

(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
30. September 2010 (30.09.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/108731 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
G01N 27/406 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2010/052043
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
18. Februar 2010 (18.02.2010)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2009 001 840.9 25. März 2009 (25.03.2009) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** KRUSE, Peer [DE/DE]; Maria Merian Str. 24, 74321 Bietigheim-Bissingen (DE). SCHNEIDER, Jens [DE/DE]; Markgroeningener Weg 15, 71229 Leonberg (DE). DIEHL, Lothar [DE/DE]; Panoramastr. 73/2, 70839 Gerlingen (DE).
- (74) **Gemeinsamer Vertreter:** ROBERT BOSCH GMBH; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (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, 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, 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, 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, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:**
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) **Title:** METHOD FOR OPERATING A SENSOR ELEMENT, AND CORRESPONDING SENSOR ELEMENT

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SENSORELEMENTS UND SENSORELEMENT

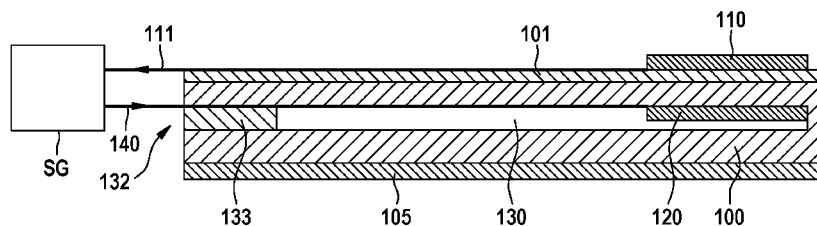
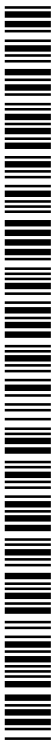


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for operating a sensor element for determining the concentration of gas components in the exhaust gas of internal combustion engines, especially a lambda probe. Said method is characterised by the following steps: the inner resistance of the sensor element is determined, and the pump voltage of the reference electrode is readjusted when the inner resistance falls as the temperature rises, in such a way that the regulating point of the sensor element does not change and the pump flow does not fall below a pre-determined minimal value.

(57) **Zusammenfassung:** Ein Verfahren zum Betreiben eines Sensorelements zur Bestimmung der Konzentration von Gaskomponenten im Abgas von Brennkraftmaschinen, insbesondere einer Lambdasonde ist gekennzeichnet durch folgende Schritte: es wird der Innenwiderstand des Sensorelements bestimmt; es wird die Pumpspannung der Referenzelektrode bei mit steigender Temperatur sinkendem Innenwiderstand derart nachgeregelt, dass der Regelpunkt des Sensorelements sich nicht verändert und ein vorgegebener minimaler Pumpstrom nicht unterschritten wird.



WO 2010/108731 A2

5 Beschreibung

Titel

Verfahren zum Betreiben eines Sensorelements und Sensorelement

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Sensorelements zur Bestimmung der Konzentration von Gaskomponenten im Abgas von Brennkraftmaschinen und ein Sensorelement zur Bestimmung der Konzentration von Gaskomponenten im Abgas von Brennkraftmaschinen.

15 Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind auch ein Computerprogramm und ein Computerprogrammprodukt, welche zur Durchführung des Verfahrens geeignet sind.

Stand der Technik

20

Solche Sensoren, die auch als Lambdasonden bezeichnet werden, gehen beispielsweise aus der Buchveröffentlichung „Bosch Kraftfahrtechnisches Taschenbuch“ 25. Auflage, Seiten 133 ff hervor. Ein Sensor zur Bestimmung von Gaskomponenten und/oder der Konzentration von Gasbestandteilen in Gasgemischen, insbesondere in Abgasen von Verbrennungsmotoren, mit einer Referenzelektrode, die über einen Referenzgaskanal mit einem Referenzgas, insbesondere Luft oder einem sauerstoffhaltigen Gas, beaufschlagbar ist, ist ferner aus der DE 100 43 089 C2 bekannt geworden.

25

30

Sensorelemente für Lambdasonden, die üblicherweise planar aufgebaut sind, weisen einen Referenzgaskanal auf, in dem eine Referenzelektrode angeordnet ist. Diese Sensoren werden beispielsweise als Sprungsonden eingesetzt. Der Ausdruck „Sprungsonde“ ist von der Kennlinie derartiger Lambdasonden abgeleitet, die bei einer Luftzahl $\lambda=1$ einen „Sprung“ von einem ersten Spannungswert im Bereich von etwa 900 mV auf einen zweiten Spannungswert im Bereich von wenigen mV ausführt. Dieser Sprung wird detektiert und zur Bestimmung des

35

korrekten Luft-Kraftstoff-Gemisches bei $\lambda=1$, bei dem eine optimale, stöchiometrische Verbrennung vorliegt, ausgewertet.

5 Darüber hinaus werden diese Sensoren auch mit einer sogenannten gepumpten Referenz bzw. mit einer mit einer Pumpspannung beaufschlagten Referenz betrieben, bei der über einen aufgeprägten anodischen Strom die Referenzelektrode aus dem Abgas mit Sauerstoff versorgt wird.

10 Beim Betrieb derartiger Lambdasonden tritt nun das Problem auf, dass an der Referenzelektrode bzw. in einem benachbarten Referenzgasvolumen unverbrannte Kohlenwasserstoffe auftreten, die beispielsweise von verschmutzten und/oder überhitzten Bauteilen oder einer undichten Packung der Sonde herrühren. Durch diese unverbrannten Kohlenwasserstoffe wird ein nicht vernachlässigbarer Teil des der Referenzelektrode zugeführten Sauerstoffs verbraucht, so
15 dass die Sauerstoffkonzentration an der Referenzelektrode herabgesetzt und damit die Sondenfunktion gestört ist. Dieses Phänomen ist als CSD-Verhalten („Characteristic-Shift-Down“) bekannt. In diesem Zusammenhang ist es weiter störend, dass die unverbrannten Kohlenwasserstoffe vorzugsweise an den heißen, katalytisch aktiven Flächen, d.h. insbesondere an der Referenzelektrode in
20 dem heißen Bereich der Sonde („Hot-Spot-Bereich“) oxidiert werden. Darüber hinaus diffundieren die unverbrannten Kohlenwasserstoffe in den Referenzgaskanal zwar meist langsamer als Sauerstoff, jedoch setzt ein einzelnes Kohlenwasserstoffmolekül in der Regel mehr als ein einzelnes Sauerstoffmolekül um, sodass die effektive Sauerstoffverbrauchsrate durch eindiffundierte unverbrannte
25 Kohlenwasserstoffe größer ist als die Diffusionsrate für reinen Sauerstoff. Damit kommt es an der Referenzelektrode zu einer relativen Anreicherung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen bzw. zu einem relativen Sauerstoffmangel. Schließlich ist aufgrund der erläuterten Mechanismen die Gefahr des CSD-Verhaltens im Referenzgaskanal deutlich größer als im Innenvolumen im Sonden-
30 dengehäuse, das mit dem Referenzgaskanal in Verbindung steht.

Dem CSD-Verhalten kann nun dadurch entgegengewirkt werden, dass das Sensorelement durch Anlegen einer elektrischen Spannung mit einem Elektronenstrom beaufschlagt wird, der dadurch einen Sauerstoffionenstrom antreibt. Der
35 Sauerstoffionenstrom geht an der Referenzelektrode in einen Sauerstoffstrom über und führt über den Referenzkanal in den Außenbereich des Sensorelemen-

tes. Dabei wird ein ausreichender Sauerstoffpartialdruck erzeugt, um Fettgas-
komponenten zu oxidieren oder abzutransportieren, sodass das CSD-Verhalten
aktiv beseitigt wird.

5 Der Innenwiderstand derartiger Lambdasonden ist darüber hinaus temperaturab-
hängig. Sofern derartige Sonden mit einem Pumpstrom betrieben werden, führt
ein Pumpstrom zu einem Spannungsabfall am Innenwiderstand und damit zu ei-
ner Verschiebung des Messsignals. Bei konstanter Versorgungsspannung und
konstantem Innenwiderstand (der durch eine konstante Temperatur bedingt ist)
10 ist auch der Spannungsabfall konstant und kann so vorab im Steuergerät be-
rücksichtigt werden. Bei unbeheizten Sensoren ist jedoch der Innenwiderstand
abhängig von der Abgastemperatur. Hierdurch kann es zu einem temperaturab-
hängigen Spannungsabfall am Innenwiderstand kommen, der einem Signalver-
zug entspricht. Dieser ist proportional zum Pumpstrom.

15 Aus dem Stand der Technik bekannte, unbeheizte Lambdasensoren werden ge-
wöhnlich ohne Pumpstrom betrieben. Dies führt einerseits aufgrund der Proporti-
onalität des Signalverzuges zum Pumpstrom zu einem Verschwinden des tempe-
raturabhängigen Signalverzuges. Andererseits kann auf diese Weise keine
20 Pumpwirkung zur Beseitigung des CSD-Verhaltens durch Spülen des Referenz-
kanals erreicht werden.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben
eines unbeheizten Sensorelements, insbesondere einer Lambdasonde, und eine
25 derartige Lambdasonde zu vermitteln, bei der das CSD-Verhalten beseitigt ist.

Offenbarung der Erfindung

Vorteile der Erfindung

30 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Betreiben eines Sensorelements
zur Bestimmung der Konzentration von Gaskomponenten im Abgas von Brenn-
kraftmaschinen und ein Sensorelement mit den Merkmalen der unabhängigen
Ansprüche 1 und 4 gelöst.

35

Grundidee der Erfindung ist es, das CSD-Verhalten, also einen Signalverzug bei unbeheizten Lambdasonden, dadurch zu minimieren, dass zunächst der Innenwiderstand des Sensorelements bestimmt wird und dass die Versorgungsspannung des Sensorelements mit steigender Temperatur und dadurch sinkendem Innenwiderstand derart nachgeregelt wird, dass der Regelpunkt des Sensorelements sich nicht verändert, das heißt an der gleichen Stelle liegt und dabei ein vorgebbarer minimaler Pumpstrom nicht unterschritten wird.

Der Vorteil dieser Maßnahme liegt in einem vermehrten Pumpen bei hohen Temperaturen, bei denen Fettgas auch vermehrt aus der Packung ausdampfen kann.

Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 4 angegebenen Verfahrens und des Sensorelements möglich.

So wird bei einer ersten Ausgestaltung des Verfahrens beispielsweise der Innenwiderstand des Sensorelements gemessen.

Bei einer anderen Ausführungsform des Verfahrens wird der Innenwiderstand über die Temperatur des Sensorelements anhand der Betriebsparameter der Brennkraftmaschine rechnerisch ermittelt oder einem Kennfeld entnommen. Dabei wird, abhängig beispielsweise vom Betriebspunkt der Brennkraftmaschine, auch die Abgastemperatur, das Abgasmengenverhältnis, den Abgasmassenstrom bestimmt, und aus diesen auf die Temperatur und somit den Innenwiderstand des Sensorelements geschlossen.

Das erfindungsgemäße Sensorelement zur Bestimmung der Konzentration von Gaskomponenten im Abgas von Brennkraftmaschinen mit wenigstens einer Elektrolytschicht zeichnet sich durch die Verwendung von Scandium-stabilisiertem Zirkonoxid statt Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid im Bereich unter der Außenelektrode mit einer Dicke zwischen 10 µm und 50 µm aus. Hierdurch sind vor allem im Niedertemperaturbereich niedrigere Innenwiderstandswerte erreichbar, weil der Widerstandsanteil der Ioneneinbaureaktion abgesenkt wird.

Um eine verbesserte Ionenleitfähigkeit herzustellen, können dabei Lokalbereiche mit Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid verwendet werden. Dies betrifft insbesondere die Schichten, über die eine oder auch beide Elektroden mit dem Elektrolyten verbunden sind.

5

Weiterhin ist zur Reduktion des Gleichstrominnenwiderstands vorgesehen, die Elektrodenflächen zu maximieren und die Referenzelektrode nahe an der äußeren Oberfläche der Sonde zu positionieren, um den dazwischen angeordneten Elektrolyten möglichst gut an das heiße Abgas zu koppeln.

10

Eine derartige Lambdasonde wird darüber hinaus mit einem sehr geringen Pumpstrom betrieben, der zu einem möglichst geringen Spannungsverzug führt und dennoch eine CSD- und Nebenschlussfestigkeit gewährleistet. Die Pumpströme liegen dabei im Bereich zwischen 0 μA und 10 μA , bevorzugt zwischen 2 μA und 5 μA .

15

Kurze Beschreibung der Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

20

In der Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes Sensorelement schematisch im Schnitt dargestellt.

25

Ausführungsformen der Erfindung

In Fig. 1 ist schematisch ein Sensorelement dargestellt, welches durch einen Elektrolyten 100 gebildet wird, der auf einen Träger 105, beispielsweise mittels Siebdruck aufgebracht sein kann. Der Elektrolyt weist eine Dicke von etwa 500 μm auf. Die erfindungsgemäße Drucktechnik zur Herstellung des Elektrolyten im Bereich 101 unter der Außenelektrode 110 wird eingesetzt, um eine geringe Schichtdicke von etwa 10 μm bis 50 μm von Scandium-stabilisiertem Zirkonoxid zu erzielen und dadurch den Innenwiderstand bedingt durch die Ionen-Einbaureaktion zu minimieren.

35

Die Lambdasonde weist eine dem (nicht dargestellten) Abgas ausgesetzte Außenelektrode 110 auf, die mit einem Steuergerät SG mit über eine in der Fig. 1 nur schematisch dargestellte elektrische Leitung 111 verbunden ist und eine in einem Referenzgasvolumen 130 (Referenzgaskanal) angeordnete Referenzelektrode 120, die ebenfalls über eine Leitung 140 mit dem Steuergerät SG verbunden ist. Zur Reduktion des Gleichstrominnenwiderstands ist die Elektrodenfläche insbesondere der dem Abgas ausgesetzten Elektrode 110 möglichst groß gewählt, im Idealfall ist sie unter Berücksichtigung der baulichen Gegebenheiten und der daraus resultierenden Temperaturverteilungen maximal gewählt. Die Referenzelektrode 120, deren Fläche an die der dem Abgas ausgesetzten Elektrode 110 angepasst ist, ist möglichst nahe an der äußeren Oberfläche der Sonde positioniert, um den dazwischen angeordneten Elektrolyten möglichst gut an das heiße Abgas zu koppeln. Die Sonde kann mit einem Pumpstrom betrieben werden, der möglichst klein gewählt wird, um einen geringen Spannungsverzug zu verursachen und dennoch die CSD- und Nebenschlussfähigkeit zu gewährleisten. Die Pumpströme liegen im Bereich zwischen 0 μ A und 10 μ A, insbesondere und bevorzugt im Bereich zwischen 2 μ A und 5 μ A.

Rein prinzipiell ist es auch möglich, einen Pumpstrom erst bei einer höheren Temperatur, beispielsweise $> 500^{\circ}\text{C}$, zuzuschalten, der dazu dient, eine „Abreaktion“ des aus der Dichtpackung ausdampfenden Fettgases herbeizuführen. Ein Auslass 132 des Pumpgases wird klein dimensioniert, um ein Vordringen von Fettgas zur Referenzelektrode 120 möglichst zu unterbinden. Er muss allerdings so groß gewählt werden, dass ein Druckausgleich mit der Umgebung gewährleistet ist. Hierbei müssen poröse Schichten mit hohem Strömungswiderstand vermieden werden. Zu bevorzugen ist ein offener Kanal mit entsprechend kleinem Querschnitt. Der Referenzkanal kann durch eine einfache Druckschicht mit einer Opferschicht der Dicke 20 bis 30 μm und einer Kanalbreite zwischen 0,5 und 1 mm realisiert werden (nicht dargestellt). Rein prinzipiell ist es auch möglich, eine nicht ganz dicht gedruckte Elektrodenzuleitung als Referenzkanal zu nutzen (nicht dargestellt). Darüber hinaus kann vorgesehen sein, mit einer porösen Druckschicht 133 im Eingangsbereich des Referenzkanals ein weiteres Eindringen von Fettgaskomponenten in den Referenzgaskanal 130 zu unterdrücken und gleichzeitig den Strömungswiderstand und somit den Druckaufbau im Referenzbereich einzustellen.

Im Folgenden wird ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Lambdasensors zur Kompensation des Signalverzugs, der sich durch den Pumpstrom zur Unterdrückung von CSD-Verhalten ergibt, beschrieben. Die Kompensation des Signalverzugs setzt die Kenntnis des Innenwiderstands des Sensorelements voraus, der zunächst bestimmt wird. Dieser kann beispielsweise durch Messungen oder rechnerisch oder beispielsweise mittels eines Kennfelds, abhängig von den Betriebsparametern der Brennkraftmaschine, wie dem Abgasmassenstrom, dem Abgasmengenverhältnis, der Abgastemperatur und dergleichen, bestimmt werden. Es erfolgt nun eine Anpassung der Versorgungsspannung der Sonde an den mit steigender Temperatur sinkenden Innenwiderstand derart, dass die Versorgungsspannung mit steigender Temperatur nachgeregelt wird, sodass der Regelpunkt immer an der gleichen Stelle liegt, das heißt sich nicht verändert und dabei ein minimaler Pumpstrom nicht unterschritten wird. Hierbei wird auf vorteilhafte Weise ein vermehrtes Pumpen bei hohen Temperaturen erreicht, bei denen auch Fettgas vermehrt aus der Packung ausdampfen kann.

Durch die Veränderung des Regelpunkts, der innerhalb einer Regelsoftware im Steuergerät SG erfolgt, können CSD-bedingte Signalverzüge kompensiert werden.

Das vorstehend beschriebene Verfahren kann beispielsweise als Computerprogramm im Steuergerät der Brennkraftmaschine implementiert sein und dort ablaufen. Der Programmcode kann auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert sein, den das Steuergerät SG lesen kann.

5 Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Sensorelements zur Bestimmung der Konzentration von Gaskomponenten im Abgas von Brennkraftmaschinen, insbesondere einer Lambda-Sonde, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
 - 10 - es wird der Innenwiderstand des Sensorelements bestimmt;
 - es wird die Pumpspannung der Referenzelektrode bei (120) mit steigender Temperatur sinkendem Innenwiderstand derart nachgeregelt, dass der Regelpunkt des Sensorelements sich nicht verändert und ein vorgegebbarer minimaler Pumpstrom nicht unterschritten wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Innenwiderstand des Sensorelements durch eine Ri-Puls-Innenwiderstandsmessung bestimmt wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Innenwiderstand des Sensorelements anhand der Betriebsparameter der Brennkraftmaschine rechnerisch ermittelt wird oder einem Kennfeld entnommen wird.
- 25 4. Sensorelement zur Bestimmung der Konzentration von Gaskomponenten im Abgas von Brennkraftmaschinen mit wenigstens einer Elektrolytschicht, gekennzeichnet durch eine Elektrolytschicht (101) unter der abgasseitigen Elektrode zwischen 10 und 50 μm Dicke, bestehend aus
 - 30 a. Scandium-stabilisiertem Zirkonoxid und/oder
 - b. einer Mischung aus Scandium- und Yttrium-stabilisiertem Zirkonoxid und/oder
 - c. mittels einer Mischung aus Scandium um Yttrium stabilisiertem Zirkonoxid.
- 35 5. Sensorelement nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Minimierung des Gleichstrominnenwiderstands des Sensorelements die Elektro-

denflächen (110, 120) so an dem Elektrolyten ausgebildet sind, dass sie eine geometrisch maximal mögliche Oberfläche aufweisen.

- 5
6. Sensorelement nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzelektrode (120) nahe der äußeren, dem Abgas ausgesetzten Oberfläche des Sensorelements angeordnet ist.
- 10
7. Sensorelement nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass es mit einem Pumpstrom beaufschlagt wird, der zwischen 0 μA und 10 μA beträgt, vorzugsweise zwischen 2 μA und 5 μA beträgt.
- 15
8. Computerprogramm, das alle Schritte eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3 ausführt, wenn es auf einem Rechenggerät, insbesondere dem Steuergerät einer Brennkraftmaschine abläuft.
9. Computerprogrammprodukt mit Programmcode, der auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wenn das Programm auf einem Computer oder einem Steuergerät eines Fahrzeugs ausgeführt wird.

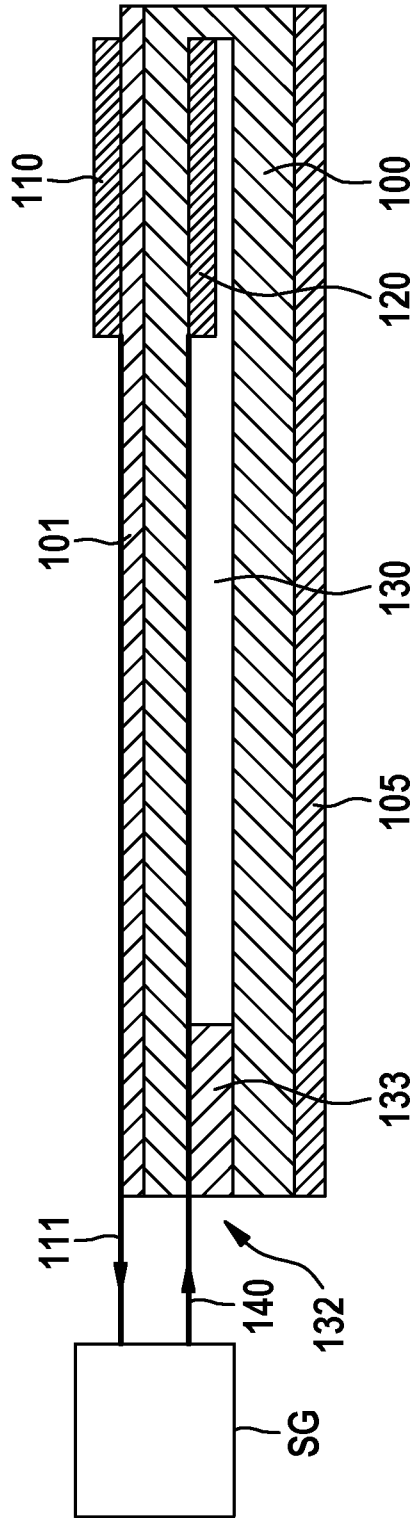


Fig. 1