



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 11 040 T2 2005.10.20**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 274 504 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 11 040.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB01/01571**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 917 332.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/076733**

(86) PCT-Anmeldetag: **05.04.2001**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **18.10.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **15.01.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **25.05.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.10.2005**

(51) Int Cl.7: **B01J 23/28**

**B01J 23/50, B01J 37/02, B01D 53/94,
B01D 53/32**

(30) Unionspriorität:

0008815	11.04.2000	GB
0020429	18.08.2000	GB

(73) Patentinhaber:

Accentus plc, Didcot, Oxfordshire, GB

(74) Vertreter:

Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(72) Erfinder:

**RAYBONE, David, Stow-on-the-Wold, Gloucester
GL54 1DW, GB; SHAWCROSS, Timothy, James,
Charlbury, Oxfordshire OX7 3TN, GB**

(54) Bezeichnung: **PLASMAUNTERSTÜTZTE GASBEHANDLUNG**

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] Die Erfindung betrifft die plasmaunterstützte Aufbereitung der Abgase aus Verbrennungsmotoren (Otto- und Dieselmotoren) zur Verringerung der Emission von Stickoxiden.

[0002] Eines der größten Probleme, die bei der Entwicklung und der Nutzung von Verbrennungsmotoren auftreten, sind die schädlichen Abgasemissionen aus solchen Motoren. Zwei der schädlichsten Materialien, insbesondere im Fall von Dieselmotoren, sind teilchenförmige Substanzen (hauptsächlich Kohlenstoff) und Oxide von Stickstoff wie Stickoxid und Stickstoffdioxid NO_2 , das oft als (NO_x) bezeichnet wird. Übermäßig hohe Mengen an NO_x werden auch durch Funkenzündungsmotoren erzeugt, die im so genannten "mageren Verbrennungsmodus" betrieben werden, bei dem das Verhältnis von Luft zu Treibstoff (z.B. Benzin) höher ist, als für eine stöchiometrische Verbrennung erforderlich wäre. Man ist sich auch darüber im Klaren, dass alternative Treibstoffe und Verbrennungsmotoren vom Hybridtyp als ein Beispiel, das Dieseltreibstoff und/oder Erdgas verbrennen kann, ähnliche Probleme aufwerfen können. Immer strengere Emissionskontrollvorschriften zwingen die Hersteller von Verbrennungsmotoren und Fahrzeugen dazu, effizientere Wege zur Entfernung dieser Materialien insbesondere aus den Abgasemissionen von Verbrennungsmotoren zu finden.

[0003] Eine Möglichkeit, Emissionen zu verringern, besteht in der Modifizierung des Verbrennungsprozesses im Motor. Solche Modifizierungen schließen die Veränderung der Einspritzzeit, der Motorkonstruktion, "Common Rail" Systeme und das Rückführen von Auspuffgas ein, aber alle haben bestimmte Grenzen beim praktischen Betrieb eines Motors. Leider hat sich in der Praxis oft herausgestellt, dass Verbrennungstechniken, die das Verbrennungsverfahren modifizieren, um die Situation bezüglich einer der vorstehenden Komponenten der Abgasemissionen aus Verbrennungsmotoren zu verbessern, dazu neigen können, die Situation bezüglich der anderen zu verschlimmern.

[0004] Es sind verschiedene Techniken in Entwicklung, um NO_x -Emissionen aus den Abgasen von Verbrennungsmotoren sowie aus anderen Abgasquellen zu entfernen. Im Allgemeinen basieren praktische Systeme zur NO_x -Reduktion für Verbrennungsmotoren darauf, dass die Abgase über einen Katalysator geleitet werden. Im Allgemeinen setzt man zwei Typen katalytischer Reduktionsverfahren ein, und zwar die nichtselektive und die selektive katalytische Reduktion (SCR). Bei dieser Erfindung geht es hauptsächlich um SCR-Systeme, bei denen ein geeignetes Reduktionsmittel im Abgas vorhanden sein oder diesem zugesetzt werden muss. Typische Reduktionsmittel für diesen Zweck sind Harnstoff oder Ammoniak, aber diese sind nicht die praktischsten für Anwendungen in Fahrzeugen. Dies liegt daran, dass zusätzlicher Raum für den Reduktionsmitteltank im Fahrzeug gebraucht wird; außerdem muss eine Nachschubinfrastruktur geschaffen werden, damit das Reduktionsmittel wieder aufgefüllt werden kann. SCR-Katalysatoren können jedoch sehr effektiv arbeiten, wenn man Kohlenwasserstoffe, die man normalerweise in den Abgasen von Verbrennungsmotoren findet, als Reduktionsmittel für einen bestimmten Temperaturbereich verwendet. Eine der Schlüsselfragen bei diesem Ansatz ist, ob im Abgas die notwendige Konzentration des Kohlenwasserstoffreduktionsmittels vorhanden ist, um die erforderlichen selektiven katalytischen Reaktionen zur Reduktion von NO_x zu Stickstoff zu beschleunigen. Wenn im Abgas nicht genügend Kohlenwasserstoffe vorhanden sind, kann die Kohlenwasserstoffkonzentration beispielsweise dadurch verändert werden, dass man Treibstoff in die Verbrennungskammer nachspritzt oder Treibstoff direkt in das Abgas einspritzt. Ein erst kürzlich entwickeltes Verfahren besteht darin, nichtthermisches Plasma dazu zu verwenden, den Kohlenwasserstoff zu aktivieren. Dieses kann die Form zusätzlichen Treibstoffs annehmen, um die katalytische NO_x -Reduktion zu Stickstoff zu beschleunigen, wie z.B. in WO99/12638 offenbart.

[0005] Erhebliche Anstrengungen sind unternommen worden, um Katalysatoren für die Reduktion von NO_x aus Dieselmotoren zu entwickeln. Der Artikel 'Selective Catalytic Reduction of NO_x with N-Free Reductants' von M. Shelef, veröffentlicht in Chem. Rev. 1995, Seite 209 – 225, liefert eine umfassende Übersicht, vor allem über die Verwendung von Zeolithen zur Verringerung des NO_x -Gehaltes in den Abgasen von Verbrennungsmotoren. Andere Katalysatoren werden erwähnt, aber nicht eingehend erörtert. Der später erschienene Artikel von Parvaiescu et al. 'Catalytic Removal of NO ', veröffentlicht in Catalysis Today, Band 46 (1998), Seite 233–316, ist ein umfassendes Dokument über die Palette von Materialien, die für die selektive katalytische Reduktion von NO_x untersucht wurden. Hierbei geht es um eine NO_x -Reduktion unter Verwendung von Katalysatoren wie Zeolithen, darunter solche, die mit Metall ausgetauscht wurden, Oxide wie einfache Oxide, z.B. Al_2O_3 , V_2O_5 , komplexe Oxide wie Perowskite und auf Edelmetall geträgerte Oxide in Gegenwart von Reduktionsmitteln wie Kohlenwasserstoffen oder Ammoniak. Sämtliche in dieser Übersicht beschriebenen Materialien werden ausschließlich als thermisch aktive Katalysatoren verwendet.

[0006] US-A-5,149,511 offenbart ein System zur Verringerung von NO_x -Emissionen aus sauerstoffreichen

Abgasen von Verbrennungsmotoren, in dem teilweise mit Sauerstoff angereicherte leichte organische Verbindungen wie Alkohole, Aldehyde, Ketone und Ether in die Abgase gespritzt werden. Diese werden dann über ein Bett aus einem kupferhaltigen ZSM5-Zeolithen und anschließend über ein Bett aus einem oxidierenden Katalysatoren wie mit Pt dotiertem Aluminiumoxid oder 1 % Pd / 10 % La₂O₃/Al₂O₃ geleitet, um etwaiges nicht umgesetztes Reduktionsmittel zu entfernen.

[0007] Trotz umfangreicher Bemühungen auf der ganzen Welt war es schwierig, einen effektiven Katalysator für die selektive katalytische Reduktion von NO_x zu finden, weil die in Frage kommenden Materialien während des Gebrauchs deaktiviert werden können, z.B. durch Wasserdampf bei den typischen Temperaturen von Dieselaabgasen. Die Selektivität des Katalysators lässt sich nur schwer steuern, da die optimale Betriebstemperatur des Katalysators nicht immer die gleiche ist wie die Temperatur des Abgases. In der Praxis kann der Katalysator möglicherweise nicht ausschließlich für NO_x selektiv sein, sondern z.B. in den Abgasen vorhandenen Kohlenwasserstoff auf Kosten der selektiven katalytischen Reduktion von NO_x zu N₂ oxidieren. Bedenken bestehen auch, dass die derzeitige Selektivität von SCR-Katalysatoren, die in mageren Motorenabgasen arbeiten (magere NO_x-Katalysatoren), unzureichend ist. Das bedeutet, dass sich anstelle von Stickstoff (N₂) unerwünschte Spezies wie N₂O bilden, was einen starken Treibhauseffekt hat. Andere Selektivitätsprobleme umfassen eine scheinbare Reduktion beispielsweise der NO₂-Konzentration, bei der es sich tatsächlich um eine Zwischenumwandlung zurück zu NO und nicht um eine Reduktion zu N₂ handelt. Wie berichtet wird, ist eine erhebliche Anzahl von Katalysatoren darauf angewiesen, dass die NO_x-Emissionen hauptsächlich aus NO₂ bestehen, damit sie zu N₂ reduziert werden können.

[0008] Mehrstufige Systeme für die selektive katalytische Reduktion von NO_x sind ebenfalls entwickelt worden: US-A-4,902,487 und der Artikel von Cooper und Thoss "Role of NO in Diesel Particulate Emission Control", veröffentlicht als SAE 890404, 1989, beschreibt ein Zweistufensystem, bei dem Dieselaabgase über einen Oxidationskatalysator aus Platin (Pt) geleitet werden, der NO im Abgas zu N₂ oxidiert. Anschließend reagiert das NO₂ mit kohlenstoffhaltigen Teilchen im Abgasstrom, die auf einem Filter gefangen sind. Das NO₂ verbrennt die abgeschiedenen Kohlenstoffteilchen effektiv und wird dadurch reduziert. Produkte dieser Reaktion sind NO, N₂, CO und CO₂. Ein Verbrennungskatalysator, z.B. Lanthan-, Caesium- und Vanadiumpentoxid, auf dem Filter wird verwendet, die Verbrennungstemperatur der Kohlenstoff/NO₂-Reaktion auf etwa 538 Kelvin zu senken.

[0009] Iwamoto et al. beschreiben in dem Artikel "Oxidation of NO to NO₂ on a Pt-MFI Zeolite and Subsequent Reduction of NO_x by C₂H₄ on an In-MFI Zeolite: A novel de-NO_x strategy in excess oxygen", veröffentlicht in "Chemical Communications" S. 37 – 38, 1997, die Verwendung eines Zweistufensystems, bei dem NO durch einen Oxidationskatalysator aus Pt-haltigem MFI-Zeolith zuerst zu NO₂ oxidiert wird, wobei die maximale Umwandlung bei 423 K stattfindet. Kohlenwasserstoff, C₂H₄, wird dem oxidierten Gasstrom zugesetzt, der über einen Katalysator aus In-haltigem MFI-Zeolith geleitet wird. Dabei erfolgt die selektive katalytische Reduktion von NO₂ zu N₂ in Gegenwart von überschüssigem Sauerstoff. Die PCT-Anmeldung WO98/09699 offenbart eine Anordnung, in der sauerstoffreiche Abgase durch ein Bett aus einem oxidierenden Katalysator wie mit Platin dotiertem Aluminiumoxid geleitet wird. Dabei wird NO_x in den Abgasen zu NO₂ oxidiert. Kohlenwasserstoffe werden mit aus dem Oxidator abfließendem Gas gemischt, und das Gemisch wird durch ein Bett aus einem reduzierenden Katalysator, γ-Aluminiumoxid, geleitet, in dem das NO₂ und die Kohlenwasserstoffe zu N₂, CO₂ und H₂O reduziert werden.

[0010] Mehrstufensysteme unter Verwendung einer Kombination aus einem nichtthermischen Plasma und einem Katalysator für die Behandlung von NO_x-Komponenten aus Dieselaabgasen sind ebenfalls vorgeschlagen worden.

[0011] Die britische Patentanmeldung GB 2 270 0183 A beschreibt ein Zweistufensystem, in dem Abgasemissionen aus Verbrennungsmotoren einem Niedrigtemperaturplasma ausgesetzt und dann über einen stromabwärts des Plasmas liegenden Katalysator geleitet werden. Obwohl in GB 2 270 013 A nicht speziell die Rede davon ist, können die Abgasemissionen selbstverständlich Stickstoffoxide enthalten.

[0012] US-A-5,711,147 beschreibt ein Zweistufensystem, bei dem ein nichtthermisches Plasma NO in einem Gasstrom zu NO₂ oxidiert. Letzteres durchläuft dann eine selektive katalytische Reduktion zu N₂ in Gegenwart von C₃H₆ über einem γ-Al₂O₃-Katalysator. Dieses System ist zur Verwendung mit sauerstoffreichen Abgasen aus Diesel- und mager verbrennenden Funkenzündungsmotoren gedacht. In dem in US-A-5,711,147 beschriebenen System wird ein Kohlenwasserstoff wie Dieseltreibstoff durch eine Koronaentladung zu einfacheren Kohlenwasserstoffen gekrackt und dann mit den sauerstoffreichen Abgasen gemischt, aus denen NO_x entfernt werden soll. Anschließend werden die gemischten Kohlenwasserstoffe und Abgase durch einen anderen Be-

reich der Koronaentladung geleitet, der Siliciumdioxidperlen als Teilchenfalle enthalten kann. In diesem Bereich wird NO_x zu NO_2 oxidiert. Das NO_2 und überschüssige Kohlenwasserstoffe werden durch ein Katalysatorbett geleitet, das dazu dient, das NO_2 zu O_2 und N_2 zu reduzieren und die Kohlenwasserstoffe zu CO_2 und H_2O zu oxidieren. An der Reduktionsstufe ist kein Plasma beteiligt. Vor der selektiven katalytischen Reduktion in US-A-5,711,147 muss das NO zu NO_2 umgewandelt werden, da der verwendete Katalysator bei der Reduktion von NO_2 effizienter ist als bei der Reduktion von NO . Außerdem müssen ausreichend Kohlenwasserstoffe vorhanden sein, um die Plasmaoxidation von NO zu NO_2 zu verbessern und als Reduktionsmittel für die Reduktion von NO_2 zu N_2 zu dienen.

[0013] WO00/18494 beschreibt ein Verfahren und einen Apparat, in dem ein NO und Kohlenwasserstoff enthaltender Gasstrom durch ein Plasma und dann über einen ein mikroporöses Material, insbesondere einen Zeolithen enthaltenden Katalysator geleitet wird. Dabei wird NO_x zu Stickstoff reduziert. Die Ergebnisse in WO00/18494 zeigen, dass die prozentuale NO_x -Reduktion sich auf bis zu 77 % belaufen konnte, aber auch nur 4 % betragen konnte, abhängig von dem Katalysator, der für Temperaturen im Bereich von 373 – 573 K verwendet wurde.

[0014] Das britische Patent GB 2,274,412 offenbart ein Verfahren und einen Apparat zur Entfernung von Teilchen und anderen verschmutzenden Stoffen aus den Abgasen von Verbrennungsmotoren. Neben der Entfernung von Teilchen durch eine durch eine elektrische Entladung unterstützte Oxidation, z.B. durch Verwendung eines nichtthermischen Plasmas, wird die Reduktion von NO_x -Gasen zu Stickstoff durch Einsatz eines Bettes aus Pellets offenbart, das dazu bestimmt ist, die NO_x -Reduktion zu katalysieren.

[0015] Auch die Patente US-A-3,983,021, 5,147,516 und 5,284,556 offenbaren die katalytische Reduktion von Stickstoffoxiden. Allerdings geht es in US-A-3,983,021 ausschließlich um die Reduktion von NO zu N in einer stummen Glimmentladung, bei der die Temperatur unter einem Wert gehalten wird, bei dem es nicht zur Oxidation von N oder NO zu höheren Oxiden von Stickstoff kommt.

[0016] Obwohl im Verfahren von US-A-3,983,021 so genannte Kontaktkörper verwendet werden und einige der offenbarten Körper gewisse katalytische Eigenschaften aufweisen können, scheint die Katalyse kein notwendiges Merkmal des Verfahrens von US-A-3,983,021 zu sein. Andere Oberflächeneigenschaften wie die Adsorption auf Materialien mit großer Oberfläche sind die Grundlage des Verfahrens von US-A-3,983,021.

[0017] In US-A-5,147,516 ist die Rede von der Verwendung von Katalysatoren zur Entfernung von NO_x , aber laut Definition leiten die betreffenden katalytischen Materialien ihre katalytische Aktivität von ihrer Form und nicht von ihren Oberflächeneigenschaften ab.

[0018] Auch die Betriebsbedingungen sind sehr eng definiert. Es gibt keine spezielle Erwähnung des Typs der beteiligten elektrischen Entladung, sofern überhaupt eine beteiligt ist. Es wird nur offenbart, dass die NO_x -Entfernung von Wechselwirkungen der Elektronen/Moleküle abhängt, was durch die Struktur der "korona-katalytischen" Materialien erleichtert wird.

[0019] In der PCT-Patentschrift WO99/12638 ist ein Verfahren zur Behandlung von Abgasen aus Verbrennungsmotoren beschrieben, bei dem Stickoxide durch ein Verfahren entfernt werden, das die Schritte des Leitens von Kohlenwasserstoffen durch ein Plasma beinhaltet. Darin befindet sich ein erstes Material, das in Gegenwart eines Plasmas oxydative Eigenschaften hat, wodurch mit Plasma aktivierte Kohlenwasserstoffe erzeugt werden. Dann wird ein Gemisch aus den aktivierten Kohlenwasserstoffen und den Abgasen mit einem zweiten Material in Kontakt gebracht, das dazu bestimmt ist, in Gegenwart der aktivierten Kohlenwasserstoffe die Reduktion der Stickoxide zu Stickstoff zu katalysieren.

[0020] Zu den Materialien, mit denen der zweite Schritt der in WO99/12638 offenbarten Erfindung durchgeführt werden, gehören verschiedene Formen von Aluminiumoxid, darunter aktiviertes Aluminiumoxid. Aktivierte Aluminiumoxide umfassen die γ -Aluminiumoxidphase. Solche Materialien sind auch in vielen der anderen vorstehend aufgeführten Beispiele des Standes der Technik offenbart.

[0021] Es wurde festgestellt, dass in der Praxis vor allem γ -Aluminiumoxide den Nachteil haben, dass ihre Reaktivitäten gegen Wasser anfällig sind. Da die Abgase von Verbrennungsmotoren Mengen von Wasserdampf enthalten, die mit den Betriebsbedingungen des betreffenden Motors schwanken, ist die Leistung der Katalysatoren nicht immer gleich.

[0022] Katalysatoren auf Silberbasis sind für die Reduktion von NO_x in Kfz-Emissionen beschrieben worden.

In den Artikeln von Miyadera "Alumina-supported silver catalysts for the selective reduction of nitric oxide with propene und oxygencontaining organic compounds", veröffentlicht in Applied Catalysis B: Environmental, Band 2, (1993) Seite 199 – 205, und Miyadera und Yoshida "Aluminasupported silver catalysts for the selective reduction of nitric oxide with propene" veröffentlicht in Chemistry Letters, (1993), Seite 1483, zeigt ein 2%iger Ag-Aluminiumoxidkatalysator eine vielversprechende hydrothermische Stabilität für die NO_x-Reduktion. Propen und teilweise oxidierte Kohlenwasserstoffe wie 2-Propanol als Zusatz waren effektive Reduktionsmittel. Masuda et al. zeigten in dem Artikel "Silver promoted catalysts for removal of nitrogen oxides from emissions of diesel engines" in Applied Catalysis B: Environmental, Band 8, (1996), Seite 33 – 40, dass 3%iger Ag-Mordenit ein vielversprechender magerer NO_x-Katalysator war, wenn man ihn mit Ag-ZSM-S und Ag-Aluminiumoxid mit CH₃COCH₃ als Reduktionsmittel verglich. Bethke und Kung zeigten in dem Artikel "Supported Ag catalysts for the lean reduction of NO with C₃H₆", veröffentlicht im Journal of Catalysis, Band 172, (1997), Seite 93, dass der Oxidationszustand von Silber seine katalytische Aktivität bei der Reduktion von NO_x beeinträchtigt. Eine andere silberhaltige Verbindung, Silberaluminat, AgAl₂O₄, das mit 0,1 Gew.-% WO₃ dotiert wurde, erwies sich laut dem Artikel von Nakatsuji et al. "Catalytic reduction system of NO_x in exhaust gases from diesel engines with secondary fuel injection", veröffentlicht in Applied Catalysis B: Environmental, Band 17, (1998), Seite 333 – 345, als vielversprechender Katalysator für die Reduktion von NO_x. Keshavaraja et al. verwendeten in einem Artikel mit dem Titel 'Selective catalytic reduction of NO with methane-over Ag-alumina catalysts', veröffentlicht in Applied Catalysis B: Environmental, Band 27, Seite L1 – L9, 2000, CH₄ für die selektive Reduktion von NO über Silberaluminiumoxidkatalysatoren bei Temperaturen zwischen 723 bis 923 K mit Ag-Beladungen zwischen 1 und 7 Gew.-%.

[0023] Meunier et al. haben die Rolle von Silberaluminiumoxidkatalysatoren auf die selektive katalytische Reduktion von NO durch Propen in einem Artikel mit dem Titel 'Mechanistic aspects of the selective reduction of NO by propene over γ -alumina und silver-alumina catalysts, veröffentlicht im Journal of Catalysis, Band 187, Seite 493 – 505, 1999, erörtert. Hohe Silberladungen von 10 Gew.-% erzeugten N₂O, während eine niedrige Ladung von 1,2 Gew.-% effektiv für die selektive katalytische Reduktion von NO zu N₂ war. Adsorbierte Organostickstoffspezies wie Organonitrite waren Zwischenspezies in der Reaktion.

[0024] Masters und Chadwick wiesen nach, dass oxygenierte Kohlenwasserstoffe, Methanol und Dimethylether, NO unter mageren Bedingungen durch die selektive katalytische Reaktion über γ -Aluminiumoxid zu N₂ reduzieren können. Diese Arbeit, 'Selective reduction of nitric oxide by methanol und dimethyl ether over promoted alumina catalysts in excess oxygen', veröffentlicht in Applied Catalysis B: Environmental, Band 23, Seite 235 – 246, 1999, zeigte, dass die Zugabe von Molybdän (MoO₃) die katalytische Aktivität bei niedrigeren Temperaturen als im Falle von γ -Al₂O₃ allein verbesserte. Formylspezies an der Oberfläche waren ein Zwischenprodukt in dieser Reaktion.

[0025] Allerdings wurden die vorstehend veröffentlichten Arbeiten an Katalysatoren, die Silber oder Molybdänoxid (MoO₃) enthalten, unter Umständen durchgeführt, bei denen keine nichtthermischen Plasmen verwendet wurden. Katalytische Materialien auf der Basis von Aluminiumoxid, das Silber oder Molybdänoxid (MoO₃) enthält, wurden bisher nicht zur Verwendung in der plasmaunterstützten katalytischen Behandlung von Abgasemissionen aus Verbrennungsmotoren vorgeschlagen. Das Verhalten katalytischer Materialien in einem plasmaunterstützten Verfahrensumfeld ist oft anders als beim Betrieb ohne Plasma und kann nicht so einfach vorhergesagt werden. Nicht nur kann die direkte Einwirkung des Plasmas die katalytische Leistung auf verschiedene Weise beeinträchtigen, sondern auch die Spezies, die sich bei einem plasmaunterstützten Verfahren im Plasma bilden, können die Aktivität katalytischer Materialien beeinträchtigen, unabhängig davon, ob das katalytische Material dem Plasma direkt ausgesetzt wird. Das Plasma kann eine katalytische Wirkung auf Materialien, die entweder leicht katalytisch sind oder überhaupt kein katalytisches Verhalten aufweisen, auch verbessern oder sogar beschleunigen.

[0026] Der Artikel "Plasma-Assisted Catalytic Reduction of NO_x" von H.S. Lee, B.H. Chun und K.M. Chun in Proceedings of the KSME Fall Annual Meeting B, S. 434 – 430 [AdÜ: eine dieser Seitenzahlen muss falsch sein] und der Artikel "A Study on DeNO_x Performance of Plasma/Catalyst System" von H.S. Lee et al., KSAE Autumn Conference Proceedings 1999, Vortrag Nr. 99380169 befassen sich mit der Literatur auf dem Gebiet der selektiven katalytischen Reduktion in Gegenwart eines Plasmas. Beide Artikel verweisen auf Arbeiten von Penetrante, die zeigen, dass verschiedene Katalysatoren NO und NO₂ zu Stickstoff reduzieren können. Laut diesen Artikeln weist Penetrantes Arbeit darauf hin, dass Aluminiumoxid ein besserer Katalysator für die Umwandlung von NO₂ zu Stickstoff als mit Silber dotiertes Aluminiumoxid ist.

[0027] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Katalysatormaterial aus aktiviertem Aluminiumoxid zur Verfügung zu stellen, das in der plasmaunterstützten Aufbereitung der Abgase auf einem Verbren-

nungsmotor verwendet wird und über bessere hydrothermische Stabilität und einen größeren Bereich der Betriebstemperatur verfügt und bei dem weniger NO vorher zu NO₂ umgewandelt werden muss als bisher.

[0028] Erfindungsgemäß zur Verfügung gestellt wird ein Verfahren zur plasmaunterstützten Aufbereitung der Abgase aus einem Verbrennungsmotor (Ottomotor), um die Emission von Stickoxiden daraus zu verringern, gekennzeichnet durch den Schritt der Herstellung eines nichtthermischen Plasmas in den Abgasen und das Leiten der angeregten Abgase durch einen gaspermeablen Körper aus aktiviertem Aluminiumoxid, der Silber in einer Konzentration enthält, die ausreicht, um die katalytische Reduktion von Stickoxiden zu N₂ zu beschleunigen, aber gering genug ist, um die Erzeugung unerwünschter Spezies wie N₂O zu vermeiden.

[0029] Vorzugsweise enthält der Körper aus aktiviertem Aluminiumoxid Silber in einer Konzentration zwischen 0,1 und 5 Gew.-%, vorzugsweise etwa 2 Gew.-%.

[0030] Vorzugsweise besteht das aktivierte Aluminiumoxid zumindest überwiegend aus γ -Al₂O₃, und der Anteil des Silbers liegt im Bereich von 2 Gew.-%.

[0031] Anstelle des γ -Aluminiumoxids können auch andere kristalline Phasen von Aluminiumoxid verwendet werden. Andere Dotierungsmittel, darunter metallische und Metalloxidzusätze, zum Aluminiumoxid können in Kombination mit dem mit Silber dotierten Aluminiumoxid verwendet werden.

[0032] Erfindungsgemäß umfasst ein Verfahren zur Herstellung eines katalytischen Materials, das bei diesem Verfahren verwendet werden soll, die Behandlung eines silberhaltigen Körpers aus aktiviertem Aluminiumoxid durch ein hydrothermisches Verfahren.

[0033] Eine geeignete Silberbeladung beträgt etwa 2 Gew.-%, und ein Beispiel eines geeigneten hydrothermischen Verfahrensprozesses ist das Erwärmen des silberhaltigen Aluminiumoxids auf eine Temperatur im Bereich von 723 – 823 K in einer Luftatmosphäre mit einer relativen Feuchtigkeit im Bereich von 3 bis 10 %, über einen Zeitraum von 24 Stunden oder mehr. Selbstverständlich kann dieses Verfahren auch in zahlreichen anderen Abwandlungen durchgeführt werden.

[0034] Die Erfindung stellt auch einen Reaktor für die plasmaunterstützte Aufbereitung von Abgasen aus Verbrennungsmotoren, um die Emission von Stickoxiden daraus zu verringern, zur Verfügung. Dieser umfasst eine Reaktorkammer, die so ausgelegt ist, dass sie in das Abgassystem eines Verbrennungsmotors eingebaut werden kann, Mittel zur Erzeugung eines nichtthermischen Plasmas in kohlenwasserstoffhaltigen Abgasen, die durch die Reaktorkammer strömen, und Mittel, um die Abgase zu zwingen, durch einen gaspermeablen Körper aus einem Material zu strömen, das so ausgelegt ist, dass in Gegenwart der angeregten Kohlenwasserstoffe in den Abgasen die Reduktion von Stickoxiden zu Stickstoff katalysiert wird, dadurch gekennzeichnet, dass das katalytische Material ein aktiviertes Aluminiumoxid umfasst, das Silber in einer Konzentration enthält, die ausreicht, um die katalytische Reduktion von Stickoxiden zu N₂ zu beschleunigen, aber gering genug ist, um die Erzeugung unerwünschter Spezies wie N₂O zu vermeiden.

[0035] Vorzugsweise enthält der Körper aus aktiviertem Aluminiumoxid Silber in einer Konzentration zwischen 0,1 und 5 Gew.-%, vorzugsweise etwa 2 Gew.-%.

[0036] Der Silber-Aluminiumoxidkatalysator kann sich in dem Bereich des Reaktors, wo das Plasma erzeugt wird, oder in einem separaten Plasmareaktor stromabwärts dieses Reaktors befinden. Er kann auch stromabwärts eines Plasmareaktors positioniert sein, ohne sich selbst im Plasmabereich zu befinden.

[0037] Die Erfindung wird jetzt anhand der Begleitzeichnungen beispielhaft beschrieben. Darin zeigen:

[0038] [Fig. 1](#) einen Längsschnitt eines schematischen Reaktorsystems, das die Erfindung verkörpert, zur Entfernung von Stickstoffoxiden aus den Abgasen aus einem Verbrennungsmotor und

[0039] [Fig. 2](#) eine Kurve, um die kombinierte Wirkung von Plasma und Silberaluminiumoxidkatalysator auf die Umwandlung von NO zu N₂ in einem simulierten Diesellabgasstrom zu veranschaulichen.

[0040] Wie die Zeichnung zeigt, besteht ein Reaktor **1** zur Entfernung von Stickstoffoxiden und teilchenförmigen kohlenstoffhaltigen Verbrennungsprodukten aus den Abgasen eines Verbrennungsmotors aus einer zylindrischen Kammer **2** aus rostfreiem Stahl, die einen Einlassstumpf **3** und einen Auslassstumpf **4** aufweist, mittels derer sie in das Abgassystem eines Verbrennungsmotors (in der Zeichnung nicht zu sehen) eingebaut wer-

den kann. Die Kammer **2** ist so angeordnet, dass sie im Betrieb an einen Erdungspunkt **5** angeschlossen werden kann. Innerhalb der Kammer **2** befindet sich ein Plasmaaktivierungsreaktor, der innere und äußere Elektroden **6** bzw. **14** aus perforiertem rostfreiem Stahl einschließt, die mittels zweier elektrisch isolierender Träger **7** und **8** koaxial innerhalb der Kammer **2** positioniert werden. Die Träger **7** und **8** können aus einem Keramikmaterial wie Aluminiumoxid oder einem unter dem Namen MICATHERM[®] bekannten Material hergestellt werden. Der Raum **11**, der durch die Elektroden **6** und **14** und die Träger **7** und **8** begrenzt wird, ist mit einem gaspermeablen Bett **12** aus einem aktiven dielektrischen Material bzw. Materialgemischen gefüllt, das oder die die Entfernung von Stickoxiden unterstützen können, wie z.B. Materialien aus Metallmischoxiden.

[0041] Das Bett **12** aus dielektrischem Material ist nur in grober Diagrammform veranschaulicht. In der Praxis kann das das Bett **12** bildende Material die Form von Kügelchen, ungleichmäßigen Pellets, Extrudaten, Fasern, Bahnen, Wafern, eines bienenwabenartigen Monolithen oder jede andere geeignete Form haben.

[0042] Wie man sieht, zwingen eine Vielzahl axial orientierter Löcher **13** um die Peripherie des Trägers **7** und ein Mittelloch **16** im Träger **8** zusammen mit dem ringförmigen Raum **15** zwischen der äußeren Elektrode **14** und der Kammer **2** die Abgase dazu, radial durch das Bett **12** aus dielektrischem Material zu strömen. Andere Konfigurationen einschließlich Konfigurationen mit axialem Fluss können auf Wunsch angepasst werden, ebenso wie andere Formen eines Plasmagenerators, wie z.B. ein Reaktor mit einer dielektrischen Sperre oder ein Reaktor mit einer gepulsten Koronaentladung.

[0043] Ein zweiter Reaktor, der dem ersten ähnlich ist, aber keine Vorkehrung zum Anlegen eines hohen Potentials aufweist, wird in diesem Beispiel stromabwärts des ersten, des Plasmaanregungsreaktors, in die Kammer **2** eingebaut. Diejenigen Komponenten des zweiten Reaktors, die den äquivalenten Komponenten im ersten Reaktor entsprechen, haben die gleichen Bezugswerte. Im zweiten Reaktor besteht das gaspermeable Bett **12** aus einem mit Silber oder Molybdänoxid (MoO_3) dotierten aktivierten Aluminiumoxid, das γ -Aluminiumoxid enthält. Geeignete Aluminiumoxidformen sind solche, die unter den Handelsnamen CT530 (vertrieben von Catal International, Sheffield, U.K.) oder Alumina C (vertrieben von der Degussa Corp., U.S.A.) bekannt sind. Wie zuvor kann das das Bett **12** des zweiten Reaktors bildende Material in Form von Kügelchen, ungleichmäßigen Pellets, Extrudaten, Fasern, Bahnen, Wafern oder bienenwabenartigen Monolithen oder in jeder anderen geeigneten Form vorliegen, die eine große Oberfläche hat und die Abgase ohne weiteres durchlässt. Möglicherweise kann es erforderlich sein, eine Vorrichtung zur Zuführung zusätzlichen Reduktionsmittels wie Treibstoff oder Kohlenwasserstoff in den Plasmabereich und/oder den Katalysator in einem Ein- oder Zweistufensystem zur Verfügung zu stellen.

[0044] Eine Hochspannungsstromquelle **9** ist über eine isoliertes Verbindungsstück **10** an die innere Elektrode **6** angeschlossen. Eine geeignete Stromquelle ist eine, die dazu bestimmt ist, ein Potential in der Größenordnung von Kilovolt bis zu mehreren zehn Kilovolt und Wiederholungsfrequenzen im Bereich von 50 bis 5.000 Hz zur Verfügung zu stellen, obwohl auch höhere Frequenzen in der Größenordnung von mehreren 10 Kilohertz verwendet werden können. Gepulster Gleichstrom eignet sich gut zur Verwendung in Kraftfahrzeugen, aber auch wechselnde Potentiale, z.B. dreieckige oder sinusförmigen Wellen mit den gleichen oder ähnlichen Eigenschaften, können verwendet werden. Dies reicht normalerweise aus, um die Abgase zu einem nichtthermischen Plasma innerhalb der Zwischenräume des Bettes **12** aus aktivem Material anzuregen. Die Stromquelle **9** kann ein so genanntes "Integrales Starter Alternator Damper System" (ISAD) der in einem Artikel mit dem Titel "Stop/Go Systems Get the Green Light", European Automotive Design, April 1998, beschriebenen An aufweisen. Ein ISAD kann als Teil eines Stromzufuhrsystems verwendet werden, um ein plasmaunterstütztes Emissionskontrollsystem mit Strom zu versorgen, von dem ein Plasmareaktor ein Teil ist.

[0045] Zusätzlich können auch andere Stromquellen wie unter anderem 12/14 V-Wechselstromgeneratortechnologien mit Einfach-/Mehrfachausstoß, z.B. 14V/42V, Brennstoffzellen, Gasturbinen, Solarzellen und Wärmetauscher den Großteil oder einen Teil der stromerzeugenden Energiequelle versorgen, welche ebenfalls verwendet werden kann, um das Stromzuführungssystem für den Reaktor zu versorgen.

[0046] In einem Beispiel besteht das Bett **12** aus einem katalytischen Material im zweiten Reaktor in der Reaktorkammer **2** aus dem γ -Aluminiumoxid, das 2 Gew.-% Silber enthält. Das Material liegt in Form hochporöser Kügelchen vor und wird dadurch hergestellt, dass man eine ausreichende Menge eines löslichen Silbersalzes, z.B. Silbernitrat, mischt, um die erforderliche prozentuale Menge Silber in eine Aluminiumoxidmenge mit einem Wasservolumen einzubringen, das dem geschätzten Porenvolumen der betreffenden Menge Aluminiumoxid entspricht. Die Silberlösung wird mit dem Aluminiumoxid in Kontakt gebracht, bis die gesamte Lösung absorbiert ist. Dieses Verfahren, das Lösungsvolumen an das Porenvolumen des Aluminiumoxids anzupassen, nennt man "einsetzende Nässe". Das gesättigte Aluminiumoxid wird dann bei 353 K an der Luft getrocknet und

anfänglich an der Luft drei Stunden bei 823 K erwärmt. Anschließend wird das silberhaltige Aluminiumoxid einer hydrothermischen Behandlung unterzogen, indem man es an der Luft bei einer relativen Luftfeuchtigkeit zwischen 3 und 10 % 24 Stunden auf eine Temperatur zwischen 723 K und 823 K erwärmt. Silberkonzentrationen im Bereich von 0,1 bis 5 Gew.-% können eingesetzt werden. Vor der Imprägnierung mit der Silbersalzlösung kann das Aluminiumoxid auch behandelt werden, um seine Oberflächenazidität zu verbessern, z.B. durch Imprägnieren mit einer Mineralsäure wie Salzsäure durch einsetzende Nässe, gefolgt von Trocknen und Erwärmen bei einer hohen Temperatur um 873 K.

[0047] Für Fachleute liegt auf der Hand, dass man auch verschiedene andere Verfahren für die anfängliche Herstellung von Silberaluminiumoxidkatalysatoren ähnlicher Zusammensetzung verwenden kann. Silber-auf-Aluminiumoxid-Pulver können durch eine Vielzahl chemischer Nasstechniken hergestellt werden, darunter die Sol-Gel-Verarbeitung mit Metallalkoxiden, bei der man die Hydrolyse und/oder Ausfällung einsetzt, die Verwendung wässriger kolloidaler Aluminiumoxiddispersionen sowie die Verwendung von Emulsionen und Mikroemulsionen. Imprägnierungstechniken und Techniken einsetzender Nässe können für dotierte Aluminiumoxidpulver verwendet werden. Aluminiumoxidpulver können durch Ausfällen aus Sol-Gel-Vorläufern hergestellt und mit Silbersalzen imprägniert werden. Die Kristallitgröße der Silberteilchen kann durch das Ausfällungs- und/oder Hydrolyseverfahren gesteuert werden. Auch Silber-auf-Aluminiumoxid-Beschichtungen können durch chemische Nassverfahren hergestellt werden. Die Silberbeschichtung ist auch nicht auf Aluminiumoxid beschränkt, und Beispiele wie Silberzeolithe können brauchbar sein.

[0048] Wie sich gezeigt hat, erzeugen Silberkonzentrationen im vorstehenden Bereich dotierte Aluminiumoxidmaterialien, die hydrothermisch stabiler sind als undotierte aktivierte Aluminiumoxide. Die Silberdotierung fördert auch die reduzierende Aktivität des Katalysators bezüglich der reduzierenden Spezies aus aktiviertem Kohlenwasserstoff, darunter organische stickstoffhaltige Reduktionsspezies, die im Plasma im Bett aus gaspermeablen Material im ersten Reaktor in der Kammer **2** hergestellt werden. In den Abgasen können genug unverbrannte Kohlenwasserstoffe vorhanden sein, doch auf Wunsch können den Abgasen auch Kohlenwasserstoffe wie solche, die aus dem Treibstoff stammen, oder andere geeignete Reduktionsmittel zugesetzt werden, und zwar entweder vor dem Einbringen in den Reaktor oder während sie durch den Plasmabereich des Reaktors strömen. Es ist ein signifikantes Merkmal dieser Erfindung, dass das NO im Abgas nicht unbedingt zu NO₂ umgewandelt werden muss, ehe es in Kontakt mit dem silberhaltigen Aluminiumoxid kommt, da der Katalysator aktiv für die Reduktion von NO und NO₂ in Gegenwart eines Reduktionsmittels wie Kohlenwasserstoffe oder aktivierte Kohlenwasserstoffspezies, die durch das Plasma erzeugt werden können, aktiv ist.

[0049] Andere Formen des Plasmagenerators, wie z.B. einer vom Typ mit einer dielektrischen Sperre, die verwendet werden können, sind in unserer ebenfalls anhängigen Anmeldung PCT/GB00/01881 (GB 99 11728.5) beschrieben. Solche Plasmageneratorreaktoren können entweder separat verwendet werden, wobei der erste Reaktor in der Reaktorkammer **2** in der Zeichnung ersetzt wird, oder sie können anstelle des vorstehend beschriebenen Plasmageneratorreaktors in sie eingebaut werden.

[0050] Die Position des Katalysators innerhalb oder außerhalb des Plasmas stellt einen Ein- bzw. Zweistufenreaktor dar.

[0051] Auch andere Konfigurationen, darunter Konfigurationen mit axialem Fluss, können auf Wunsch eingesetzt werden, ebenso wie andere Formen von nichtthermischen Plasmageneratoren, wie ein Reaktor mit gepulster Coronaentladung, ein Reaktor mit Oberflächenentladung oder ein Reaktor mit einem Bett aus dielektrischen und/oder ferroelektrischen Pellets.

[0052] Als Beispiel zeigen Tabelle 1 und 2 die experimentellen Ergebnisse, die man erzielt, wenn die 423 K bzw. 723 heißen Abgase aus einem Dieselmotor über einen Zweistufenreaktor der vorstehend beschriebenen An geleitet wurden. Dieser Zweistufenreaktor hat eine Plasmaaktivierungsstufe, an die sich ein Katalysatormaterial anschließt. Die Tabellen zeigen die Wirkung der Abgase auf das Plasma allein, das Plasma in Kombination mit einem Ag-Al₂O₃-Katalysator in einem Zweistufensystem und den Katalysator allein.

Tabelle 1 (alle Messungen in ppm)

	Am Motor	Plasmastufe in Betrieb	Plasma / Katalysator	Nur Katalysator
NO _x	524	480	383	442
NO	507	305	309	407
NO ₂	17	175	74	35

Tabelle 2

	Am Motor	Plasmastufe in Betrieb	Plasma / Katalysator	Nur Katalysator
NO _x	524	480	158	188
NO	507	305	118	140
NO ₂	17	175	42	48

[0053] Wie man sieht, kommt es zu einer gewissen Umwandlung von NO zu NO₂ während der Plasmaaktivierungsstufe, doch in jedem Fall führt die Kombination von Plasma und katalytischer Behandlung insgesamt zu einer stärkeren NO_x-Reduktion als man entweder nur mit Plasmabehandlung oder Behandlung mit einem mit Silber dotiertem Katalysator erreicht.

[0054] Beispielsweise erreicht der Katalysator allein bei 423 K insgesamt eine NO_x-Reduktion von 16 %, während mit der kombinierten Behandlung mit Plasma und Katalysator eine Verringerung von 27 % erreicht wird. Bei 723 K sind die Zahlen 64 % bzw. 70 %.

[0055] [Fig. 2](#) veranschaulicht die vorteilhafte Wirkung auf die prozentuale Umwandlung von NO zu Stickstoff, wenn man das Plasma und die Silberaluminiumoxidkatalysatoren in einem Bereich von Katalysatortemperaturen in einem simulierten Dieselaabgasstrom einsetzt. Die Zeichnung zeigt den Effekt der Verwendung von Propen oder Treibstoff als Reduktionsmittel im Abgas. Die Auswirkung auf die prozentuale NO-Umwandlung zu Stickstoff durch den Katalysator in Abwesenheit von Plasma mit Treibstoff als Reduktionsmittel ist bei **(201)** und mit Propen als Reduktionsmittel in **(202)** zu sehen. Außerdem zeigt die Zeichnung die Wirkung der Kombination von Plasma und Katalysator mit Treibstoff als Reduktionsmittel **(204)** und Propen als Reduktionsmittel **(203)** auf die prozentuale NO-Umwandlung zu Stickstoff. Man sieht, dass die Kombination aus Plasma und katalytischer Behandlung insgesamt zu einer stärkeren NO-Reduktion führt, als man entweder nur mit einer Plasmabehandlung oder einer Behandlung mit mit Silber dotiertem Katalysator erreicht. Beispielsweise erreicht der Katalysator allein bei 200°C (473 K) mit einem Treibstoffreduktionsmittel insgesamt eine Reduktion von NO zu Stickstoff von ca. 15 %, während die kombinierte Behandlung aus Plasma und Katalysator eine Reduktion von 60 % erreicht.

[0056] Die hier beschriebenen Ausführungsformen des Reaktors können weitere katalytische Komponenten enthalten oder als Teil eines Emissionskontrollsystems installiert werden, in denen Katalysatoren oder anderen Emissionskontrollvorrichtungen für die plasmaunterstützte Behandlung der Abgase aus Verbrennungsmotoren verwendet werden. Beispielsweise kann es erforderlich sein, einen Oxidationskatalysator zu verwenden, um nicht umgesetzte Kohlenwasserstoffe / Treibstoff zu entfernen, die dazu verwendet wurden, die erforderliche katalytische Reduktion über dem Katalysator zu beschleunigen.

[0057] Solche anderen Emissionskontrollvorrichtungen können die Umwälzung des Abgases (exhaust gas recirculation = EGR), Abwandlungen im Zündungszeitpunkt und die Einstellung der Impulsgeschwindigkeit beim Treibstoffeinspritzen umfassen. Ein Beispiel der Vorrichtung zur Plasmaerzeugung ist in PCT/GB00/00603 angeführt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur plasmaunterstützten Aufbereitung der Abgase aus einem Verbrennungsmotor (Ottomotor), um die Emission von Stickoxiden daraus zu verringern, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Behandlung eine Kombination ist aus der Herstellung eines nichtthermischen Plasmas in den Abgasen und dem Leiten der angeregten Abgase durch einen gaspermeablen Körper aus aktiviertem Aluminiumoxid, der Silber in einer

Konzentration enthält, die ausreicht, um die katalytische Reduktion von Stickoxiden zu N_2 zu beschleunigen, aber gering genug ist, um die Erzeugung unerwünschter Spezies wie N_2O zu vermeiden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, das außerdem dadurch gekennzeichnet ist, dass das aktivierte Aluminiumoxid zumindest überwiegend γ -Aluminiumoxid ist, das zwischen 0,1 und 5 Gew.-% Silber enthält.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, das außerdem dadurch gekennzeichnet ist, dass der gaspermeable Körper aus aktiviertem Aluminiumoxid ungefähr 2 Gew.-% Silber enthält.

4. Reaktor für die plasmaunterstützte Aufbereitung von Abgasen aus Verbrennungsmotoren, um die Emission von Stickoxiden daraus zu verringern, umfassend eine Reaktorkammer (2), die so ausgelegt ist, dass sie in das Abgassystem eines Verbrennungsmotor eingebaut werden kann, Mittel (6, 14) zur Erzeugung eines nichtthermischen Plasmas in kohlenwasserstoffhaltigen Abgasen, die durch die Reaktorkammer (2) strömen, und Mittel (3, 4), um die Abgase zu zwingen, durch einen gaspermeablen Körper (12) aus einem Material zu strömen, das so ausgelegt ist, dass in Gegenwart der angeregten Kohlenwasserstoffe in den Abgasen die Reduktion von Stickoxiden zu Stickstoff katalysiert wird, dadurch gekennzeichnet, dass das katalytische Material ein aktiviertes Aluminiumoxid umfasst, das Silber in einer Konzentration enthält, die ausreicht, um die katalytische Reduktion von Stickoxiden zu N_2 zu beschleunigen, aber gering genug ist, um die Erzeugung unerwünschter Spezies wie N_2O zu vermeiden.

5. Reaktor nach Anspruch 4, der außerdem dadurch gekennzeichnet ist, dass das oder die Mittel (6, 14) zur Erzeugung eines nichtthermischen Plasmas in den Abgasen vom gaspermeablen Körper (12) aus dem katalytischen Material getrennt und diesem vorgeschaltet sind.

6. Reaktor nach Anspruch 4 oder Anspruch 5, der außerdem dadurch gekennzeichnet ist, dass das katalytische Material ein aktiviertes Aluminiumoxid umfasst, das zwischen 0,1 und 5 Gew.-% Silber enthält.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig.1.

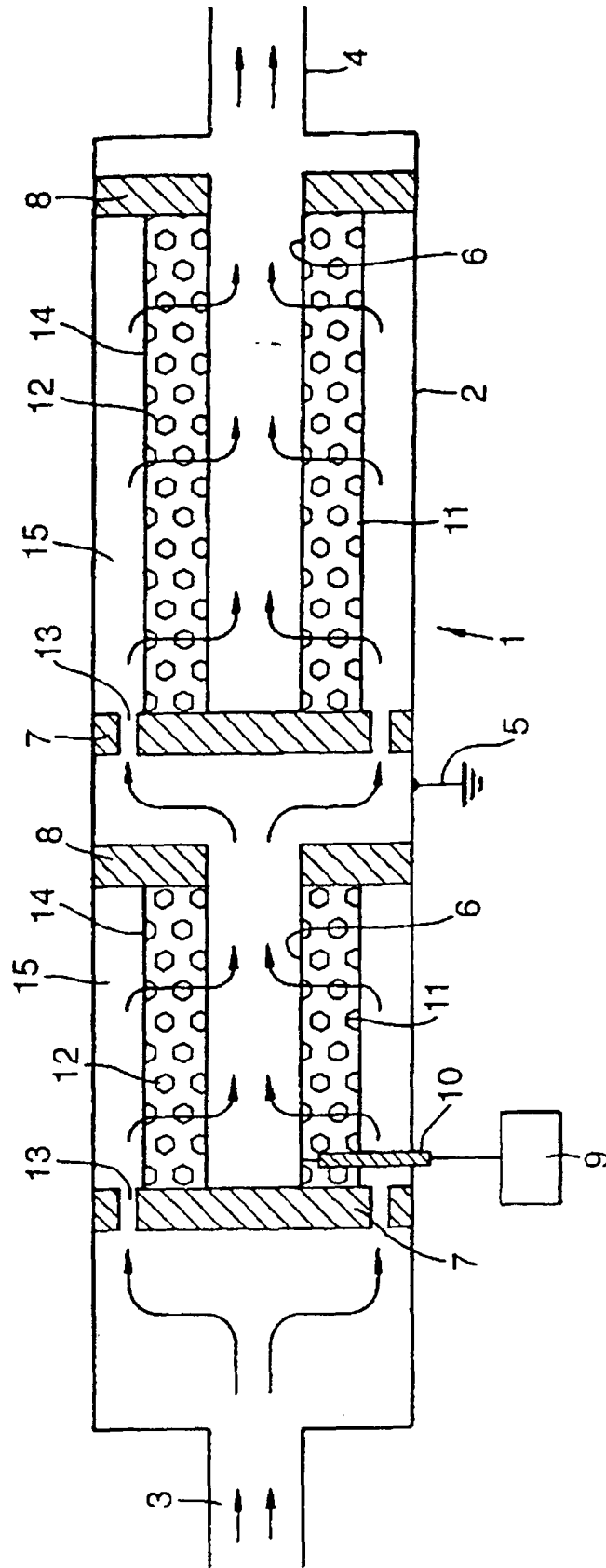


Fig.2.

