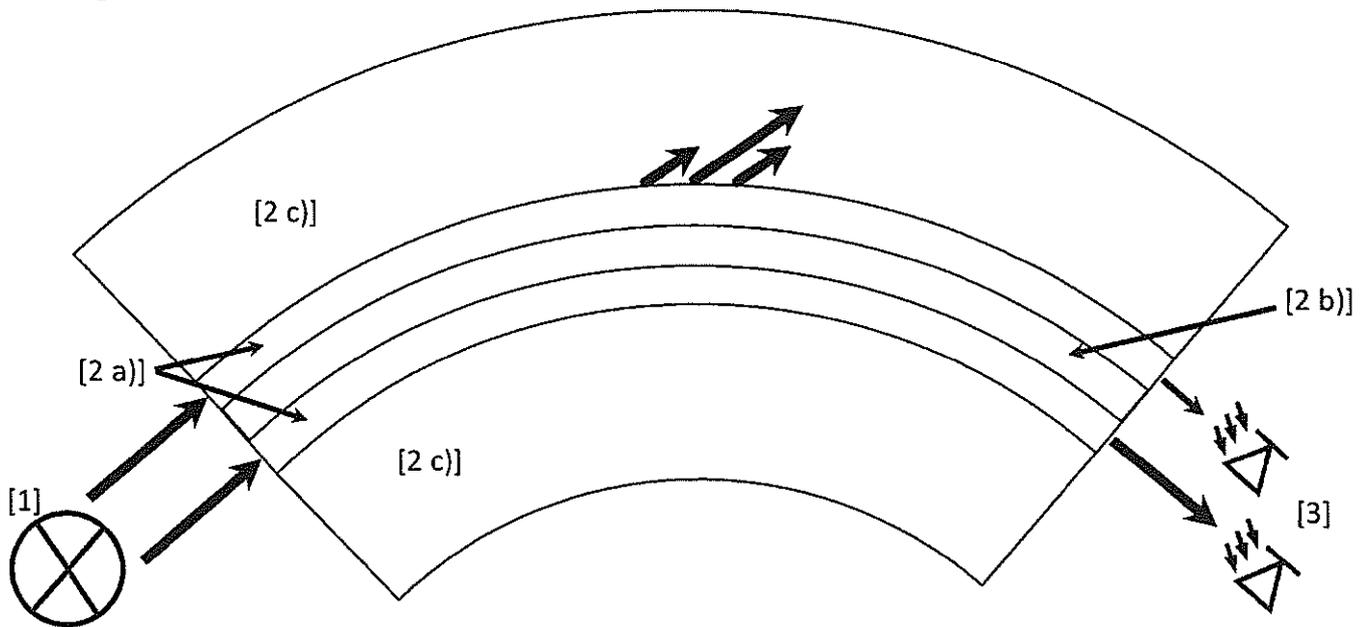
4. Eine optische Anordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Anordnung Messlichtquellen umfasst, wobei die Messlichtquellen und die Detektoren über eine Multiplexeinheit summarisch angesteuert werden können und über eine drahtgebundene oder drahtlose Schnittstelle die Messinformation nach außen weitergeleitet werden.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

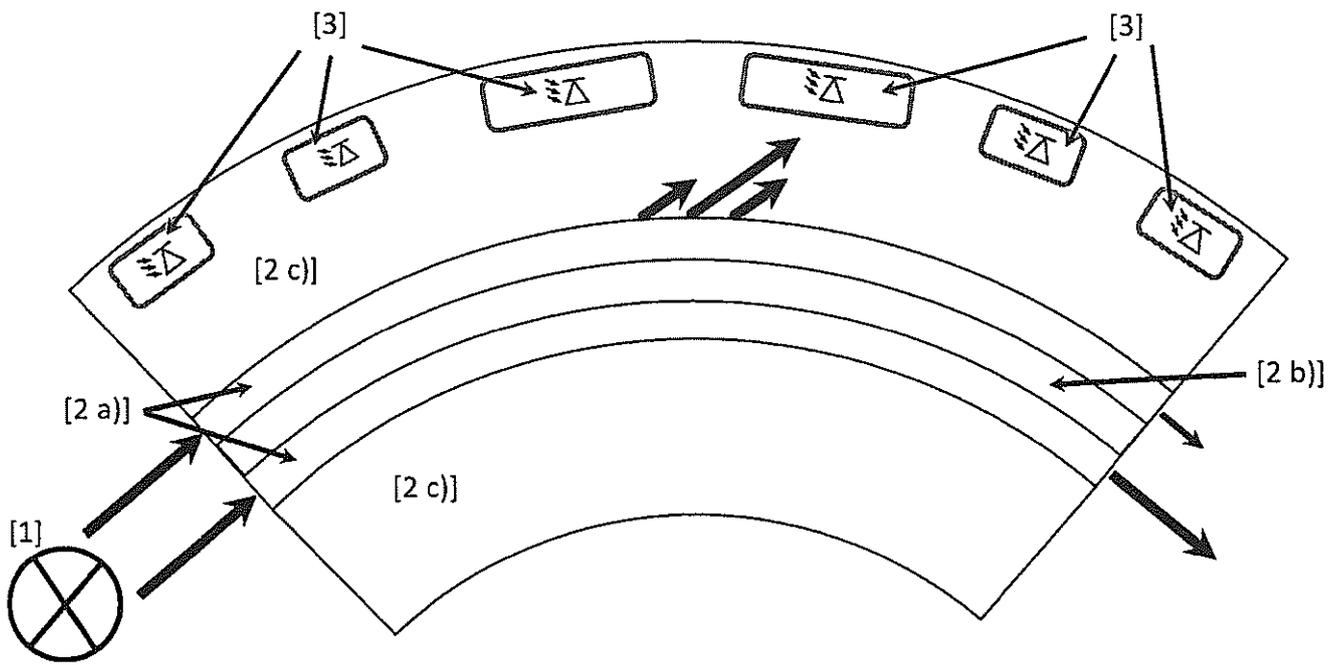
Anhängende Zeichnungen



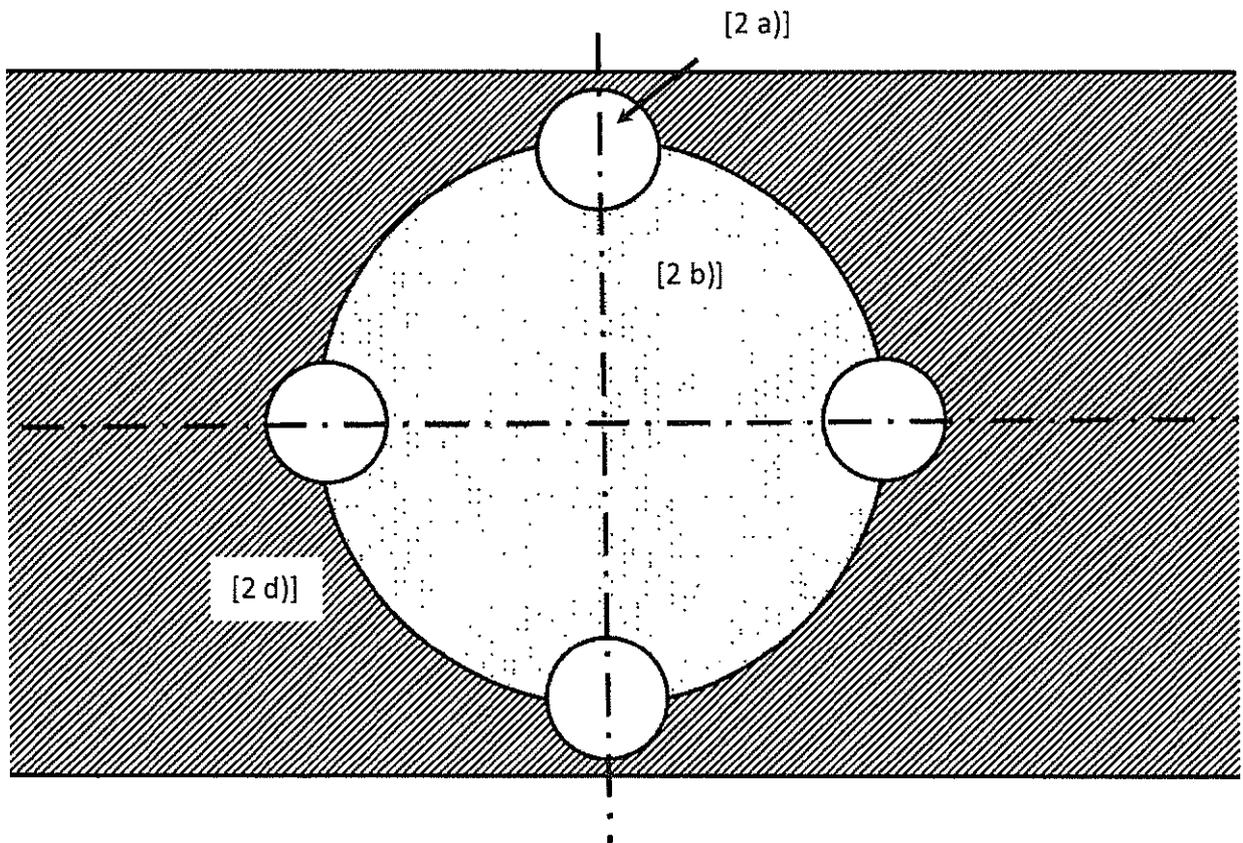
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4