



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 18 955 T2 2006.04.20**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 218 623 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 18 955.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/26606**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 965 486.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/025602**

(86) PCT-Anmeldetag: **28.09.2000**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **12.04.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.07.2002**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **23.03.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.04.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F01N 3/20 (2006.01)**

**F01N 3/28 (2006.01)**

**B01D 53/34 (2006.01)**

**B01D 53/88 (2006.01)**

**B01D 53/94 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**412270 05.10.1999 US**

(73) Patentinhaber:

**Precision Combustion, Inc., North Haven, Conn.,  
US**

(74) Vertreter:

**Loesenbeck und Kollegen, 33602 Bielefeld**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**ROYCHOUDHURY, Subir, Madison, IN;  
PFEFFERLE, C., William, Madison, US**

(54) Bezeichnung: **EIN KATALYTISCHER REAKTOR FÜR DIE STEIGERUNG EINER CHEMISCHEN REAKTION AUF EIN DURCHSTRÖMENDES FLUID**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

**[0001]** Diese Erfindung wurde mit Regierungsunterstützung im Rahmen des NASA-SBIR-Phase II-Vertrags NAS8-40573 gemacht. Die US-Regierung hat bestimmte Rechte an dieser Erfindung.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## GEBIET DER ERFINDUNG

**[0002]** Die Erfindung ist ein katalytischer Reaktor zur Förderung einer chemischen Reaktion an einem Fluid, das diesen durchläuft. Insbesondere ist die Vorrichtung eine Konstruktion für eine schrittweise Erhitzung eines Fluids, das diese durchläuft, so, dass das Fluid eine Temperatur erlangt oder beibehält, bei der die gewünschte chemische Reaktion bei Vorhandensein eines Katalysators auftreten kann.

KURZE BESCHREIBUNG DES STANDS DER  
TECHNIK

**[0003]** Katalytisch unterstützte Reaktionen werden bei zahlreichen Anwendungen verwendet, wobei der Kfz-Katalysator eine der bekannteren ist. Katalysatorkennlinien schreiben vor, dass diese Reaktionen in einem bestimmten Temperaturbereich stattfinden, wobei der Betriebstemperaturbereich chemieabhängig ist. Wenn ein Katalysator seinen Betriebstemperaturbereich erreicht, wird gesagt, dass er anspringt, vor Erreichen des Anspringens ist der Katalysator zu kalt, um die gewünschte Reaktion zu unterstützen. Nach dem Anspringen muss die Katalysatortemperatur aufrechterhalten werden, um die Reaktion zu unterstützen.

**[0004]** Verschiedene Verfahren sind angewandt worden, um die Temperatur des Katalysators zu erhöhen, um das Anspringen zu erreichen und/oder die Betriebstemperatur aufrechtzuerhalten. Bei einem üblichen Verfahren wird die Wärmeenergie in dem Fluid genutzt, an dem die chemische Reaktion auftreten soll. Bei diesem Ansatz, der bei Kfz-Katalysatoren üblich ist, wird die Wärme in dem Abgas, die bei der Verbrennung im Motor entsteht, an den nachgeschalteten Katalysator abgegeben.

**[0005]** Bei einem zweiten Verfahren, das fluidunabhängig ist, wird eine Hilfs-Wärmequelle verwendet. Die häufigste Hilfsquelle wird durch Elektrizität erzeugt. Bei diesem Verfahren ist das Substrat, das den Katalysator unterstützt, ein elektrisch leitfähiges Material, das sich durch seinen elektrischen Widerstand erhitzt, wenn eine elektrische Spannung über das Substrat aufgebracht wird. Hilfs-Wärmequellen werden vor allem dann benutzt, wenn die Gewinnung von Wärme aus dem Fluid entweder zu langsam ist, um ein rechtzeitiges Anspringen des Katalysators zu bewirken, oder wenn die Wärme des Fluids unterhalb

der Anspringtemperatur des Katalysators liegt.

**[0006]** Hilfs-Wärmequellen sind, wie der Name nahe legt, Systeme zusätzlich zu dem primären System. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, dass diese Hilfs-Wärmesysteme auf hoch effiziente Art den Katalysator auf die geeignete Betriebstemperatur bringen oder auf dieser halten. Im einschlägigen Fachbereich ist die Effizienz von Metallsubstrat-Katalysatoren mit extrem kurzem Kanal gut bekannt. Wenn diese Katalysatoren gebündelt werden, haben die dabei entstehenden Elemente jedoch einen extrem geringen Widerstand, was eine elektrische Aufheizung wegen des hohen Strombedarfs für eine gegebene elektrische Spannung, der zu übermäßig vielen Stromquellen und Kabeln führt, unpraktisch macht. Gegenwärtig wird das Problem durch Beabstandung zu lösen versucht, aber die dabei entstehenden Vorrichtungen sind extrem lang.

**[0007]** Weiterhin offenbaren das US-Patent 5,582,805, Patentzusammenfassungen von Japan (Band 1995, Nr. 4, 31. Mai 1995) und das japanische Patent JP 07 019035 elektrische Heizvorrichtungen, die durch Isolationsmaterial getrennt sind. Solche Heizvorrichtungen und ihre entsprechenden Isolationsmaterialien umfassen jedoch keine ersten und zweiten Strömungskanäle, die bezüglich einander fluchten.

**[0008]** Ein Verfahren für eine effiziente Bündelung, das eine elektrische Hilfs-Aufheizung durch Widerstand ermöglicht, ist erforderlich.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0009]** Die Erfindung ist ein katalytischer Reaktor zur Förderung einer chemischen Reaktion an einem Fluid, das diesen durchläuft. Die Erfindung besteht aus einer Vielzahl von Heizelementen, wobei jedes Element eine Vielzahl von Strömungskanälen aufweist. Die Kanäle der Heizelemente fluchten so miteinander, dass ein durch den Reaktor strömendes Fluid nacheinander durch jedes Heizelement läuft, wodurch das Fluid schrittweise erhitzt wird.

**[0010]** Bei der vorliegenden Ausführungsform der Erfindung ist das Heizelement aus einem einzelnen Stück Streckmetall hergestellt. Dies stellt jedoch keine Einschränkung dar. Bei dieser Erfindung kann ein Heizelement eine beliebige Anzahl von Lagen, z.B. zwei oder drei Lagen Streckmetall, aufweisen. Ein Heizelement ist einfach ein Element, das sich als Einheit gleichmäßig aufheizt.

**[0011]** Die Heizelemente sind elektrisch durch wenigstens einen Isolator voneinander isoliert. Wie das Heizelement umfasst der Isolator eine Vielzahl von Strömungskanälen. Die Isolator-Strömungskanäle sind so zu den Strömungskanälen der Heizelemente

ausgerichtet, dass das Fluid sowohl durch das Heizelement als auch durch den Isolator strömt.

**[0012]** Die Erfindung kann auch ein Katalysatormerkmal umfassen. Das Katalysatormerkmal kann mit dem wenigstens einen Heizelement, dem wenigstens einen Isolatorelement, einem separaten nachgeschalteten Katalysator oder einer beliebigen Kombination des oben Genannten in Verbindung stehen. Diese Ausführungsform umfasst ein Katalysatormerkmal in den Heizelementen, den Isolatorelementen und einem nachgeschalteten Katalysator. Bei dieser Ausführungsform hat der Isolator die Doppelfunktion, den Katalysator zu isolieren und zu unterstützen.

**[0013]** Die erfindungsgemäßen Heizelemente sind aus elektrisch leitfähigem Material hergestellt. Die Isolatoren sind aus gewebtem Silikagarn hergestellt, das nicht elektrisch leitfähig ist. Die Heizelemente sind elektrisch verbunden, vorzugsweise in Reihenschaltung, wobei die Isolatoren dafür sorgen, dass kein elektrischer Kurzschluss zwischen den Heizelementen auftritt. Für den Betrieb ist jedes Ende des Stromkreises mit einer elektrischen Energiequelle verbunden. Bei dieser Erfindung war die Energiequelle Gleichstrom.

**[0014]** Der für die Verwendung bei der Erfindung ausgewählte Katalysator ist anwendungsabhängig. Diese Erfindung wird speziell als eine Komponente eines Luftreinigungssystems angewandt, daher sind die aktiven Bestandteile des verwendeten Katalysators Platin und Palladium. Bei dieser Anwendung wurde der Katalysator sowohl an den Heizelementen als auch an den Isolatorelementen angeordnet.

**[0015]** Um einen abgedichteten Strömungsweg durch den katalytischen Reaktor vorzusehen, wurden Dichtungen eingebaut. Eine Dichtung ist nur ein Verfahren zum Abdichten des Reaktor-Strömungswegs. Dichtungen werden nach Bedarf verwendet.

**[0016]** Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wurden drei nachgeschaltete Katalysatoren hinzugefügt. Der nachgeschaltete Katalysator oder die nachgeschalteten Katalysatoren können von beliebiger Bauweise sein. Bei dieser Erfindung bestand der erste nachgeschaltete Katalysator nur aus katalytisch beschichteten Isolatorelementen. Wiederum wurden Dichtungen verwendet, um die Intaktheit des Strömungswegs zu gewährleisten. Der zweite und der dritte nachgeschaltete Katalysator waren Pakete von Microlith-Elementen wie den in dem hier als Quelle angegebenen US-Patent 5,051,241 erwähnten.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0017]** [Fig. 1](#) ist eine Querschnittsdarstellung der Erfindung. Zum Zweck der Illustration ist Raum zwi-

schen den verschiedenen Elementen frei gelassen.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

**[0018]** [Fig. 1](#) ist eine Querschnittsdarstellung des katalytischen Reaktors **10**. Der katalytische Reaktor **10** besteht aus wenigstens zwei Heizelementen **20**, von denen jedes eine Vielzahl von ersten Strömungskanälen **37** bildet, wobei jedes Heizelement durch wenigstens ein Isolatorelement **30**, von denen jedes eine Vielzahl von zweiten Strömungskanälen **35** bildet, vom anderen getrennt ist. Die spezifische Zahl von Heizelementen ist anwendungsabhängig, basierend auf dem gewünschten Temperaturanstieg. Bei dieser Ausführungsform sind die Heizelemente **20** durch elektrische Anschlüsse **45** elektrisch so in Reihe geschaltet, dass ein einziges elektrisches Potenzial **50** verwendet werden kann, um durch Widerstand alle Heizelemente aufzuheizen. Die Kanäle der Heizelemente **20** und des wenigstens einen Isolatorelements **30** fluchten in einer gemeinsamen Strömungsrichtung **11**, so dass das Gas sowohl durch die Heizelemente **20** und die Isolatorelemente **30** strömt. Bei dieser Ausführungsform werden Dichtungen **55** verwendet, wo sie erforderlich sind, um die Intaktheit des Strömungswegs aufrechtzuerhalten.

**[0019]** Die Heizelemente **20** sind katalytisch aktiv, wie auch das wenigstens eine Isolatorelement **30**. Der ausgewählte Katalysator oder die ausgewählten Katalysatoren sind anwendungsabhängig und werden so ausgewählt, wie der Fachmann einen Katalysator wählen würde. Katalytische Aktivität kann auf viele Arten erzielt werden, wie z.B. durch Anordnung des Katalysators auf einem Träger, wie er bei dieser Ausführungsform verwendet wird, oder indem der Träger aus katalytischem Material oder aus Material, das katalytisches Material umfasst, hergestellt wird.

**[0020]** Bei der gezeigten Ausführungsform ist die Erfindung in einem katalytischen Mehrstufenreaktor angeordnet. Der Erfindung vorgeschaltet sind ein erster vorgeschalteter Katalysator **41** und ein zweiter vorgeschalteter Katalysator **40**. Der Erfindung nachgeschaltet sind drei Katalysatoren – eine erster nachgeschalteter Katalysator **60**, ein zweiter nachgeschalteter Katalysator **61** und ein dritter nachgeschalteter Katalysator **62**. Die Verwendung eines Mehrstufenkatalysators ist anwendungsabhängig und ist hier gezeigt, um zu verdeutlichen, wie die Erfindung in einem katalytischen Mehrstufen-Reaktor verwendet werden kann. Es ist hervorzuheben, dass wenigstens ein Isolatorelement **30** und Dichtungen **55** nach Bedarf verwendet wurden, um die elektrische Isolation der Heizelemente **20** und die Intaktheit des Strömungswegs zu sichern.

**[0021]** Die Zahl der Heizelemente ist eine Funktion

des gewünschten Temperaturanstiegs des durch sie hindurchströmenden Gases. Bei einer Anwendung war ein Temperaturanstieg von 40°C gewünscht. Die Heizvorrichtungen sollten durch elektrischen Widerstand aufgeheizt werden. Die elektrischen Konstanten waren wie folgt: Betriebsspannung (V) – 28 V Gleichspannung, Zielleistung (P) – 168 Watt ( $\pm 8$  Watt), maximale Länge jedes Heizelements – 76,2 Millimeter (mm) (3 Inch), und maximale Breite jedes Heizelements – 88,9 mm (3,5 Inch). Diese Anforderungen machten es erforderlich, dass der Widerstand (R) für die gesamte Heizvorrichtungsanordnung 4,45  $\Omega$  betragen musste ( $R = V^2/P$ ). Da die Vorrichtung in einen Zylinder passen musste, der die Breite der Elemente auf ungefähr 88,9 mm (3,5 Inch) begrenzte, waren die Variablen bei der Reaktorkonstruktion die Länge und die Breite jedes Heizelements und die Gesamtzahl der Heizelemente. Da der Widerstand direkt proportional zu der Länge und umgekehrt proportional zu der Breite ist und das Material Elementarzellen in beiden Richtungen hat, kann der Widerstand nur bis zur Präzision der Zellengröße geregelt werden, indem die Länge oder die Breite des Materials ausgewählt wird. Der ungefähre Widerstand des gewählten Materials für eine Breite von 88,9 mm (3,5 Inch) wurde als 0,0118  $\Omega$ /mm (0,30  $\Omega$ /Inch) gemessen. Die Heizvorrichtung war so dimensioniert, dass sie fünf Elemente mit 88,9 mm (3,5 Inch) Breite aufwies, von denen jedes eine Länge von 76,2 mm (3 Inch) hatte und die in Reihe geschaltet waren, so dass sie eine Gesamtlänge von 381 mm (15 Inch) ergaben. Dies ergibt einen Gesamtwiderstand von 4,5  $\Omega$  und eine vorhergesagte Leistungsnutzung von 174 Watt bei 28 Volt Gleichspannung, was innerhalb des Bereichs der Zielleistung liegt.

**[0022]** Die Erfindung wird aufgebaut, indem die Heizelemente, Dichtungen und Isolatoren so geschichtet werden, wie in [Fig. 1](#) gezeigt. Bei dieser Ausführungsform wurden die Heizelemente durch die elektrischen Verbindungen **45** elektrisch in Reihe geschaltet, wobei die oben beschriebenen Anschlüsse **46** verwendet wurden. Eine Reihenschaltung wurde gewählt, da die Heizelemente einen niedrigen Widerstand haben und eine Reihenschaltung den Gesamtwiderstand der Vorrichtung erhöht. Auf der Grundlage einer festgelegten Spannung für die Anwendung verringert dies die erforderliche Stromstärke. Das Schalten von Elementen in Reihe, parallel oder einer Kombination ist jedoch anwendungsabhängig, und Standardverfahren für die Heizvorrichtungskonstruktion können verwendet werden. Das wenigstens eine Isolatorelement **30** wird bei der Erfindung verwendet, um zu gewährleisten, dass kein Kurzschluss zwischen den benachbarten Heizelementen auftritt, daher muss wenigstens ein Isolatorelement **30** jeweils zwischen zwei Heizelementen angeordnet werden.

**[0023]** Die Erfindung ist mit zwei vorgeschalteten Katalysatoren und drei nachgeschalteten Katalysato-

ren gezeigt. Die Zahl und Konfiguration ist anwendungsabhängig und ist hier nur zum Zweck der Illustration dargestellt. Der erste nachgeschaltete Katalysator ist aus zusätzlichen Isolatorelementen **30** und Dichtungen **55** aufgebaut. Der erste vorgeschaltete Katalysator **41** und der zweite nachgeschaltete Katalysator **62** sind aus gewebtem Drahtgeflecht hergestellt.

**[0024]** Die gesamte Anordnung ist durch Bolzen (nicht gezeigt) zwischen zwei Endplatten **84** und **87** gepresst und bildet einen integralen Strömungsweg, so dass das Gas durch die vorgeschaltete Endplatte **84** in die Anordnung eintritt und durch die nachgeschaltete Endplatte **87** austritt.

### Patentansprüche

1. Katalytischer Reaktor (**10**) zur Förderung einer chemischen Reaktion an einem Fluid, das diesen durchläuft, umfassend:

- wenigstens zwei Heizelemente (**20**), von denen jedes eine Vielzahl von ersten Strömungskanälen (**37**) bildet;
- ein Katalysatormittel;
- wenigstens einen Isolator (**30**), der eine Vielzahl von zweiten Strömungskanälen (**35**) bildet, die zwischen zwei beliebigen der Heizelemente (**20**) angeordnet sind, wobei die Heizelemente (**20**) und der wenigstens eine Isolator (**30**) aneinander gedrückt sind; wobei die ersten und die zweiten Strömungskanäle (**35**, **37**) so bezüglich einander fluchten, dass das Fluid abwechselnd durch die Heizelemente (**20**) und den wenigstens einen Isolator (**30**) läuft.

2. Reaktor (**10**) nach Anspruch 1, bei dem das Katalysatormittel mit wenigstens einem der wenigstens zwei Heizelemente (**20**) in Verbindung steht, um eine chemische Reaktion mit dem durchlaufenden Fluid zu fördern.

3. Reaktor (**10**) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Heizelemente (**20**) elektrisch leitfähig sind und weiterhin elektrische Anschlüsse (**45**), die die Heizelemente (**20**) verbinden, wobei die Heizelemente (**20**) elektrisch in Reihe geschaltet sind, sowie ein Mittel zum Verbinden der Reihe von Heizelementen (**20**) mit einer elektrischen Stromquelle (**50**) umfassen.

4. Reaktor (**10**) nach Anspruch 2 oder 3, der weiterhin ein Katalysatormittel umfasst, das mit wenigstens einem des wenigstens einen Isolators (**30**) in Verbindung steht, um eine chemische Reaktion mit dem durchlaufenden Fluid zu fördern.

5. Katalytischer Reaktor (**10**) nach Anspruch 1, bei dem das Katalysatormittel mit wenigstens einem des wenigstens einen Isolators (**30**) in Verbindung steht, um eine chemische Reaktion mit dem durchlaufenden Fluid zu fördern.

6. Reaktor (10) nach Anspruch 5, bei dem die Heizelemente (20) elektrisch leitfähig sind und weiterhin elektrische Anschlüsse (45), die die Heizelemente (20) verbinden, wobei die Heizelemente (20) elektrisch in Reihe geschaltet sind, sowie ein Mittel zum Verbinden der Reihe von Heizelementen (20) mit einer elektrischen Stromquelle (50) umfassen.

7. Katalytischer Reaktor (10) nach einem der vorigen Ansprüche, bei dem das Katalysatormittel weiterhin wenigstens einen Katalysator umfasst, der bezüglich einer Gesamt-Strömungsrichtung stromabwärts der Heizelemente angeordnet ist.

8. Reaktor (10) nach Anspruch 7, bei dem die Heizelemente (20) elektrisch leitfähig sind und weiterhin elektrische Anschlüsse (45), die die Heizelemente (20) verbinden, wobei die Heizelemente (20) elektrisch in Reihe geschaltet sind, sowie ein Mittel zum Verbinden der Reihe von Heizelementen (20) mit einer elektrischen Stromquelle (50) umfassen.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

