

(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
09. Januar 2020 (09.01.2020)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2020/007674 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 27/417 (2006.01) G01N 33/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/066944

(22) Internationales Anmeldedatum:

26. Juni 2019 (26.06.2019)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2018 210 876.5

03. Juli 2018 (03.07.2018)

DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Post-
fach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) **Erfinder: OECHTERING, Peter**; Gartenaeckerweg 6,
76229 Karlsruhe (DE). **HEISE, Michael**; Hofloessnitz-
strasse 72, 01445 Radebeul (DE). **GUEL, Mustafa**; Os-
kar-Kreibich-Weg 7, 71522 Backnang (DE). **FIEDLER,**
Michael; Amsterdamer Str. 31, 71034 Boeblingen (DE).
SCHROEDER, Andy; Sommerhaldenstr. 6, 5405 Daettwil
(CH). **SINGER, Matthias**; Tulpenweg 10, 73730 Esslin-
gen (DE). **DAECKE, Dirk**; Kernenblickstrasse 19, 70619
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, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,

(54) **Title:** METHOD FOR OPERATING A SENSOR FOR DETECTING AT LEAST ONE PORTION OF A MEASUREMENT GAS
COMPONENT HAVING BOUND OXYGEN IN A MEASUREMENT GAS

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES SENSORS ZUM NACHWEIS MINDESTENS EINES ANTEILS
EINER MESSGASKOMPONENTE MIT GEBUNDENEM SAUERSTOFF IN EINEM MESSGAS

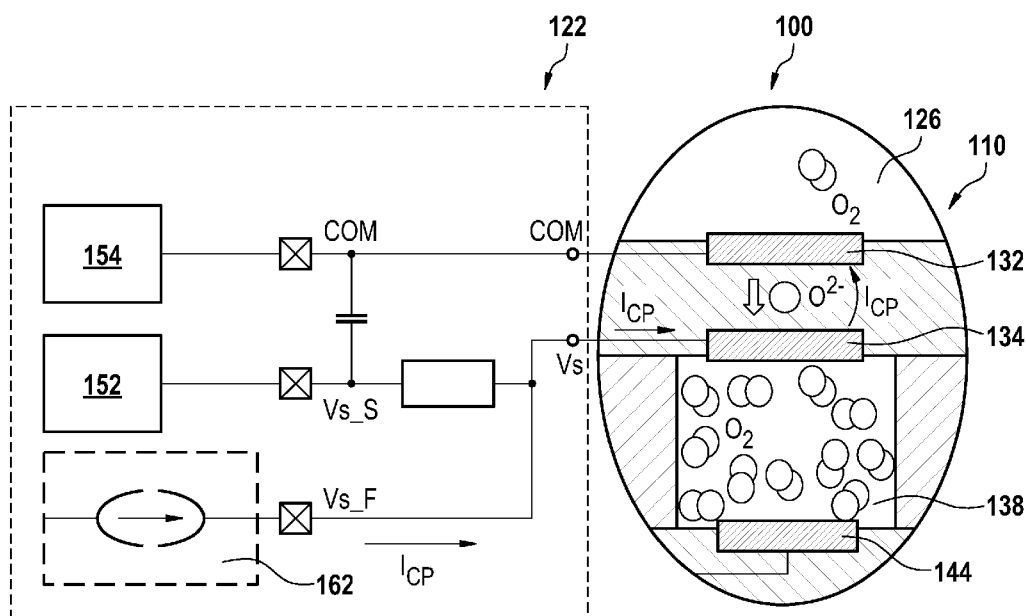


FIG. 3

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for operating a sensor (100) for detecting at least one portion of a measurement gas component having bound oxygen in a measurement gas, more particularly in an exhaust gas of an internal combustion engine. In the method, an electronic control unit (122), which at least has a first separate connection point (P1) for a first pump cell (112), a second separate connection point (P2) for a second pump cell (140), a connection point for a supply voltage (Vs) and a common connection point (COM), is connected to the

NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

sensor element (110) of the sensor (100), a measurement resistor (160) being provided in a fourth electrically conductive connection (146), a predefined voltage (U_{COM}) being present at the common connection point (COM), a capacity of the second pump cell (140) for generating a measurement signal (180) on the measurement resistor (160) is modified for a predefined amount of time by a control device (122).

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Betreiben eines Sensors (100) zum Nachweis mindestens eines Anteils einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, insbesondere in einem Abgas einer Verbrennungskraftmaschine, vorgeschlagen. Bei dem Verfahren wird ein elektronisches Steuergerät (122), das zumindest über einen ersten gesonderten Anschluss (P1) für eine erste Pumpzelle (112), einen zweiten gesonderten Anschluss (P2) für eine zweite Pumpzelle (140), einen Anschluss für eine Versorgungsspannung (V_s) und über einen gemeinsamen Anschluss (COM) verfügt, mit dem Sensorelement (110) des Sensors (100) verbunden, wobei in einer vierten elektrisch leitenden Verbindung (146) ein Messwiderstand (160) vorgesehen wird, wobei an dem gemeinsamen Anschluss (COM) eine vorbestimmte elektrische Spannung (U_{COM}) anliegt, wobei mittels des Steuergeräts (122) eine Kapazität der zweiten Pumpzelle (140) zum Erzeugen eines Messsignals (180) an dem Messwiderstand (160) für eine vorbestimmte Zeit verändert wird.

5 Beschreibung

Titel

Verfahren zum Betreiben eines Sensors zum Nachweis mindestens eines Anteils
einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas

10

Stand der Technik

15

Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl von Verfahren und Sensoren zum Nachweis mindestens eines Anteils der Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Gasgemisch, insbesondere in einem Abgas einer Verbrennungskraftmaschine, durch Erfassen eines Anteils an Sauerstoff, der durch eine Reduktion der Messgaskomponente mit dem gebundenen Sauerstoff erzeugt wird, bekannt.

20

Sensoren zum Nachweis mindestens eines Anteils der Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Gasgemisch, die auch verkürzt oder vereinfacht NO_x-Sensoren oder Stickoxid-Sensoren bezeichnet werden, sind beispielsweise in Reif, K., Deutsche, K.-H. et al., Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014, Seite 1338-1347 beschrieben.

25

30

Stickoxid-Sensoren (= NO_x-Sensoren), die heutzutage in der Automobiltechnik eingesetzt werden, funktionieren nach dem Grenzstromprinzip, analog zu Sauerstoff-Sensoren, wie beispielsweise Lambda Sensoren. Ein solcher Stickoxid-Sensor umfasst eine Nernst-Konzentrationszelle, die auch Referenzzelle genannt wird, eine modifizierte Sauerstoffpumpzelle und eine weitere modifizierte Sauerstoffpumpzelle, die sogenannte NO_x-Zelle. Eine dem Abgas ausgesetzte äußere Pumpelektrode und eine innere Pumpelektrode in einem ersten Hohlraum, der vom Abgas durch eine Diffusionsbarriere getrennt ist, bilden die Sauerstoffpumpzelle. Im ersten Hohlraum befindet sich auch die

35

- 2 -

Nernstelektrode und in einem Referenzgasraum die Referenzelektrode, die zusammen die Nernstzelle bzw. Referenzzelle bilden. Die NO_x-Zelle umfasst eine NO_x-Pumpelektrode und eine Gegenelektrode. Die NO_x-Pumpelektrode befindet sich in einem zweiten Hohlraum, der mit dem ersten inneren Hohlraum verbunden und von diesem durch eine Diffusionsbarriere getrennt ist. Die Gegenelektrode befindet sich in dem Referenzgasraum. Alle Elektroden in dem ersten und zweiten Hohlraum haben einen gemeinsamen Rückleiter.

Bei Betrieb des Stickoxid-Sensor wird der sogenannten O₂-Zelle der Sauerstoff aus dem ersten Hohlraum, der über eine Diffusionsbarriere mit dem Abgas verbunden ist, entfernt. Der dadurch resultierende Pumpstrom ist dann proportional zum Sauerstoffgehalt der Umgebungsluft im Messgas- bzw. Abgasstrom. In der NO_x-Zelle werden die Stickoxide abgepumpt. Das Stickoxid NO_x, in der in den zweiten Hohlraum befindlichen Atmosphäre, wird durch Anlegen einer konstanten Pumpspannung reduziert bzw. abgebaut. Der durch Reduktion oder Abbau der Messgaskomponente in dem zweiten Hohlraum erzeugte Sauerstoff, der vorzugsweise aus der Reduktion des Stickoxids NO_x stammt, wird in einen Referenzgasraum abgepumpt. So hat die angelegte Pumpspannung gegen den Widerstand der NO_x-Zelle und der Konzentration des Stickoxids NO_x bzw. Sauerstoffs einen Pumpstrom zur Folge, der proportional zum Gehalt an Stickoxid NO_x bzw. Sauerstoff ist und das NO_x-Messsignal darstellt.

Der dabei resultierende Pumpstrom IP₂ ist somit ein Maß für die NO_x-Konzentration der Umgebungsluft im Messgas- bzw. Abgasstrom. Bei dieser Anordnung ist es wichtig, dass an der Sauerstoffzelle nicht auch die Stickoxide abgepumpt werden, da sonst an der NO_x-Zelle kein Signal mehr gemessen werden könnte. Dies wird durch eine Gold-Dotierung der O₂-Zelle erreicht. Zusätzlich darf die O₂-Zelle nur bei niedrigen Pumpspannungen betrieben werden, da sonst wieder NO_x-Moleküle dissoziiert würden.

Trotz der Vorteile der aus dem Stand der Technik bekannten Sensoren und Verfahren zum Betreiben derselben, beinhalten diese noch Verbesserungspotenzial. Die Temperatur des Sensorelements wird durch eine Pulsweitenmodulation (PWM) der Heizerversorgung (Spannung, Strom)

gesteuert. Die Spannung des PWMs wird über einen Feldeffekttransistor (FET) direkt von der Versorgungsspannung (12V) der Sensorsteuereinheit (SCU) abgegriffen. Dadurch liegt in der An-Phase des PWMs die SCU-Versorgungsspannung des Systems an den Heizmäander des Sensorelements in der Sensor-Probe an. Der Strom an NO_x-Messsignal ist sehr klein wie beispielsweise. 4,5 µA bei 1500 ppm NO_x und damit auch äußerst empfindlich gegenüber Störungen und Einkopplungen. Aufgrund der baulichen Nähe der Heizmäander zu der NO_x Zelle wird während der An-Phase des PWM-Signals durch kapazitive Kopplung und Leckströme ein Strom auf die IP2 Leitung/Zelle eingeprägt. Durch diese Störung wird ein Offset zu dem tatsächlichen NO_x Wert messbar. Die Anforderungen der Umweltbehörden verlangen eine kontinuierliche und verlässliche Diagnose von Leitungsunterbrechungen der IP2 Leitung.

Offenbarung der Erfindung

Es wird daher ein Verfahren zum Betreiben eines Sensors zum Nachweis mindestens eines Anteils einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas vorgeschlagen, welches die Nachteile bekannter Verfahren zum Betreiben dieser Sensoren zumindest weitgehend vermeidet und das in Intervallen von mindestens 500 ms eine sichere und kontinuierliche Diagnose erlaubt, ohne die NO_x-Messwerte zu beeinflussen bzw. zu stören.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben eines Sensors zum Nachweis mindestens eines Anteils einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, insbesondere in einem Abgas einer Verbrennungskraftmaschine, wobei der Sensor ein Sensorelement umfasst, wobei das Sensorelement eine erste Pumpzelle, die eine äußere Pumpelektrode und eine innere Pumpelektrode aufweist und die an einem ersten Hohlraum anliegt, welcher mit dem Messgas in Verbindung steht, eine Referenzzelle, welche eine Nernst-Elektrode und eine Referenzelektrode aufweist und die an einem Referenzgasraum anliegt, und eine zweite Pumpzelle, die eine Pumpelektrode und eine Gegenelektrode aufweist und die an einem zweiten Hohlraum anliegt, wird ein elektronisches Steuergerät, das zumindest über einen ersten gesonderten Anschluss für die erste Pumpzelle, einen zweiten

gesonderten Anschluss für die zweite Pumpzelle, einen Anschluss für eine Versorgungsspannung und über einen gemeinsamen Anschluss verfügt, mit dem Sensorelement verbunden, wobei die äußere Pumpelektrode mittels einer ersten
5 mittels einer ersten elektrisch leitenden Verbindung mit dem ersten gesonderten Anschluss verbunden wird, wobei die innere Pumpelektrode mittels einer zweiten elektrisch leitenden Verbindung mit dem gemeinsamen Anschluss verbunden wird, wobei die Referenzelektrode mittels einer dritten elektrisch leitenden
10 Verbindung mit dem Anschluss für eine Versorgungsspannung verbunden wird, wobei die Pumpelektrode mittels der zweiten elektrisch leitenden Verbindung mit dem gemeinsamen Anschluss verbunden wird, wobei die Gegenelektrode mittels einer vierten elektrisch leitenden Verbindung mit dem zweiten gesonderten Anschluss verbunden wird, wobei in der vierten elektrisch leitenden Verbindung ein Messwiderstand vorgesehen wird, wobei mittels des Steuergeräts eine
15 Kapazität der zweiten Pumpzelle zum Erzeugen eines Messsignals an dem Messwiderstand für eine vorbestimmte Zeit verändert wird.

Durch eine Änderung der Kapazität der zweiten Pumpzelle wird an der zweiten Pumpzelle eine Stromänderung bewirkt, was wiederum an dem Messwiderstand ein auswertbares Messsignal erzeugt, das die Unterscheidung zwischen einem
20 offenen oder geschlossenen Stromkreis erlaubt. Mit anderen Worten wird ein IP2-Signal durch eine Änderung der Kapazität der zweiten Pumpzelle erzeugt. Damit lässt sich ein offener Stromkreis an der IP2 Leitung der NOx-Zelle auch während des Messbetriebs sicher erkennen. Auch in Betriebszuständen, in denen der Strom I_{P2} (nahezu) gleich null ist, wie beispielsweise bei 0 ppm NOx,
25 kann eine offene IP2-Leitung detektiert werden.

Bein einer Weiterbildung wird in die Referenzelektrode mittels der dritten elektrisch leitenden Verbindung von dem Anschluss für eine Versorgungsspannung ein vorbestimmter elektrischer Strom eingeprägt, wobei
30 der vorbestimmte elektrische Strom für die vorbestimmte Zeit verändert wird. Beispielsweise treibt eine Stromquelle einen Pumpstrom ICP über die Vs-Leitung in die Referenzelektrode der Nernstzelle. Eine solche Stromquelle hat einen konstanten Ausgangsstrom unabhängig von der Spannung und anliegenden der Last. Die Größe des Sauerstoffpartialdrucks in der gepumpten Referenzkammer
35 ist in etwa proportional zum anliegenden Pumpstrom. Dieser Pumpstrom stellt

- 5 -

Elektronen zur Verfügung, um aus den positiv geladenen Sauerstoffionen O^{2+} ,
die von der Nernstelektrode zu der Referenzelektrode überführten
Sauerstoffionen O^{2-} wieder in zwei Sauerstoffatome O_2 zusammenzusetzen.
Damit wird die Referenzkammer stetig bei $\lambda > 1$ mit Sauerstoff gefüllt bzw.
5 aufgepumpt. Dies dient dazu, um einen Partialdruckdifferenz zwischen
Referenzraum und der Sauerstoffkammer einzustellen. Der Partialdruck ergibt
sich aus dem gesetzten Pumpstrom und dem Verlust von Sauerstoff durch
Diffusion. Zielwert für die Partialdruckdifferenz ist eine Nernstspannung von
üblicherweise 425mV. Durch eine kleine Öffnung kann der überschüssige Druck
10 entweichen. Durch Variation des Pumpstroms wird der Partialdruck der
Referenzzelle verändert und dadurch die Kapazität der zweiten Pumpzelle
beeinflusst. Dies hat zur Folge, dass ein IP2-Strom getrieben wird, auch wenn
keine Stickoxide, Sauerstoff oder Feuchtigkeit in der zweiten Pumpzelle
vorhanden sind. Entsprechend wird durch diesen IP2-Strom ein Messsignal am
15 Messwiderstand erzeugt, das zum Unterscheiden zwischen defekter und intakter
IP2-Leitung verwendet werden kann.

Bei einer Weiterbildung wird der vorbestimmte elektrische Strom auf einen Wert
von 0 μA für die vorbestimmte Zeit verändert. Die Veränderung wird somit durch
20 An- und Abschalten des Pumpstroms zur Referenzelektrode realisiert, was eine
deutliche Änderung des IP2-Stroms bewirkt und somit ein deutlich auswertbares
Messsignal am Messwiderstand.

Bei einer Weiterbildung wird die vierte elektrisch leitende Verbindung als intakt
25 identifiziert, falls das Messsignal für die vorbestimmte Zeit eine Veränderung
aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal für die
vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist. Ist mit anderen Worten die IP2-
Leitung in Ordnung, so wird bei Änderung des Pumpstroms zur
Referenzelektrode ein Strom auf der IP2-Leitung messbar sein. Ist die IP2-
30 Leitung getrennt, so wird trotz Änderung des Pumpstroms zur Referenzelektrode
kein Strom auf dieser messbar sein. Somit lässt gut zwischen defekter und
intakter IP2-Leitung unterscheiden.

Bei einer Weiterbildung weist das Sensorelement ein Heizelement auf, wobei das
35 Sensorelement mittels des Heizelements auf eine vorbestimmte Temperatur

beheizt wird, wobei die vorbestimmte Temperatur für die vorbestimmte Zeit verändert wird. Durch Variation der Temperatur in dem Sensorelement kann die elektrische Kapazität der zweiten Pumpzelle beeinflusst werden. Durch Erhöhung der Kapazität werden zusätzliche Ladungsträger gebunden, bei Verringerung werden Ladungsträger wieder abgegeben. Dadurch fließt ein Strom auf der IP2-Leitung, der als Messsignal an dem Messwiderstand auswertbar ist.

Bei einer Weiterbildung wird die vierte elektrisch leitende Verbindung als intakt identifiziert, falls das Messsignal für die vorbestimmte Zeit eine Veränderung aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist. Wenn somit die IP2-Leitung in Ordnung ist, so wird ein Strom auf dieser messbar sein, und wenn die IP2-Leitung getrennt ist, so wird trotz Änderung der Temperatur kein Strom auf dieser messbar sein. Somit lässt sich gut zwischen defekter und intakter IP2-Leitung unterscheiden.

Bei einer Weiterbildung wird die vorbestimmte Temperatur für die vorbestimmte Zeit abgesenkt, wobei die vierte elektrisch leitende Verbindung als intakt identifiziert wird, falls das Messsignal für die vorbestimmte Zeit ein Absinken aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist.

Alternativ wird die vorbestimmte Temperatur für die vorbestimmte Zeit erhöht, wobei die vierte elektrisch leitende Verbindung als intakt identifiziert wird, falls das Messsignal für die vorbestimmte Zeit einen Anstieg aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist. Bei kurzzeitiger Verringerung der Temperatur, was eine Erhöhung des Innenwiderstandes des Sensorelements bewirkt, hat dies eine negative Stromänderung zur Folge. Wird die Temperatur dagegen erhöht, was eine Verringerung des Innenwiderstandes des Sensorelements bewirkt, hat dies eine positive Stromänderung zur Folge. Daraus folgt, dass in der zweiten Pumpzelle ein Strom getrieben wird, auch wenn keine Stickoxide, Sauerstoff oder Feuchtigkeit in der zweiten Pumpzelle vorhanden sind. Entsprechend wird durch diesen IP2-Strom ein Messsignal am Messwiderstand erzeugt, das zum

- 7 -

Unterscheiden zwischen defekter und intakter IP2-Leitung verwendet werden kann.

Bei einer Weiterbildung wird die Temperatur des Sensorelements durch Erfassen
eines elektrischen Innenwiderstands des Sensorelements bestimmt. Durch
Messung des Innenwiderstands des Sensorelements kann auf die Temperatur
geschlossen werden, da dieser temperaturabhängig ist.

Bei einer Weiterbildung ist das Messsignal ein Spannungsabfall über den
Messwiderstand.

Dadurch kann ein gut von dem Steuergerät verarbeitbares Signal gewonnen werden.

Es wird zudem ein Computerprogramm vorgeschlagen, welches eingerichtet ist, jeden Schritt des erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführen.

Weiterhin wird ein elektronisches Speichermedium vorgeschlagen, auf welchem ein Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gespeichert ist.

Die Erfindung umfasst darüber hinaus ein elektronisches Steuergerät, welches das erfindungsgemäße elektronische Speichermedium mit dem besagten Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens enthält, umfasst.

Schließlich betrifft die Erfindung auch einen Sensor zum Nachweis mindestens eines Anteils einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, insbesondere in einem Abgas einer Verbrennungskraftmaschine, umfassend ein Sensorelement, wobei das Sensorelement eine erste Pumpzelle, die einer äußere Pumpelektrode und eine innere Pumpelektrode aufweist und die an einem ersten Hohlraum anliegt, welcher mit dem Messgas in Verbindung steht, eine Referenzzelle, welcher eine Nernst-Elektrode und eine Referenzelektrode aufweist und die an einem Referenzgasraum anliegt, und eine zweite Pumpzelle, die eine Pumpelektrode und eine Gegenelektrode aufweist

und die an einem zweiten Hohlraum anliegt, wobei der Sensor weiterhin ein erfindungsgemäßes elektronisches Steuergerät aufweist.

Unter einem Festelektrolyten ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Körper oder Gegenstand mit elektrolytischen Eigenschaften, also mit Ionen leitenden Eigenschaften, zu verstehen. Insbesondere kann es sich um einen keramischen Festelektrolyten handeln. Dies umfasst auch das Rohmaterial eines Festelektrolyten und daher die Ausbildung als so genannter Grünling oder Braunling, der erst nach einem Sintern zu einem Festelektrolyten wird.

Insbesondere kann der Festelektrolyt als Festelektrolytschicht oder aus mehreren Festelektrolytschichten ausgebildet sei. Unter einer Schicht ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine einheitliche Masse in flächenhafter Ausdehnung einer gewissen Höhe zu verstehen, die über, unter oder zwischen anderen Elementen liegt.

Unter einer Elektrode ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung allgemein ein Element zu verstehen, welches in der Lage ist, den Festelektrolyten derart zu kontaktieren, dass durch den Festelektrolyten und die Elektrode ein Strom aufrechterhalten werden kann. Dementsprechend kann die Elektrode ein Element umfassen, an welchem die Ionen in den Festelektrolyten eingebaut und/oder aus dem Festelektrolyten ausgebaut werden können. Typischerweise umfassen die Elektroden eine Edelmetallelektrode, welche beispielsweise als Metall-Keramik-Elektrode auf dem Festelektrolyten aufgebracht sein kann oder auf andere Weise mit dem Festelektrolyten in Verbindung stehen kann. Typische Elektrodenmaterialien sind Platin-Cermet-Elektroden. Auch andere Edelmetalle, wie beispielsweise Gold oder Palladium, sind jedoch grundsätzlich einsetzbar.

Unter einem Heizelement ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein Element zu verstehen, das zum Erwärmen des Festelektrolyten und der Elektroden auf mindestens ihre Funktionstemperatur und vorzugsweise auf ihre Betriebstemperatur dient. Die Funktionstemperatur ist diejenige Temperatur, ab der der Festelektrolyt für Ionen leitend wird und die ungefähr 350 °C beträgt. Davon ist die Betriebstemperatur zu unterscheiden, die diejenige Temperatur ist, bei der das Sensorelement üblicherweise betrieben wird und die höher ist als die Funktionstemperatur. Die Betriebstemperatur kann beispielsweise von 700 °C bis

950 °C sein. Das Heizelement kann einen Heizbereich und mindestens eine Zuleitungsbahn umfassen. Unter einem Heizbereich ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung der Bereich des Heizelements zu verstehen, der in dem Schichtaufbau entlang einer zu der Oberfläche des Sensorelements senkrechten Richtung mit einer Elektrode überlappt. Üblicherweise erwärmt sich der Heizbereich während des Betriebs stärker als die Zuleitungsbahn, so dass diese unterscheidbar sind. Die unterschiedliche Erwärmung kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass der Heizbereich einen höheren elektrischen Widerstand aufweist als die Zuleitungsbahn. Der Heizbereich und/oder die Zuleitung sind beispielsweise als elektrische Widerstandsbahn ausgebildet und erwärmen sich durch Anlegen einer elektrischen Spannung. Das Heizelement kann beispielsweise aus einem Platin-Cermet hergestellt sein. Die Erfindung ist direkt durch eine verkürzte Wartezeit bis zum Erreichen der Betriebsbereitschaft nach Start des Sensors nachweisbar. Die jeweiligen Potenziale können an den Zuleitungen gemessen werden.

Unter einer Kapazität der zweiten Pumpzelle ist im Rahmen der vorliegenden Erfindung eine physikalische Größe zu verstehen, die zwischen zwei voneinander isolierten elektrisch leitenden Körpern besteht und gleich dem Verhältnis der Ladungsmenge, die auf diesen Leitern gespeichert ist, und der zwischen ihnen herrschenden elektrischen Spannung ist. Die elektrisch leitenden Körper sind Elektroden und die Isolierung zwischen diesen wird durch den Festelektrolyten bewirkt. Entsprechend kann man die zweite Pumpzelle als einen Kondensator ansehen.

Die Erfindung hinsichtlich der Diagnose der IP2-Leitung durch Änderung des Pumpstroms zur Referenzelektrode ist gut und einfach nachweisbar, da Änderungen des Pumpstroms zur Referenzelektrode und das gewünschte Diagnosesignal auf der IP2-Leitung einfach messbar sind. Mit einem Oszilloskop und empfindlichen Tastköpfen kann der Pumpstrom zur Referenzelektrode auf der Vs-Leitung und der IP2-Strom auf der IP2-Leitung einfach gemessen werden. Zudem kann die Kopplung des Pumpstroms zur Referenzelektrode auf das O₂-Signal gemessen werden.

- 10 -

Die Erfindung hinsichtlich der Diagnose der IP2-Leitung durch Änderung der Temperatur des Sensorelements ist ebenfalls gut und einfach nachweisbar, da eine systematische oder sich wiederholende Temperaturänderung zum Beispiel mit einem Oszilloskop an der Heizerleitung während des Messbetriebs, durch Beobachtung der Pulsweitenmodulation, messbar ist. Dabei ist die Temperaturänderung nachweisbar, wenn das Tastverhältnis der Pulsweitenmodulation um eine signifikante Länge von dem vorangehenden oder nachfolgenden Tastverhältnis abweicht. Dabei kann dieses entweder größer oder kleiner sein. Dies ist besonders bei stabilen Umgebungstemperaturverhältnissen an dem Sensor gut nachweisbar. D.h. es dürfen keine Temperaturänderungen und keine Luftbewegungen an dem Sensor auftreten. Des Weiteren ist die Temperaturänderung auch durch Temperaturmessungen mit z.B. einem Infrarot-Messgerät an der Keramik des Sensors nachweisbar. Wird an dem Sensor keine Pulsweitenmodulation, sondern eine Gleichspannung zur Regelung der Temperatur verwendet, dann ist ein Hinweis auf die Verwendung, wenn die Spannung kurzzeitig erhöht oder abgesenkt wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Weitere optionale Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele, welche in den Figuren schematisch dargestellt sind.

Es zeigen:

Figur 1 einen prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemäßen Sensors,

Figur 2 einen Teil des Sensors mit einem Teil eines daran angeschlossenen Steuergeräts,

Figur 3 einen weiteren Teil des Sensors mit einem Teil eines daran angeschlossenen Steuergeräts,

Figur 4 ein erstes Beispiel für einen zeitlichen Verlauf von elektrischen Spannungen und Messsignal bei dem Sensor und

Figur 5 ein zweites Beispiel für einen zeitlichen Verlauf von elektrischen Spannungen und Messsignal bei dem Sensor.

5 Ausführungsformen der Erfindung

Figur 1 zeigt einen prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemäßen Sensors 100, welcher zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens besonders geeignet ist.

10

15

20

25

30

Der Sensor 100, welcher zum Nachweis mindestens eines Anteils einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff, im Folgenden beispielhaft als Stickoxid NO_x bezeichnet, in einem Gasgemisch, beispielhaft einem Abgas einer Verbrennungskraftmaschine, eingerichtet ist, umfasst hierzu ein Sensorelement 110 eine erste Pumpzelle 112, welche zwischen einer äußeren Pumpelektrode 114 und einer inneren Pumpelektrode 116 ausgebildet ist. Die äußere Pumpelektrode 114, welche mittels einer porösen Aluminiumoxidschicht 118 von der Umgebung des Sensors 100 getrennt ist, verfügt hierbei über eine erste elektrisch leitende Verbindung 120, über welche sich ein erster Pumpstrom I_{P1} in der ersten Pumpzelle 112 erzeugen lässt. Die erste elektrisch leitende Verbindung 120 ist hierzu mit einem ersten Anschluss P1 eines externen elektronischen Steuergeräts 122 verbunden. Um einen vollständigen Stromkreis zu erhalten, verfügt die innere Pumpelektrode 116 ebenfalls über eine zweite elektrisch leitende Verbindung 124, welche zu einem gemeinsamen Anschluss COM des externen elektronischen Steuergeräts 122 führt. Die erste Pumpzelle 112 liegt an einem ersten Hohlraum 126 an, der sich im Inneren des Sensorelements 110 befindet und mit dem Messgas in Verbindung steht. Durch Erzeugen des ersten Pumpstroms I_{P1} in der ersten Pumpzelle 112 lässt sich ein erster Anteil von Sauerstoffionen, welche aus molekularem Sauerstoff aus dem Gasgemisch gebildet werden, zwischen dem ersten Hohlraum 126 und der Umgebung des Sensors 100 transportieren. In dem Eintrittsweg aus der Umgebung zu dem ersten Hohlraum 126 sind zwei Diffusionsbarrieren 128 vorhanden.

- 12 -

Das Sensorelement 110 weist weiterhin eine elektrische Referenzzelle 130 auf, welche eine Nernst-Elektrode 132 und eine Referenzelektrode 134 aufweist. Während die Nernst-Elektrode 132 über die zweite elektrisch leitende Verbindung 124 zusammen mit der inneren Pumpelektrode 116 zu dem gemeinsamen Anschluss COM verfügt, weist die Referenzelektrode 134 eine gesonderte dritte elektrisch leitende Verbindung 136 zu einer Versorgungsspannung V_s auf, welche über einen Anschluss V_s des externen elektronischen Steuergeräts 122 die erforderliche Versorgungsspannung V_s bereitstellt. Die Referenzzelle 130 liegt an einem Referenzgasraum 138 an. Ein zweiter Anteil der Sauerstoffionen aus dem ersten Hohlraum 126 und/oder aus der Umgebung des Sensors 100 wird in den Referenzgasraum 138 durch Anlegen eines Referenz-Pumpstroms zwischen dem Anschluss V_s und dem gemeinsamen Anschluss COM transportiert. Hierbei wird der Wert für den Referenz-Pumpstrom derart eingestellt, dass sich ein festgelegter Anteil der Sauerstoffionen in dem Referenzgasraum 138 ausbildet. Vorzugsweise wird in diesem Zusammenhang auch der Wert für den ersten Pumpstrom I_{P1} derart eingestellt, dass sich ein festgelegtes Verhältnis zwischen dem ersten Anteil der Sauerstoffionen in dem ersten Hohlraum 126 und dem zweiten Anteil der Sauerstoffionen in dem Referenzgasraum 138 ergibt.

Die in dem Gasgemisch weiterhin enthaltene Messgaskomponente Stickoxid NO_x mit dem gebundenen Sauerstoff gelangt, insbesondere durch Diffusion, weitgehend unbeeinflusst in eine zweite Pumpzelle 140 des Sensorelements 110, welche auch als „ NO_x -Pumpzelle“ bezeichnet werden kann. Die zweite Pumpzelle 140 weist eine NO_x -Pumpelektrode 142 und eine NO_x -Gegenelektrode 144 auf und liegt an einem zweiten Hohlraum 145 im Inneren des Sensorelements 110 an. Der zweite Hohlraum 145 ist von dem ersten Hohlraum 126 durch eine der Diffusionsbarrieren 128 getrennt. Wenigstens eine der beiden Elektroden NO_x -Pumpelektrode 142 und/oder NO_x -Gegenelektrode 144 sind derart ausgestaltet, dass bei Anlegen einer Spannung mittels Katalyse aus der Messgaskomponente NO_x weiterer molekularer Sauerstoff erzeugt werden kann, welcher in der zweiten Pumpzelle 140 gebildet wird.

Während die NO_x -Pumpelektrode 142 eine elektrisch leitende Verbindung aufweist, welche zu dem gemeinsamen Anschluss COM führt, weist die NO_x -

Gegenelektrode 144 eine vierte elektrisch leitende Verbindung 146 auf, über welche ein zweiter Pumpstrom I_{P2} an die zweite Pumpzelle 140 angelegt werden kann. Die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 ist hierzu mit einem zweiten Anschluss P2 des externen elektronischen Steuergeräts 122 verbunden. Bei Anlegen eines zweiten Pumpstroms I_{P2} an die zweite Pumpzelle 140 wird ein Anteil von weiteren Sauerstoffionen, welche aus dem weiteren molekularen Sauerstoff gebildet wurden, in den Referenzgasraum 138 transportiert.

Das Sensorelement 110 verfügt weiterhin über ein Heizelement 148, welches eine Heizleitung 150 mit den Leitungen HTR+ und HTR- aufweist, über welche ein Heizstrom in das Heizelement 148 eingebracht werden kann, welches mittels Erzeugen einer Heizleistung das Sensorelement 110 auf die gewünschte Temperatur bringen kann.

Figur 2 zeigt einen Teil des Sensors 100 mit einem Teil eines daran angeschlossenen Steuergeräts 122. Das Steuergerät 122 weist einen Analog-Digital-Wandler 152 auf, der mit dem Anschluss Vs für die Versorgungsspannung verbunden ist. Das Steuergerät 122 weist weiterhin eine COM-Spannungsquelle 154 auf, die mit dem gemeinsamen Anschluss COM verbunden ist. Das Steuergerät 122 weist weiterhin eine Anregungssignalquelle 156 auf, die mit dem Pluspol eines Operationsverstärkers 158 verbunden ist. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Operationsverstärker 158 ein Spannungsfolger. Die COM-Spannungsquelle 154 ist ebenfalls mit dem Pluspol des Operationsverstärkers 158 verbunden. Der Operationsverstärker 158 ist wiederum mit dem zweiten Anschluss P2 verbunden. In der vierten elektrischen Leitung 146 ist zwischen dem zweiten Anschluss P2 und der Gegenelektrode 144 ein Messwiderstand 160 angeordnet.

Figur 3 zeigt einen weiteren Teil des Sensors 100 mit einem Teil eines daran angeschlossenen Steuergeräts 122. Gezeigt ist die COM-Spannungsquelle 154, die mit dem gemeinsamen Anschluss COM verbunden ist, der wiederum über die zweite elektrisch leitende Verbindung 124 mit der Nernstelektrode 132 verbunden. Gezeigt ist weiterhin der Analog-Digital-Wandler 152, der mit dem Anschluss Vs für die Versorgungsspannung verbunden ist, der wiederum über die dritte elektrisch leitende Verbindung 136 mit der Referenzelektrode 134

verbunden ist. Das Steuergerät 122 weist weiterhin eine Stromquelle 162 auf. Die Stromquelle 162 ist ebenfalls mit dem Anschluss Vs für die Versorgungsspannung verbunden. Die Stromquelle 162 ist ausgebildet, mittels der dritten elektrisch leitenden Verbindung 136 von dem Anschluss Vs für die Versorgungsspannung in die Referenzelektrode 134 einen vorbestimmten elektrischen Strom I_{CP} einzuprägen. Mit anderen Worten wird mittels der Stromquelle 162 ein Pumpstrom I_{CP} in die Referenzelektrode 134 getrieben. Die Stromquelle 162 hat einen konstanten Ausgangsstrom unabhängig von der Spannung und der anliegenden Last. Der vorbestimmte elektrische Strom I_{CP} ist ein Wert in einem Bereich von 3 μA bis 6 μA . Die Größe des Sauerstoffpartialdrucks in dem gepumpten Referenzgasraum 138 ist in etwa proportional zum anliegenden Pumpstrom I_{CP} . Dieser Pumpstrom I_{CP} stellt Elektronen zur Verfügung, um aus den positiv geladenen Sauerstoffionen O^{2+} , die von der Nernstelektrode 132 zu der Referenzelektrode 134 überführten Sauerstoffionen O^{2-} wieder in zwei Sauerstoffatome O_2 zusammenzusetzen. Damit wird der Referenzgasraum 138 stetig bei $\lambda > 1$ mit Sauerstoff gefüllt bzw. aufgepumpt. Dies dient dazu, um einen Partialdruckdifferenz zwischen Referenzgasraum 138 und ersten Hohlraum 126 einzustellen. Der Partialdruck ergibt sich aus dem gesetzten Pumpstrom I_{CP} und dem Verlust von Sauerstoff durch Diffusion. Zielwert für die Partialdruckdifferenz ist eine Nernstspannung von üblicherweise 425mV.

Figur 4 zeigt ein erstes Beispiel für einen zeitlichen Verlauf von elektrischen Spannungen und Messsignal bei dem Sensor 100. Auf der X-Achse 164 ist die Zeit aufgetragen. Auf der Y-Achse 166 sind von oben nach unten gesehen die Heizspannung des Heizelements 148, der in die Referenzelektrode 134 eingeprägte elektrische Strom I_{CP} und der Spannungsabfall U_{IP2} am Messwiderstand 160 aufgetragen. Der Spannungsabfall U_{IP2} am Messwiderstand 160 stellt das Messsignal dar. Die Temperatur des Sensorelements 110 wird durch eine Pulsweitenmodulation (PWM) der Heizerversorgung (Spannung bzw. Strom) gesteuert. Entsprechend zeigt eine Kurve 168, die die Heizspannung des Heizelements 148 darstellt, zumindest eine erste Phase bzw. einen ersten Zeitraum 170, in dem an das Heizelement 148 eine elektrische Spannung angelegt ist und das Heizelement 148 somit angeschaltet ist, und eine zweite Phase bzw. einen zweiten Zeitraum 172, in dem an das Heizelement 148 keine

elektrische Spannung angelegt ist und das Heizelement 148 somit ausgeschaltet ist. Dabei folgt der zweite Zeitraum 172 auf den ersten Zeitraum 170. Eine Summe aus erstem Zeitraum 170 und zweitem Zeitraum 172 ist beispielsweise 500 ms. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel zeigt die Kurve 168 weiterhin eine dritte Phase bzw. einen dritten Zeitraum 174, in dem an das Heizelement 148 eine elektrische Spannung angelegt ist und das Heizelement 148 somit angeschaltet ist, und eine vierte Phase bzw. einen vierten Zeitraum 176, in dem an das Heizelement 148 keine elektrische Spannung angelegt ist und das Heizelement 148 somit ausgeschaltet ist. Dabei folgt der vierte Zeitraum 176 auf den dritten Zeitraum 174. Eine Summe aus drittem Zeitraum 174 und viertem Zeitraum 176 ist beispielsweise 500 ms.

Zur Durchführung einer Diagnose der vierten elektrischen Leitung 146, die den zweiten gesonderten Anschluss P2 mit der Pumpzelle 140 bzw. der Gegenelektrode 144 verbindet, wird mittels des Steuergeräts 122 eine Kapazität der zweiten Pumpzelle 140 zum Erzeugen eines Messsignals an dem Messwiderstand 160 für eine vorbestimmte Zeit verändert. So wird in die Referenzelektrode 134 mittels der dritten elektrisch leitenden Verbindung 136 von dem Anschluss für eine Versorgungsspannung V_s ein vorbestimmter elektrischer Strom I_{CP} , dargestellt durch die Kurve 178, eingepreßt. Dieser vorbestimmte elektrische Strom I_{CP} wird für die vorbestimmte Zeit verändert. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird der vorbestimmte elektrische Strom I_{CP} auf einen Wert von 0 μA für die vorbestimmte Zeit verändert. Dies geschieht in einem Zeitraum, in dem das Heizelement 148 angeschaltet ist, beispielsweise in dem ersten Zeitraum 170 und dem dritten Zeitraum 174. Durch Veränderung des vorbestimmten elektrischen Stroms I_{CP} wird der Partialdruck der Referenzzelle 130 verändert und dadurch die Kapazität der zweiten Pumpzelle 140 beeinflusst. Dies hat zur Folge, dass ein Strom I_{P2} durch die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 getrieben wird. Dies erzeugt ein Messsignal 180 an dem Messwiderstand 160. Die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 wird als intakt identifiziert, falls das Messsignal 180 für die vorbestimmte Zeit eine Veränderung aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal 180 für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel weist das Messsignal 180 beim Abschalten des vorbestimmten elektrischen Stroms I_{CP} , d.h. beim Ändern auf 0 μA , zum

Zeitpunkt 182 in dem ersten Zeitraum 170 einen durch einen Pfeil angedeuteten negativen Peak 184 und beim Wiedereinschalten, d.h. beim erneuten Ändern auf den Ausgangswert, zum Zeitpunkt 186 einen durch einen Pfeil angedeuteten positiven Peak 188 auf. In dem ersten Zeitraum 170 weist das Messsignal 180
5 somit für die vorbestimmte Zeit eine Veränderung auf. Dies bedeutet, dass in dem ersten Zeitraum 170 die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 als intakt identifiziert wird, da durch die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 ein Strom I_{P2} getrieben wird. Dahingegen weist das Messsignal 180 in dem dritten Zeitraum 174 beim Abschalten des vorbestimmten elektrischen Stroms I_{CP} , d.h. beim
10 Ändern auf 0 μA , zum Zeitpunkt 190 und beim Wiedereinschalten, d.h. beim erneuten Ändern auf den Ausgangswert, zum Zeitpunkt 192 keine Veränderung auf. Dies bedeutet, dass in dem dritten Zeitraum 174 bei Veränderung vorbestimmten elektrischen Stroms I_{CP} kein Strom I_{P2} durch die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 getrieben wird, was auf eine Unterbrechung der vierten
15 elektrischen Leitung 146 hindeutet.

Figur 5 zeigt ein zweites Beispiel für einen zeitlichen Verlauf von elektrischen Spannungen und Messsignal bei dem Sensor 100. Auf der X-Achse 164 ist die Zeit aufgetragen. Auf der Y-Achse 166 sind von oben nach unten gesehen die
20 Heizspannung des Heizelements 148, der elektrische Innenwiderstand des Sensorelements 110 und der Spannungsabfall U_{IP2} am Messwiderstand 160 aufgetragen. Der Spannungsabfall U_{IP2} am Messwiderstand 160 stellt das Messsignal dar. Die Temperatur des Sensorelements 110 wird durch eine Pulsweitenmodulation (PWM) der Heizerversorgung (Spannung bzw. Strom)
25 gesteuert. Entsprechend zeigt eine Kurve 168, die die Heizspannung des Heizelements 148 darstellt, Phasen bzw. Zeiträume 194, in denen an das Heizelement 148 eine elektrische Spannung angelegt ist und das Heizelement 148 somit angeschaltet ist, und Phasen bzw. Zeiträume 196, in denen an das Heizelement 148 keine elektrische Spannung angelegt ist und das Heizelement
30 148 somit ausgeschaltet ist. Die Temperatur des Sensorelements 110 wird durch Erfassen eines elektrischen Innenwiderstands R_{PVS} des Sensorelements 110 bestimmt. Entsprechend stellt die Kurve 198 den elektrischen Innenwiderstand R_{PVS} des Sensorelements 110 dar.

Zur Durchführung einer Diagnose der vierten elektrischen Leitung 146, die den zweiten gesonderten Anschluss P2 mit der Pumpzelle 140 bzw. der Gegenelektrode 144 verbindet, wird mittels des Steuergeräts 122 eine Kapazität der zweiten Pumpzelle 140 zum Erzeugen eines Messsignals an dem Messwiderstand 160 für eine vorbestimmte Zeit verändert. So wird das Sensorelement 110 mittels des Heizelements 148 auf eine vorbestimmte Temperatur beheizt. Die vorbestimmte Temperatur entspricht beispielsweise einem elektrischen Innenwiderstand R_{PVS} des Sensorelements 110 von 300 Ohm. Diese vorbestimmte Temperatur wird für die vorbestimmte Zeit verändert. Durch Variation der Temperatur in dem Sensorelement 110 kann die elektrische Kapazität der zweiten Pumpzelle 140 beeinflusst werden. Durch Erhöhung der Kapazität werden zusätzliche Ladungsträger gebunden, bei Verringerung werden Ladungsträger wieder abgegeben. Dadurch fließt ein Strom I_{P2} auf der vierten elektrisch leitenden Verbindung 146. Bei kurzzeitiger Verringerung der Temperatur, was eine Erhöhung des Innenwiderstandes des Sensorelements 110 bewirkt, hat dies eine negative Stromänderung zur Folge. Wird die Temperatur dagegen erhöht, was eine Verringerung des Innenwiderstandes des Sensorelements 110 bewirkt, hat dies eine positive Stromänderung zur Folge. Daraus folgt, dass in der zweiten Pumpzelle 140 ein Strom I_{P2} getrieben wird, auch wenn keine Stickoxide, Sauerstoff oder Feuchtigkeit in der zweiten Pumpzelle 140 vorhanden sind. Wenn die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 intakt ist, so wird ein Strom auf der vierten elektrisch leitenden Verbindung 146 messbar sein, und wenn die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 getrennt ist, so wird trotz Änderung der Temperatur kein Strom auf dieser messbar sein. Entsprechend wird die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 als intakt identifiziert, falls das Messsignal 180 für die vorbestimmte Zeit eine Veränderung aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal 180 für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird zum Zeitpunkt 200 die vorbestimmte Temperatur für die vorbestimmte Zeit erhöht, was sich in einem Absinken 202 der Kurve 198, die den elektrischen Innenwiderstand R_{PVS} des Sensorelements 110 darstellt, zeigt. In diesem Fall wird die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 als intakt identifiziert, falls das Messsignal 180 für die vorbestimmte Zeit einen Anstieg 204 aufweist. Zum Zeitpunkt 200 weist das Messsignal 180 den Anstieg 204 auf, so dass die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 zum Zeitpunkt 202 als intakt

identifiziert wird. Bei dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird zum Zeitpunkt 206 die vorbestimmte Temperatur ebenfalls für die vorbestimmte Zeit erhöht, was sich in einem Absinken 202 der Kurve 198, die den elektrischen Innenwiderstand R_{PVS} des Sensorelements 110 darstellt, zeigt. In diesem Fall wird die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 als defekt identifiziert, falls das Messsignal 180 für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist. Zum Zeitpunkt 206 weist das Messsignal 180 keine Veränderung trotz der Erhöhung der Temperatur auf, so dass die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 zum Zeitpunkt 206 als defekt identifiziert wird. Alternativ wird die vorbestimmte Temperatur für die vorbestimmte Zeit abgesenkt. In diesem Fall wird die vierte elektrisch leitende Verbindung 146 als intakt identifiziert, falls das Messsignal 180 für die vorbestimmte Zeit ein Absinken aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal 180 für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist.

5 Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Sensors (100) zum Nachweis mindestens eines Anteils einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, insbesondere in einem Abgas einer
10 Verbrennungskraftmaschine, umfassend ein Sensorelement (110), wobei das Sensorelement (110) eine erste Pumpzelle (112), die eine äußere Pumpelektrode (114) und eine innere Pumpelektrode (116) aufweist und die an einem ersten Hohlraum (126) anliegt, welcher mit dem Messgas in Verbindung steht, eine Referenzzelle (130), welche eine Nernst-Elektrode
15 (132) und eine Referenzelektrode (134) aufweist und die an einem Referenzgasraum (138) anliegt, und eine zweite Pumpzelle (140), die eine Pumpelektrode (142) und eine Gegenelektrode (144) aufweist und die an einem zweiten Hohlraum (145) anliegt, wobei ein elektronisches Steuergerät (122), das zumindest über einen ersten gesonderten Anschluss (P1) für die
20 erste Pumpzelle (112), einen zweiten gesonderten Anschluss (P2) für die zweite Pumpzelle (140), einen Anschluss für eine Versorgungsspannung (V_s) und über einen gemeinsamen Anschluss (COM) verfügt, mit dem Sensorelement (110) verbunden wird, wobei die äußere Pumpelektrode (114) mittels einer ersten elektrisch leitenden Verbindung (120)
25 mit dem ersten gesonderten Anschluss (P1) verbunden wird, wobei die innere Pumpelektrode (116) mittels einer zweiten elektrisch leitenden Verbindung (124) mit dem gemeinsamen Anschluss (COM) verbunden wird, wobei die Referenzelektrode (134) mittels einer dritten elektrisch leitenden Verbindung (136) mit dem Anschluss für eine Versorgungsspannung (V_s) verbunden
30 wird, wobei die Pumpelektrode (142) mittels der zweiten elektrisch leitenden Verbindung (124) mit dem gemeinsamen Anschluss (COM) verbunden wird, wobei die Gegenelektrode (144) mittels einer vierten elektrisch leitenden Verbindung (146) mit dem zweiten gesonderten Anschluss (P2) verbunden wird, wobei in der vierten elektrisch leitenden Verbindung (146) ein
35 Messwiderstand (160) vorgesehen wird, wobei mittels des Steuergeräts (122)

- 20 -

eine Kapazität der zweiten Pumpzelle (140) zum Erzeugen eines Messsignals (180) an dem Messwiderstand (160) für eine vorbestimmte Zeit verändert wird.

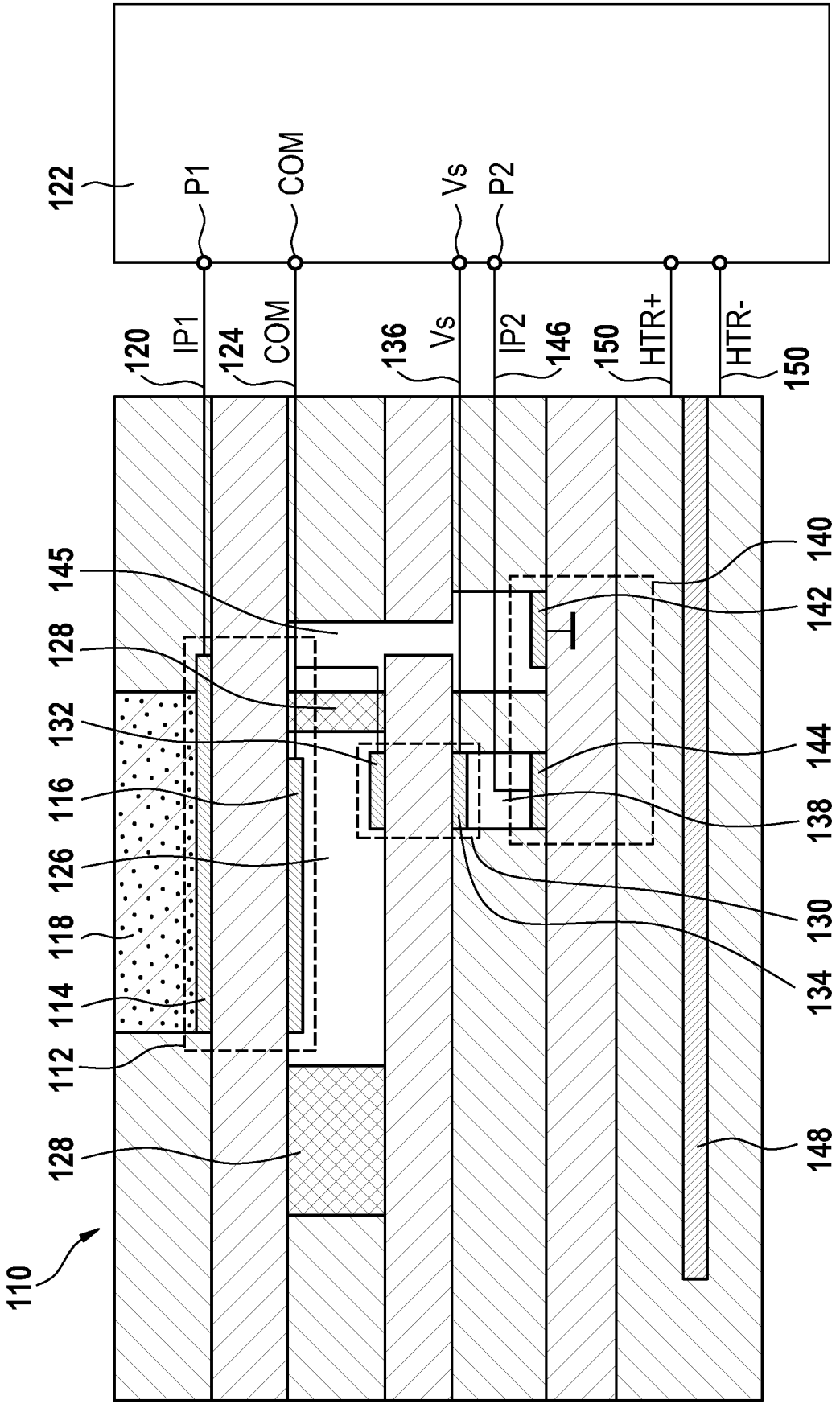
- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei in die Referenzelektrode (134) mittels der dritten elektrisch leitenden Verbindung (136) von dem Anschluss für eine Versorgungsspannung (V_s) ein vorbestimmter elektrischer Strom (I_{CP}) eingeprägt wird, wobei der vorbestimmte elektrische Strom (I_{CP}) für die vorbestimmte Zeit verändert wird.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der vorbestimmte elektrische Strom (I_{CP}) auf einen Wert von 0 μA für die vorbestimmte Zeit verändert wird.
- 15 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die vierte elektrisch leitende Verbindung (146) als intakt identifiziert wird, falls das Messsignal (180) für die vorbestimmte Zeit eine Veränderung aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal (180) für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist.
- 20 5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Sensorelement (110) ein Heizelement (148) aufweist, wobei das Sensorelement (110) mittels des Heizelements (148) auf eine vorbestimmte Temperatur beheizt wird, wobei die vorbestimmte Temperatur für die vorbestimmte Zeit verändert wird.
- 25 6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die vierte elektrisch leitende Verbindung (146) als intakt identifiziert wird, falls das Messsignal (180) für die vorbestimmte Zeit eine Veränderung aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal (180) für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist.
- 30 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei die vorbestimmte Temperatur für die vorbestimmte Zeit abgesenkt wird, wobei die vierte elektrisch leitende Verbindung (146) als intakt identifiziert wird, falls das Messsignal (180) für die vorbestimmte Zeit ein Absinken aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls
- 35 das Messsignal (168) für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist.

- 5 8. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei die vorbestimmte Temperatur für die vorbestimmte Zeit erhöht wird, wobei die vierte elektrisch leitende Verbindung (146) als intakt identifiziert wird, falls das Messsignal (180) für die vorbestimmte Zeit einen Anstieg aufweist, und wird als defekt identifiziert, falls das Messsignal (180) für die vorbestimmte Zeit keine Veränderung aufweist.
- 10 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei die Temperatur des Sensorelements (110) durch Erfassen eines elektrischen Innenwiderstands (R_{PVS}) des Sensorelements (110) bestimmt wird.
- 15 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Messsignal (180) ein Spannungsabfall (U_{IP2}) über den Messwiderstand (160) ist.
- 20 11. Computerprogramm, welches eingerichtet ist, jeden Schritt des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.
12. Elektronisches Speichermedium, auf welchem ein Computerprogramm nach dem vorhergehenden Anspruch gespeichert ist.
- 25 13. Elektronisches Steuergerät (122), welches ein elektronisches Speichermedium nach dem vorhergehenden Anspruch umfasst.
- 30 14. Sensor (100) zum Nachweis mindestens eines Anteils einer Messgaskomponente mit gebundenem Sauerstoff in einem Messgas, insbesondere in einem Abgas einer Verbrennungskraftmaschine, umfassend ein Sensorelement (110), wobei das Sensorelement (110) eine erste Pumpzelle (112), die eine äußere Pumpelektrode (114) und eine innere Pumpelektrode (116) aufweist und die an einem ersten Hohlraum (126) anliegt, welcher mit dem Messgas in Verbindung steht, eine Referenzzelle (130), welcher eine Nernst-Elektrode (132) und eine Referenzelektrode (134) aufweist und die an einem Referenzgasraum (138) anliegt, und eine zweite Pumpzelle (140), die eine Pumpelektrode (142) und eine Gegenelektrode (144) aufweist und die an einem zweiten Hohlraum (145) anliegt, wobei der
- 35

- 22 -

Sensor (100) weiterhin ein elektronisches Steuergerät (122) nach dem vorhergehenden Anspruch aufweist.

FIG. 1



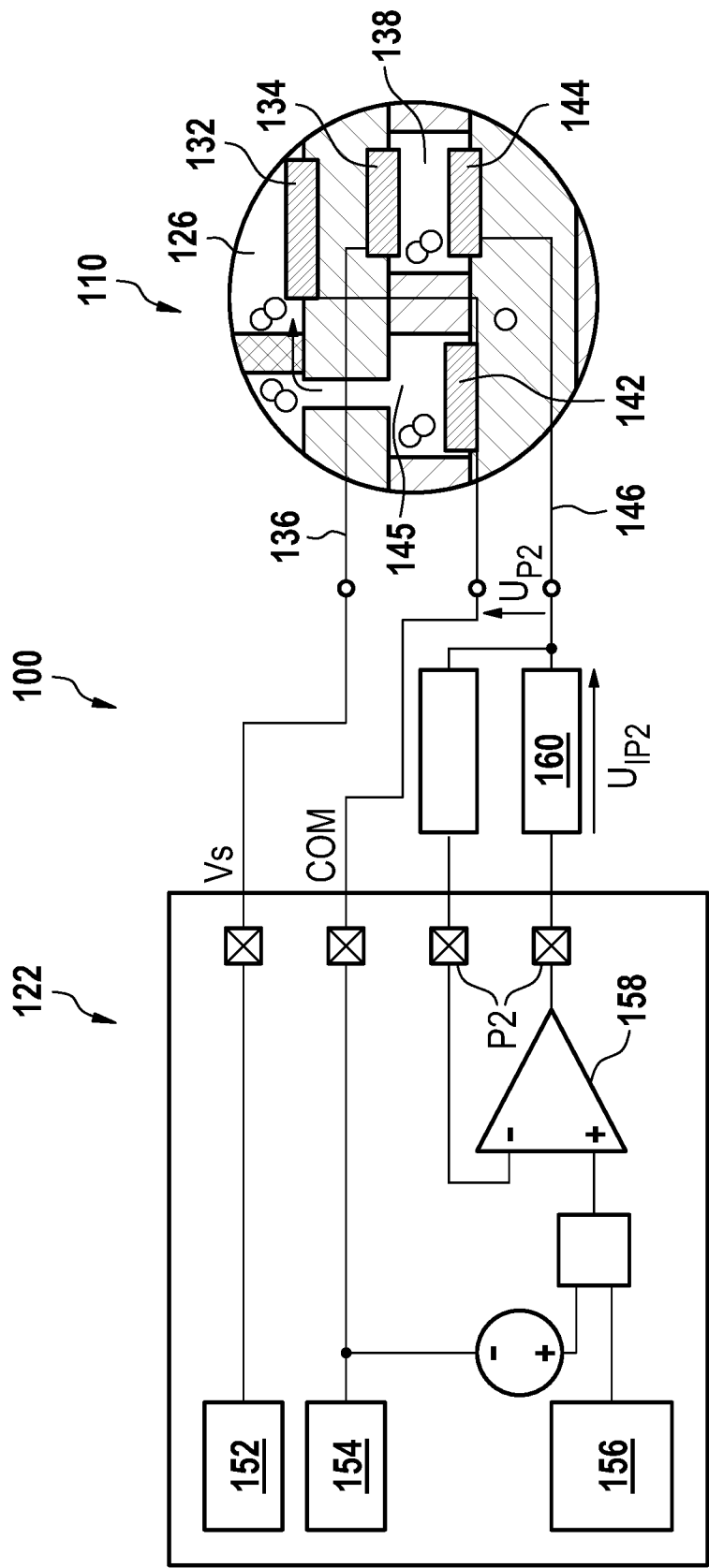


FIG. 2

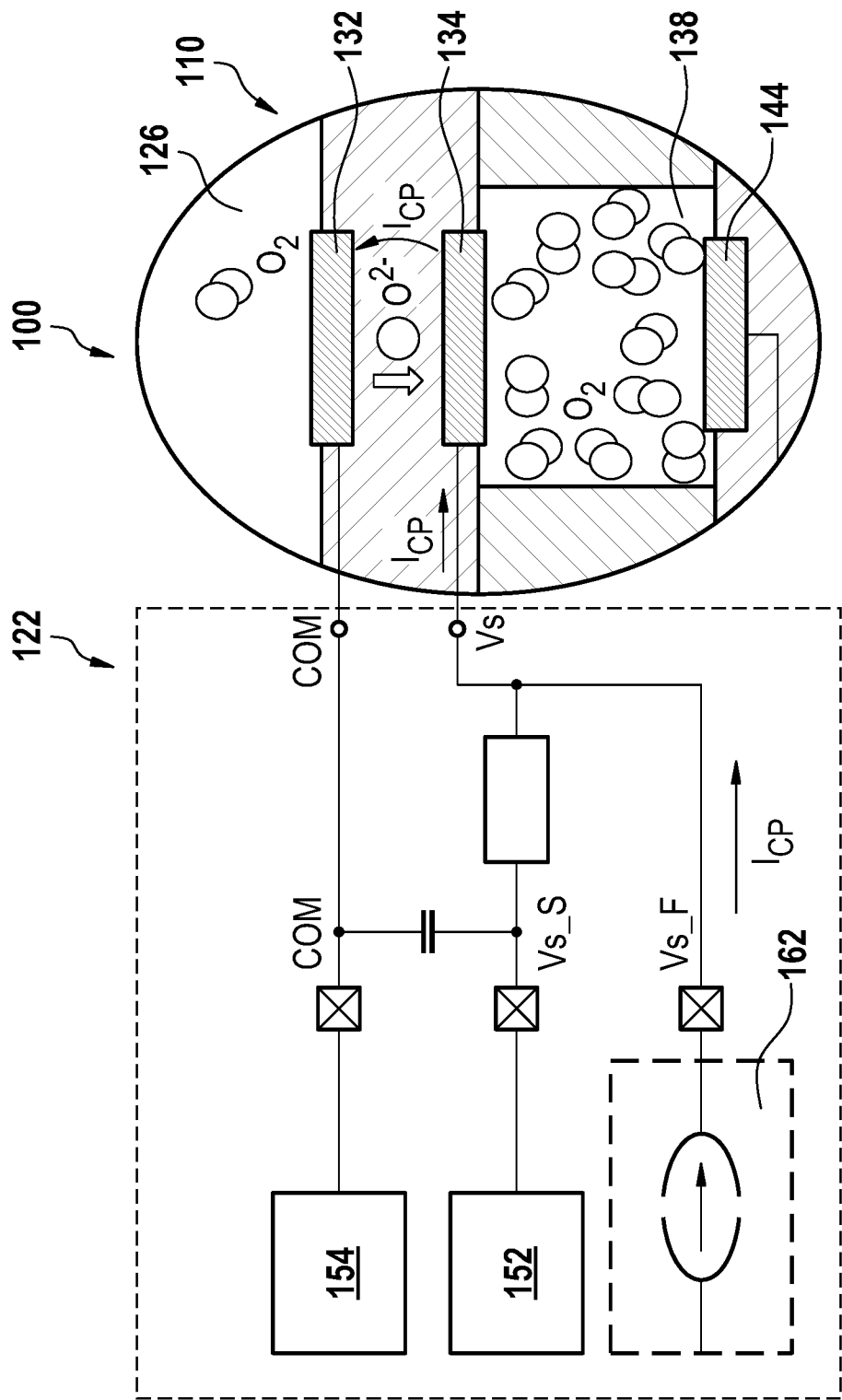


FIG. 3

4 / 5

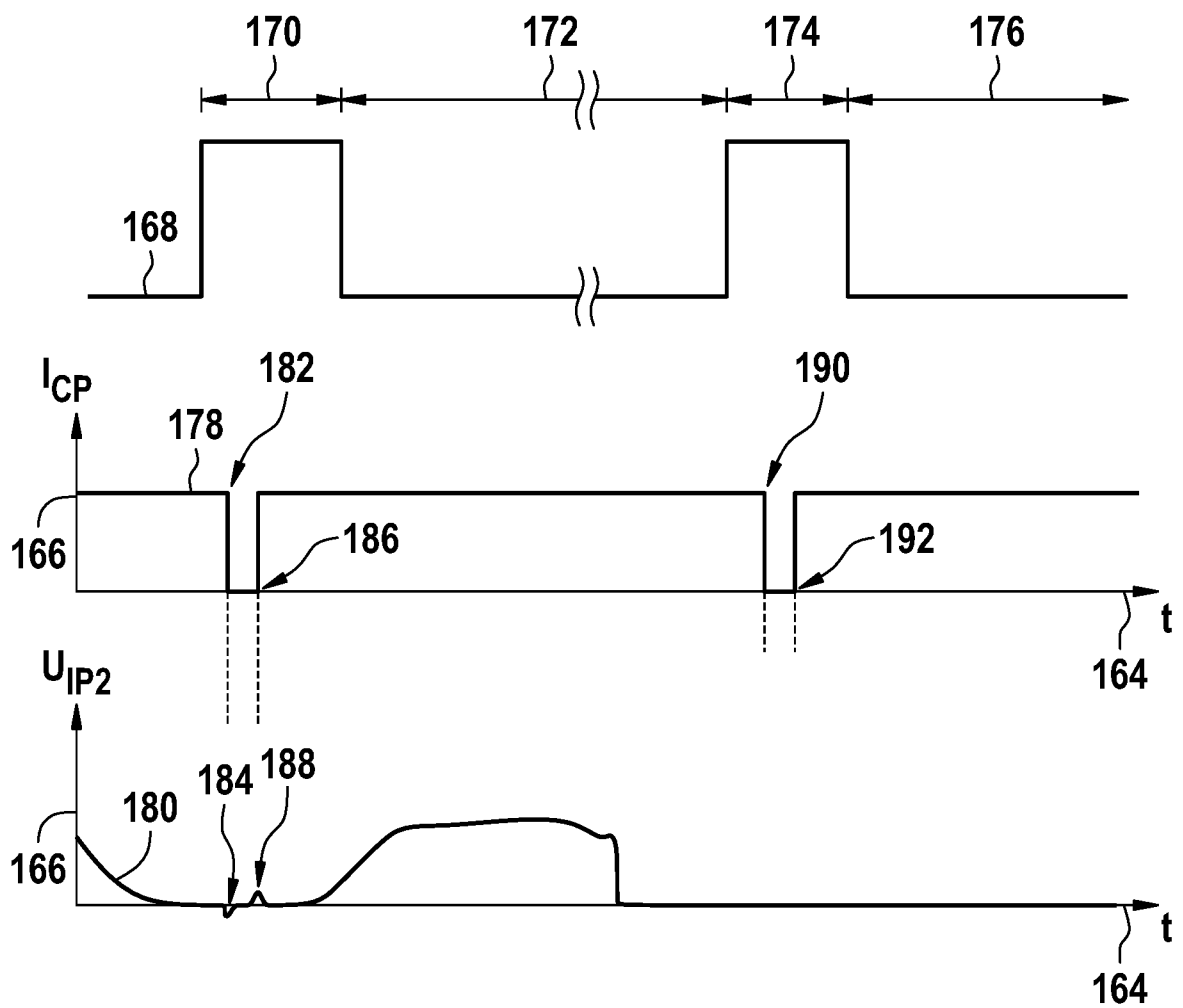


FIG. 4

5 / 5

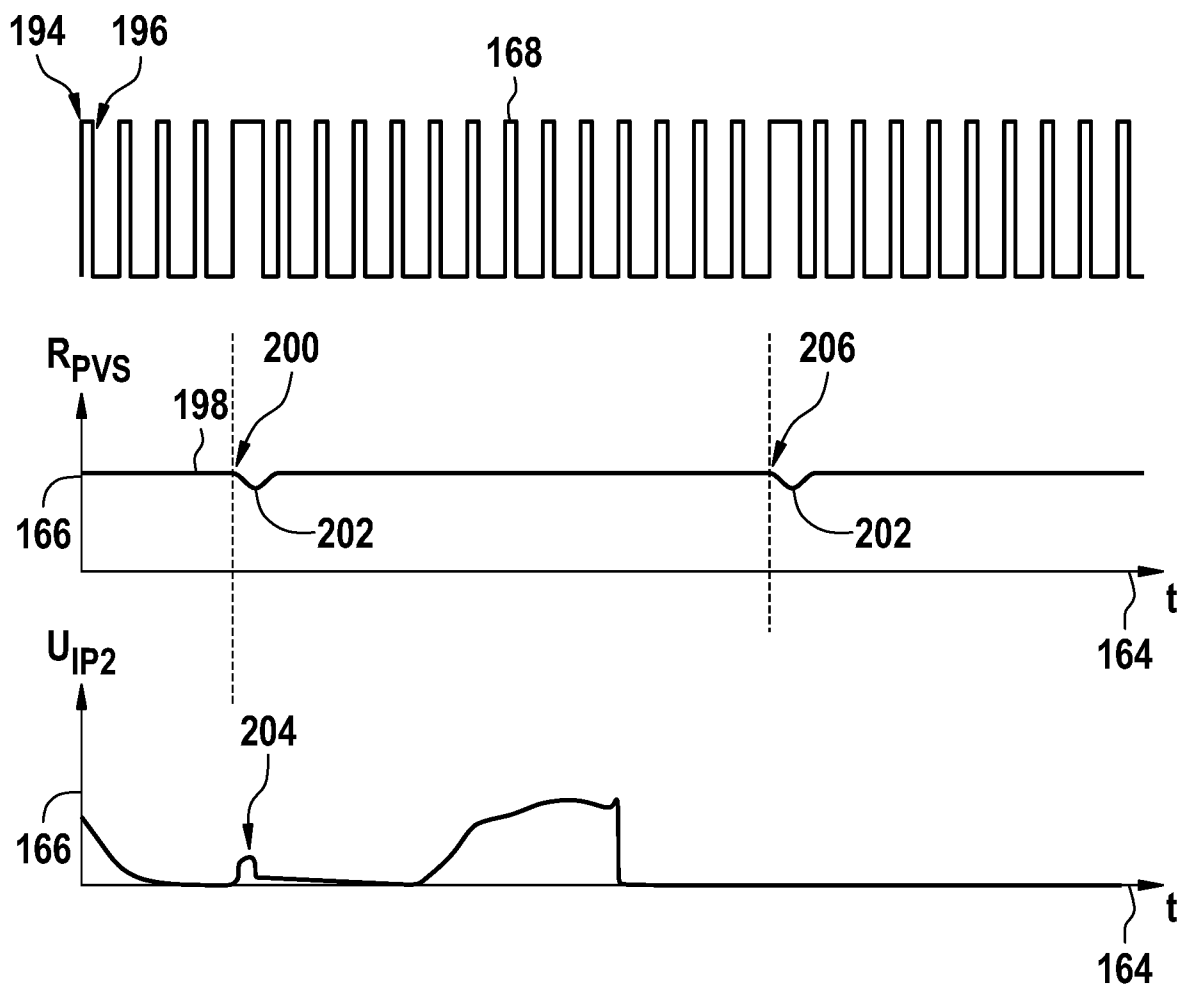


FIG. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/066944

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01N 27/417**(2006.01)i; **G01N 33/00**(2006.01)n

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)

G01N

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102015210473 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17 March 2016 (2016-03-17) abstract; figures 1, 3 paragraphs [0007], [0016], [0024] - [0030], [0058]	1-5,9-14
X A	DE 102016209924 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 07 December 2017 (2017-12-07) abstract paragraphs [0007] - [0012], [0018] - [0022]; figures 1, 2	1-5,9-14 6-8
X A	US 2007119708 A1 (OYA SEIJI [JP] ET AL) 31 May 2007 (2007-05-31) abstract paragraphs [0016] - [0033], [0063], [0088], [0089]; figure 1	1,11-14 2-10
A	US 2004238378 A1 (KUMAZAWA SHINJI [JP] ET AL) 02 December 2004 (2004-12-02) paragraphs [0004], [0009], [0019], [0020], [0023], [0065], [0070], [0076], [0108], [0121]; figures 1, 5	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

29 August 2019

Date of mailing of the international search report

09 September 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Knoll, Stephan

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2019/066944

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102015210473	A1	17 March 2016	CN	106716120	A	24 May 2017
				DE	102015210473	A1	17 March 2016
				EP	3191828	A1	19 July 2017
				JP	6388998	B2	12 September 2018
				JP	2017528716	A	28 September 2017
				US	2017284959	A1	05 October 2017
				WO	2016037900	A1	17 March 2016
DE	102016209924	A1	07 December 2017	CN	109196345	A	11 January 2019
				DE	102016209924	A1	07 December 2017
				EP	3465195	A1	10 April 2019
				KR	20190012250	A	08 February 2019
				US	2019195828	A1	27 June 2019
				WO	2017211521	A1	14 December 2017
US	2007119708	A1	31 May 2007	JP	4592570	B2	01 December 2010
				JP	2007147383	A	14 June 2007
				US	2007119708	A1	31 May 2007
US	2004238378	A1	02 December 2004	DE	10392160	T5	14 October 2004
				JP	WO2003083465	A1	04 August 2005
				US	2004238378	A1	02 December 2004
				WO	03083465	A1	09 October 2003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01N27/417

ADD. G01N33/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G01N

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2015 210473 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17. März 2016 (2016-03-17) Zusammenfassung; Abbildungen 1, 3 Absätze [0007], [0016], [0024] - [0030], [0058] -----	1-5,9-14
X	DE 10 2016 209924 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 7. Dezember 2017 (2017-12-07) Zusammenfassung Absätze [0007] - [0012], [0018] - [0022]; Abbildungen 1, 2 -----	1-5,9-14 6-8
X	US 2007/119708 A1 (OYA SEIJI [JP] ET AL) 31. Mai 2007 (2007-05-31) Zusammenfassung Absätze [0016] - [0033], [0063], [0088], [0089]; Abbildung 1 -----	1,11-14 2-10
A	-/-	



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

29. August 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

09/09/2019

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

Knoll, Stephan

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2004/238378 A1 (KUMAZAWA SHINJI [JP] ET AL) 2. Dezember 2004 (2004-12-02) Absätze [0004], [0009], [0019], [0020], [0023], [0065], [0070], [0076], [0108], [0121]; Abbildungen 1, 5 -----	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2019/066944

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102015210473 A1	17-03-2016	CN 106716120 A	24-05-2017
		DE 102015210473 A1	17-03-2016
		EP 3191828 A1	19-07-2017
		JP 6388998 B2	12-09-2018
		JP 2017528716 A	28-09-2017
		US 2017284959 A1	05-10-2017
		WO 2016037900 A1	17-03-2016

DE 102016209924 A1	07-12-2017	CN 109196345 A	11-01-2019
		DE 102016209924 A1	07-12-2017
		EP 3465195 A1	10-04-2019
		KR 20190012250 A	08-02-2019
		US 2019195828 A1	27-06-2019
		WO 2017211521 A1	14-12-2017

US 2007119708 A1	31-05-2007	JP 4592570 B2	01-12-2010
		JP 2007147383 A	14-06-2007
		US 2007119708 A1	31-05-2007

US 2004238378 A1	02-12-2004	DE 10392160 T5	14-10-2004
		JP WO2003083465 A1	04-08-2005
		US 2004238378 A1	02-12-2004
		WO 03083465 A1	09-10-2003
