(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
16. März 2023 (16.03.2023)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/036352 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
C21C 5/46 (2006.01) *G01N 21/53* (2006.01)
F27B 3/28 (2006.01) *G01N 21/71* (2006.01)
F27D 19/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2022/000097

(22) Internationales Anmeldedatum:
07. September 2022 (07.09.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2021 004 593.9
10. September 2021 (10.09.2021) DE

(71) Anmelder: **PROMECON PROCESS MEASUREMENT CONTROL GMBH** [DE/DE]; Steinfeldstr. 5, 39179 Barleben (DE).

(72) Erfinder: **CONRADS, Hans Georg**; Wallmodenstraße 60, 30625 Hannover (DE). **MÄDE, Matthias**; Birkenweg 2, 39167 Eichenbarleben (DE).

(74) Anwalt: **SPERLING, FISCHER & HEYNER PATENTANWÄLTE**; Bruno-Wille-Str. 9, 39108 Magdeburg (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, 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,

WO 2023/036352 A1

(54) Title: METALLURGICAL MELTING FURNACE, AND METHOD FOR DETERMINING THE AMOUNT OF HETEROMOLECULAR GAS

(54) Bezeichnung: METALLURGISCHER SCHMELZOFEN SOWIE VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER MENGE AN HETEROMOLEKULAREM GAS

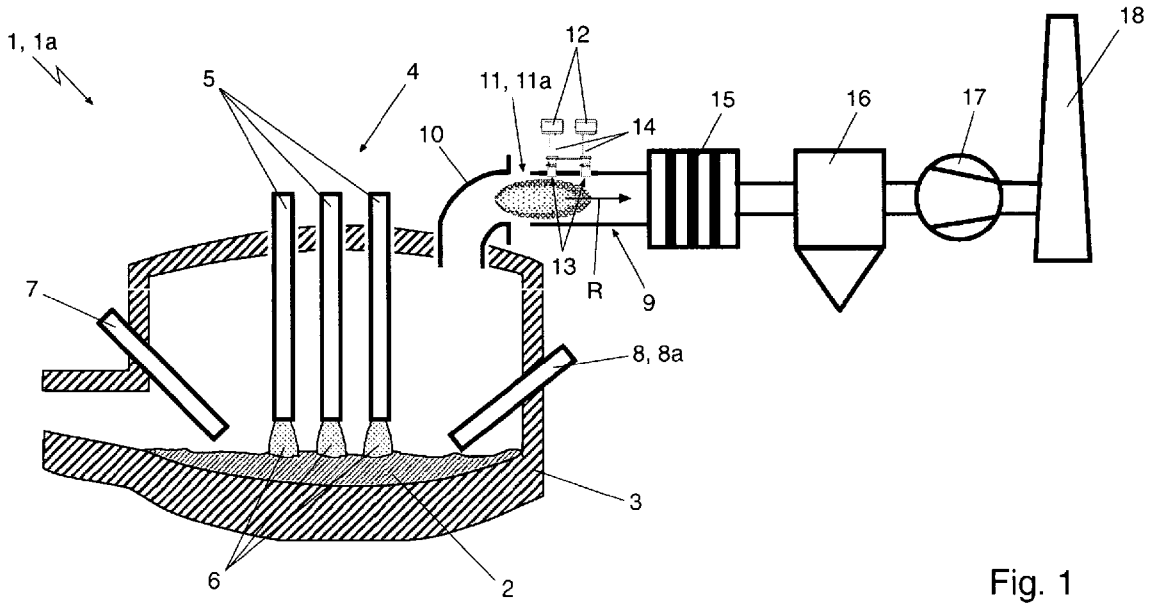

Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a metallurgical melting furnace comprising a furnace vessel, a waste-gas discharge device which is arranged thereon and is intended for discharging a waste gas stream, and an air-supply opening for supplying air to the waste gas stream. According to the invention, a photodiode is arranged on the waste-gas discharge device downstream of the air-supply opening so as to be spaced from a measurement opening. The electromagnetic radiation generated by the hot molecules in the interior of the waste-gas discharge device is then detected and statistically analysed. The invention also relates to a method for determining the amount of heteromolecular gas and to a method for determining the temperature of the gas.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen metallurgischen Schmelzofen mit einem Ofengefäß, einer daran angeordneten Abgasabführeinrichtung zum Abführen eines Abgasstromes und einer Luftzuführöffnung zum Zuführen von Luft zu dem Abgasstrom. Dabei ist an der Abgasabführeinrichtung hinter der Luftzuführöffnung eine Photodiode an einer Messöffnung beabstandet angeordnet. Die im Inneren der Abgasabführeinrichtung durch die heißen Moleküle erzeugte elektromagnetische Strahlung wird dann detektiert

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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)*

und statistisch ausgewertet. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Bestimmung der Menge an heteromolekularem Gas und ein Verfahren zur Bestimmung der Temperatur des Gases.

Metallurgischer Schmelzofen sowie Verfahren zur Bestimmung der Menge an heteromolekularem Gas

Die Erfindung betrifft einen metallurgischen Schmelzofen mit einem Ofengefäß, einer daran angeordneten Abgasabführeinrichtung zum Abführen eines Abgasstromes und einer Luftzuführöffnung zum Zuführen von Luft zu dem Abgasstrom sowie ein Verfahren zur Bestimmung der Menge an heteromolekularem Gas und ein Verfahren zur Bestimmung der Temperatur des Gases.

Im Betrieb von metallurgischen Schmelzöfen entstehen aufgrund der darin ablaufenden Prozesse verschiedene, oft auch schädliche Gase. Um die innerhalb des metallurgischen Schmelzofens ablaufenden Prozesse zu optimieren und den Anteil schädlicher Gase zu reduzieren, ist eine genaue Kenntnis der entstehenden Gase, insbesondere auch in ihrem Verhältnis zueinander, eine wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Steuerung der einzelnen Prozessparameter. Ein wesentliches Hindernis für viele mögliche Messmethoden sind dabei die während der Prozesse auftretenden extrem hohen Temperaturen, welche im Bereich von über 1000 °C liegen.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Ansätze bekannt, wie der Anteil der Gasmoleküle im metallurgischen Schmelzofen bestimmt werden könnte.

In der DE 10 2008 009 923 A1 wird ein Verfahren zur Bestimmung brennbarer Abgasbestandteile innerhalb eines Lichtbogenofens mittels optischer Sensoren offenbart. Um die lokale CO-Konzentration zu messen, werden Lichtleiter so angeordnet, dass das Licht des Bereiches unter den einzelnen Sauerstoffinjektoren optisch erfasst wird. Die Menge der Abgasbestandteile wird dann ausgewertet und für eine Regelung der Sauerstoffzuführung in den Lichtbogenofen genutzt. Der Vorteil hier ist, dass die heterogene Verteilung innerhalb des Lichtbogenofens entsprechend erfasst wird und die einzelnen Sauerstoffinjektoren separat gesteuert werden können. Lichtleiter am Ofen können aber aufgrund der hohen Temperaturen zu großen Problemen führen. Insbesondere werden hier spektroskopische Methoden unter Verwendung eines Lasers genutzt, was einen solchen Messaufbau sehr aufwändig und somit kostenintensiv gestaltet.

In der EP 1 776 576 B1 wird eine berührungslose Abgasmessung mittels FTIR-Spektroskopie an metallurgischen Aggregaten beschrieben. In der Nähe eines Konverters wird ein FTIR-Spektrometer angeordnet, dessen Messstrahl an einer geeigneten Öffnung des Abgaskanals in das Abgas gerichtet wird. Die mit dem FTIR-Spektrometer ermittelten Spektren werden unter Einbeziehung der Abgastemperatur und eines mathematischen Modells zur Berechnung der Abgaszusammensetzung ohne zeitliche Verzögerung verwendet. Nachteilig ist, dass auch diese Methode sehr aufwändig und wartungsintensiv ist.

In der DE 28 57 795 C2 ist ein Strahlungsdetektor für einen Flammenmelder offenbart, welcher ein Sensorelement und einen vor diesem angeordneten spektralen Filter, der im Bereich der Kohlendioxid-Resonanzstrahlung durchlässig ist, aufweist.

In der DE 195 09 704 A1 ist ein Verfahren sowie eine Anordnung zur Überwachung und Regelung von Verbrennungsprozessen offenbart. Es werden in Öl- oder Gasbrennern Strahlungsmessungen ausgewertet, wobei zwei verschiedene Spektralbereiche einer Flamme durch eine Sensoranordnung detektiert werden. Die selektiv verstärkten Signale werden mittels Algorithmen für eine Regelung und Überwachung des Verbrennungsprozesses genutzt. Ein solches Verfahren wertet zwar die durch die Flammen emittierte Strahlung in einem kontrollierten Verbrennungsprozess aus, was ein Indiz für die Art der stattfindenden Reaktion ist. Allerdings kann mittels dieses Verfahrens keine direkte Messung der Menge an Gasen oder der Gaszusammensetzung erfolgen.

Eine weitere Möglichkeit der Überwachung von Flammen ist in der US 3,903,014 beschrieben, welche insbesondere bei der Kontrolle von Prozessen zur Stahlschmelze angewendet werden kann. Auch hier wird keine direkte Messung der Gasmengen durchgeführt.

In der US 2009 102 103 A1 wird ein Verfahren beschrieben, welches mittels eines Spektrometers und eines Infrarotsensors Strahlungen innerhalb eines Industrieofens erfasst. Dazu wird die spektroskopische Einrichtung an einer Fensteröffnung angeordnet, welche auch die Luftzuführung in das Abgas ge-

währleistet. Die Verwendung eines Spektrometers ist allerdings nachteilig aufwändig und kostenintensiv.

In der DE 10 2006 005 823 A1 wird ein Verfahren zur Regelung eines brennerbefeuerten Ofens offenbart. Dabei wird eine Komponente eines Gasstroms erfasst, wobei zumindest ein Teil der von dem Gasstrom emittierten Strahlung detektiert wird. Es wird hier nicht nur eine einzelne Spektrallinie ausgewertet, sondern es werden die Emissionen der Komponente über einen größeren Teilbereich des Spektrums detektiert. Es erfolgt also eine breitbandige Aufnahme des emittierten Spektrums. Aus den detektierten Emissionen bei den verschiedenen Wellenlängen wird dabei ein Summensignal gebildet, welches anschließend zweifach nach der Zeit abgeleitet wird. Der zeitliche Verlauf des so ermittelten Signals liefert qualitative Aussagen über den Anteil der Komponente in dem Gasstrom. So können qualitative Aussagen über die Menge der gesuchten Komponente erfolgen. Nachteilig ist hier eine Kalibrierung mit einer konventionellen Messung erforderlich, um eine quantitative Aussage treffen zu können. Nur mittels einer Kalibrierung können mittels dieser Methode absolute Mengen der Komponenten des Gasstroms ermittelt werden. Weiterhin ist das Einrichten einer solchen Messung an einem Ofengefäß eines metallurgischen Schmelzofens kompliziert.

Auch in dem in DE 42 31 777 A1 beschriebenen Verfahren werden Emissionsspektren von Flammen oder ihren Abgasen ausgewertet. Eine Anbringung derartiger Sensoren an einem metallurgischen Schmelzofen birgt aber eine Reihe von Problemen.

Ein wesentliches Problem der Vorrichtungen und Methoden nach dem Stand der Technik ist dabei die am Schmelzofen auftretende sehr hohe Temperatur, weshalb das Anbringen von Messinstrumenten am Ofengefäß sehr kompliziert und aufwändig ist. Häufig werden Absorptionsmessungen unter Verwendung von Lasern genutzt, welche sehr aufwändig und somit kostenintensiv sind. Wünschenswert wäre somit eine unkomplizierte Messmöglichkeit an einem metallurgischen Schmelzofen, welche eine exakte Kenntnis der während des Prozesses erzeugten Gasbestandteile liefert.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, eine einfache sowie kostengünstige Möglichkeit zur Verfügung zu stellen, um die Absolutkonzentration des in einem metallurgischen Schmelzofen erzeugten Gases zu ermitteln.

Unter Absolutkonzentration wird im Sinne der Erfindung die Anzahl der heteromolekularen Gasmolekühle je Volumeneinheit, also beispielsweise je Kubikzentimeter, Abgas verstanden.

Die Aufgabe wird durch einen Gegenstand mit den Merkmalen gemäß der selbstständigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Die Aufgabe wird insbesondere durch einen metallurgischen Schmelzofen gelöst, welcher ein Ofengefäß zum Schmelzen von Metall mit einer daran angeordneten Abgasabführeinrichtung zum Abführen eines Abgasstromes aufweist. Dabei ist an der Abgasabführeinrichtung eine Luftzuführöffnung zum Zuführen von Frischluft zu dem Abgasstrom ausgebildet. Erfindungsgemäß weist die Abgasabführeinrichtung hinter der Luftzuführöffnung wenigstens eine Messöffnung auf und außerhalb der Abgasabführeinrichtung ist an der Messöffnung eine Photodiode mit wenigstens einem spektralen Filter zur Separation der elektromagnetischen Strahlung eines spezifischen Wellenlängenbereiches derart beabstandet angeordnet und ausgebildet, dass durch die Messöffnung entweichende, im Inneren der Abgasabführeinrichtung erzeugte elektromagnetische Strahlung wenigstens teilweise durch die Photodiode detektierbar ist. Dabei wird ausgenutzt, dass die Moleküle typische Energieniveaus aufweisen und Elektronen dieser Moleküle bei einem Zustandsübergang Photonen abstrahlen. Dabei sind Zustandsübergänge im Sinne der Erfindung Änderungen in den Energieniveaus der Elektronen, welche bei einem Übergang von einem energetisch höheren zu einem energetisch niedrigeren Niveau Photonen, also elektromagnetische Strahlung, abstrahlen.

Elektromagnetische Strahlung eines spezifischen Wellenlängenbereiches ist im Sinne der Erfindung die elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen in einem bestimmten vorgegebenen Bereich. Dieser Bereich wird meist durch einen oder mehrere spektrale/n Filter vorgegeben. Der spezifische Wellenlängenbe-

reich entspricht dabei einem charakteristischen Verlauf des spektralen Filters, wobei unterschiedliche Wellenlängen je nach Charakteristik des spektralen Filters unterschiedlich stark durch den spektralen Filter transmittiert werden.

Der spektrale Filter ist zwischen der Photodiode und der Messöffnung angeordnet und filtert die elektromagnetische Strahlung bevor sie auf die Photodiode trifft. Dadurch erreicht nur die elektromagnetische Strahlung des spezifischen Wellenlängenbereiches entsprechend der Kennlinie des spektralen Filters die Photodiode und wird detektiert.

Vorzugsweise weist der spektrale Filter eine molekülspezifische Transmissionskennlinie auf.

Die Abgasabführeinrichtung kann dabei rohrförmig ausgebildet sein.

Hinter der Luftzuführöffnung bedeutet im Sinne der Erfindung in Strömungsrichtung des Abgasstromes hinter der Luftzuführöffnung angeordnet. Dabei bedeutet hinter der Luftzuführöffnung insbesondere, dass die Messöffnung auf der von der Luftzuführöffnung aus gesehen dem Ofengefäß abgewandten Seite angeordnet ist.

Vorzugsweise ist die Luftzuführöffnung als Luftzuführring ausgebildet.

Eine derartige Anordnung der Messöffnung und der beabstandet davon angeordneten Photodiode hinter der Luftzuführöffnung ist bemerkenswert, da die zuströmende Luft zu einer Veränderung der Zusammensetzung des Gasgemisches in der Abgasabführeinrichtung führt. Es strömt dabei weiteres CO_2 und O_2 durch die Luftzuführöffnung ein und ändert die Menge an CO_2 bzw. CO oder anderer heteromolekularer Gase wie zum Beispiel H_2O, CH_4, NO_x, SO_x in der Abgasabführeinrichtung, da es durch den Sauerstoff in der einströmenden Luft zu Reaktionen mit den heteromolekularen Molekülen im heißen Abgas kommt. Überraschenderweise kann die Messeinrichtung zur Bestimmung der Absolutkonzentration an der Abgasabführeinrichtung dennoch hinter der Luftzuführöffnung angeordnet sein, obwohl weiteres CO_2 und O_2 durch die Luftzuführöffnung einströmt und die Menge an CO_2 und CO oder eines anderen heteromolekularen Gases in der Abgasabführeinrichtung verändert. Die Ursache dafür ist, dass

zum einen die einströmende Luft eine derart geringe Temperatur aufweist, dass die ausgesandte Anzahl an Photonen durch diese Moleküle klein genug ist, um die Messung nicht zu beeinflussen und dass zum anderen die Nachverbrennung von CO zu CO_2 oder eine Reaktion mit einem anderen heteromolekularem Gas erst im Verlaufe der Vermischung der eingeströmten Luft mit dem Abgasstrom erfolgt. Die weitere Reaktion, bei der CO zu CO_2 reagiert, sowie auch die anderen noch erfolgenden reaktiven Prozesse erfolgen im Wesentlichen erst im weiteren Verlauf, also in Strömungsrichtung des Abgasstromes nach der Messöffnung. Dadurch kann die heiße Gasströmung durch die kalte eingeströmte Luft hindurch gemessen werden. Die kalte eingeströmte Luft liegt nach der Art eines Gasschleiers um das heiße Gas oder Abgas herum, wobei die Zustandsübergänge des heißen Gases oder Abgases aufgrund der hohen Temperaturen über der Detektionsschwelle liegen und bestimmbar sind. Dadurch kann vorteilhaft die Gaszusammensetzung des heißen Abgases an einer Stelle ermittelt werden, die durch den Abstand zum Ofengefäß sowie die zuströmende Luft weniger großen Temperaturen ausgesetzt ist. Insbesondere bei der bevorzugten Ausbildung der Luftzuführöffnung in Form eines Rings führt die Unterbrechung der Abgasabführeinrichtung zu einer gewissen thermischen Trennung und einer mechanischen Trennung der Abgasabführeinrichtung und ist dadurch besonders geeignet.

Die Messöffnung ist nach einer geeigneten Ausführungsform mittels eines transparenten Materials, bevorzugt in Form eines Schutzglases, verschlossen.

Eine vorteilhafte Variante sieht vor, dass an der Abgasabführeinrichtung wenigstens zwei Messöffnungen mit wenigstens zwei davon beabstandet angeordneten Photodioden angeordnet sind. Bevorzugt sind sogar drei oder vier Messöffnungen mit wenigstens drei oder vier Photodioden an der Abgasabführeinrichtung angeordnet. Alternativ können an einer Messöffnung auch zwei oder mehr Photodioden beabstandet angeordnet sein. Relevant ist dabei, dass jegliche Messöffnungen mit daran beabstandet angeordneten Photodioden hinter der Luftzuführöffnung angeordnet sind. Bevorzugt weist jede Photodiode einen unterschiedlichen spektralen Filter auf, sodass unterschiedliche Wellenlängenbereiche mittels der einzelnen Photodioden detektierbar sind.

Jede Photodiode ist in der Sichtachse der durch die Messöffnung hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung angeordnet.

Vorzugsweise verläuft von der Messöffnung zur Photodiode ein Messkanal. Der Messkanal ist dabei nicht transparent ausgebildet und schützt dadurch die Messung vor negativen äußeren Einflüssen, wie beispielsweise Störstrahlung. Der Messkanal ist also zwischen der Messöffnung und der Photodiode ausgebildet.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des metallurgischen Schmelzofens sieht vor, dass dieser eine Heizeinrichtung zum Schmelzen des Metalls im Schmelzbad aufweist. Bevorzugt sind an der Heizeinrichtung mehrere elektrisch betriebene Elektroden zur Erzeugung von Lichtbögen angeordnet. Ein solcher metallurgischer Schmelzofen wird auch als Lichtbogenofen bezeichnet.

Bevorzugt ist zur Verstärkung der durch die Photodiode erzeugten elektrischen Signale ein Messverstärker an der Photodiode angeordnet. Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung sind sowohl der spektrale Filter als auch die Photodiode und der Messverstärker innerhalb eines Gehäuses angeordnet.

Vorzugsweise ist entweder die Photodiode oder der Messverstärker zur Verarbeitung des erzeugten elektrischen Signals mit einer Auswerteeinheit verbunden. Aufgrund der durch die Photodiode detektierten elektromagnetischen Strahlung kann die Auswerteeinheit dann die Menge einzelner Gaskomponenten ermitteln.

Um die Absolutkonzentration von heteromolekularem Gas in heißen Gasen, also den Anteil an heteromolekularem Gas, ermitteln zu können, wird dabei ausgenutzt, dass ein heißes Gas mit einer gegebenen Temperatur T und gegebenem Druck im Bereich des Normaldrucks, also mit Abweichungen von +/-10 %, thermisch angeregte heteromolekulare Moleküle enthält, die Photonen aussenden. Dabei ist die notwendige Temperatur $T > 400$ K, damit die Anzahl der ausgesendeten Photonen ein Niveau erreicht, ab dem die Photodiode Photonen detektieren kann.

Bevorzugt erfolgt die Berechnung der Dichte und des Molekülabstands im Gasgemisch bei gegebener Temperatur über die ideale Gasgleichung, und es kann in Verbindung mit den Informationen zur Geometrie der Komponenten, hier also insbesondere die Geometrie der Abgasabführeinrichtung sowie die Einbaubedingungen der Messöffnungen sowie der Photodiode, die Anzahl angeregter Moleküle ermittelt werden.

Die Photodiode ist vorzugsweise zur Detektion im infraroten Bereich, beispielsweise aus InAsSb, ausgebildet. Alternative Materialen sind InSb, InAs, PbS oder PbSe. Die exakte Kennlinie der Photodiode, insbesondere auch deren temperaturabhängiges Verhalten sowie physikalische und elektrotechnische Eigenschaften der Photodiode sowie die exakte Fläche der Photodiode werden bei der Auswertung genutzt.

Zur differenzierten Detektion der Gasbestandteile wird nach einer möglichen Variante pro gewünschtem Molekül ein spektraler Filter oder alternativ eine Kombination aus mehreren spektralen Filtern mit definierten Spektralbereichen verwendet.

Ein solcher Filter oder eine solche Kombination aus mehreren Filtern wird als molekülspezifischer Filter bezeichnet. Diese molekülspezifischen spektralen Filter werden verwendet, um eine Selektion der Photonen aus Infrarot-Banden, welche auch als IR-Banden bezeichnet werden, des gewünschten heteromolekularen Moleküls ermitteln zu können. IR-Bande sind dabei im Sinne der Erfindung typische spektrale Verläufe der abgestrahlten elektromagnetischen Strahlung mit identischen Maxima, welche molekülspezifisch unterschiedlich ausgeprägt sein können. Aus den IR-Banden können die Wellenlänge der molekülspezifischen Maxima sowie auch deren typisches Intensitätsverhältnis ermittelt werden. Dabei ist die genaue Kenntnis der Kennlinie des spektralen Filters als Grundlage für die quantenmechanische und statistische Auswertung notwendig. Aus der Kennlinie kann dann ermittelt werden, welcher IR-Übergang in welchem Maße zur Messung beiträgt. Es wird dabei ein geeigneter molekülspezifischer Ausschnitt aus der Gesamt-IR-Bande analysiert.

Die Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zur Bestimmung von heteromolekularem Gas, welches in einem Schmelzofen entsteht, mittels eines erfindungsgemäßen Schmelzofens mit einer Auswerteeinheit gelöst, welches folgende Schritte umfasst:

a) Leiten des einen Anteil an heteromolekularem Gas aufweisenden Gases durch eine Abgasabführeinrichtung,
b) Zuführung von kühler Luft zu dem Abgasstrom,
c) Detektion der durch das Gas ausgesandten elektromagnetischen Strahlung einer spezifischen Wellenlänge mittels der Photodiode mit spektralem Filter,
d) Bestimmung des Anteils an heteromolekularem Gas mittels der Auswerteeinheit.

Die Übergangsrate, also die Anzahl der Photonen, die pro Molekül abgestrahlt werden, führt bei Kenntnis der Temperatur zu einem charakteristischen Emissionsspektrum für jedes Molekül. Daraus kann unter Beachtung der Geometrie des erfindungsgemäßen metallurgischen Schmelzofens, unter Berücksichtigung der Kennlinien der spektralen Filter und Photodioden sowie der Eigenschaften des Messverstärkers eine Konzentrationskennlinie für unterschiedliche Molekülkonzentrationen erstellt werden. In der Auswerteeinheit können bevorzugt verschiedene Konzentrationskennlinien gespeichert werden, sodass der Ausgabestrom des Messverstärkers für eine bestimmte Konfiguration des metallurgischen Schmelzofens Informationen über die Konzentration des Gases liefert. Bei bekannter Temperatur kann daraus direkt die Menge der strahlenden Moleküle, also die Absolutkonzentration der Moleküle, ermittelt werden.

Die Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zur Bestimmung der Menge an in einem metallurgischen Schmelzofen entstehendem heteromolekularem Gas mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Auswerteeinheit gelöst, welches folgende Schritte umfasst:

a) Leiten des einen Anteil an heteromolekularem Gas aufweisenden Gases durch eine Abgasabführeinrichtung,
b) Zuführung von kühler Luft zu dem Abgasstrom,

c) Detektion der durch das Gas ausgesandten elektromagnetischen Strahlung einer spezifischen Wellenlänge mittels der Photodiode mit spektralem Filter,

d) Bestimmung der Temperatur und Weiterleiten der Temperatur an die Auswerteeinheit,

d) Bestimmung der Menge an heteromolekularem Gas mittels der Auswerteeinheit.

Vorzugsweise ist der spektrale Filter, durch den die ausgesandte Strahlung gefiltert wird, ein molekülspezifischer Filter.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Temperatur eines wenigstens zum Teil ein heteromolekulares Gas enthaltenden Gases mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit wenigstens zwei Photodioden und wenigstens zwei unterschiedlichen spektralen Filtern, folgende Schritte aufweisend:

a) Leiten des einen Anteils an heteromolekularem Gas aufweisenden Gases durch eine Abgasabführeinrichtung,

b) Zuführung von kühler Luft zu dem Abgasstrom,

b) Detektion der durch das Gas ausgesandten elektromagnetischen Strahlung wenigstens zweier spezifischer Wellenlängen oder zweier IR-Bande mittels der Photodiode,

c) Bestimmung der Temperatur des Gases durch Abgleich mit temperaturabhängigen Emissionskennlinien des Gases.

Das Auswerteprinzip beruht hier darauf, dass bei gegebenem Molekül die IR-Bande, also die Anzahl sowie die Wellenlänge der abgestrahlten Photonen der Zustandsübergänge für ein spezielles Molekül, nur noch von der Temperatur abhängen. Somit lässt sich nach einer Auswertung der IR-Bande, wenn also die Molekülzusammensetzung bekannt ist, die Aussage treffen, wie viele Photonen bei gegebener Temperatur von einem Molekül abgestrahlt werden. Setzt man nun beide ermittelte IR-Bande, also die Höhe der beiden Photodiodenströme, ins Verhältnis zueinander, so erhält man eine Kennlinie, die nur noch von der Gastemperatur abhängt und unabhängig ist von der Konzentration dieses Mo-

leküls und der Geometrie des metallurgischen Schmelzofens sowie der Anordnung der Messöffnungen und der Photodioden. Die Bestimmung der Temperatur des Gases nach Schritt d) durch Abgleich mit temperaturabhängigen Emissionskennlinien des Gases beinhaltet somit bevorzugt zunächst den Schritt der Bestimmung des Anteils an heteromolekularem Gas mittels der Auswerteeinheit.

Zur Ermittlung der Intensität der elektromagnetischen Strahlung in zwei unterschiedlichen Wellenlängenbereichen werden zwei Filter-Photodioden-Kombinationen verwendet. Die Geometrie der spektralen Filter und Dioden wird dabei nur relevant, wenn sie sich voneinander unterscheiden. Bei zwei identischen spektralen Filter-Photodioden-Kombinationen ist eine Beachtung nicht notwendig, andernfalls kann dies rechnerisch berücksichtigt und korrigiert werden.

Die beiden spektralen Filter müssen unterschiedliche spektrale Bereiche abdecken, wobei ein Überlapp möglich ist. Es ist dabei darauf zu achten, dass eine ausreichende Konzentration der Molekülsorte, deren Spektrum genutzt wird, vorhanden ist, sodass eine Detektion möglich ist. Die Messung muss unterhalb des Sättigungsbereichs der Temperaturkennlinie durchgeführt werden. Für eine eindeutige Temperaturermittlung ist eine monotone Kennlinie erforderlich. Dies sollte bei der Auswahl des ausgewerteten Moleküls berücksichtigt werden. Eine möglichst schmalbandige Filterung, also unter Verwendung eines Filters, welcher nur einen kleinen Wellenlängenbereich durchlässt, gewährleistet dabei einen möglichst geringen Einfluss anderer Moleküle auf die Messergebnisse. Vorzugsweise weist der spektrale Filter einen Transmissionsbereich, also einen Bereich, in dem die Strahlung zu wenigstens 50 %, vorzugsweise wenigstens 70 %, besonders bevorzugt zu wenigstens 85 %, transmittiert wird, auf, der eine Breite von maximal 10 µm, vorzugsweise maximal 9 µm, bevorzugt maximal 4 nm, hat. Eine vorteilhafte Variante des Verfahrens sieht vor, dass Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche ausgewertet werden, bei denen im Wesentlichen eine Molekülsorte abstrahlt, also ein Maximum aufweist.

Nach einer möglichen Ausführung werden zwei spektrale Bereiche betrachtet, wodurch eine gegenseitige Korrektur möglich ist. Eine Variante sieht außerdem vor, dass eine mittels einer alternativen Methode ermittelte Gastemperatur zur Kontrolle und/ oder Korrektur genutzt wird.

Bevorzugt weist ein spektraler Filter Schichten aus dielektrischen Materialien, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe der Oxide, wie beispielsweise Titandioxid (TiO_2), Hafniumdioxid (HfO_2), Tantalpentoxid (Ta_2O_5), Siliziumdioxid (SiO_2), Yttriumoxid (Y_2O_3), und/oder der Fluoride, wie beispielsweise Magnesiumflourid (MgF_2) oder Bariumflourid (BaF_2) oder YF_3,und/oder der Sulfide, wie beispielsweise Zinksulfid (ZnS), und/oder der Selenide, wie beispielsweise Zinkselenid (ZnSe), auf. Die Schichtdicken werden so gewählt, dass aufgrund von konstruktiver und destruktiver Interferenz vorgegebene Transmissionseigenschaften erreicht werden können.

Nach einer möglichen Ausgestaltung sind der spektrale Filter oder die spektralen Filter als Halbleiterfilter ausgebildet. Diese wirken als Absorptionsfilter, insbesondere für elektromagnetische Strahlung unterhalb einer bestimmten Wellenlänge, die als Absorptionskante gilt. Aufgrund der Bandlücke kann elektromagnetische Strahlung oberhalb der Absorptionskante zu einem hohen Anteil transmittiert werden.

Halbleiterfilter haben lange Wellendurchgangseigenschaften und bestehen aus beschichteten, optisch polierten Halbleiterscheiben, die häufig zum Schutz in Halterungen montiert sind. Wegen ihrer sehr hohen Absorption im Sperrbereich sind sie besonders nützlich in IR-Gittermonochromatoren, also spektralen Filtern zur Transmission in einem kleinen Bereich der infraroten Strahlung, zur Eliminierung von Spektren höherer Ordnung. Ein Einsatz von Halbleiterfiltern ist besonders vorteilhaft, da die Spektren höherer Ordnung, also geringerer Wellenlänge und hoher Energie besonders störend sind, wenn Hochtemperaturquellen verwendet werden.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung weist ein spektraler Filter, insbesondere ein spektraler Filter aus dielektrischen Materialien oder ein Halbleiterfilter, auf einer Seite, vorzugsweise der Strahlungseingangsseite, die der eingestrahlten

elektromagnetischen Strahlung zugewandt angeordnet wird, oder auf der Strahlungseingangsseite und auf der Strahlungsausgangsseite, die also der Photodiode zugewandt angeordnet wird, eine Antireflexionsbeschichtung auf. Dadurch wird die Transmission der elektromagnetischen Strahlung, welche den spektralen Filter passieren soll, erhöht. Vorteilhaft können so Verbesserungen bis zu 60 % gegenüber spektralen Filtern ohne eine solche Antireflexionsbeschichtung erreicht werden. Es werden bei Anordnung des spektralen Filters vor einer Photodiode also bis zu 60 % mehr Strahlung der relevanten Wellenlänge bis zur Photodiode gelangen und können dann von dieser detektiert werden.

Die spektralen Filter sind bevorzugt in wenigstens einem Teilbereich des infraroten Spektrums wenigstens teildurchlässig. Vorzugsweise weisen die Antireflexionsbeschichtungen eines solchen spektralen Filters eine Transmission von wenigstens 20 %, bevorzugt wenigstens 30 %, besonders bevorzugt wenigstens 50 % für Wellenlängenbereiche von 3 bis 12 µm, bevorzugt für 3-5 µm oder für 5 bis 8 µm oder für 8 bis 12 µm, auf.

Vorzugsweise sind die Antireflexionsbeschichtungen als Einzelschicht oder als Mehrschichtbeschichtung ausgebildet. Dabei hat eine Einzelschicht den Vorteil, dass sie einfach und kostengünstig zu fertigen ist.

Eine Mehrschichtbeschichtung wiederum kann vorteilhaft für mehrere Einfallswinkel und für mehrere Wellenlängenbereiche optimiert und angepasst werden. Ein bevorzugtes Substratmaterial für eine Mehrschichtbeschichtung ist dabei Germanium. Vorteilhaft können so Transmissionsraten in einzelnen Wellenlängenbereichen von über 95 % erreicht werden.

Bevorzugte Substratmaterialien für eine Antireflexschicht, die aus einer Einzelschicht gebildet wird, sind Germanium, Silizium, Saphir, Zinkselenid oder Galliumarsenid.

Vorzugsweise sind die spektralen Filter als Schmalbandpassfilter ausgebildet. Dabei werden nur schmale Bereiche der Wellenlängen von maximal 6 %, bevorzugt maximal 5 %, eines Spitzenwertes, bei dem die Transmission also maximal ist, transmittiert. Die Dämpfungswerte außerhalb des Durchlassbereiches

sind dabei hoch, sodass die Transmission für Strahlung außerhalb des Bereiches dabei maximal 10 %, bevorzugt maximal 1 %, besonders bevorzugt maximal 0,1 %, ist.

Nach einer möglichen Ausführung werden zwei spektrale Bereiche betrachtet, wodurch eine gegenseitige Korrektur möglich ist. Eine Variante sieht außerdem vor, dass eine mittels einer alternativen Methode ermittelte Gastemperatur zur Kontrolle und/oder Korrektur genutzt wird.

Bevorzugt werden dabei alle im durch den Filter vorgegebenen Spektralbereich liegenden Übergangsniveaus berücksichtigt, die zu einer Temperaturkennlinie führen, sodass die Geometrie des metallurgischen Schmelzofens nicht relevant ist. Eine besonders bevorzugte Variante des Verfahrens sieht zunächst die Temperaturermittlung und daraufhin unter Berücksichtigung der Temperatur die Bestimmung der Konzentration vor.

Die hinterlegten Kennlinien können vorteilhaft theoretisch ermittelt werden, sodass eine Kalibrierung oder Re-Kalibrierung oder ein Einmessen nicht notwendig ist.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile von Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen mit Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1: einen Lichtbogenofen,
Fig. 2: eine Prinzipskizze eines messtechnischen Aufbaus und
Fig. 3: eine Prinzipskizze einer Messeinrichtung mit einer Photodiode.

In **Fig. 1** ist ein als Lichtbogenofen 1a ausgebildeter metallurgischer Schmelzofen 1 zum Schmelzen von Metall dargestellt. Das Metallschmelzbad 2 ist innerhalb eines Ofengefäßes 3 angeordnet. In das Ofengefäß 3 ragt eine Heizeinrichtung 4 hinein, welche drei Elektroden 5 aufweist, die für die Speisung mit Dreiphasenwechselstrom ausgebildet sind. Die durch die elektrische Energie des Lichtbogens 6 erzeugte Wärme wird genutzt, um das Metall im Schmelzbad 2 zu schmelzen. An dem Ofengefäß 3 sind ferner ein Gasbrenner 7 sowie

ein als Sauerstofflanze 8a ausgebildetes Sauerstoffzuführelement 8 angeordnet.

Die im Ofengefäß 3 erzeugten Abgase werden durch eine Abgasöffnung in eine Abgasabführeinrichtung 9 geleitet. Dabei ist zwischen dem Ofengefäß 3 und der Abgasabführeinrichtung 9 ein Abgaskrümmer 10 und eine als Luftzuführring 11a ausgebildete Luftzuführöffnung 11 angeordnet. Durch die Luftzuführöffnung 11 strömt kühle Luft in die Abgasabführeinrichtung 9. Die Luftzuführöffnung 11 ist zwischen dem Ofengefäß 3 und der Abgasabführeinrichtung 9 angeordnet. In der Abgasabführeinrichtung 9 findet eine Nachverbrennung statt, wobei insbesondere Reaktionen unter Beteiligung des einströmenden Sauerstoffs stattfinden.

An der Abgasabführeinrichtung 9 sind weiterhin zwei Photodioden 12 in Abgasströmungsrichtung R hinter der Luftzuführöffnung 11 beabstandet von der Abgasabführeinrichtung 9 angeordnet. Um elektromagnetische Strahlung aus dem Inneren der Abgasabführeinrichtung 9 detektieren zu können, existieren an der Abgasabführeinrichtung 9 zwei Messöffnungen 13, durch welche die elektromagnetische Strahlung in einen Messkanal 14 und dann auf die Photodioden 12 gelangen kann. Messöffnungen 13 können durch ein für die relevante elektromagnetische Strahlung transparentes Material verschlossen sein. Das verhindert das Entweichen der in der Abgasabführeinrichtung 9 strömenden Abgase.

An der Abgasabführeinrichtung 9 ist im weiteren Verlauf nach der Luftzuführöffnung 11 ein Kühler 15 zum Kühlen des Abgasstromes und ein Filter 16 zur Abscheidung von Feststoffteilchen aus dem Abgas angeordnet. Das Abgas wird nachfolgend durch den Saugzug 17 und in den Schornstein 18 geleitet.

In **Fig. 2** ist eine Prinzipskizze eines messtechnischen Aufbaus zum Einsatz an der Abgasabführeinrichtung 9 eines metallurgischen Schmelzofens 1, insbesondere eines Lichtbogenofens 1a, dargestellt. Dabei trifft die elektromagnetische Strahlung aller Wellenlängen 19 auf einen spektralen Filter 20, sodass hinter dem spektralen Filter 20 nur elektromagnetische Strahlung eines spezifischen Wellenlängenbereiches 21 auf die Photodiode 12 weitergeleitet wird. Das

daraufhin durch die Photodiode 12 erzeugte elektrische Signal wird mittels eines Messverstärkers 22 verstärkt und dann durch eine Auswerteeinheit 23 verarbeitet. Die durch die Messwertausgabe 24 ausgegebenen Werte können dann genutzt werden, um die Regelung des hier nicht dargestellten Lichtbogenofens zu optimieren.

Eine Prinzipskizze einer Messeinrichtung mit wenigstens einer Photodiode 12 und einem Messkanal 14 ist in **Fig. 3** dargestellt. Die Messeinrichtung wird mittels eines Montageflanschs 25 an der Außenseite der hier nicht dargestellten Abgasabführeinrichtung befestigt. Die Photodiode 12 ist mit dem spektralen Filter 20 direkt an den Messkanal 14 angrenzend angeordnet.

Zwischen den Messkanälen 14 und dem Inneren der Abgasabführeinrichtung 9 sind in der Wand der Abgasabführeinrichtung 9 hier nicht dargestellte Messöffnungen eingebracht, um die elektromagnetische Strahlung aus dem Inneren der Abgasabführeinrichtung 9 durch den Messkanal 14 in Richtung der Photodioden 12 passieren zu lassen. An dem Ende des Messkanals 14, welches im eingebauten Zustand in Richtung der Abgasabführeinrichtung weist, ist ein transparentes Schutzglas 26 angeordnet. Durch dieses auch als Schutzfenster 26 bezeichnete Schutzglas 26 kann die im Inneren der Abgasabführeinrichtung erzeugte elektromagnetische Strahlung in den Messkanal 14 gelangen, wobei gleichzeitig ein Eindringen von Abgasen in den Messkanal 14 verhindert wird.

Bezugszeichenliste

1	Metallurgischer Schmelzofen
1a	Lichtbogenofen
2	Metallschmelzbad, Schmelzbad
3	Ofengefäß
4	Heizeinrichtung
5	Elektrode, Heizeinrichtung
6	Lichtbogen
7	Gasbrenner
8	Sauerstoffzuführelement
8a	Sauerstofflanze
9	Abgasabführeinrichtung
10	Abgaskrümmer
11	Luftzuführöffnung
11a	Luftzuführring
12	Photodiode
13	Messöffnung
14	Messkanal , Hülsrohr
15	Kühler
16	Filter
17	Saugzug
18	Schornstein
19	Elektromagnetische Strahlung aller Wellenlängen
20	Spektraler Filter
21	Elektromagnetische Strahlung eines spezifischen Wellenlängenbereiches
22	Messverstärker

23 Auswerteeinheit

24 Messwertausgabe

25 Montageflansch

26 Schutzglas, Schutzfenster

R Abgasströmungsrichtung

Patentansprüche

1. Metallurgischer Schmelzofen (1), aufweisend ein Ofengefäß (3) zum Schmelzen von Metall mit einer daran angeordneten Abgasabführeinrichtung (9) zum Abführen eines Abgasstromes, wobei an der Abgasabführeinrichtung (9) eine Luftzuführöffnung (11) zum Zuführen von Frischluft zu dem Abgasstrom ausgebildet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abgasabführeinrichtung (9) hinter der Luftzuführöffnung (11) wenigstens eine Messöffnung (13) aufweist und dass außerhalb der Abgasabführeinrichtung (9) an der Messöffnung (13) eine Photodiode (12) mit einem spektralen Filter (20) zur Separation der elektromagnetischen Strahlung eines spezifischen Wellenlängenbereiches (21) derart beabstandet angeordnet und ausgebildet ist, dass durch die Messöffnung (13) entweichende, im Inneren der Abgasabführeinrichtung (9) erzeugte elektromagnetische Strahlung (19) wenigstens teilweise durch die Photodiode (12) detektierbar ist.

2. Metallurgischer Schmelzofen (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schmelzofen eine Heizeinrichtung (5) zum Schmelzen von Metall im Schmelzbad (2) aufweist.

3. Metallurgischer Schmelzofen (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schmelzofen eine Heizeinrichtung (5) mit mehreren elektrisch betriebenen Elektroden (5) zur Erzeugung von Lichtbögen aufweist.

4. Metallurgischer Schmelzofen (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Messöffnung (13) mittels eines transparenten Materials verschlossen ist.

5. Metallurgischer Schmelzofen (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Photodiode (12) in der Sichtachse der durch die Messöffnung (13) hindurchtretenden elektromagnetischen Strahlung angeordnet ist.

6. Metallurgischer Schmelzofen (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Verstärkung der durch die Photodiode (12) erzeug-

ten elektrischen Signale ein Messverstärker (22) an der Photodiode (12) angeordnet ist.

7. Metallurgischer Schmelzofen (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass an der Abgasabführeinrichtung (9) wenigstens zwei Messöffnungen (13) mit wenigstens zwei davon beabstandet angeordneten Photodioden (12) angeordnet sind.

8. Metallurgischer Schmelzofen (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Photodiode (12) oder der Messverstärker (22) zur Verarbeitung des erzeugten elektrischen Signals mit einer Auswerteeinheit (23) verbunden ist.

9. Verfahren zur Bestimmung von in einem metallurgischen Schmelzofen (1) entstehendem heteromolekularem Gas mittels eines metallurgischen Schmelzofens (1) nach Anspruch 8, folgende Schritte umfassend:
   a) Leiten des einen Anteil an heteromolekularem Gas aufweisenden Gases durch eine Abgasabführeinrichtung (9),
   b) Zuführung kühler Luft zu dem Abgasstrom,
   c) Detektion der durch das Gas ausgesandten elektromagnetischen Strahlung eines spezifischen Wellenlängenbereiches (21) mittels der Photodiode (12),
   d) Bestimmung des Anteils an heteromolekularem Gas mittels der Auswerteeinheit (23).

10. Verfahren zur Ermittlung der Temperatur eines ein heteromolekulares Gas enthaltendes Gases mittels eines metallurgischen Schmelzofens (1) nach Anspruch 8, welcher wenigstens zwei Photodioden (12) und wenigstens zwei unterschiedliche spektrale Filter (20) aufweist, folgende Schritte umfassend:
   a) Leiten des einen Anteil an heteromolekularem Gas aufweisenden Gases durch die Abgasabführeinrichtung (9),
   b) Zuführung kühler Luft zu dem Abgasstrom,
   c) Detektion der durch das Gas ausgesandten elektromagnetischen Strahlung wenigstens zweier spezifischer Wellenlängenbereiche (21) mittels der Photodiode (12),

d) Bestimmung der Temperatur des Gases durch Abgleich mit temperaturabhängigen Emissionskennlinien des Gases.

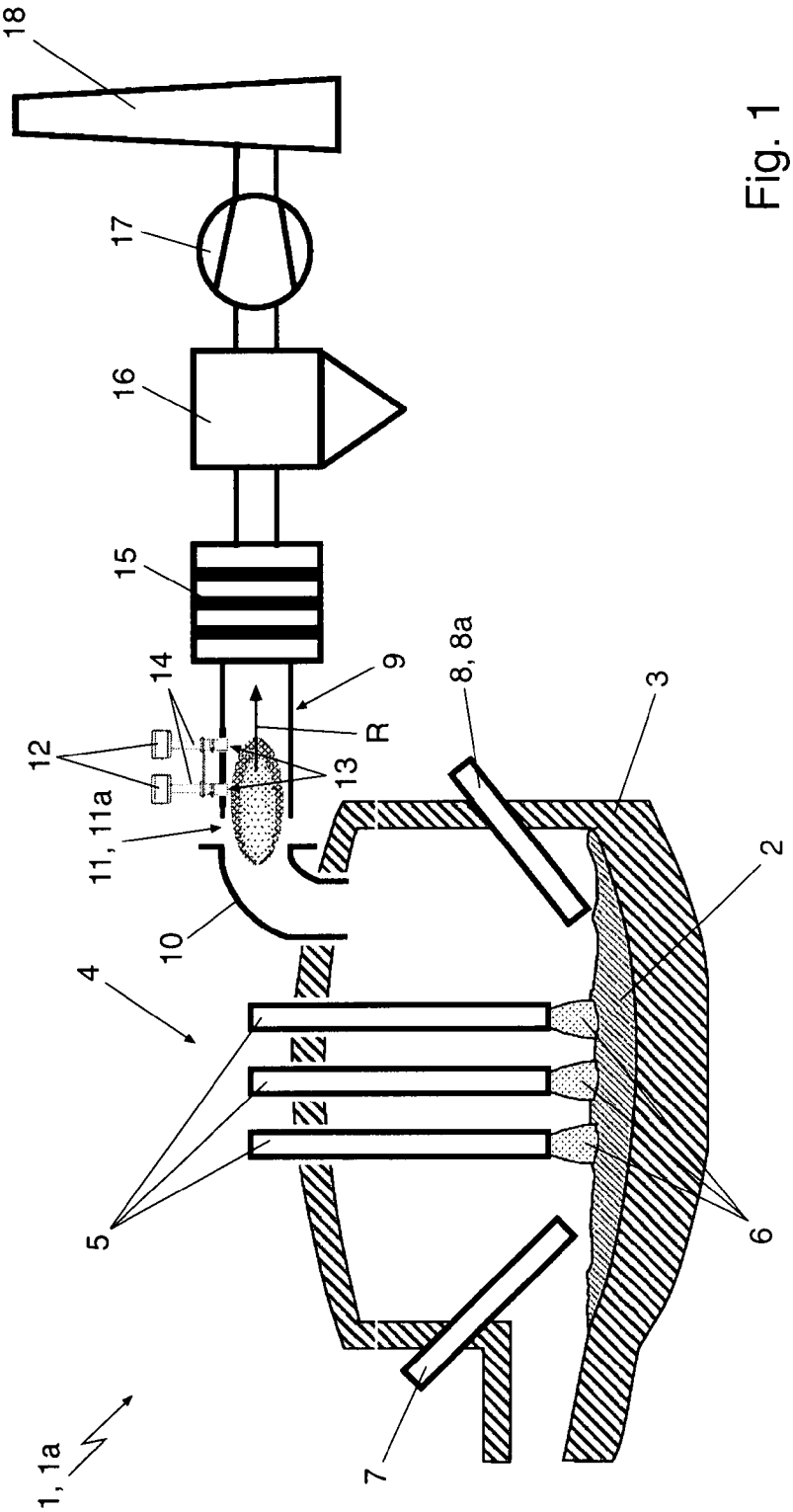

Fig. 1

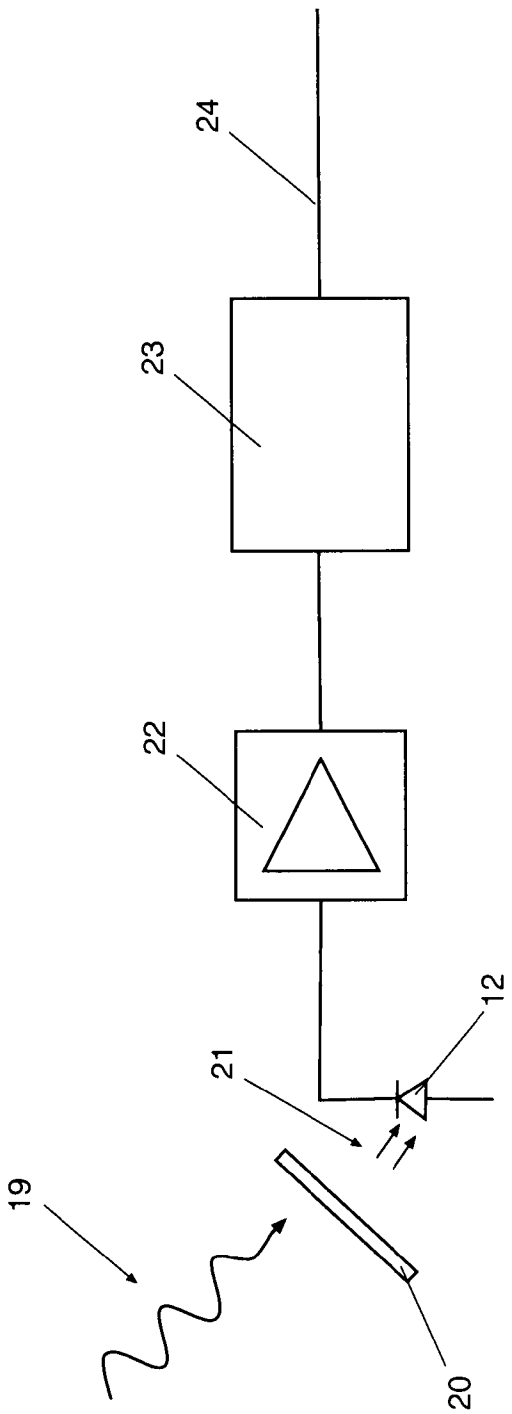

Fig. 2

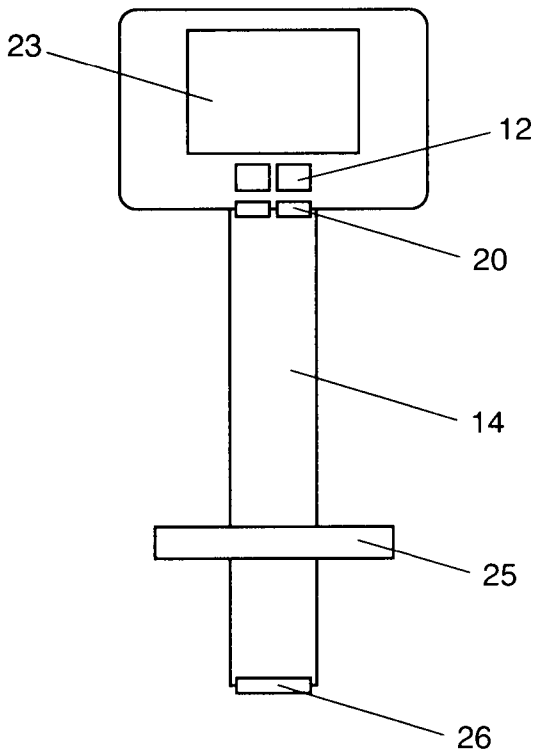

Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/DE2022/000097

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C21C 5/46(2006.01)i; ***F27B 3/28***(2006.01)i; ***F27D 19/00***(2006.01)i; ***G01N 21/53***(2006.01)i; ***G01N 21/71***(2006.01)i

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)

F27B; F27D; C21C; 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 2009102103 A1 (THOMSON MURRAY [CA] ET AL) 23 April 2009 (2009-04-23) cited in the application figures 2,3 paragraph [0053] paragraph [0072] - paragraph [0074]	1-10
A	DEGREIF K ET AL. "verbesserung der Energieeffizienz des E-Ofens durch laserbasierte Optimierung der Nachverbrennung" *STAHL UND EISEN*, Vol. 130, No. 4, 16 April 2010 (2010-04-16), pages 73-80 ISSN: 0340-4803, XP001558173 the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
14 December 2022	**23 December 2022**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Peis, Stefano** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/DE2022/000097

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US 2009102103 A1	23 April 2009	CA 2541092 A1	28 September 2007
		CA 2644472 A1	04 October 2007
		US 2009102103 A1	23 April 2009
		WO 2007109875 A1	04 October 2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2022/000097

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. C21C5/46 F27B3/28 F27D19/00 G01N21/53 G01N21/71
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F27B F27D C21C 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 2009/102103 A1 (THOMSON MURRAY [CA] ET AL) 23. April 2009 (2009-04-23) in der Anmeldung erwähnt Abbildungen 2,3 Absatz [0053] Absatz [0072] - Absatz [0074] -----	1-10
A	DEGREIF K ET AL: "verbesserung der Energieeffizienz des E-Ofens durch laserbasierte Optimierung der Nachverbrennung", STAHL UND EISEN,, Bd. 130, Nr. 4, 16. April 2010 (2010-04-16), Seiten 73-80, XP001558173, ISSN: 0340-4803 das ganze Dokument -----	1-10

☐ 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
14. Dezember 2022	23/12/2022

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Peis, Stefano

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2022/000097

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2009102103 A1	23-04-2009	CA 2541092 A1	28-09-2007
		CA 2644472 A1	04-10-2007
		US 2009102103 A1	23-04-2009
		WO 2007109875 A1	04-10-2007