(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
10. Januar 2002 (10.01.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/02224 A2

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: B01J 19/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/02509

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. Juli 2001 (04.07.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
100 32 059.7 5. Juli 2000 (05.07.2000) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **MIR-CHEM GMBH** [DE/DE]; Mary-Astell-Strasse 10, 28359 Bremen (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **PLATH, Peter, Jörg** [DE/DE]; Daverden-Tegelhoff 10, 27229 Lanwedel (DE).

(74) Anwalt: **BITTNER, Thomas, L.**; Boehmert & Boehmert, Meinekestrasse 26, 10719 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(national)*: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(regional)*: ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:
— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

WO 02/02224 A2

(54) **Title:** DEVICE FOR CARRYING OUT A CATALYTIC REACTION

(54) **Bezeichnung:** VORRICHTUNG ZUM AUSFÜHREN EINER KATALYTISCHEN REAKTION

(57) **Abstract:** The invention relates to a device for carrying out a tubular catalytic reaction. Said device comprises an arrangement of several microreactors, a channel being embodied respectively between adjacent microreactors in such a way that the tubular catalytic reaction can be developed along the arrangement of the plurality of microreactors.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum Ausführen einer katalytischen Rohrreaktion. Die Vorrichtung weist eine Anordnung mehrerer Mikroreaktoren auf, wobei zwischen benachbarten Mikroreaktoren jeweils ein Kanal so ausgebildet ist, dass sich die ka talytische Rohrreaktion entlang der Anordnung der mehreren Mikroreaktoren ausbilden kann.

Vorrichtung zum Ausführen einer katalytischen Reaktion

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Ausführen einer katalytischen Rohrreaktion, insbesondere eine Katalysatoreinrichtung für Kraftfahrzeuge.

Derartige Vorrichtungen bilden einen Reaktionsapparat, in denen sich eine chemische Rohrreaktion durch den Reaktionsapparat hindurch fortsetzt bzw. sich entlang des Reaktionsapparats entwickelt. Eine Rohrreaktion wird beispielsweise zur Herstellung von Schwefelsäure, zur Ethylen-Hochdruckpolymrisation oder zur kontinuierlichen Polymerisation von Styrol genutzt.

Es ist bekannt, daß zur optimalen Entwicklung der Rohrreaktion entlang eines Weges durch den Reaktionsapparat ein Katalysator entlang dieses Weges in geeigneter Weise angeordnet ist. Hierbei kann es sich um eine gleichmäßige Verteilung des Katalysators entlang des Weges handeln. Es kann jedoch auch notwendig sein, daß sich die Konzentration des Katalysators in verschiedenen Abschnitten des Reaktionsapparats unterscheidet. Zu diesem Zweck werden Katalysatoren mit einer katalytisch inaktiven Beimischung versehen, wobei das Verhältnis des Katalysators zur Beimischung, die insbesondere zur Verdünnung des Katalysators dient, in verschiedenen Abschnitten entlang des Reaktionsapparats unterschiedlich ausgebildet ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, die eine verbesserte Verteilbarkeit des Katalysators entlang des von der Vorrichtung gebildeten Reaktionsapparats ermöglicht.

Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Vorrichtung eine Anordnung mehrerer Mikroreaktoren aufweist, wobei zwischen benachbarten Mikroreaktoren jeweils ein Kanal so ausgebildet ist, daß sich die katalytische Rohrreaktion entlang der Anordnung der mehreren Mikroreaktoren ausbilden kann.

Der wesentliche Vorteil, welcher mit der Erfindung gegenüber dem Stand der Technik erreicht ist, besteht darin, daß in den mehreren Mikroreaktoren entlang des Weges jeweils eine

vorbestimmte, vorzugsweise sehr geringe Katalysatormenge für die Rohrreaktion zur Verfügung gestellt werden kann. Hierdurch kann in Abhängigkeit von dem Zustand, in dem sich die Rohrreaktion in dem jeweiligen Mikroreaktor befindet, eine Katalysatormenge zur Verfügung gestellt werden, die eine optimierte Fortsetzung der Reaktion unterstützt.

Eine zweckmäßige Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß durch den jeweiligen Kanal hindurch ein Stoffmengentransport zwischen den benachbarten Mikroreaktoren ausgebildet ist, so daß die benachbarten Mikroreaktoren stoffmengengekoppelt sind, wodurch in der Vorrichtung Reaktionen ablaufen können, die den Transport von Reaktionszwischenprodukten voraussetzen.

Zweckmäßig ist durch den jeweiligen Kanal hindurch ein Wärmetransport zwischen den benachbarten Mikroreaktoren ausgebildet, so daß die benachbarten Mikroreaktoren wärmegekoppelt sind, wodurch eine Wärmeübertragung zwischen den benachbarten Mikroreaktoren ermöglicht ist.

Eine Fortbildung der Erfindung sieht vor, daß eine Länge des jeweiligen Kanals so ausgebildet ist, daß eine Stoffmengenrückdiffusion aus einem der benachbarten Mikroreaktoren in einen anderen der benachbarten Mikroreaktoren, welcher dem einen Mikroreaktor in einer Reaktionsausbreitungsrichtung vorgeschaltet ist, verhindert ist, wodurch eine rückwirkende Beeinflussung der in dem anderen der benachbarten Mikroreaktoren ablaufenden Teilreaktion der Rohrreaktion auf die in dem einen der benachbarten Mikroreaktoren ablaufende Teilreaktion der Rohrreaktion verhindert ist.

Vorteilhaft kann vorgesehen sein, daß einer oder alle der mehreren Mikroreaktoren Mittel zur Beeinflussung wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem jeweiligen Mikroreaktor aufweisen, wodurch eine gezielte Veränderung von Reaktionsparametern für einzelne Abschnitte entlang des Weges der Rohrreaktion durch die Vorrichtung ermöglicht ist.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die Mittel zur Beeinflußung wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in einem ersten der mehreren Mikroreaktoren mit Erfassungsmitteln zum Erfassen wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in einem zweiten der mehreren Mikroreaktoren miteinander gekoppelt sind, so daß eine Kopplung der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren

Mikroreaktoren mit der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren derart ausbildbar ist, daß eine Beeinflußung des wenigstens einen Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren in Abhängigkeit von dem mit Hilfe der Erfassungsmittel erfaßten wenigstens einen Reaktionsparameter der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren ausführbar ist. Hierdurch ist zur Optimierung der katalytischen Reaktion eine gezielte Beeinflußung der Abschnitte der Reaktion in den mehreren Mikroreaktoren ermöglicht.

Bei einer bevorzugten Fortbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die Mittel zur Beeinflussung wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren mit Erfassungsmitteln zum Erfassen wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren gekoppelt sind, so daß eine Kopplung der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren mit der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren derart ausbildbar ist, daß eine Beeinflussung des wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren in Abhängigkeit von dem mit Hilfe der Erfassungsmittel erfaßten wenigstens einen Reaktionsparameter der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren ausführbar ist. Auf diese Weise ist eine gegenseitige Beeinflussung der Abschnitte der Rohrreaktion in dem ersten und dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren möglich.

Eine zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die Mittel zur Beeinflussung wenigstens eines Reaktionsparameters in dem jeweiligen Mikroreaktor eine Regeleinrichtung zum Regeln der Temperatur in dem jeweiligen Mikroreaktor umfassen, wodurch zur Ausbildung einer optimalen Rohrreaktion die Temperatur erhöht oder erniedrigt werden kann.

Vorteilhaft umfassen die Mittel zur Beeinflussung wenigstens eines Reaktionsparameters in dem jeweiligen Mikroreaktor eine Bestrahlungseinrichtung zum Einstrahlen von Licht in den jeweiligen Mikroreaktor, wodurch eine Möglichkeit zur Beschleunigung oder Hemmung einer lichtempfindlichen Rohrreaktion geschaffen ist.

Bei einer Fortbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß die Mittel zur Beeinflussung wenigstens eines Reaktionsparameters in dem jeweiligen Mikroreaktor Zuführmittel zum Einbringen wenigstens einer zusätzlichen, reagierenden Substanz (Edukt) in dem jeweiligen Mikroreaktor umfassen. Mittels des Einbringens zusätzlicher, reagierender Substanzen kann die

Rohrreaktion beschleunigt oder gehemmt werden, oder es können die für die Fortsetzung der Rohrreaktion notwendigen inerten Substanzen, beispielsweise ein Trägergas oder Lösungsmittel eingebracht werden.

Vorteilhaft ist mit Hilfe der Mittel zur Beeinflussung wenigstens eines Reaktionsparameters in dem jeweiligen Mikroreaktor ein Zustand des jeweiligen Mikroreaktors einstellbar, insbesondere ein Fixpunktzustand, ein bistabiler Zustand, ein Oszillatorzustand oder ein Chaoszustand, wodurch der zur Unterstützung der Rohrreaktion in einem bestimmten Teilabschnitt der Rohrreaktion günstigste Zustand in dem jeweiligen Mikroreaktor einstellbar ist.

Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung sind die benachbarten Mikroreaktoren seitlich versetzt zueinander angeordnet, beispielsweise versetzt um etwa 0,05 mm bis etwa 10 mm, wodurch der Platzbedarf für die Vorrichtung vermindert ist.

Zu diesem Zweck kann weiterhin vorteilhaft vorgesehen sein, daß gegenüberliegende Seitenwände der mehreren Mikroreaktoren zueinander einen Abstand von etwa 0,02 mm bis etwa 1 mm aufweisen.

Der mit Hilfe der sequentiellen Anordnung mehrerer Mikroreaktoren ausbildbare Reaktionsapparat für eine Rohrreaktion kann vorteilhaft als eine Katalysatoreinrichtung für Kraftfahrzeuge verwendet werden. Hierbei ist der konstruktive Aufbau der einzelnen Mikroreaktoren so zu gestalten, daß die Abgasteilchen in dem Mikroreaktor mit ausreichender Wahrscheinlichkeit mit einer jeweiligen Katalysatoranordnung, die vorzugsweise aus Paladium oder Platin gebildet ist, in Kontakt kommen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf eine Zeichnung näher erläutert. Hierbei zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Ausführen einer Rohrreaktion;

Figur 2 eine Darstellung der Vorrichtung nach Figur 1 im Querschnitt;

Figur 3 eine andere Ausführungsform einer Vorrichtung zum Ausführen einer Rohrreaktion

Figur 4 eine schematische Darstellung eines Mikroreaktors, insbesondere für einen Kraftfahrzeug-Katalysator, im Querschnitt;

Figur 5 eine schematische Darstellung eines weiteren Mikroreaktors, insbesondere für einen Kraftfahrzeug-Katalysator, im Querschnitt;

Figur 6 eine schematische Darstellung eines anderen Mikroreaktors, insbesondere für einen Kraftfahrzeug-Katalysator, in Draufsicht;

Figur 7 eine schematische Darstellung des anderen Mikroreaktors nach Figur 6 im Querschnitt;

Figuren 8A-8C Katalysatoreinrichtungen, die jeweils eine Kombination von gleichen Mikroreaktoren nach Figur 4, 5 bzw. 6 umfassen;

Figur 9 eine Katalysatoreinrichtung, die eine Kombination von verschiedenen Mikroreaktoren umfaßt; und

Figur 10 eine schematische, vergrößerte Darstellung eines Teilbereichs des Mikroreaktors nach Figur 4 im Querschnitt.

Gemäß Figur 1 weist eine Vorrichtung 1 zur Ausführung einer katalytischen Rohrreaktion mehrere Mikroreaktoren 2 auf, die sequentiell angeordnet sind. Benachbarte der mehreren Mikroreaktoren 2 sind jeweils mittels eines Kanals 3 miteinander verbunden. Die Vorrichtung 1 stellt einen neuen Mikroreaktor bzw. Mikro-Rohrreaktor dar, welcher die mehreren Mikroreaktoren 2 umfaßt.

Beim Ablauf einer katalytischen Rohrreaktion in der Vorrichtung 1 bilden die mehreren Mikroreaktoren 2 und die jeweiligen Kanäle 3 zwischen benachbarten Mikroreaktoren einen zusammenhängenden Reaktionsapparat. Die ablaufende, katalytische Rohrreaktion setzt sich zwischen benachbarten Mikroreaktoren dadurch fort, daß zwischen den benachbarten Mikroreaktoren jeweils ein Stoffmengentransport und/oder ein Wärmetransport in Richtung der sich fortsetzenden Rohrreaktion stattfindet. Hierbei kann vorgesehen sein, daß zwischen den mehreren Mikroreaktoren 2 ein Wärmetransport auch entgegengesetzt der Richtung der sich fortsetzenden Rohrreaktion ausgebildet ist. Dieses kann dazu genutzt werden, um die Rohrreaktion in einem ersten der mehreren Mikroreaktoren 2 in Abhängigkeit vom Verlauf oder vom Zustand der Rohrreaktion in einem zweiten der mehreren Mikroreaktoren 2 gezielt zu

beeinflußen, wobei der zweite der mehreren Mikroreaktoren 2 dem ersten der mehreren Mikroreaktoren 2 in Reaktionsrichtung vorgeschaltet ist, wobei es sich bei dem ersten und dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren 2 um benachbarte Mikroreaktoren handeln kann. Der Wärmetransport zwischen dem ersten und dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren 2 kann mit Hilfe einer Wärmebrücke (nicht dargestellt) realisiert werden. Die Wärmebrücke umfaßt beispielsweise einen Temperaturfühler an dem ersten der mehreren Mikroreaktoren 2, eine Heiz-/Kühlelement an dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren 2 und eine elektrische Kopplung zwischen dem Temperaturfühler und dem Heiz-/Kühlelement. In diesem Fall handelt es sich um eine elektrische Wärmebrücke. Es können auch Wärmebrücken zur Übertragung genutzt werden, die im wesentlichen auf einer Wärmeleitung basieren. Die Wärmebrücke kann zur Reaktionsbeeinflußung in Richtung der sich fortsetzenden Rohrreaktion oder in der entgegengesetzten Richtung genutzt werden.

Die Kanäle 3 sind hinsichtlich einer Form, einer Länge, einer Breite und einer Höhe der Kanäle 3 so ausgebildet, daß eine Stoffmengenrückdiffusion zwischen jeweils benachbarten der mehreren Mikroreaktoren 2 verhindert ist, so daß eine sich in eine Richtung ausbreitende Rohrreaktion gewährleistet ist. Hierbei können die Kanäle 3 alle einheitlich ausgebildet sein. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, einzelne Kanäle 3 abweichend von anderen Kanälen auszubilden.

Mit Hilfe der sequentiellen Anordnung der mittels der Kanäle 3 verbundenen mehreren Mikroreaktoren 2 ist einerseits ein zusammenhängender Reaktionsapparat zur Ausführung der Rohrreaktion gebildet. Andererseits kann ein Teilabschnitt der Rohrreaktion in einem der mehreren Mikroreaktoren 4 unabhängig von einem anderen Teilabschnitt der Rohrreaktion beeinflußt werden, der in einem anderen der mehreren Mikroreaktoren 5 abläuft.

In Figur 2 ist die Vorrichtung 1 nach Figur 1 im Querschnitt dargestellt. Die Kanäle 3 verbinden die mehreren Mikroreaktoren 2 jeweils in einem unteren Bereich 6 der mehreren Mikroreaktoren 2.

Um die Rohrreaktion auszulösen, zu beschleunigen oder zu hemmen, die in dem zusammenhängenden Reaktionsapparat abläuft, der mittels der mehreren Mikroreaktoren 2 und der Kanäle 3 gebildet ist, können an einem oder an allen der mehreren Mikroreaktoren 2 jeweils Mittel vorgesehen sein (nicht dargestellt), um Reaktionsparameter bzw. Reaktionsbedingungen in dem jeweiligen Mikroreaktor gezielt zu verändern. Hierbei erfolgt eine Beeinflussung

der Reaktionsbedingungen in einem bestimmten der Mikroreaktoren mit Hilfe der Mittel, die für den bestimmten Mikroreaktor vorgesehen sind, wobei eine Kopplung oder eine gemeinsame Steuerung der Mittel für verschiedene Mikroreaktoren vorgesehen sein kann. Mit Hilfe der Veränderung der Reaktionsparameter bzw. der Reaktionsbedingungen in einem der Mikroreaktoren kann Einfluß auf den Gesamtverlauf der katalytischen Rohrreaktion genommen werden.

Die Mittel zum gezielten Verändern der Reaktionsparameter bzw. der Reaktionsbedingungen können insbesondere eine Regeleinrichtung zum Regeln der Temperatur in dem jeweiligen Mikroreaktor und/oder eine Bestrahlungseinrichtung zum Einstrahlen von Licht in den jeweiligen Mikroreaktor umfassen. Die Mittel zum Verändern der Reaktionsparameter bzw. der Reaktionsbedingungen können genutzt werden, um in den mehreren Mikroreaktoren jeweils getrennt Reaktionsbedingungen zu schaffen, die die Rohrreaktion in einer gewünschten Weise beeinflußen. Hierbei kann ein Zustand des jeweiligen Mikroreaktors so eingestellt werden, daß der jeweilige Mikroreaktor sich in einem Fixpunktzustand, einem Oszillatorzustand oder in einem Chaoszustand befindet.

Im Zusammenhang mit den verschiedenen Mitteln zum gezielten Verändern der Reaktionsparameter bzw. der Reaktionsbedingungen in einzelnen Mikroreaktoren oder mehreren Mikroreaktoren 2 kann vorteilhaft vorgesehen sein, daß die gezielte Veränderung in einem oder mehreren Mikroreaktoren der Vorrichtung 1 in Abhängigkeit vom Zustand bzw. Verlauf der Rohrreaktion in einem oder mehreren anderen Mikroreaktoren der Vorrichtung 1 erfolgt.

Es kann weiterhin vorgesehen sein, daß in einem oder in allen der mehreren Mikroreaktoren 2 zusätzliche reagierende oder inerte Substanzen und/oder Katalysatoren in dem jeweiligen Mikroreaktor eingebracht werden, um Einfluß auf den in dem jeweiligen Mikroreaktor ablaufenden Teilabschnitt der Rohrreaktion bzw. die gesamte Rohrreaktion zu nehmen. Zu diesem Zweck weisen die Mikroreaktoren, für die eine derartige Beeinflußung gewünscht ist, Zuführmittel, wie Öffnungen in den Mikroreaktoren, Anschlüsse usw. auf. Die zusätzlichen Substanzen oder Katalysatoren können beispielsweise mit Hilfe von Mikropumpen eingebracht werden.

In Figur 3 ist eine andere Ausführungsform einer Vorrichtung 1 zum Ausführen einer Rohrreaktion schematisch dargestellt. Die mehreren Mikroreaktoren 2 sind seitlich versetzt zueinander angeordnet. Mit Hilfe von Kanälen 3 sind benachbarte der mehreren Mikroreaktoren

jeweils miteinander verbunden. Die in Figur 3 gezeigte Anordnung der mehreren Mikroreaktoren 2 und der jeweiligen Kanäle 3 erlaubt eine kompakte, platzsparende Bauweise der Vorrichtung 1.

In den Figuren 4 bis 7 sind Mikroreaktoren dargestellt, die zur Verwendung in Katalysatoreinrichtungen von Fahrzeugen, die mit Kraftstoff auf Erdölbasis betrieben werden, vorgesehen sind. Zum Ausbilden einer Kraftfahrzeug-Katalysatoreinrichtung werden mehrere der in den Figuren 4 bis 6 dargestellten Mikroreaktoren hintereinander geschaltet, so daß aus den Mikroreaktoren ein Mikro-Rohrreaktor gebildet ist, in dem bei der katalytischen Reaktion wenigstens ein Stoffmengenfluß stattfindet. Hierbei können sowohl ausschließlich Mikroreaktoren gleicher Art, d.h. nur Mikroreaktoren nach Figur 4, 5 bzw. 6 (vgl. Figuren 8A bis 8C), als auch Mikroreaktoren verschiedener Bauarten, d.h. beispielsweise einen Mikroreaktor nach Figur 4, einen Mikroreaktor nach Figur 5 und einen Mikroreaktor nach Figur 6 (vgl. Figur 9), miteinander kombiniert werden, um die gewünschte katalytische Wirkung auf die Reaktionsprodukte der Kraftstoffumwandlung zu erreichen.

Figur 4 zeigt einen Mikroreaktor 40 mit einem Zuführabschnitt 41, einem mittleren Abschnitt 42, in dem ein Reaktionsraum 43 gebildet ist, und einem Endabschnitt 44 im Querschnitt entlang einer Längsrichtung. Der Mikroreaktor 40 weist im Bereich des Zuführabschnitts 41, des mittleren Abschnitts 42 und des Endabschnits vorzugsweise einen im wesentlichen runden Querschnitt quer zur Längsrichtung auf. In dem Reaktionsraum 43 ist eine Katalysatoranordnung 45 eingebracht, die von Gasteilchen umströmt werden kann und mit elektrischen Verbindungen 46A, 46B verbunden ist. Die elektrischen Verbindungen 46A, 46B können genutzt werden, um die Katalysatoranordnung 45 zum Steuern und/oder Optimieren der katalytischen Reaktion der (Ab-)Gasteilchen, die in den Reaktionsraum 43 gelangen, zu heizen. Die Katalysatoranordnung 45 ist bei Kraftfahrzeug-Katalysatoren üblicherweise aus Platin oder Paladium gebildet. Es können jedoch auch andere Materialien verwendet werden, wenn mit diesen eine ausreichende katalytische Reaktion erzielbar ist. Die Katalysatoranordnung 45 ist vorzugsweise in Form eines Drahtes oder eines Drahtgeflechts bzw. Drahtnetzes ausgebildet. Die Wahl einer geeigneten Art der Katalysatoranordnung 45 erfolgt in Abhängigkeit vom Anwendungsfall. Hierbei sind die Katalysatoranordnung 45 und der Reaktionsraum 43 hinsichtlich der Form-/Größengestaltung so zu konzipieren, daß ein Gasteilchen, das den Reaktionsraum 43 passiert, um von dem Zuführabschnitt 41 zu dem Endabschnitt 44 zu gelangen, in dem Reaktionsraum 43 mit ausreichender Wahrscheinlichkeit, wenigstens einmal einen Reaktionsabschnitt 47 des Reaktionsraums 43 passiert, in dem ein Abstand A zwischen

dem Gasteilchen und einem Abschnitt 48 (vgl. Figur 10) auf einer äußeren Oberfläche 49 der Katalysatoranordnung 45 in einer Richtung senkrecht zur Tangente an eine Flugbahn F des Gasteilchens in dem Reaktionsabschnitt 47 kleiner oder gleich einem kleinzahligen Vielfachen der mittleren Querdiffusionslänge des Gasteilchens ist, vorzugsweise kleiner oder gleich dem Zehnfachen der mittleren Querdiffusionslänge des Gasteilchens. Hierdurch ist zu gewährleisten, daß das Gasteilchen wenigstens einmal auf die Oberfläche der Katalysatoranordnung 45 trifft. Bei dem Mikroreaktor 40 nach Figur 4 könnten sich die Gasteilchen im ungünstigsten Fall in unmittelbarer Nähe entlang einer Wand 100 des mittleren Abschnitt 42 bewegen, wie dies in Figur 10 mit Hilfe der Flugbahn F dargestellt ist. Weitere mögliche Bewegungsbahnen sind in Figur mittels gepunkteter Linien gezeigt. Bei der Ausführungsform nach Figur 4 bzw. Figur 10 ergibt sich aus der genannten Konstruktionsbedingung im wesentlichen, daß ein Abstand zwischen der Wand 100 und der Oberfläche 49 der Katalysatoranordnung 45 zumindest in einem Teilbereich des Reaktionsraums 43 kleiner oder gleich einem kleinzahligen Vielfachen der Querdiffusionslänge der Gasteilchen sein muß und daß die Gasteilchen in den Teilbereich des Reaktionsraums 43 mit ausreichender Wahrscheinlichkeit gelangen müssen.

Die Konstruktion der Katalysatoranordnung 45 und des Reaktionsraums 43 bzw. des mittleren Abschnitts 42 ist so zu gestalten, daß aufgrund der relativen Beziehung zwischen dem Abstand A und dem kleinzahligen Vielfachen der mittleren Querdiffusionslänge des Gasteilchens eine Wechselwirkung zum Auslösen einer katalytischen Reaktion des Gasteilchens unter Einbeziehung des Materials der Katalysatoranordnung 45 mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit stattfindet. Hierdurch wird eine hohe katalytische Effizienz des Mikroreaktors 40 erreicht. Hierbei kann der Fachmann bei Beachtung der vorgenannten Konstruktionseigenschaften verschiedene Bauformen wählen, in denen eine gewünschte katalytische Wirkung erreicht wird.

Die beschriebenen Konstruktionsbedingungen sind hierbei zweckmäßig so anzuwenden, daß ein Gasteilchen, welches den Mikroreaktor passiert, in ein effektives Reaktionsvolumen gelangt und die Verweildauer in diesem Reaktionsvolumen ausreicht, so daß eine katalytische Reaktion des Gasteilchens unter Einbeziehung der jeweiligen Katalysatoranordnung mit ausreichender Wahrscheinlichkeit stattfindet.

In den Figuren 5 und 6 bzw. 7 sind weitere Ausführungsformen von Mikroreaktoren 50 bzw. 60 zur Verwendung in Kraftfahrzeug-Katalysatoren gezeigt, die unter Beachtung der oben

genannten Konstruktionseigenschaften ausbildbar sind. Der in Figur 5 im Querschnitt entlang einer Längsrichtung gezeigte Mikroreaktor 50 umfaßt einen Zufürabschnitt 51, durch den Reaktanden in einen mittleren Abschnitt 52 mit einem Reaktionsraum 53 gelangen. Nach dem Passieren des Reaktionsraums 53 gelangen die Gasteilchen in einen Endabschnitt 54 des Mikroreaktors 50. Auf einer inneren Oberfläche 55 einer Wandung 56 im mittleren Abschnitt 52 ist in dem Reaktionsraum 53 eine Katalysatoranordnung 57 befestigt. Hierbei kann es sich beispielsweise um einen Oberflächenbeschichtung handeln, die die innere Oberfläche 55 ganz oder teilweise bedeckt. Als Materialien für die Katalysatoranordnung 57 sind beispielsweise Platin oder Paladium nutzbar. Hinsichtlich der konstruktiven Merkmale des Reaktionsraumes 53 und der Katalysatoranordnung 57, insbesondere bezüglich der Abmessungen und der äußeren Formgestaltung der Katalysatoranordnung 57, gelten die in Verbindung mit dem Mikroreaktor 40 genannten Bedingungen in Bezug auf einen von den Gasteilchen zu passierenden Reaktionsabschnit in dem Reaktionsraum entsprechend. Wenn der Mikroreaktor 50 beispielsweise im quer zur Längsrichtung einen runden Querschnitt im Bereich des mittleren Abschnitts 52 aufweist und die innere Oberfläche 57 des mittleren Abschnitts 52 im wesentlichen vollständig mit Katalysatormaterial bedeckt ist, ergibt sich aus der oben beschriebenen Konstruktionsbedingung, daß der Radius des runden Querschnitts quer zur Längsrichtung in dem von der Katalysatoranordnung 57 begrenzten Bereich kleiner oder gleich einem kleinzahligen Vielfachen der mittleren Querdiffusionslänge der Gasteilchen sein muß.

Die Figuren 6 und 7 zeigen zwei Darstellungen eines anderen Mikroreaktors 60, einen „sandwich-artigen" Reaktionsraum 61 (vgl. Figur 7) aufweist, in welchen die Gasteilchen durch einen Zuführabschnitt 62 gelangen und den die Gasteilchen nach dem Passieren über einen Endabschnitt 63 verlassen. In dem Reaktionsraum 61 ist eine vorzugsweise drahtförmig oder netzförmig ausgebildete Katalysatoranordnung 64 angeordnet, die von den Gasteilchen umströmt wird. Die Katalysatoranordnung 64 und eine Wand 65 im Bereich des Reaktionsraums 61 sind so konstruiert, daß in einem Bereich 66 oberhalb der Katalysatoranordnung 64 und/oder in einem Bereich 67 unterhalb der Katalysatoranordnung 64 die in Verbindung mit dem Mikroreaktor 40 beschriebene Bedingung bezüglich der Größe und des Passierens eines Reaktionsabschnitts (Bezugszeichen 46 in Figur 4) wenigstens einmal erfüllt ist, so daß eine genügende Wahrscheinlichkeit für eine katalytische Reaktion der Gasteilchen, die in den Reaktionsraum 61 gelangen, gewährleistet ist.

Neben den beschriebenen Gestaltungsmöglichkeiten für Mikroreaktoren 40, 50 und 60 gemäß den Figuren 4, 5 und 6 bzw. 7 kann der Fachmann bei Beachtung der oben genannten kon-

struktiven Merkmale im Bereich des jeweiligen Reaktionsraums, in welchem die Katalysatoranordnung positioniert ist, andere Ausführungsformen von Mikroreaktoren schaffen, die die verbesserte katalytische Wirkung nutzen, die bei Einhaltung der konstruktiven Bedingungen erreicht wird.

Eine weitere Effizienzsteigerung der katalytischen Wirkung wird dadurch erreicht, daß mehrere der Mikroreaktoren 40, 50 bzw. 60 hintereinander angeordnet werden, so daß eine Reaktionsapparat gebildet ist, in welchem zwischen den hintereinander angeordneten Mikroreaktoren im Rahmen einer katalytischen Rohrreaktion ein Stoffmengentransport stattfindet. Mögliche Ausführungsformen einer solchen Vorrichtung mit mehreren hintereinander geschalteten Mikroreaktoren 80A, 81A, 82A; 80B, 81B; 80C, 81C, 82C sind in den Figuren 8A, 8B bzw. 8C dargestellt. Die Mikroreaktoren 80A, 81A, 82A; 80B, 81B; 80C, 81C, 82C sind jeweils gemäß den oben beschriebenen konstruktiven Merkmalen der Mikroreaktoren 40, 50 bzw. 60 gestaltet.

Katalysatoranordnungen 83A, 84A, 85A der Mikroreaktoren 80A, 81A bzw. 82A sind über eine jeweilige elektrische Verbindung 86A, 87A, 88A mit einer Steuereinrichtung 89A, 90A, 91A verbunden. Die Steuereinrichtungen 89A, 90A, 91A dienen zur Steuerung einer Beaufschlagung der Katalysatoranordnungen 83A, 84A, 85A mit einem Strom zum Heizen der Katalysatoranordnungen 83A, 84A, 85A, um die jeweilige katalytische Reaktion zu optimieren. Hierbei kann eine übergeordnete Steuereinrichtung (nicht dargestellt) vorgesehen sein, um das Zusammenwirken der Steuereinrichtungen 89A, 90A, 91A zu beeinflussen. Auf diese Weise kann die entlang der Mikroreaktoren 80A, 81A bzw. 82A stattfindende, katalytische Rohrreaktion optimiert werden, um den Schadstoffgehalt im Brennstoff für den Betrieb einer Brennstoffzelle oder im Abgas des Kraftfahrzeugs zu vermindern, bei die Vorrichtung mit den Mikroreaktoren 80A, 81A, 82A genutzt wird.

In analoger Weise können bei den Mikroreaktorkombinationen 80B und 81B sowie 80C, 81C und 82C gemäß den Figuren 8B bzw. 8C jeweilige Steuereinrichtungen (in Figur 8B nicht dargestellt) vorgesehen sein, um die in den einzelnen Mikroreaktoren ablaufenden Reaktionen zu steuern. Gemäß Figur 8C umfaßt die dargestellte Mikroreaktoranordnung Steuereinrichtungen 83C, 84C, 85C, die über jeweilige Verbindungen 86C, 87C, 88C mit Katalysatoranordnungen 89C, 90C, 91C verbunden sind.

Bei den in den Figuren 8A-8C dargestellten Ausführungsformen sind jeweils baugleiche Mikroreaktoren hintereinander angeordnet. Gemäß Figur 9 ist es jedoch auch möglich, Mikroreaktoren 90, 91, 92 zu kombinieren, die unterschiedliche konstruktive Merkmale aufweisen, wenn dies für einen Anwendungsfall notwendig ist, um die gewünschte katalytische Reaktion ausführen zu können. Es kann eine beliebige Anzahl von gleichen oder unterschiedlichen Mikroreaktoren kombiniert werden, im in Abhängigkeit vom Anwendungsfall eine jeweilige Vorrichtung zum Ausführen der katalytischen Rohrreaktion zu bilden.

Mit Hilfe der beschriebenen Mikrorektoren bzw. Mikroreaktor-Anordnungen wird ein nicht gewünschter Druckabfall in der Kraftfahrzeug-Katalysatoreinrichtung vermieden, wie er bei bekannten Katalysatoren für Kraftfahrzeuge auftritt. Darüber hinaus ermöglichen die vorgesehenen Steuereinrichtungen, beispielsweise die Steuereinrichtungen 83C, 84C, 85C in Figur 8C, eine Steuerung der Temperatur in den einzelnen Mikroreaktoren, so daß entlang der Reaktionsstrecke der Gasteilchen eine gewünschte, beispielsweise eine im wesentlichen konstante Temperaturverteilung erreichbar ist und die Überhitzung einzelner Abschnitte einer Katalysatoranordnung für Kraftfahrzeuge, wie sie bei bekannten Katalysatoren häufig auftritt, vermieden wird. Auf diese Weise ist ein Verfahren zum Betreiben einer Katalysatoreinrichtung mit mehreren Mikroreaktoren geschaffen, bei dem eine entlang der Katalysatoreinrichtung sich entfaltende Rohrreaktion mittels der Temperatursteuerung in den Mikroreaktoren gesteuert und optimiert werden kann, wobei einzelne oder alle der Mikroreaktoren mit einer Temperatursteuerung ausgestattet sein können. Sollte die Optimierung mit Hilfe der Beeinflussung eines anderen Reaktionsparameters als der Temperatur notwendig sein, so können die Steuereinrichtungen entsprechend ausgewählt werden.

Die in der vorstehenden Beschreibung, der Zeichnung und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen von Bedeutung sein.

Vorrichtung zum Ausführen einer katalytischen Reaktion

Ansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Ausführen einer katalytischen Rohrreaktion, gekennzeichnet durch eine Anordnung mehrerer Mikroreaktoren (2), wobei zwischen benachbarten Mikroreaktoren jeweils ein Kanal (3) so ausgebildet ist, daß sich die katalytische Rohrreaktion entlang der Anordnung der mehreren Mikroreaktoren (2) ausbilden kann.

2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch den jeweiligen Kanal (3) hindurch ein Stoffmengentransport zwischen den benachbarten Mikroreaktoren ausgebildet ist, so daß die benachbarten Mikroreaktoren stoffmengengekoppelt sind.

3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß durch den jeweiligen Kanal (3) hindurch ein Wärmetransport zwischen den benachbarten Mikroreaktoren ausgebildet ist, so daß die benachbarten Mikroreaktoren wärmegekoppelt sind.

4. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Länge des jeweiligen Kanals (3) so ausgebildet ist, daß eine Stoffmengenrückdiffusion aus einem der benachbarten Mikroreaktoren (5) in einen anderen der benachbarten Mikroreaktoren (4), entgegen einer Ausbreitungsrichtung der katalytischen Rohrreaktion verhindert ist.

5. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder alle der mehreren Mikroreaktoren (2) Mittel zur Beeinflußung wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem jeweiligen Mikroreaktor aufweisen.

6. Vorrichtung (1) nach Anspruch 5, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel zur Beeinflußung wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in einem ersten der mehreren Mikroreaktoren (2) mit Erfassungsmitteln zum Erfassen wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in einem zweiten der mehreren Mikroreaktoren (2) gekoppelt sind, so daß eine Kopplung der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren (2) mit der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren (2) derart ausbildbar ist, daß eine Beeinflußung des wenigstens einen Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren (2) in Abhängigkeit von dem mit Hilfe der Erfassungsmittel erfaßten wenigstens einen Reaktionsparameter der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren (2) ausführbar ist.

7. Vorrichtung (1) nach Anspruch 5 oder 6, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel zur Beeinflussung wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren (2) mit Erfassungsmitteln zum Erfassen wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren (2) gekoppelt sind, so daß eine Kopplung der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren (2) mit der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren (2) derart ausbildbar ist, daß eine Beeinflussung des wenigstens eines Reaktionsparameters der katalytischen Reaktion in dem zweiten der mehreren Mikroreaktoren (2) in Abhängigkeit von dem mit Hilfe der Erfassungsmittel erfaßten wenigstens einen Reaktionsparameter der katalytischen Reaktion in dem ersten der mehreren Mikroreaktoren (2) ausführbar ist.

8. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel zur Beeinflußung wenigstens eines Reaktionsparameters in dem jeweiligen Mikroreaktor eine Regeleinrichtung zum Regeln der Temperatur in dem jeweiligen Mikroreaktor umfassen.

9. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel zur Beeinflußung wenigstens eines Reaktionsparameters in dem jeweiligen Mikroreaktor eine Bestrahlungseinrichtung zum Einstrahlen von Licht in den jeweiligen Mikroreaktor umfassen.

10. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel zur Beeinflußung wenigstens eines Reaktionsparameters in dem jeweiligen Mikroreaktor Zuführmittel zum Einbringen wenigstens einer zusätzlichen, reagierenden bzw. inerten Substanz in dem jeweiligen Mikroreaktor umfassen.

11. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß mit Hilfe der Mittel zur Beeinflußung wenigstens eines Reaktionsparameters in dem jeweiligen Mikroreaktor ein Zustand des jeweiligen Mikroreaktors einstellbar ist, insbesondere ein Fixpunktzustand, ein bistabiler Zustand, ein Oszillatorzustand oder ein Chaoszustand.

12. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß die benachbarten Mikroreaktoren seitlich versetzt zueinander angeordnet sind, beispielsweise versetzt um etwa 0,05 mm bis etwa 30 mm.

13. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß gegenüberliegende Seitenwände der mehreren Mikroreaktoren (2) zueinander einen Abstand von etwa 0,02 mm bis etwa 5 mm aufweisen.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die mehreren Mikroreaktoren jeweils eine Katalysatoranordnung umfassen.

15. Verwendung einer Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche als Mikrorohrreaktor.

16. Verwendung einer Vorrichtung nach Anspruch 14 als Katalysatoreinrichtung für Kraftfahrzeuge.

17. Vorrichtung zum Ausführen einer katalytischen Reaktion, insbesondere eine katalytische Reaktion des Brennstoffs für Brennstoffzellen oder von Abgasteilchen von Kraftfahrzeugen, mit einem Zuführabschnitt, einem mittleren Abschnitt, in welchem ein Reaktionsraum gebildet ist, und einem Endabschnitt, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß in dem Reaktionsraum eine Katalysatoranordnung angeordnet ist, derart, daß die Gasteilchen in dem Reaktionsraum wenigstens einmal in einen Reaktionsabschnitt ge-

langen, in welchem ein Abstand zwischen den Gasteilchen und einem Abschnitt auf einer äußeren Oberfläche der Katalysatoranordnung in einer Richtung senkrecht zur Tangente an eine Flugbahn der Gasteilchen in dem Reaktionsabschnitt kleiner oder gleich einem kleinzahligen Vielfachen der mittleren Querdiffusionslänge der Gasteilchen ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch g e k e n n z e i c h n e t, daß der Abstand kleiner oder gleich dem Zehnfachen der mittleren Querdiffusionslänge der Gasteilchen ist.

19. Anordnung mit mehreren Vorrichtungen nach Anspruch 17 oder 18 zum Ausführen einer katalytischen Rohrreaktion.

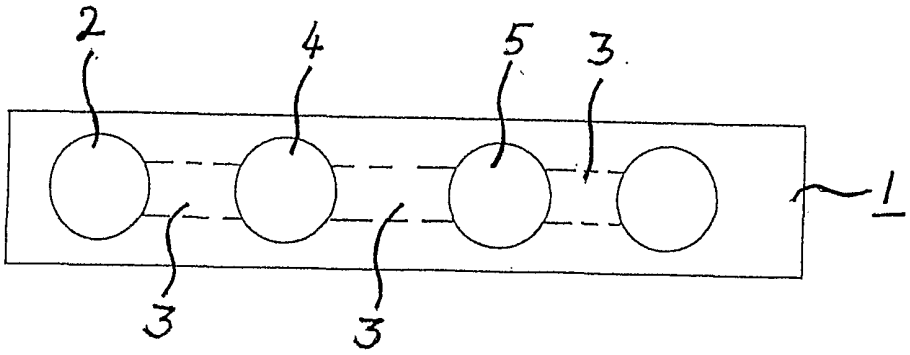


Fig. 1

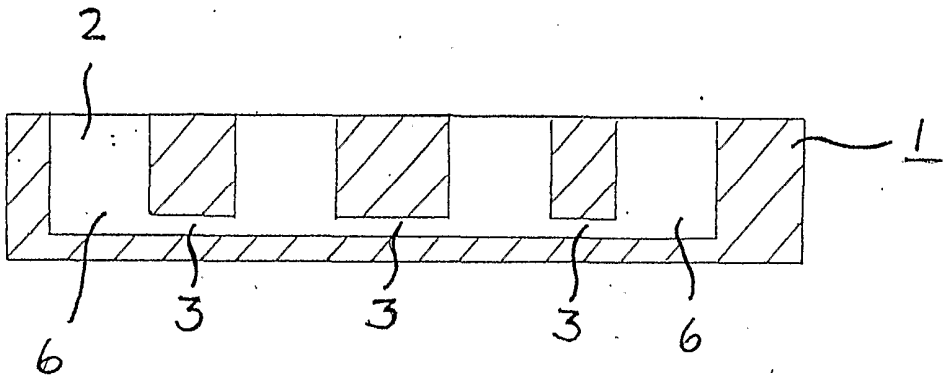


Fig. 2

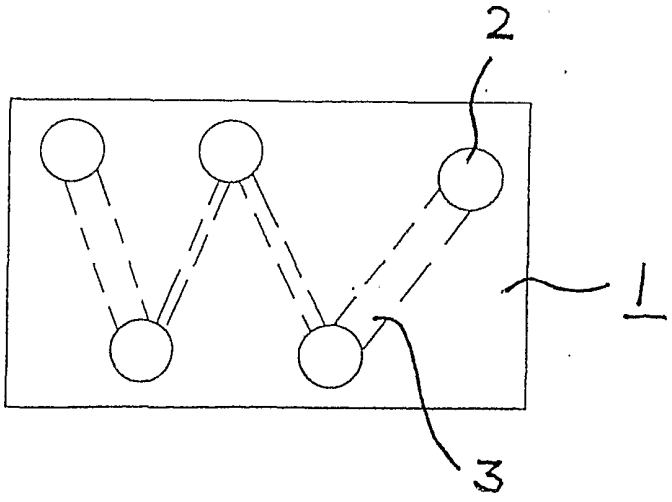


Fig. 3

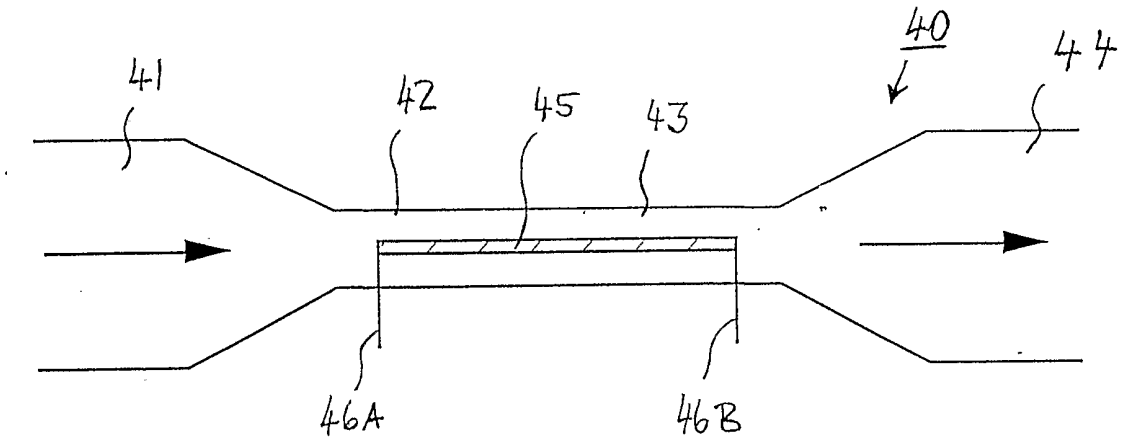


Fig. 4

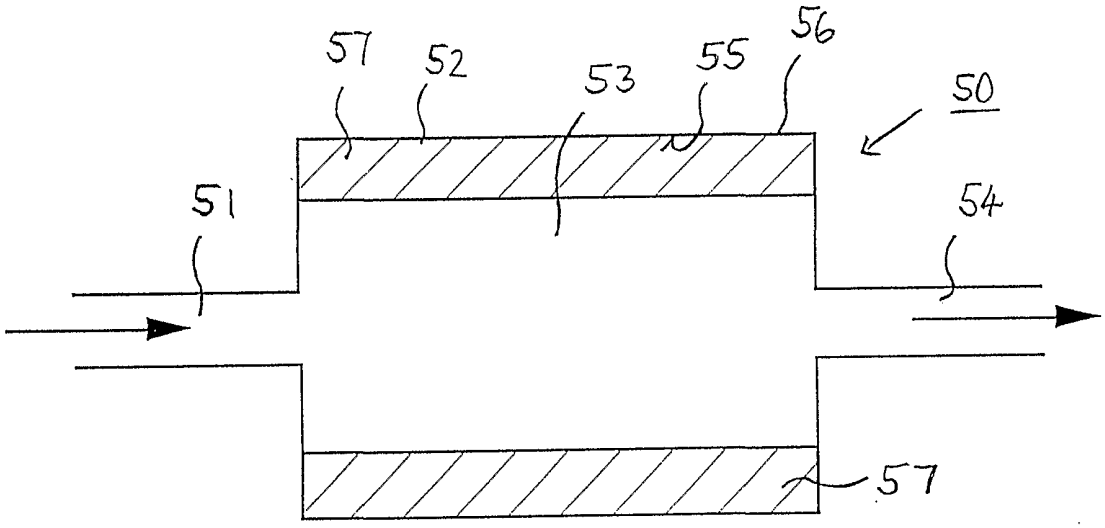


Fig. 5

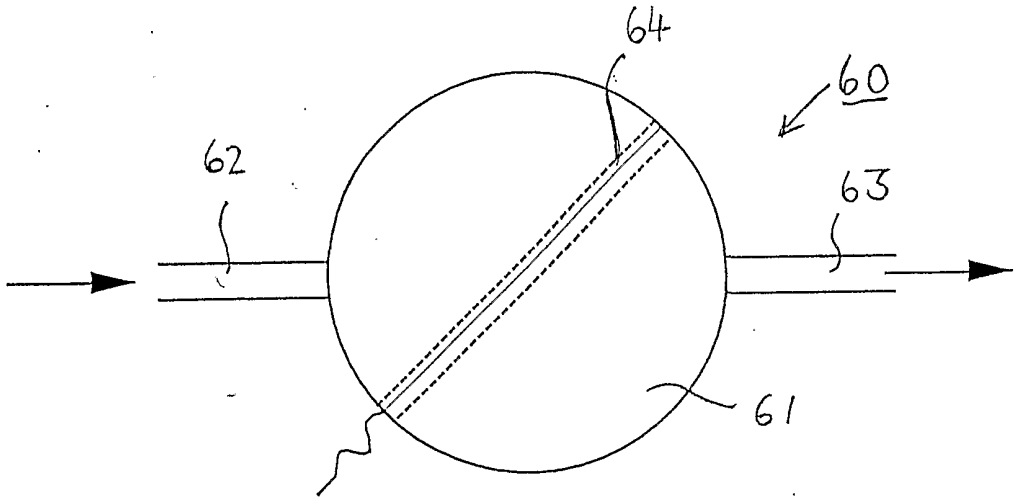
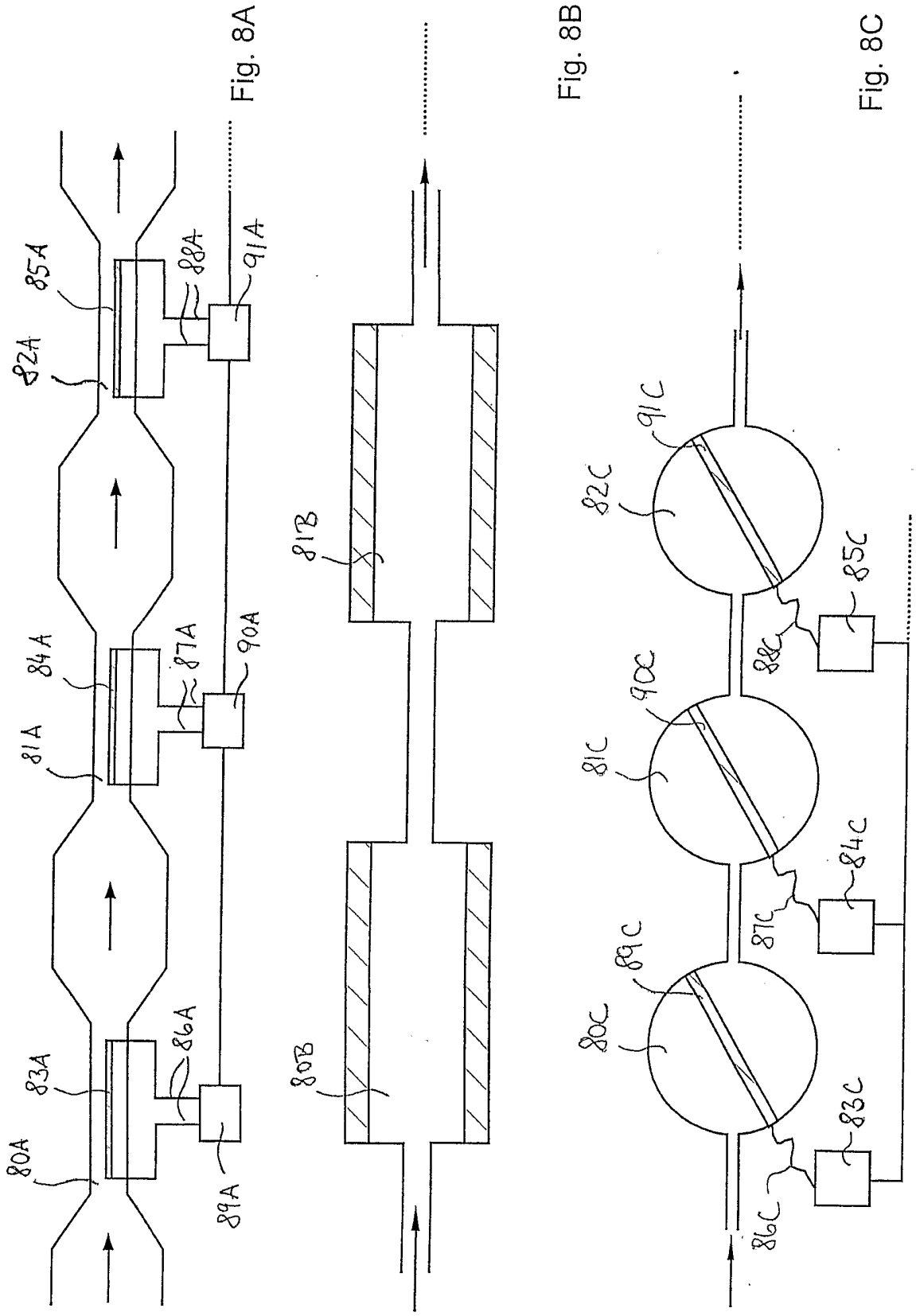


Fig. 6


Fig. 8A
80A
81A
82A
83A
84A
85A
86A
87A
88A
89A
90A
91A
Fig. 8B
80B
81B
Fig. 8C
80C
81C
82C
83C
84C
85C
86C
87C
88C
89C
90C
91C

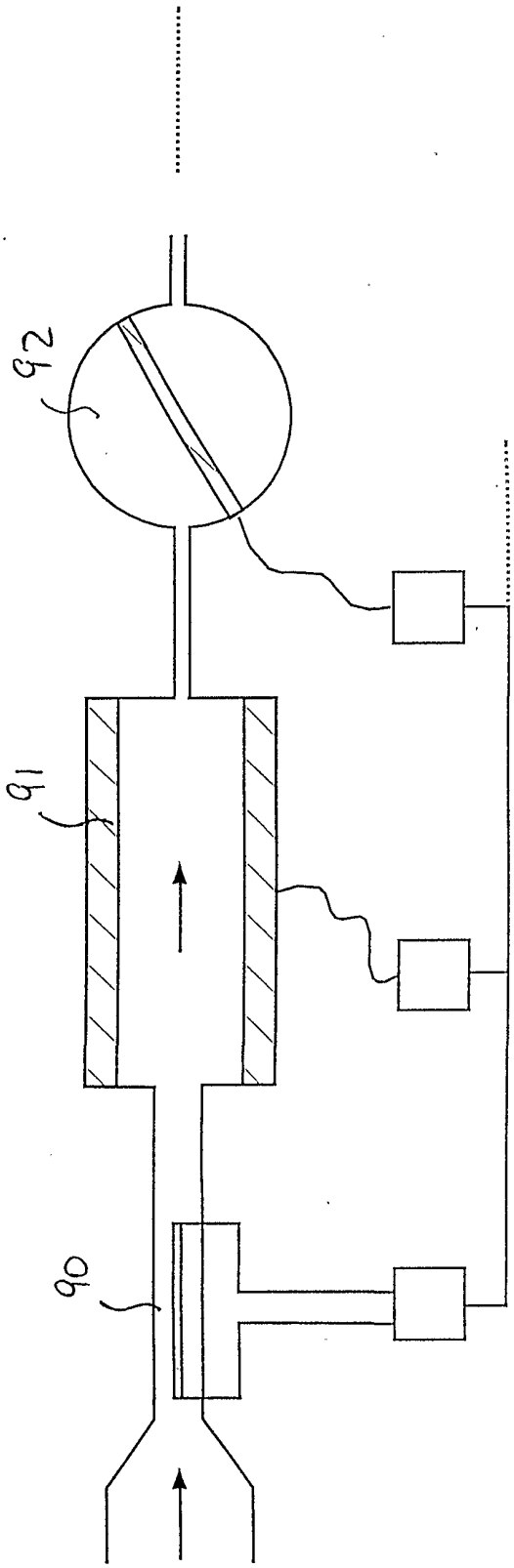


Fig. 9

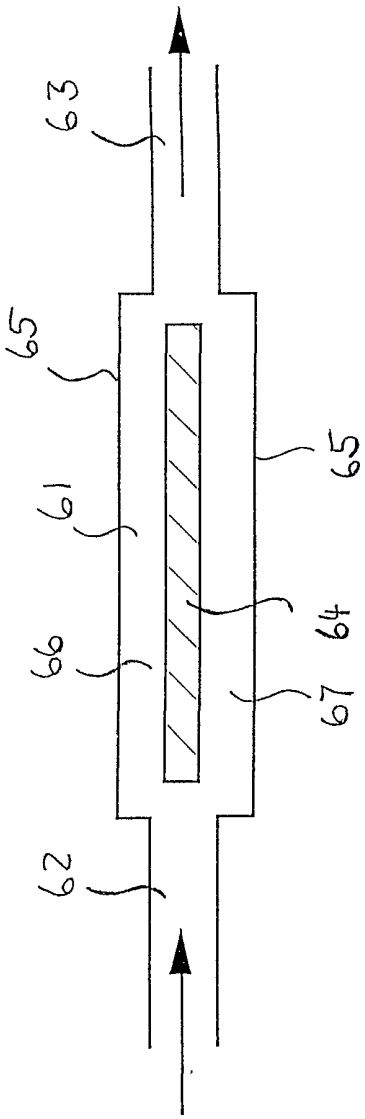


Fig. 7

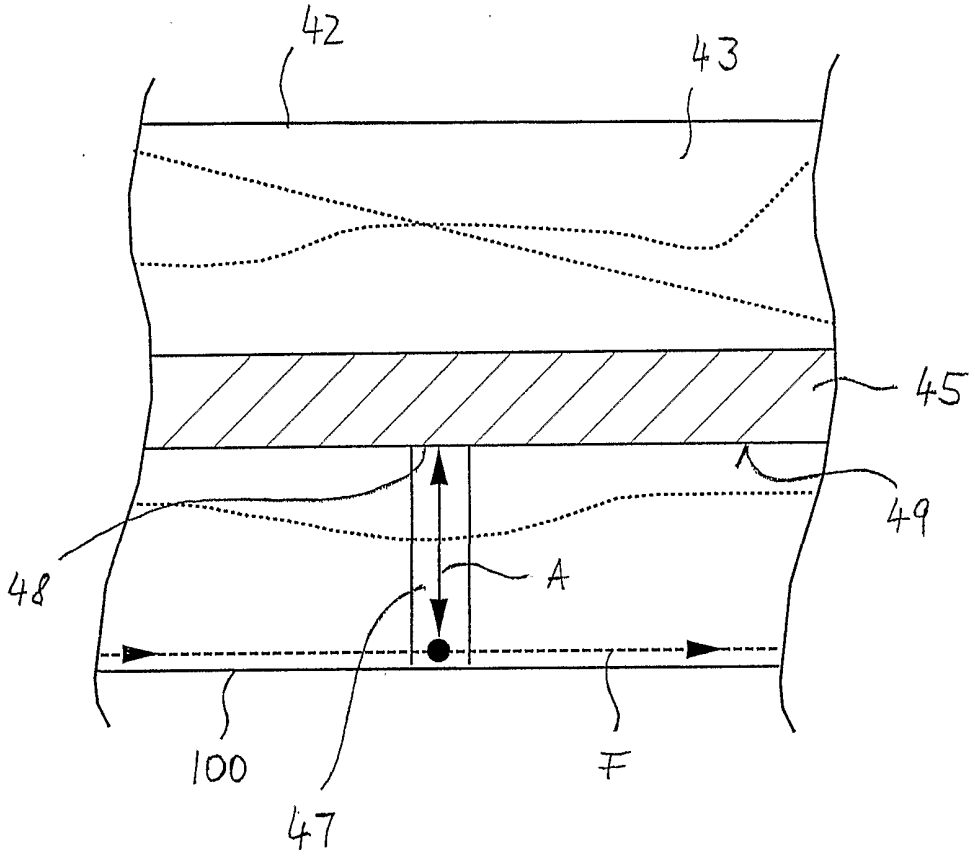


Fig. 10