

(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
31. Mai 2019 (31.05.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/101933 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01N 21/64 (2006.01) G01N 21/77 (2006.01)
G01N 31/22 (2006.01)

93055 Regensburg (DE). **DANIELE, Brunazzo**; Lederer-
gasse 19, 93047 Regensburg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/082390

(74) **Anwalt: ZACCO PATENTANWALTS- UND RECH-
TSANWALTSGESELLSCHAFT MBH**; Bayerstrasse
83, 80335 Munich (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:

23. November 2018 (23.11.2018)

(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,
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.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2017 127 671.8

23. November 2017 (23.11.2017) DE

(71) **Anmelder: OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS
GMBH** [DE/DE]; Leibnizstrasse 4, 93055 Regensburg
(DE).

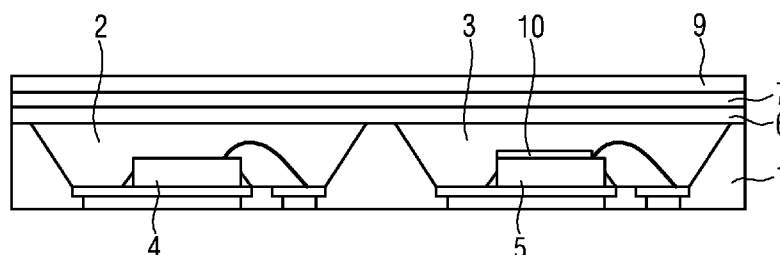
(72) **Erfinder: MATTHIAS, Sperl**; Brombeerweg 2, 93098
Mintraching (DE). **TIM, Boescke**; Edith-Stein-Strasse 52,

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) **Title:** PHOTONIC GAS SENSOR AND METHOD FOR PRODUCING A PHOTONIC GAS SENSOR

(54) **Bezeichnung:** PHOTONISCHER GASENSOR UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES PHOTONISCHEN
GASENSORS

FIG 1



(57) **Abstract:** The invention relates to a photonic gas sensor with the following features: - a component housing (1) with at least one cavity (2, 3, 11), - a radiation-emitting semiconductor chip (4) which is arranged in the cavity (2, 3, 11) and is suitable for emitting electromagnetic radiation in a first wavelength range, - a radiation-detecting semiconductor chip (5) which is arranged in the cavity (2, 3, 11) and is suitable for detecting electromagnetic radiation in a second wavelength range, and - an active sensor element (7) which has a fluorescent dye (8) which emits electromagnetic radiation in the second wavelength range upon being excited by electromagnetic radiation in the first wavelength range, wherein the intensity of the emitted electromagnetic radiation in the second wavelength range changes reversibly in the presence of a gas to be detected. The invention additionally relates to a method for producing a gas sensor.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein photonischer Gassensor mit den folgenden Merkmalen angegeben: -einem Bauelementgehäuse (1) mit mindestens einer Kavität (2, 3, 11), -einem strahlungsemitierenden Halbleiterchip (4), der in der Kavität (2, 3, 11) angeordnet ist und dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs auszusenden, -einem strahlungsdetektierenden Halbleiterchip (5), der in der Kavität (2, 3, 11) angeordnet und dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs zu detektieren, und -einem aktiven Sensorelement (7), das einen Fluoreszenzfarbstoff (8) aufweist, der bei Anregung mit elektromagnetischer Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs aussendet, wobei sich die Intensität der ausgesandten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs in Anwesenheit eines zu detektierenden Gases reversibel verändert. Außerdem wird ein Verfahren zur Herstellung eines Gassensors angegeben.

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)

**PHOTONISCHER GASSENSOR UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINES
PHOTONISCHEN GASSENSORS**

Es werden ein photonischer Gassensor und ein Verfahren zur
5 Herstellung eines photonischen Gassensors angegeben.

Ein Gassensor ist beispielsweise in der Druckschrift
DE 19839552 A1 angegeben.

10 Eine Aufgabe der vorliegenden Anmeldung ist es, einen verbes-
serten photonischen Gassensor anzugeben. Insbesondere soll ein
photonischer Gassensor mit kompakter Bauweise angegeben wer-
den. Außerdem soll ein Verfahren zur Herstellung eines verbes-
serten photonischen Gassensors, insbesondere mit kompakter
15 Bauweise angegeben werden.

Diese Aufgaben werden durch einen photonischen Gassensor mit
den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und durch ein Verfahren
mit den Schritten des Patentanspruchs 19 gelöst.

20 Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen des photo-
nischen Gassensors und des Verfahrens sind Gegenstand der je-
weils abhängigen Ansprüche.

25 Gemäß einer Ausführungsform umfasst der photonische Gassensor
ein Bauelementgehäuse mit mindestens einer Kavität. Bei dem
Bauelementgehäuse kann es sich um ein einstückiges Bauele-
mentgehäuse handeln, das beispielsweise mit einem Kunststoff-
formverfahren, wie etwa einem Spritzgussverfahren hergestellt
30 ist. Alternativ kann das Bauelementgehäuse aber auch aus meh-
reren Elementen zusammengesetzt sein. Beispielsweise kann das
Bauelementgehäuse aus einem Substrat, wie einer Keramikplatte
oder einer gedruckten Leiterplatte (Printed Circuit Board

"PCB"), auf das ein Rahmen aufgebracht ist, gebildet sein. Seitenflächen des Rahmens bilden hierbei bevorzugt die Seitenflächen der Kavität aus.

5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform des photonischen Gassensors ist in der Kavität des Bauelementgehäuses ein strahlungsemittierender Halbleiterchip angeordnet. Der strahlungsemittierende Halbleiterchip ist bevorzugt dazu geeignet, elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs
10 auszusenden. Die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs wird bevorzugt von einer Strahlungsaustrittsfläche des strahlungsemittierenden Halbleiterchips ausgesandt.

15 Das Bauelementgehäuse weist mindestens eine Kavität auf. Beispielsweise weist das Bauelementgehäuse eine gemeinsame Kavität auf, in der der strahlungsemittierende Halbleiterchip und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip angeordnet sind. Weiterhin ist es auch möglich, dass das Bauelement zwei Kavi-
20 täten aufweist, wobei der strahlungsemittierende Halbleiterchip in der ersten Kavität und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip in der zweiten Kavität angeordnet sind.

Gemäß einer Ausführungsform des photonischen Gassensors umfasst der strahlungsemittierende Halbleiterchip eine epitaktische Halbleiterschichtenfolge mit einer aktiven Zone, in der die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs im Betrieb des strahlungsemittierenden Halbleiterchips erzeugt wird.

30

Bevorzugt handelt es sich bei dem strahlungsemittierenden Halbleiterchip um einen Leuchtdiodenchip.

Bei dem strahlungsemitierenden Halbleiterchip kann es sich beispielsweise um einen sogenannten volumenemittierenden Halbleiterchip oder um einen Dünnschicht-Halbleiterchip handeln.

- 5 Der volumenemittierende Halbleiterchip weist in der Regel ein Substrat auf, auf dem die epitaktische Halbleiterschichtenfolge mit der aktiven Zone epitaktisch gewachsen wurde. Das Substrat kann beispielsweise eines der folgenden Materialien aufweisen oder aus einem der folgenden Materialien bestehen:
- 10 Saphir, Siliziumcarbid. Volumenemittierende Halbleiterchips senden die in der aktiven Zone erzeugte elektromagnetische Strahlung in der Regel nicht nur über eine Hauptfläche aus, sondern auch über Seitenflächen.
- 15 Der Dünnschicht-Halbleiterchip weist eine epitaktisch gewachsene Halbleiterschichtenfolge auf, die auf einen anderen Träger aufgebracht ist als das Wachstumssubstrat für die epitaktische Halbleiterschichtenfolge. Besonders bevorzugt ist zwischen der epitaktischen Halbleiterschichtenfolge und dem Träger eine
- 20 Spiegelschicht angeordnet, die elektromagnetische Strahlung der aktiven Zone zu einer Strahlungsausstrittsfläche lenkt. Die Strahlungsausstrittsfläche ist hierbei in der Regel von einer Hauptfläche des Dünnschicht-Halbleiterchips umfasst. Dünnschicht-Halbleiterchips senden die elektromagnetische Strahlung, die im
- 25 Betrieb in der aktiven Zone erzeugt wird, in der Regel nicht oder nur sehr geringfügig über die Seitenflächen des Trägers aus, sondern haben eine im Wesentlichen Lambertsche Abstrahlcharakteristik.
- 30 Die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs, die in der aktiven Zone erzeugt wird, weist beispielsweise ultraviolette Strahlung, infrarote Strahlung oder sichtbares Licht auf.

Beispielsweise basiert die epitaktische Halbleiterschichtenfolge auf einem Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial oder ist aus einem Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial gebildet. Nitrid-Verbindungshalbleitermaterialien sind Verbindungshalbleitermaterialien, die Stickstoff enthalten, wie Materialien aus dem System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Basiert die epitaktische Halbleiterschichtenfolge und insbesondere die aktive Zone auf einem Nitrid-Verbindungshalbleitermaterial, so ist die aktive Zone in der Regel dazu geeignet, elektromagnetische Strahlung aus dem ultravioletten bis blauen-grünen Spektralbereich zu erzeugen.

Weiterhin ist es auch möglich, dass die epitaktische Halbleiterschichtenfolge auf einem Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial basiert oder aus einem Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial gebildet ist. Phosphid-Verbindungshalbleitermaterialien sind Verbindungshalbleitermaterialien, die Phosphor enthalten, wie Materialien aus dem System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Basiert die epitaktische Halbleiterschichtenfolge und insbesondere die aktive Zone auf einem Phosphid-Verbindungshalbleitermaterial, so ist die aktive Zone in der Regel dazu geeignet, elektromagnetische Strahlung aus dem grünen bis roten Spektralbereich zu erzeugen.

Schließlich ist es möglich, dass die epitaktische Halbleiterschichtenfolge auf einem Arsenid-Verbindungshalbleitermaterial basiert oder aus einem Arsenid-Verbindungshalbleitermaterial gebildet ist. Arsenid-Verbindungshalbleitermaterialien sind Verbindungshalbleitermaterialien, die Arsen enthalten, wie Materialien aus dem System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x+y \leq 1$. Basiert die epitaktische Halbleiterschichtenfolge und insbesondere die aktive Zone auf einem Arsenid-Verbindungshalbleitermaterial, so ist die aktive Zone in der

Regel dazu geeignet, elektromagnetische Strahlung aus dem roten bis infraroten Spektralbereich zu erzeugen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des photonischen Gassensors umfasst dieser einen strahlungsdetektierenden Halbleiterchip. Der strahlungsdetektierende Halbleiterchip ist bevorzugt in der Kavität angeordnet und dazu geeignet, elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs zu detektieren. Bevorzugt ist der erste Wellenlängenbereich hierbei von dem zweiten Wellenlängenbereich verschieden. Insbesondere umfasst der zweite Wellenlängenbereich besonders bevorzugt längere Wellenlängen als der erste Wellenlängenbereich. Beispielsweise handelt es sich bei dem strahlungsdetektierenden Halbleiterchip um einen Fotodiodenchip. Der Fotodiodenchip kann auf Silizium basieren.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der photonische Gassensor ein aktives Sensorelement, das dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs zu detektieren. Bevorzugt weist das aktive Sensorelement einen Fluoreszenzfarbstoff auf, der bei Anregung mit elektromagnetischer Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs aussendet.

Der Fluoreszenzfarbstoff ist vorliegend bevorzugt wellenlängenkonvertierend ausgebildet. Mit dem Begriff „wellenlängenkonvertierend“ ist vorliegend insbesondere gemeint, dass eingestrahlte elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs in elektromagnetische Strahlung eines zweiten, bevorzugt längerwelligen, Wellenlängenbereichs umgewandelt wird. In der Regel absorbiert ein wellenlängenkonvertierendes Element elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängen-

bereiches, wandelt diese durch elektronische Vorgänge auf atomarer und/oder molekularer Ebene in elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereiches um und sendet die umgewandelte elektromagnetische Strahlung wieder aus. Insbesondere wird reine Streuung oder reine Absorption nicht als wellenlängenkonvertierenden verstanden.

Der Fluoreszenzfarbstoff ist bevorzugt derart ausgestaltet, dass die Intensität der ausgesandten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs in Anwesenheit eines zu detektierenden Gases reversibel verändert wird, beispielsweise verringert. Mit anderen Worten verändert sich die Intensität der von dem Fluoreszenzfarbstoff ausgesandten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs, wenn das zu detektierende Gas mit dem Fluoreszenzfarbstoff in direktem Kontakt steht und geht wieder in den Ausgangszustand zurück, wenn das Gas entfernt wird.

Bei dem vorliegenden photonischen Gassensor wird also der Fluoreszenzfarbstoff verwendet, um das Gas zu detektieren. Der Fluoreszenzfarbstoff ist derart ausgestaltet, dass sich die Intensität der von ihm ausgesandten elektromagnetischen Strahlung in Anwesenheit des zu detektierenden Gases reversibel verändert, beispielsweise verringert. Der strahlungsdetektierende Halbleiterchip ist dazu geeignet und angeordnet, die Intensität der von dem Fluoreszenzfarbstoff des aktiven Sensorelements ausgesandten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs zu detektieren und so die Veränderung der Intensität der elektromagnetischen Strahlung des Fluoreszenzfarbstoffs bei Anwesenheit des zu detektierenden Gases zu erfassen.

Beispielsweise ist es möglich, dass die Phasenverschiebung der von dem aktiven Sensorelement ausgesandten elektromagnetischen Strahlung bei intensitätsmodulierter Anregung gemessen wird.

5 Bevorzugt wird vorliegend nur die Intensität der von dem aktiven Sensorelement ausgesandten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs gemessen. Dies kann aufgrund der festen Position zwischen strahlungsemittierendem Halbleiterchip und strahlungsdetektierendem Halbleiterchips mit
10 Vorteil ausreichend sein. Dies ermöglicht die Verwendung einer einfachen Elektronik.

Beispielsweise handelt es sich bei dem zu detektierenden Gas um Sauerstoff (O_2), um Kohlendioxid (CO_2), um Stickstoffdioxid
15 (NO_2), um Kohlenmonoxid (CO), um Ammoniak (NH_3) oder eine Mischung zumindest zweier dieser Gase.

Als Fluoreszenzfarbstoff kann beispielsweise ein Fluorescein, ein Rhodamin, ein Cyanin, ein Coumarin, ein fluoreszierendes
20 Polymer, ein fluoreszierender Metallionenkomplex oder Nanopartikel verwendet werden. Neben Fluoresceinen, Rhodaminen, Cyaninen und Coumarinen können auch weitere organische Fluoreszenzfarbstoffe zur Verwendung in dem photonischen Gassensor geeignet sein.

25 Ein fluoreszierender Metallionenkomplex kann als Metallionen beispielsweise Europium(III)-Ionen (Eu^{3+}) und/oder Terbium(III)-Ionen (Tb^{3+}) aufweisen. Zur Detektion von Sauerstoff kann beispielsweise Tris(2,2'-bipyridyl)dichlororuthenium(II)hexahydrat ($Ru(bpy)_3^{2+}$) geeignet sein. Zur Detektion
30 von Kohlendioxid kann beispielsweise Carboxynaphtofluorescein (CNF) verwendet werden, während zur Detektion von Ammoniak ein Fluorescein oder ein Coumarin geeignet sein kann. Geeignete

Materialien für den Fluoreszenzfarbstoff sind beispielsweise in der Druckschrift Bhopate et al., Journal of Nanomed Nanotechnology 2017, 8.2 (DOI 10.4172/2157-7439.1000436) beschrieben, deren Inhalt diesbezüglich durch Rückbezug aufgenommen
5 wird.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des photonischen Gas-sensors umfasst das aktive Sensorelement eine Polymermatrix. Der Fluoreszenzfarbstoff des aktiven Sensorelements ist bevor-
10 zugt in die Polymermatrix eingebettet. Weiterhin ist die Polymermatrix bevorzugt für das zu detektierende Gas durchlässig. Beispielsweise handelt es sich bei der Polymermatrix um ein Silikon oder ein Polysilazan. Weiterhin können auch andere Polymere als Polymermatrix geeignet sein, solange diese für
15 das zu detektierende Gas durchlässig sind. Die Polymermatrix kann beispielsweise aus einem Polymer gebildet sein, das thermisch oder durch UV-Strahlung ausgehärtet werden kann.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des photonischen Gas-sensors ist das aktive Sensorelement als sensitiver Verguss ausgebildet. Bevorzugt ist zumindest der strahlungsemittierende Halbleiterchip in den sensitiven Verguss eingebettet. Beispielsweise füllt der sensitive Verguss die erste Kavität, in der der strahlungsemittierende Halbleiterchip angeordnet
20 ist, oder die zweite Kavität in der der strahlungsdetektierende Halbleiterchip angeordnet ist, vollständig. Weiterhin ist es auch möglich, dass der sensitive Verguss den strahlungsemittierenden Halbleiterchip oder den strahlungsdetektierenden Halbleiterchip halbkugelförmig umschließt. Der sensi-
25 tive Verguss kann durch die Polymermatrix mit dem eingebetteten Fluoreszenzfarbstoff gebildet sein, der diese beiden Materialien umfassen.
30

Weiterhin ist es auch möglich, dass sowohl der strahlungsemit-
tierende Halbleiterchip als auch der strahlungsdetektierenden
Halbleiterchip von dem sensitiven Verguss umhüllt sind. Hier-
bei sind der strahlungsemitierende Halbleiterchip und der
5 strahlungsdetektierende Halbleiterchip bevorzugt in einer ge-
meinsamen Kavität des Bauelementgehäuses angeordnet. Bei die-
ser Ausführungsform umhüllt der sensitive Verguss den strah-
lungsemitierenden Halbleiterchip und den strahlungsdetektie-
renden Halbleiterchip besonders bevorzugt vollständig. Bevor-
10 zugt füllt der sensitive Verguss die gemeinsame Kavität, be-
vorzugt vollständig.

Weiterhin ist es auch möglich, dass das Bauelementgehäuse zwei
Kavitäten aufweist, die voneinander getrennt sind. Beispiels-
15 weise weist das Bauelementgehäuse eine erste Kavität und eine
zweite Kavität auf, die voneinander getrennt sind, beispiels-
weise durch eine Trennwand. Bevorzugt ist der strahlungsdetek-
tierende Halbleiterchip in der ersten Kavität und der strah-
lungsemitierende Halbleiterchip in der zweiten Kavität ange-
20 ordnet. Bei dieser Ausführungsform ist das aktive Sensorele-
ment bevorzugt als sensitiver Verguss in der zweiten Kavität
ausgebildet. Der sensitive Verguss umhüllt hierbei den strah-
lungsemitierenden Halbleiterchip besonders bevorzugt voll-
ständig.

25

Weiterhin ist es auch möglich, dass das aktive Sensorelement
als sensitive Schicht ausgebildet ist. Hierbei ist die Haupt-
erstreckungsebene der sensitiven Schicht bevorzugt parallel zu
einer Strahlungsaustrittsfläche des strahlungsemitierenden
30 Halbleiterchips und/oder parallel zu einer Strahlungsein-
trittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips an-
geordnet. Beispielsweise umfasst die aktive sensitive Schicht

die Polymermatrix, in die der Fluoreszenzfarbstoff eingebettet ist oder ist aus diesen Materialien gebildet.

Hierbei ist die sensitive aktive Schicht bevorzugt auf ein transparentes Trägerelement aufgebracht. Das Trägerelement ist insbesondere bevorzugt transparent für elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs und elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs. Besonders bevorzugt ist die sensitive Schicht vollflächig auf das transparente Trägerelement aufgebracht. Das transparente Trägerelement wirkt bevorzugt als Wellenleiterschicht, die die elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs ein-koppelt und lateral zum detektierenden Halbleiterchip transportiert.

Das transparente Trägerelement weist bevorzugt zu dem strahlungsemittierenden Halbleiterchip und dem strahlungsdetektierenden Halbleiterchip und ist bevorzugt durchlässig für das zu detektierende Gas.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des photonischen Gassensors umfasst dieser einen Filter, der elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs filtert. Dies erhöht die Sensitivität des photonischen Gassensors. Der Filter kann beispielsweise als Bandpassfilter ausgebildet sein, der lediglich elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs herausfiltert oder auch als Langpassfilter, bei dem eine obere Kante des Filters an der oberen Kante des ersten Wellenlängenbereichs liegt. Mit anderen Worten filtert der Langpassfilter bevorzugt elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen kleiner als die größte Wellenlänge des ersten Wellenlängenbereichs und transmittiert elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen größer als die größte Wellenlänge des

ersten Wellenlängenbereichs. Besonders bevorzugt ist der Filter durchlässig für das zu detektierende Gas ausgebildet.

Der Filter kann beispielsweise als dichroitischer Filter ausgebildet sein. Beispielsweise können dichroitische Schichten auf einem Plättchen, wie einem Glasplättchen, aufgebracht sein, wobei diese Elemente den Filter ausbilden. Weiterhin ist es auch möglich, dass der Filter Farbpigmente aufweist, die die zu filternde elektromagnetische Strahlung absorbieren. Die Farbpigmente können hierbei beispielsweise ebenfalls in ein polymeres Matrixmaterial wie Silikon eingebettet sein. Die Farbpigmente können organische Materialien sein. Im Unterschied zu dem Fluoreszenzfarbstoff sind die Farbpigmente bevorzugt nicht wellenlängenkonvertierend ausgebildet, sondern absorbieren aus einfallendem externem Licht einen gewissen spektralen Anteil, so dass der spektrale Bereich des restlichen sichtbaren Lichts die Farbe der Farbpigmente bestimmt.

Gemäß einer Ausführungsform des photonischen Gassensors ist der Filter als filternde Schicht ausgebildet und auf die Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips aufgebracht. Beispielsweise kann der Filter wie oben beschrieben durch dichroitische Schichten auf einem Glasplättchen gebildet sein. Die filternde Schicht kann beispielsweise auf die Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips aufgeklebt sein.

Gemäß einer Ausführungsform des photonischen Gassensors ist das Sensorelement als sensitive Schicht ausgebildet und das Filterelement als filternde Schicht. Hierbei ist die filternde Schicht bevorzugt zwischen der Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips und der sensitiven Schicht angeordnet.

Weiterhin ist es auch möglich, dass der Filter als filternder Verguss ausgebildet ist. Hierbei ist der strahlungsdetektierende Halbleiterchip bevorzugt in den filternden Verguss eingebettet. Beispielsweise ist der strahlungsdetektierende Halbleiterchip in eine Kavität des Bauelementgehäuses eingebracht und die Kavität ist mit dem filternden Verguss gefüllt, beispielsweise vollständig. Der filternde Verguss ist beispielsweise durch ein polymeres Matrixmaterial mit Farbpigmenten gebildet. Der filternde Verguss kann durch Dispensen oder Jetten in Tropfenform erzeugt werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des photonischen Gassensors sind Seitenflächen des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips mit einer Schutzschicht versehen, die verhindert, dass elektromagnetische Strahlung lateral in den strahlungsdetektierenden Halbleiterchip einkoppelt. Die Schutzschicht kann beispielsweise reflektierend ausgebildet sein. Beispielsweise umfasst die Schutzschicht ein Silikon, in das reflektierende Partikel, wie Titandioxidpartikel, eingebracht sind.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des photonischen Gassensors umfasst dieser ein Abdeckelement. Das Abdeckelement ist bevorzugt absorbierend oder reflektierend zumindest für die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs ausgebildet. Das Abdeckelement ist bevorzugt derart innerhalb des photonischen Gassensors angeordnet, dass es das Eintreten von externer elektromagnetischer Strahlung, wie beispielsweise Sonnenlicht, in den photonischen Gassensor und insbesondere zu dem Fluoreszenzfarbstoff verhindert. Auf diese Art und Weise kann ein Bleichen des Farbstoffs zumindest vermindert werden. Beim Bleichen des Farbstoffs handelt es sich um eine irreversible Intensitätsabnahme der von dem Farbstoff ausgesandten elektromagnetischen Strahlung, beispielsweise

aufgrund von Degradation des Fluoreszenzfarbstoffs. Außerdem ist das Abdeckelement bevorzugt durchlässig für das zu detektierende Gas. Weiterhin ist es möglich, dass in dem Abdeckelement ein Durchbruch angeordnet ist, der das Abdeckelement bevorzugt vollständig durchdringt. Durch den Durchbruch dringt mit Vorteil das zu detektierende Gas zu dem Sensorelement. Beispielsweise handelt es sich bei dem Durchbruch um eine Bohrung.

Das Abdeckelement, das absorbierend für die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs ausgebildet ist, kann beispielsweise ein Silikon umfassen, in das schwarze Pigmentpartikel, wie beispielsweise Rußpartikel, eingebettet sind. Das Silikon ist hierbei bevorzugt durchlässig für das zu detektierende Gas.

Ein Abdeckelement, dass reflektierend zumindest für die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs ausgebildet ist, kann beispielsweise aus einem Polymer, wie einem Silikon gebildet sein, in das reflektierende Partikel eingebracht sind. Bei den reflektierenden Partikeln kann es sich beispielsweise um Titandioxidpartikel handeln. Ein derartiges Abdeckelement ist insbesondere diffus reflektierend ausgebildet. Das diffus reflektierende Abdeckelement weist in der Regel einen weißen Farbeindruck auf.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des photonischen Gassensors ist das Abdeckelement zwischen einer Außenfläche des photonischen Gassensors und dem Sensorelement angeordnet. Beispielsweise bildet eine Hauptfläche des Abdeckelements die Außenfläche des photonischen Gassensors aus.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst der photonische Gassensor eine Wellenleiterschicht, die elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs zum strahlungsdetektierenden Halbleiterchip leitet. Bevorzugt koppelt in die
5 Wellenleiterschicht elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs, die von dem Sensorelement ausgesandt wird, in die Wellenleiterschicht ein, sodass diese die elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs zum strahlungsdetektierenden Halbleiterchip leiten kann. Die Wellenleiterschicht ist insbesondere von Vorteil, wenn der strahlungserzeugende Halbleiterchip und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip in voneinander getrennten Kavitäten angeordnet
10 sind.

Bei der Wellenleiterschicht kann es sich beispielsweise um das bereits oben beschriebene transparente Trägerelement des sensitiven Elements handeln. Weiterhin ist es auch möglich, dass eine weitere separat von der sensitiven Schicht hergestellte und angeordnete Wellenleiterschicht von dem photonischen Gassensor umfasst ist. Besonders bevorzugt ist auch die Wellenleiterschicht für das zu detektierende Gas durchlässig ausgebildet.
20

Beispielsweise ist die Wellenleiterschicht aus einer transparenten Vergussmasse wie einem Silikon gebildet, in die eine Vielzahl an Streupartikeln angebracht ist. Bei der transparenten Vergussmasse kann es sich beispielsweise um ein Silikon handeln. Weiterhin ist es auch möglich, dass die Wellenleiterschicht eines der folgenden Materialien aufweist oder aus einem dieser Materialien besteht: Glas, Epoxidharz, Polymethylmethacrylat.
25
30

Bevorzugt ist die Wellenleiterschicht an eine Hauptfläche, die zu der Strahlungsaustrittsfläche des strahlungsemittierten Halbleiterchips und/oder zu der Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips weist, mit Kopplungsstrukturen versehen. Die Kopplungsstrukturen sind dazu geeignet, die Einkopplung und/oder die Auskopplung von elektromagnetischer Strahlung in und aus der Wellenleiterschicht zu erhöhen. Die Kopplungsstrukturen können gleichmäßig auf der Hauptfläche des Abdeckelements angeordnet sein oder auch nur in bestimmten Bereichen der Hauptfläche, beispielsweise über dem strahlungsemittierenden Halbleiterchip und/oder dem strahlungsdetektierenden Halbleiterchip.

Gemäß einer Ausführungsform eines Verfahrens zur Herstellung eines photonischen Gassensors werden ein strahlungsemittierender Halbleiterchip und ein strahlungsdetektierender Halbleiterchip auf einer Montagefläche eines Substrats angeordnet. Beispielsweise werden der strahlungsemittierende Halbleiterchip und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip auf einer gemeinsamen Montagefläche eines gemeinsamen Substrats angeordnet. Bei dem Substrat kann es sich beispielsweise um eine Keramikplatte oder eine gedruckte Leiterplatte handeln.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird ein Rahmen auf dem Substrat aufgebracht, sodass das Substrat und der Rahmen das Bauelementgehäuse mit der Kavität ausbilden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens wird eine aktive sensitive Schicht als Sensorelement auf dem Rahmen angeordnet und befestigt.

Sämtliche in Verbindung mit dem photonischen Gassensor beschriebene Ausführungsform und Merkmale können ebenso bei dem Verfahren ausgebildet sein und umgekehrt.

5 Der vorliegende photonischen Gassensor beruht unter anderem auf der Idee einen Fluoreszenzfarbstoff zu verwenden, um ein Gas zu detektieren. Der Fluoreszenzfarbstoff ist hierbei dazu geeignet, die Intensität der von ihm ausgesandten elektromagnetischen Strahlung bei Anwesenheit des zu detektierenden Ga-
10 ses reversibel zu verändern, beispielsweise zu verringern.

Außerdem sind die vorliegend beschriebenen Elemente des photonischen Gassensors, wie der strahlungsemittierende Halbleiterchip und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip, in
15 einem gemeinsamen Bauelementgehäuse anzuordnen. Dies ermöglicht mit Vorteil eine möglichst kompakte Bauweise des photonischen Gassensors. Bei dem Bauelementgehäuse handelt es sich vorliegend besonders bevorzugt um ein Bauelementgehäuse wie es beispielsweise in der Leuchtdiodentechnologie bereits verwen-
20 det wird. Hierbei kann es sich um ein einstückig ausgebildetes, vorgeformtes Bauelementgehäuse mit einer oder mehreren Kavitäten handeln. Weiterhin ist es auch möglich, dass das Bauelementgehäuse aus verschiedenen Elementen, wie einem Substrat und einem Rahmen zusammengesetzt wird.

25 Zur Detektion des Gases wird vorliegend bevorzugt der Fluoreszenzfarbstoff verwendet, der bevorzugt in eine Polymermatrix eingebettet ist, die vorzugsweise auch als Vergussmaterial einer Leuchtdiode verwendet werden kann. Dies vereinfacht die
30 Herstellung des photonischen Gassensors.

Der photonische Gassensor ist besonders bevorzugt dazu geeignet, in einem SMT-Montageprozess (SMT für englisch „Surface

Mount Technology", deutsch: Oberflächenmontagetechnologie), wie beispielsweise einem Pick-and-Place Verfahren, SAC-Lotpaste und Reflowlöten unter Verwendung einer SAC-Lotpaste montiert zu werden. Dieser vorteilhafte Effekt ist insbesondere bei Verwendung einer temperaturstabilen Polymermatrix, wie Silikon, möglich. Weiterhin ist es aber auch möglich, andere Verbindungselemente zur Montage des photonischen Gassensors wie Anisotropic Conductive Paste (ACP), Anisotropic Conductive Film (ACF) oder niederschmelzende Lote zu verwenden. Diese Montageprozesse sind insbesondere mit Vorteil vergleichsweise günstig.

Aufgrund der geringen Abmessungen ist der photonische Gassensor insbesondere dazu geeignet, in Anwendungen eingesetzt zu werden, bei denen wenig Platz zur Verfügung steht, wie in einem Mobiltelefon oder in Kleidung. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren beschriebenen Ausführungsbeispielen.

Die schematischen Schnittdarstellungen der Figuren 1, 2, 4, 5 und 6 zeigen einen photonischen Gassensor gemäß jeweils einem Ausführungsbeispiel.

Figur 3 zeigt eine chemische Strukturformel eines Fluoreszenzfarbstoffs für einen photonischen Gassensor gemäß einem Ausführungsbeispiels.

Anhand der schematischen Schnittdarstellungen der Figuren 7 bis 10 wird ein Verfahren zur Herstellung eines photonischen Gassensors näher erläutert.

Gleiche, gleichartige oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Figuren und die Größenverhältnisse der in den Figuren dargestellten Elemente untereinander sind nicht als maßstäblich zu betrachten. Vielmehr können einzelne Elemente, insbesondere Schichtdicken, zur besseren Darstellbarkeit und/oder zum besseren Verständnis übertrieben groß dargestellt sein.

Der photonische Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 weist ein Bauelementgehäuse 1 mit zwei voneinander getrennten Kavitäten 2, 3 auf. Bei dem Bauelementgehäuse 1 handelt es sich vorliegend um ein vorgeformtes Bauelementgehäuse 1, bei dem ein Leiterraum in einen Kunststoffkörper eingebettet ist.

In der ersten Kavität 2 ist ein strahlungsemittierender Halbleiterchip 4 angeordnet, der von einer Strahlungsausstrittsfläche elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs aussendet. In der zweiten Kavität 3 ist ein strahlungsdetektierender Halbleiterchip 5 angeordnet, der dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs, die durch eine Strahlungseintrittsfläche in den strahlungsdetektierenden Halbleiterchip 5 eintritt, zu detektieren. Die Strahlungsausstrittsfläche des strahlungsemittierenden Halbleiterchips 4 und die Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips 5 sind parallel zu einer Hauptfläche des photonischen Gassensors angeordnet. Bei dem strahlungsemittierenden Halbleiterchip 4 kann es sich um einen volumenemittierenden Halbleiterchip oder um einen oberflächenemittierenden Halbleiterchip handeln. Bei dem strahlungsdetektierenden Halbleiterchip 5 handelt es sich vorliegend um eine Fotodiode, besonders bevorzugt um eine Fotodiode, die auf Silizium basiert.

Die erste Kavität 2 und die zweite Kavität 3 des Bauelementgehäuses 1 werden vorliegend durch eine Wellenleiterschicht 6 vollständig abgedeckt. Die Wellenleiterschicht 6 kann beispielsweise Glas oder ein Polymer aufweisen oder aus einem dieser Materialien gebildet sein. Die Wellenleiterschicht 6 ist besonders bevorzugt durchlässig zumindest für elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs und/oder elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs.

Weiterhin umfasst der Ganssensor gemäß der Figur 1 ein aktives Sensorelement 7, das vorliegend als eine aktive sensitive Schicht ausgebildet ist. Die aktive sensitive Schicht ist vorliegend in direktem Kontakt auf die Wellenleiterschicht 6 aufgebracht. Die aktive sensitive Schicht 7 weist ein Silikon als Polymermatrix auf, in das ein Fluoreszenzfarbstoff 8 eingebracht ist. Bei dem Fluoreszenzfarbstoff 8 kann es sich beispielsweise um Tris(2,2'-bipyridyl)dichlororuthenium(II)hexahydrat handeln. Die chemische Strukturformel dieses Fluoreszenzfarbstoffs 8 ist exemplarisch in Figur 3 dargestellt.

Der Fluoreszenzfarbstoff 8 ist dazu geeignet, Sauerstoff zu detektieren. Bei der Anwesenheit von Sauerstoff vermindert sich die Intensität der von dem Fluoreszenzfarbstoff 8 ausgesandten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs auf reversible Art und Weise.

In direktem Kontakt auf die aktive sensitive Schicht 7 ist vorliegend ein reflektierendes Abdeckelement 9 aufgebracht. Das reflektierende Abdeckelement 9 weist Silikon als Polymermatrix auf. In die Polymermatrix sind reflektierende Partikeln, beispielsweise Titandioxidpartikel, eingebettet. Alter-

nativ ist es möglich, dass das Abdeckelement 9 schwarz ausgebildet ist, beispielsweise indem in das Silikon als Polymermatrix Rußpartikel eingebracht sind.

5 Im Betrieb des photonischen Gassensors sendet der strahlungse-
emittierende Halbleiterchip 4 von seiner Strahlungsaustritts-
fläche elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängen-
bereichs aus. Die elektromagnetische Strahlung des ersten Wel-
lenlängenbereichs trifft auf die Wellenleiterschicht 6 und
10 wird durch die Wellenleiterschicht 6 in die aktive sensitive
Schicht 7 eingekoppelt. Dort regt die elektromagnetische
Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs den Fluoreszenzfarb-
stoff 8 an, sodass dieser elektromagnetische Strahlung eines
zweiten, längeren Wellenlängenbereichs aussendet. Die elekt-
15 romagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs wird
durch die Wellenleiterschicht 6 zu der zweiten Kavität 3 trans-
portiert, in der der strahlungsdetektierende Halbleiterchip 5
angeordnet ist. Der strahlungsdetektierende Halbleiterchip 5
ist dazu geeignet, elektromagnetische Strahlung des zweiten
20 Wellenlängenbereichs zu detektieren. Ist nun Sauerstoff als zu
detektierendes Gas in der sensitiven aktiven Schicht 7 anwe-
send, so wird die Intensität der von dem Fluoreszenzfarbstoff
8 emittierten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wel-
lenlängenbereichs verringert. Die Verringerung der Intensität
25 wird durch den strahlungsdetektierenden Halbleiterchip 5 de-
tektiert, sodass die Anwesenheit von Sauerstoff festgestellt
werden kann.

Das Abdeckelement 9, das reflektierend, zum Beispiel weiß,
30 oder absorbierend, zum Beispiel schwarz, ausgebildet sein
kann, verhindert vorliegend ein Bleichen des Fluoreszenzfarb-
stoffs 8, das heißt eine irreversible Degradation des Fluores-
zenzfarbstoffs 8, die zu einer irreversiblen Verminderung der

Intensität der von dem Fluoreszenzfarbstoff 8 ausgesandeten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs führen kann.

- 5 Bevorzugt weist der photonische Gassensor einen dichroitischen Filter 10 auf, der der Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips 5 in einer Einstrahlrichtung vorgelagert ist. Der dichroitische Filter 10 kann beispielsweise die zweite Kavität 3 abdecken oder auch auf der
- 10 Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips 5 angeordnet sein, beispielsweise durch Kleben. Der dichroitische Filter 10 verbessert die Sensitivität des photonischen Gassensors.
- 15 Der photonische Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 2 weist im Unterschied zu dem photonischen Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 eine einzige gemeinsame Kavität 11 auf, in der der strahlungsemittierende Halbleiterchip 4 und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip 5
- 20 angeordnet sind. Bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ist als aktives Sensorelement 7 ein sensitiver Verguss verwendet, der die Kavität vollständig ausfüllt. Der aktive sensitive Verguss 7 umfasst Silikon als Polymermatrix, in die der Fluoreszenzfarbstoff 8 eingebettet ist. Die Kavität 11 ist mit dem
- 25 Abdeckelement 9 vollständig abgedeckt.

Der photonische Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 4 weist wie der photonische Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 ein Bauelementgehäuse mit zwei ab-

30 getrennten Kavitäten 2, 3 auf, wobei in der ersten Kavität 2 ein strahlungsemittierender Halbleiterchip 4 und in der zweiten Kavität 3 ein strahlungsdetektierender Halbleiterchip 5 angeordnet ist. Das Bauelementgehäuse 1 umfasst vorliegend ein

Substrat 12, beispielsweise eine gedruckte Leiterplatte oder eine Keramikplatte, auf die ein Rahmen 13 aufgesetzt ist. Weiterhin sind die erste Kavität 2 und die zweite Kavität 3 durch eine Trennwand 14 voneinander separiert, die wie der Rahmen 13 auf das Substrat 12 aufgesetzt ist. Der Rahmen 13 ist vorliegend reflektierend ausgebildet. Beispielsweise ist der Rahmen 13 aus einem Silikon mit Titandioxidpartikeln gebildet.

In der ersten Kavität 2 ist ein aktives Sensorelement 7 angeordnet, das vorliegend als aktiver sensitiver Verguss ausgebildet ist. Der aktive sensitive Verguss 7 weist ein Silikon als Polymermatrix auf, in das ein Fluoreszenzfarbstoff 8 eingebracht ist. Der aktive sensitive Verguss 7 umhüllt den strahlungsemittierenden Halbleiterchip 4 vorliegend vollständig.

In der zweiten Kavität 3, in der der strahlungsdetektierende Halbleiterchip 5 angeordnet ist, ist weiterhin ein Filter 10 angeordnet, der als filternder Verguss ausgebildet ist. Bei dem filternden Verguss 10 handelt es sich um ein Silikon, in das Farbpigmente eines organischen Farbfilters eingebracht sind. Der Filter 10 ist dazu geeignet, elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs, der von dem strahlungsemittierenden Halbleiterchip 4 ausgesandt wird, zu absorbieren. Dies erhöht die Sensitivität des photonischen Gassensors.

Weiterhin umfasst der photonische Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 4 eine Wellenleiterschicht 6, die die beiden Kavitäten 2, 3, abdeckt und dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs, die von dem aktiven sensitiven Verguss 7 ausgesandt wird, lateral zu der zweiten Kavität 3 und dem strahlungsdetektierenden Halb-

leiterchip 5 zu leiten. Die Wellenleiterschicht 6 ist vorliegend aus einem Silikon gebildet, in das Streupartikel eingebracht sind.

- 5 Auf der Wellenleiterschicht 6 ist ein Abdeckelement 9 aufgebracht, das vorliegend reflektierend ausgebildet ist. Das Abdeckelement 9 ist aus einem Silikon gebildet, in das Titandioxidpartikel eingebracht sind.
- 10 Bei dem photonischen Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 5 umfasst das Bauelementgehäuse 1 ebenfalls ein Substrat 12 wie beispielsweise eine gedruckte Leiterplatte oder ein Keramiksubstrat, auf das ein Rahmen 13 aufgebracht ist. Der Rahmen 13 bildet hierbei die Seitenwände einer gemeinsamen
- 15 Kavität 11 aus, in die der strahlungsemittierende Halbleiterchip 4 und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip 5 eingebracht sind. Der Rahmen 13 kann beispielsweise auf die gedruckte Leiterplatte oder das Keramiksubstrat aufgeklebt sein.
- 20 Der strahlungsdetektierende Halbleiterchip 5 ist von einem Filter 10 umgeben. Der Filter 10 umfasst eine Polymermatrix wie ein Silikon, in das als Farbfilter organische Farbpigmente eingebracht sind, die elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs absorbieren. Der Filter 10 ist vorliegend
- 25 als filternder Verguss ausgebildet, der beispielsweise durch Dispensen aufgebracht werden kann. Der filternde Verguss 10 bildet hierbei eine halbkugelförmige Form aus und bettet den strahlungsdetektierenden Halbleiterchip 5 vollständig ein. Allerdings füllt der filternde Verguss 10 die Kavität 11 nicht
- 30 vollständig aus. Der filternde Verguss 10 ist vorliegend linsenförmig ausgebildet.

Weiterhin umfasst der photonische Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 5 die Wellenleiterschicht 6, die aktive sensitive Schicht 7 und das Abdeckelement 9. Die aktive sensitive Schicht 7 ist hierbei zwischen der Wellenleiterschicht 6 und dem Abdeckelement 9 angeordnet, wobei die Wellenleiterschicht 6 zu der Kavität 11 des Bauelementgehäuses 1 weist und das Abdeckelement 9 zu einer Außenfläche des photonischen Gassensors. An einer Hauptfläche der Wellenleiterschicht 6, sind Kopplungsstrukturen 15 angeordnet, die dazu geeignet sind elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs und/oder des zweiten Wellenlängenbereichs ein- oder auszukoppeln. Die Kopplungsstrukturen 15 weisen hierbei zu der Kavität 11 des photonischen Gassensors.

Bei dem photonischen Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 6 ist ein Durchbruch 16, wie eine Bohrung, in dem Abdeckelement 9 vorgesehen. Der Durchbruch 16 durchdringt das Abdeckelement 9 vollständig. Dies ermöglicht den Transport des zu detektierenden Gases in die Kavität 11. Das aktive Sensorelement 7 ist bei diesem Ausführungsbeispiel als halbrunder sensitiver Verguss ausgebildet, der den strahlungsdetektierenden Halbleiterchip 5 vollständig umhüllt, aber Bereiche der Kavität 11 frei lässt. Hierbei ist es möglich, dass auf Seitenflächen des detektierenden Halbleiterchips 5 ein reflektierender Verguss, wie beispielsweise Titandioxid in einer Polymermatrix etwa Silikon aufgebracht ist, um den strahlungsdetektierenden Halbleiterchip vor der lateralen Einkopplung von elektromagnetischer Strahlung zu schützen. Auch der photonische Gassensor gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 6 kann einen Filter 10 umfassen, beispielsweise eine dichroitische, filternde Schicht, die auf der Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips 5 aufgebracht ist.

Der Filter 10 kann auch als filternder Verguss ausgebildet sein.

Bei dem Verfahren gemäß der Figuren 7 bis 10 wird zunächst ein Substrat 12 bereitgestellt. Bei dem Substrat 12 kann es sich beispielsweise um eine gedruckte Leiterplatte oder ein Keramiksubstrat handeln (Figur 7). Auf eine Montagefläche des Substrats 12 werden ein strahlungsemittierender Halbleiterchip 4 und ein strahlungsdetektierender Halbleiterchip 5 aufgebracht (Figur 8). Dann wird ein Rahmen 13 auf das Substrat 12 aufgebracht, sodass eine Kavität 11 aus dem Rahmen 13 und dem Substrat 12 gebildet wird, in der der strahlungsemittierende Halbleiterchip 4 und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip 5 angeordnet sind (Figur 9). In einem nächsten Schritt wird ein aktives Sensorelement 7, das vorliegend als aktiver sensitiver Verguss ausgebildet ist, in die Kavität 11 eingefüllt (Figur 10).

Die Erfindung ist nicht durch die Beschreibung anhand der Ausführungsbeispiele auf diese beschränkt. Vielmehr umfasst die Erfindung jedes neue Merkmal sowie jede Kombination von Merkmalen, was insbesondere jede Kombination von Merkmalen in den Patentansprüchen beinhaltet, auch wenn dieses Merkmal oder diese Kombination selbst nicht explizit in den Patentansprüchen oder Ausführungsbeispielen angegeben ist.

Bezugszeichenliste

	1	Bauelementgehäuse
	2	erste Kavität
5	3	zweite Kavität
	4	strahlungsemitterender Halbleiterchip
	5	strahlungsdetektierender Halbleiterchip
	6	Wellenleiterschicht
	7	Sensorelement
10	8	Fluoreszenzfarbstoff
	9	Abdeckelement
	10	Filter
	11	gemeinsame Kavität
	12	Substrat
15	13	Rahmen
	14	Trennwand
	15	Kopplungsstrukturen
	16	Durchbruch

Patentansprüche

1. Photonischer Gassensor mit:

- einem Bauelementgehäuse (1) mit mindestens einer Kavität (2, 3, 11),
- einem strahlungsemittierenden Halbleiterchip (4), der in der Kavität (2, 3, 11) angeordnet ist und dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung eines ersten Wellenlängenbereichs auszusenden,
- einem strahlungsdetektierenden Halbleiterchip (5), der in der Kavität (2, 3, 11) angeordnet und dazu geeignet ist, elektromagnetische Strahlung eines zweiten Wellenlängenbereichs zu detektieren, und
- einem aktiven Sensorelement (7), das einen Fluoreszenzfarbstoff (8) aufweist, der bei Anregung mit elektromagnetischer Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs aussendet, wobei sich die Intensität der ausgesandten elektromagnetischen Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs in Anwesenheit eines zu detektierenden Gases reversibel verändert.

2. Photonischer Gassensor nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das aktive Sensorelement (7) eine Polymermatrix umfasst, in die der Fluoreszenzfarbstoff (8) eingebettet ist und die für das zu detektierende Gas durchlässig ist.

3. Photonischer Gassensor nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das aktive Sensorelement (7) als sensitiver Verguss ausgebildet ist, in den zumindest der strahlungsemittierende Halbleiterchip (4) eingebettet ist.

4. Photonischer Gassensor nach einem der obigen Ansprüche, bei dem der strahlungsemittierende Halbleiterchip (4) und der

strahlungsdetektierende Halbleiterchip (5) in einer gemeinsamen Kavität (11) des Bauelementgehäuses (1) angeordnet sind und die aktive Polymermatrix mit dem Fluoreszenzfarbstoff (8) als aktiver sensitiver Verguss ausgebildet ist, die die Kavität (11) füllt.

5. Photonischer Gassensor nach einem der obigen Ansprüche, bei dem

- das Bauelementgehäuse (1) eine erste Kavität (2) und eine zweite Kavität (3) aufweist, die voneinander getrennt sind,
- der strahlungsemittierende Halbleiterchip (4) in der ersten Kavität (2) und der strahlungsdetektierende Halbleiterchip (4) in der zweiten Kavität angeordnet sind,
- das aktive Sensorelement (7) als sensitiver Verguss in der ersten Kavität (2) ausgebildet ist, und
- eine Wellenleiterschicht (6) vorgesehen ist, die elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs zum strahlungsdetektierenden Halbleiterchip (5) leitet.

6. Photonischer Gassensor nach einem der Ansprüche 1 bis 2, bei dem das aktive Sensorelement (7) als sensitive Schicht ausgebildet ist, deren Haupterstreckungsebene parallel zu einer Strahlungsausstrittsfläche des strahlungsemittierenden Halbleiterchips (4) und/oder parallel zu einer Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips (5) angeordnet ist.

7. Photonischer Gassensor nach dem vorherigen Anspruch, bei dem

- die aktive sensitive Schicht (7) die Polymermatrix umfasst, in die der Fluoreszenzfarbstoff (8) eingebettet ist, und
- die aktive sensitive Schicht (7) auf ein transparentes Trägerelement aufgebracht ist.

8. Photonischer Gassensor nach einem der obigen Ansprüche, mit einem Filter (10), der elektromagnetische Strahlung des ersten Wellenlängenbereichs herausfiltert.

5 9. Photonischer Gassensor nach dem vorherigen Anspruch, bei dem der Filter (10) als filternde Schicht ausgebildet ist und auf die Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips (5) aufgebracht ist.

10 10. Photonischer Gassensor nach einem der Ansprüche, bei dem das Sensorelement (7) als sensitive Schicht ausgebildet ist und das Filterelement (10) als filternde Schicht, wobei die filternde Schicht zwischen der Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips (5) und der sensi-
15 ven Schicht (7) angeordnet ist.

11. Photonischer Gassensor nach einem der Ansprüche, bei dem der Filter (10) als filternder Verguss ausgebildet ist, in den der strahlungsdetektierende Halbleiterchip (5) eingebettet
20 ist.

12. Photonischer Gassensor nach einem der obigen Ansprüche, mit einem Abdeckelement (9), das absorbierend oder reflektierend zumindest für die elektromagnetische Strahlung des ersten
25 Wellenlängenbereichs ausgebildet ist.

13. Photonischer Gassensor nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das Abdeckelement (9) zwischen einer Außenfläche des Gassensors und dem Sensorelement (7) angeordnet ist.

14. Photonischer Gassensor nach einem der obigen Ansprüche, der eine Wellenleiterschicht (6) umfasst, die elektromagnetische Strahlung des zweiten Wellenlängenbereichs zum strahlungsdetektierenden Halbleiterchip (5) leitet.

5

15. Photonischer Gassensor nach dem vorherigen Anspruch, bei dem die Wellenleiterschicht (6) eine transparente Vergussmasse aufweist, in die eine Vielzahl an Streupartikeln eingebracht ist.

10

16. Photonischer Gassensor nach Anspruch 14, bei dem die Wellenleiterschicht (6) eines der folgenden Materialien aufweist: Glas, Epoxidharz, Polymethylmethacrylat.

15 17. Photonischer Gassensor nach einem der Ansprüche, bei dem die Wellenleiterschicht (6) an einer Hauptfläche, die zu der Strahlungsausstrittsfläche des strahlungsemittierenden Halbleiterchips (4) und/oder der Strahlungseintrittsfläche des strahlungsdetektierenden Halbleiterchips (5) weist, Kopplungsstrukturen (15) aufweist, die dazu geeignet sind, die Einkopplung und/oder die Auskopplung von elektromagnetischer Strahlung in oder aus der Wellenleiterschicht (6) zu erhöhen.

20

18. Photonischer Gassensor nach einem der obigen Ansprüche, bei dem als Fluoreszenzfarbstoff (8) ein Fluorescein, ein Rhodamin, ein Cyanin, ein Coumarin, ein fluoreszierendes Polymer, ein fluoreszierender Metallionenkomplex oder Nanopartikel verwendet sind.

25

30 19. Verfahren zur Herstellung eines photonischen Gassensors nach einem der obigen Ansprüche mit den folgenden Schritten:

30

- Anordnen eines strahlungsemittierenden Halbleiterchips (4) und eines strahlungsdetektierenden Halbleiterchips (5) auf einer Montagefläche eines Substrats (12),
 - Aufbringen eines Rahmens (13) auf das Substrat (12), so dass
5 das Substrat (12) und der Rahmen (13) das Bauelementgehäuse (1) mit der Kavität (2, 3, 11) ausbilden,
 - Anordnen einer aktiven sensitiven Schicht (7) als Sensorelement (7) auf dem Rahmen (13).
- 10 20. Verfahren nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das Substrat (12) auf einer Keramik basiert oder eine gedruckte Leiterplatte ist.

FIG 1

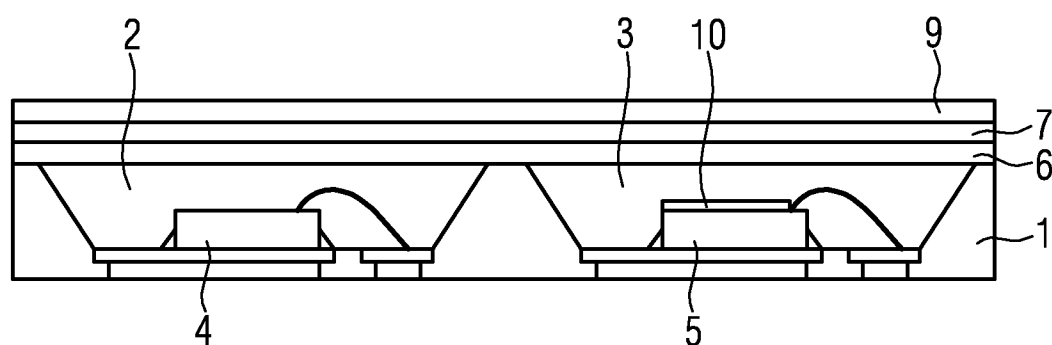


FIG 2

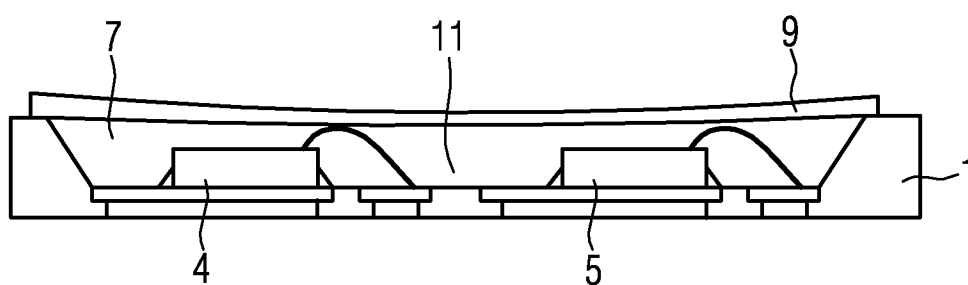


FIG 3

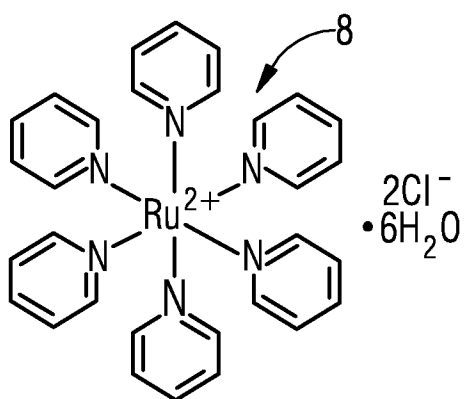


FIG 4

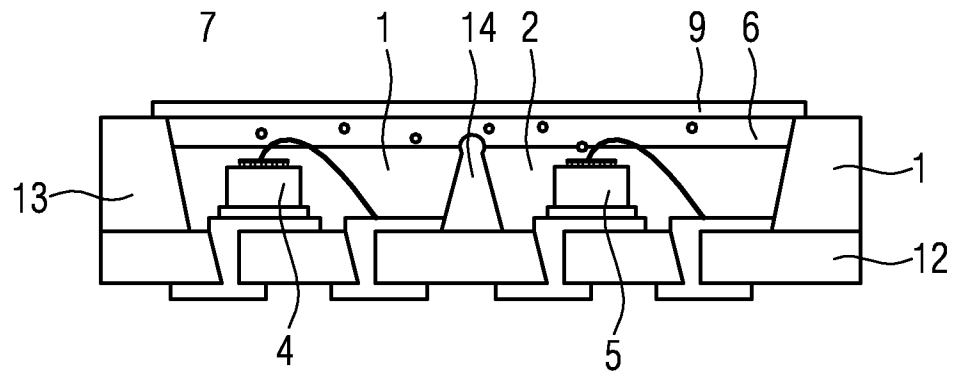


FIG 5

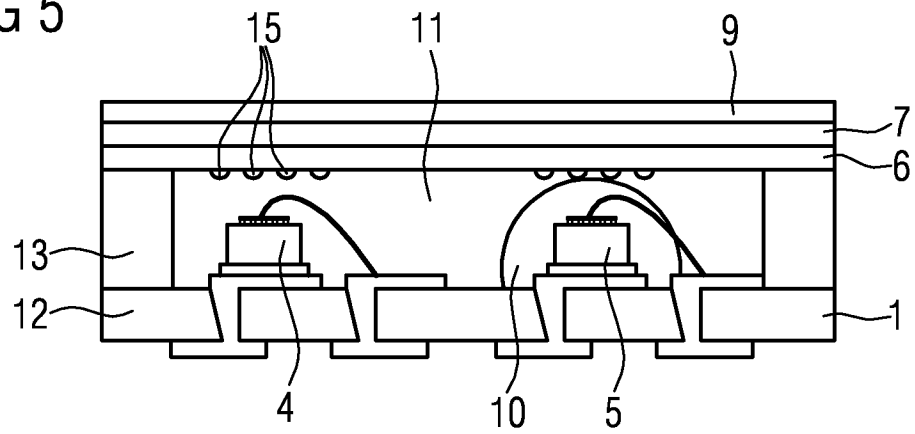


FIG 6

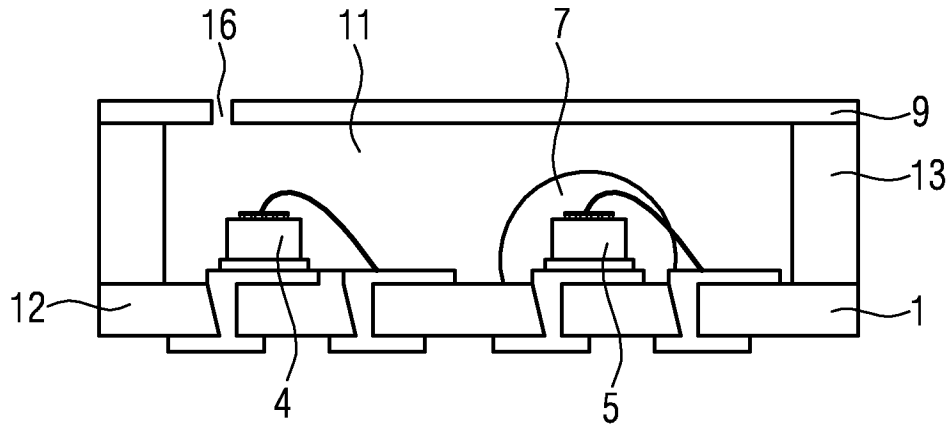


FIG 7

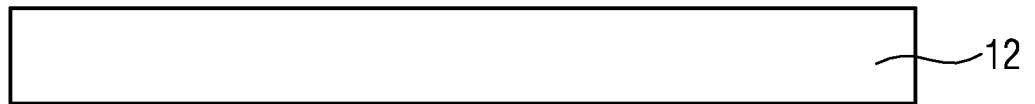


FIG 8

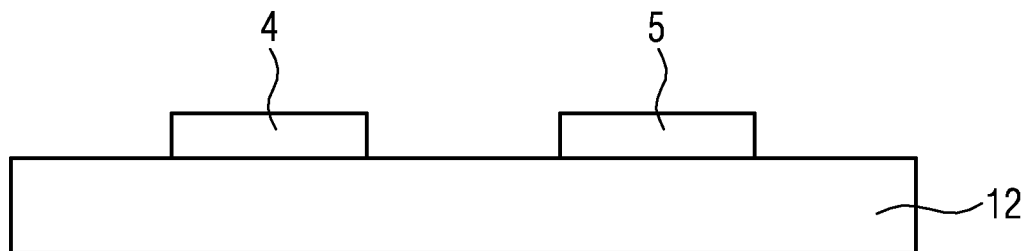


FIG 9

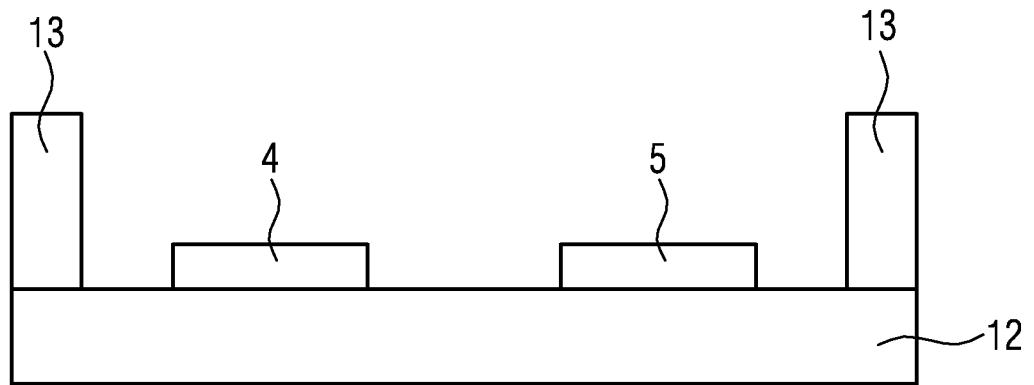
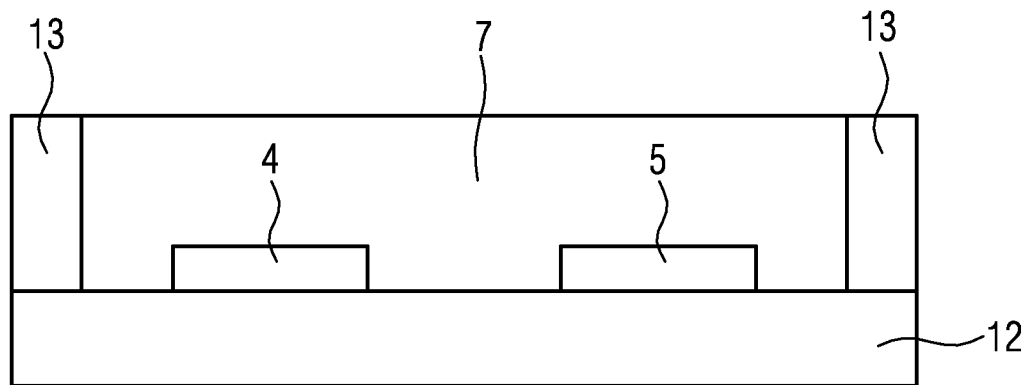


FIG 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/082390

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01N 21/64**(2006.01)i; **G01N 31/22**(2006.01)i; **G01N 21/77**(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	US 2013171027 A1 (SERBAN BOGDAN CATALIN [RO] ET AL) 04 July 2013 (2013-07-04)	1,2,8,12-18
Y	paragraphs [0004] - [0006], [0069] - [0071], [0073], [0075]; figures 1,2	3-7,9-11
X	MCDOWELL G R ET AL. "Towards a novel optical trace oxygen sensor for commercial use" 2016 IEEE SENSORS, IEEE, 30 October 2016 (2016-10-30), pages 1-3 DOI: 10.1109/ICSENS.2016.7808789 XP033037068	1,2,8,12-20
Y	the whole document	3-7,9-11
X	US 2011171067 A1 (MUELLER CORD [US]) 14 July 2011 (2011-07-14)	1,2,8,12-18
Y	paragraphs [0013], [0017], [0019], [0020], [0025], [0032] - [0036]; figures 1-4	3-7,9-11
Y	CARVAJAL M A ET AL. "Hand-held optical instrument for CO ₂ in gas phase based on sensing film coating optoelectronic elements" SENSORS AND ACTUATORS B: CHEMICAL: INTERNATIONAL JOURNAL DEVOTED TO RESEARCH AND DEVELOPMENT OF PHYSICAL AND CHEMICAL TRANSDUCERS, ELSEVIER BV, NL, Vol. 144, No. 1, 29 January 2010 (2010-01-29), pages 232-238, [retrieved on 2009-10-30] ISSN: 0925-4005, XP026862023	3-7,9-11
A	paragraphs 1., 2.1, 2.2; figure 1	8

☐ 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

27 February 2019

Date of mailing of the international search report

08 March 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

Weinberger, Thorsten

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/082390

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2013171027	A1	04 July 2013	EP	2610609	A1	03 July 2013
				US	2013171027	A1	04 July 2013
US	2011171067	A1	14 July 2011	BR	PI0910945	A2	05 January 2016
				CN	101990635	A	23 March 2011
				EP	2265934	A1	29 December 2010
				JP	2011516877	A	26 May 2011
				RU	2010145101	A	20 May 2012
				US	2011171067	A1	14 July 2011
				WO	2009125325	A1	15 October 2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G01N21/64 G01N31/22

ADD. G01N21/77

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	US 2013/171027 A1 (SERBAN BOGDAN CATALIN [R0] ET AL) 4. Juli 2013 (2013-07-04)	1,2,8, 12-18
Y	Absätze [0004] - [0006], [0069] - [0071], [0073], [0075]; Abbildungen 1,2	3-7,9-11
X	MCDOWELL G R ET AL: "Towards a novel optical trace oxygen sensor for commercial use", 2016 IEEE SENSORS, IEEE, 30. Oktober 2016 (2016-10-30), Seiten 1-3, XP033037068, DOI: 10.1109/ICSENS.2016.7808789 [gefunden am 2017-01-05]	1,2,8, 12-20
Y	das ganze Dokument	3-7,9-11



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

27. Februar 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/03/2019

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

Weinberger, Thorsten

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/171067 A1 (MUELLER CORD [US]) 14. Juli 2011 (2011-07-14)	1,2,8, 12-18
Y	Absätze [0013], [0017], [0019], [0020], [0025], [0032] - [0036]; Abbildungen 1-4 -----	3-7,9-11
Y	CARVAJAL M A ET AL: "Hand-held optical instrument for CO ₂ in gas phase based on sensing film coating optoelectronic elements", SENSORS AND ACTUATORS B: CHEMICAL: INTERNATIONAL JOURNAL DEVOTED TO RESEARCH AND DEVELOPMENT OF PHYSICAL AND CHEMICAL TRANSDUCERS, ELSEVIER BV, NL, Bd. 144, Nr. 1, 29. Januar 2010 (2010-01-29), Seiten 232-238, XP026862023, ISSN: 0925-4005 [gefunden am 2009-10-30]	3-7,9-11
A	Abschnitte 1., 2.1, 2.2; Abbildung 1 -----	8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/082390

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2013171027 A1	04-07-2013	EP 2610609 A1	03-07-2013
		US 2013171027 A1	04-07-2013

US 2011171067 A1	14-07-2011	BR PI0910945 A2	05-01-2016
		CN 101990635 A	23-03-2011
		EP 2265934 A1	29-12-2010
		JP 2011516877 A	26-05-2011
		RU 2010145101 A	20-05-2012
		US 2011171067 A1	14-07-2011
		WO 2009125325 A1	15-10-2009
