

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 490 630 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
02.08.2006 Patentblatt 2006/31

(51) Int Cl.:
F23C 99/00 ^(2006.01) **F23G 5/00** ^(2006.01)
F02M 27/04 ^(2006.01) **F23B 90/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03714869.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2003/002976

(22) Anmeldetag: **21.03.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2003/081130 (02.10.2003 Gazette 2003/40)

(54) **BRENNSTOFFVERBRENNUNGSVORRICHTUNG**

FUEL COMBUSTION DEVICE

DISPOSITIF DE COMBUSTION D'UN COMBUSTIBLE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**

(30) Priorität: **22.03.2002 DE 10212995**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
29.12.2004 Patentblatt 2004/53

(73) Patentinhaber: **Pyroplasma KG
44269 Dortmund (DE)**

(72) Erfinder:
• **HEILIGERS, Rolf
47533 Kleve (DE)**
• **HUNCK, Wolfgang, Heinrich
40477 Düsseldorf (DE)**

(74) Vertreter: **Charles, Glyndwr
Reinhard-Skühra-Weise & Partner,
Patentanwälte,
Friedrichstrasse 31
80801 München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-96/01394 DE-A- 10 137 683
DE-B- 1 254 364 DE-B- 1 274 781
GB-A- 1 140 861 US-A- 2 604 936
US-A- 3 087 472

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 141
(M-223), 21. Juni 1983 (1983-06-21) & JP 58 053627
A (HINO JIDOSHA KOGYO KK), 30. März 1983
(1983-03-30)**

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).

EP 1 490 630 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Brennstoffverbrennungsvorrichtung zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion.

[0002] Die DE 1 274 781 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verbesserung des Verbrennungswirkungsgrades bei Brennern. Die Verbrennungsvorrichtung weist eine Einrichtung zum Zuführen von Brennstoffen sowie einen Verbrennungsraum zur Verbrennung der zugeführten Brennstoffe bei einer Flamme auf. Dabei bilden die Flamme und die Spule einen Schwingkreis.

[0003] Die Verbrennung ist eine chemische Reaktion (Oxidation) von Brennstoffen mit Sauerstoff der Luft unter Freisetzung von Wärme. Kohlenwasserstoffe reagieren zu Kohlendioxid CO_2 und Wasserdampf H_2O . Die Verbrennung von festen Brennstoffen wird durch Erhitzen auf Entzündungstemperatur eingeleitet während die Verbrennung bei flüssigen Brennstoffen über Zwischenvergasung durch die momentane Überschreitung der Zündgrenze mittels eines Zündfunken hervorgerufen wird. Bei gasförmigen Brennstoffen wird durch momentane Überschreitung der Zündgrenze die Verbrennung mittels eines Zündfunken induziert. Bei der Verbrennung entstehen Abgase. Aus der Zusammensetzung der Abgase kann man die Güte der Verbrennung beurteilen. Eine Verbrennung ist im herkömmlichen Sinne eine plasmatisch anmutende exotherme Redoxreaktion, die unter Abgabe elektromagnetischer Strahlung, wie Licht- und Wärmestrahlung vonstatten geht. Unter Oxidation versteht man in der Chemie einen chemischen Vorgang bei dem ein Teilchen Elektronen abgibt. Die abgegebenen Elektronen werden von anderen Teilchen, beispielsweise von Sauerstoff- und Chloratomen aufgenommen. Dieser Vorgang wird als Reduktion bezeichnet. Jeder Oxidationsvorgang ist mit einem Reduktionsvorgang gekoppelt. Die Reaktionsreaktionen, denen ein derartiger Elektronenübergang zu Grunde liegt, nennt man Redoxreaktionen. Bei allen chemischen Reaktionen ist Energie beteiligt. Energiereichere Systeme gehen unter Freisetzung von Energie in energieärmere Systeme über. Umgekehrt werden energieärmere Systeme unter Energieaufwand in energiereichere Systeme überführt. Wird bei einer Reaktion Wärmeenergie frei, so spricht man von einer exothermen Reaktion. Wird umgekehrt Energie aufgenommen, so liegt eine endotherme Reaktion vor. Während manche Stoffe, beispielsweise Holzkohle beim Verbrennen nur glühen, bilden andere Brennstoffe, wie beispielsweise Holz, Benzin oder Gas eine Flamme.

[0004] Eine Kerzenflamme zeigt drei Helligkeitszonen. Die Flamme enthält innen einen dunklen Kern, der von einem gelbleuchtenden Mantel umgeben ist. Der gelbleuchtende Mantel wird in der Regel von einem bläulichen Flammensaum umschlossen. Der relativ kühle Kern enthält die unverbrannten Dämpfe des festen Stoffes. Als Dampf bezeichnet man allgemein die Gasphase

eines Stoffes, der bei Zimmertemperatur fest oder flüssig ist. Im Flammenmantel zersetzen sich diese Dämpfe in brennende Gase und feine Kohlenstoffteilchen, die in helle Glut geraten und Licht aussenden. Diese Kohlenstoffteilchen verbrennen erst bei ungehindertem Luftzutritt am äußersten Flammensaum. Der Flammensaum bildet den heißesten Teil der Flamme. Eine Flamme ist somit ein brennender Gasstrom, wobei das Leuchten der Flamme durch glühende Feststoffteilchen hervorgerufen wird. Durch Flammen verbrennen daher alle brennbaren Gase sowie solche Flüssigkeiten und Feststoffe, die oberhalb der Entzündungstemperatur brennbare Dämpfe bzw. gasförmige Zersetzungsprodukte entwickeln. Flammen weisen an dem Flammenmantel einen anderen elektrischen Widerstand auf als das umgebende Gas. Der Flammenmantel ist in der Lage elektrische Ladungen zu transportieren. Bei einer herkömmlichen Flamme handelt es sich um eine thermische Ionisationserscheinung, die aus der Braunschen Molekularbewegung ableitbar ist.

[0005] Die Fähigkeit von Flammen elektrische Ladungen zu transportieren wird bei den sogenannten Flammenionisationsdetektoren (FID) zur Flammenüberwachung ausgenutzt. Die Ionisationsflammenüberwachung beruht auf dem Effekt, dass die heißen Flammengase elektrisch geladene Atome oder Moleküle bzw. Ionen enthalten, die einen elektrischen Strom leiten.

[0006] Figur 1 zeigt einen Flammenionisationsdetektor (FID) nach dem Stand der Technik. Der Flammenionisationsdetektor (FID) weist eine Ringelektrode R und eine Spitzenelektrode S auf. Die aus dem Flammenkern K und dem Flammenmantel M bestehende Flamme wird mit Brennstoff versorgt. Zwischen der Ringelektrode R, die den Flammenkern K umschließt, und der Spitzenelektrode S wird ein elektrisches Wechselfeld aufgebaut, indem durch eine Spannungsquelle eine Wechselspannung zwischen den beiden Elektroden angelegt wird. Durch Anlegen der Wechselspannung an die in die Flamme eingetauchte Spitzenelektrode S wird ein Strom durch eine Strommesseinrichtung messbar. Der gemessene Strom ist trotz der angelegten Wechselspannung kein Wechselstrom, sondern ein Gleichstrom. Mit dem Strommesser kann festgestellt werden, ob eine Flamme brennt. Aufgrund des Gleichrichtereffektes der Flamme kann auch bei Elektrodenkurzschluss nicht irrtümlich das Vorhandensein einer Flamme festgestellt werden. Flammenionisationsdetektoren FID können auch zur Konzentrationsmessung von Kohlenwasserstoffen in der Abluft und Raumluft eingesetzt werden. Dabei wird als Messeffekt die Ionisation organisch gebundener Kohlenstoffatome in einer Wasserstoffflamme ausgenutzt. Der bei dem elektrischen Feld auftretende Ionenstrom wird elektrisch verstärkt und angezeigt. Der Ionenstrom ist proportional zu der Zahl der in der Luftprobe vorhandenen organisch gebundenen Kohlenstoffatome. Man erhält so die Konzentration für den Gesamtkohlenstoff in PPM. Die Nachweisgrenze liegt dabei bei 0,1 - 0,2 PPM.

[0007] Figur 2a zeigt einen Plasma-Jet-Reaktor nach

dem Stand der Technik. Bei dem dargestellten Reaktor strömt ein Gasgemisch aus N_2 und O_2 über ein Rohr ein und gelangt in ein Mikrowellenfeld. Ein Generator erzeugt Mikrowellen, die in einen Hohlleiter einspeist und am anderen Ende des Hohlleiters reflektiert werden. Es kommt dabei zu einer Überlagerung der einlaufenden und auslaufenden Welle. Der Plasma-Jet-Reaktor dient als Abgaskatalysator. Aufgrund der Verweilzeit des durchströmenden Gasgemisches aus O_2 und N_2 in dem Überlagerungsfeld der Mikrowellen bilden sich ein thermisches Plasma mit Spitzentemperaturen von bis zu 10.000 Kelvin aus. Wird die Mikrowelle dabei gepulst so entsteht ein kaltes Plasma mit einer Temperatur von 1.000-2.000 Kelvin. Durch das in die Reaktionskammer eingeführte Plasma wird die Konzentration der in dem Abgas enthaltenen Schadstoffe gesenkt.

[0008] Unter Plasma versteht man allgemein ein ionisiertes Gas bzw. Gasgemisch. Führt man diesen Gasen kontinuierlich Energie zu, beispielsweise in Form von elektrischem Strom, so gehen sie in einen Zustand über, in dem neutrale Gasmoleküle angeregt sind und bei weiterer Energiezufuhr häufig positiv geladene Ionen und negativ geladene Elektronen entstehen. Dieses Gemisch aus neutralen, positiv und negativ geladenen Partikeln bezeichnet man als Plasma.

[0009] Eine weitere Möglichkeit die Konzentration von Schadstoffen zu verringern besteht darin, ein leichtionisierbares Edelgas, wie beispielsweise Argon, als Trägergas durch ein elektrisches Feld mittels Mikrowellen in Plasma umzuwandeln.

[0010] Figur 2b zeigt eine Anordnung nach dem Stand der Technik zur Beseitigung von Schadstoffen. Ein Mikrowellengenerator erzeugt ein elektromagnetisches Feld. Die erzeugten Mikrowellen werden an einem Reflektor reflektiert und erzeugen ein Plasma, das über eine Öffnung auf den zu beseitigenden Schadstoff trifft. Bei dem Schadstoff handelt es sich beispielsweise um Dioxin. Hierdurch wird die Braunsche Molekularbewegung der Dioxinmoleküle stark erhöht. Das Argonplasma führt zu einer Beseitigung der Dioxinmoleküle aufgrund der hohen Temperatur in einer chemischen Reaktion. Ein Nachteil der in Figur 2b dargestellten Anordnung besteht darin, dass der Generator zur Erzeugung der Mikrowelle einen sehr hohen Energieverbrauch hat, wobei er typischerweise eine Leistung von 1-10 kW benötigt. Bei der in Figur 2b dargestellten Anordnung wird zunächst ein Plasma generiert und anschließend in einer getrennten Reaktionskammer das generierte Plasma mit dem zu beseitigenden Schadstoff in Kontakt gebracht. Die Abbrandflamme und das durch den Reflektor gebildete Plasmafild sind lokal von einander getrennt. Der Wirkungsgrad der in der Figur 2b dargestellten Anordnung zur Beseitigung von Schadstoffen ist aufgrund des hohen Energiebedarfs sehr klein.

[0011] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Brennstoffverbrennungsvorrichtung zur Verbrennung von Brennstoffen zu schaffen, bei der der Anteil der von der Verbrennung entstehenden Schad-

stoffe mit geringem Energieaufwand minimiert wird.

[0012] Die erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe besteht darin, eine potentialdifferenzbildende Wechselspannung zu erzeugen, d.h. ein Spannungsfeld in einer Flamme, dessen Spannungsform eine Ladung von Kathode zur Anode fließen lässt, beispielsweise eine gepulste Gleichspannung oder eine gleichspannungsüberlagerte Wechselspannung. Eine reine Wechselspannung ist nicht funktionsfähig und eine reine Gleichspannung ist nur unzureichend funktionsfähig die erfindungsgemäße Aufgabe zufriedenstellend zu lösen.

[0013] Die Flamme bildet mit der potentialdifferenzbildenden Wechselspannung ein Dispersionsspektrum mit einem Flammwiderstand aus, der über den Frequenzbereich variiert.

[0014] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Brennstoffverbrennungsvorrichtung mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmalen gelöst.

[0015] Bei der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung wird der Flamme ein elektrisches Feld überlagert. Das elektrische Feld erzeugt dabei ein Reaktionsplasma innerhalb der Flamme. Durch dieses Reaktionsplasma wird der zugeführte Brennstoff effizient verbrannt, so dass die Konzentrationen der bei der Verbrennung entstehenden Schadstoffe minimal sind.

[0016] Die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung zeichnet sich durch einen Energieverbrauch aus, der unter 100 Watt bei einem 10kW Brenner liegt, d.h. der elektrische Energieeintrag liegt bei lediglich 0,1 % des gesamten chemischen Energieeintrags.

[0017] Die zugeführten Brennstoffe werden nahezu 100%ig verbrannt, wobei unerwünschte Nebenprodukte im Abgas, wie beispielsweise Stickoxide (NO_x) nur in sehr geringen Konzentrationen abgegeben werden.

[0018] Bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen als Brennstoff wird mittels der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung der Anteil der unverbrannten Kohlenwasserstoffe, die ebenfalls Schadstoffe darstellen, im Abgas ebenfalls auf einen Anteil von nahezu Null abgesenkt.

[0019] Durch die Bildung eines Reaktionsplasmas innerhalb der Flamme wird die Energieausbeute im Vergleich zu herkömmlichen Verbrennungseinrichtungen deutlich gesteigert. Die umweltschädlichen Giftstoffe, wie beispielsweise Dioxine und Furane, werden durch die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung fast vollständig beseitigt.

[0020] Durch das in der Flamme hervorgerufene Reaktionsplasma werden die Reaktionsgeschwindigkeiten innerhalb der Flamme gesteigert und somit die Verbrennungstemperaturen. Die bei der ausgeführten Verbrennungsreaktion gewonnene Energie, die sogenannte Reaktionsenthalpie, hängt davon ab, wie hoch die Reaktionsgeschwindigkeit ist. Mit der Brennstoffverbrennungsvorrichtung werden beispielsweise Kohlenwasserstoff-Moleküle (C_xH_y) als Brennstoff zugeführt. Die durch die Brennstoffvorrichtung erzeugte Energie ist umso größer je mehr Kohlenwasserstoff-Moleküle pro Zeiteinheit mit

Sauerstoff (O₂) reagieren. Durch die Erzeugung des Plasmas wird die Verbrennungstemperatur und somit die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht. Hierdurch wird aber nicht die Energieausbeute bedeutend gesteigert, denn der Energiezugewinn der Verbrennung ist nur der Wärmehalt der durch den Effekt restoxidierbarer Verbrennungsgase. Die Schadstoffbelastung wird durch die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung stark abgesenkt. Je nach Brennstoff kann durch die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung die Energieausbeute um 1-3 % gesteigert werden.

[0021] Die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung weist im Wesentlichen folgende Vorteile auf:

[0022] Die Energieausbeute wird im Vergleich zu herkömmlichen Brennstoffverbrennungsvorrichtungen gesteigert;

[0023] Der Anteil von Schadstoffen in den abgegebenen Abgasen wird minimiert. Bei diesen Schadstoffen kann es sich beispielsweise um Stickstoffoxide oder unverbrannte Kohlenwasserstoffe handeln.

[0024] Bauteile der Brennstoffverbrennungsvorrichtung können bei gleicher Leistung kleiner dimensioniert werden.

[0025] Zusätzlich kann die Geräuschemission um etwa 10 Dezibel abgesenkt werden.

[0026] Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung besteht darin, dass die Form der Flamme durch das angelegte elektrische Feld beeinflussbar ist. Hierdurch kann erreicht werden, dass die erzeugte Verbrennungsflamme den ganzen Verbrennungsraum ausfüllt oder alternativ bestimmte Raumabschnitte des Verbrennungsraums durch die Flamme erreicht werden.

[0027] Die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung kann in allen Geräten eingesetzt werden bei denen ein offenes Feuer bzw. eine offene Flamme vorkommt. Dies sind insbesondere:

- Anlagen zur Erzeugung von Dampf- und Prozesswärme in der Industrie;
- Heizungen;
- Gasturbinen;
- Müllverbrennungsanlagen;
- Düsentriebwerke;
- Hochtemperaturöfen;
- Verbrennungsmotoren.

[0028] Der Kern der Erfindung besteht darin, dass an die Verbrennungsflamme ein elektrisches Feld zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas in der Flamme angelegt wird. Dabei wird das elektrische Feld mittels mindestens zweier Elektroden an die Flamme angelegt.

[0029] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung sind die Elektroden mit einem Spannungsgenerator verbunden.

[0030] Der Spannungsgenerator erzeugt dabei vor-

zugsweise eine Wechselspannung.

[0031] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist ein Transformator zur Hochtransformation der durch den Spannungsgenerator erzeugten Wechselspannung vorgesehen, wobei eine Ladungsverschiebung im statistischen Mittel nur in eine Ladungstransportrichtung hin erfolgt.

[0032] Die angelegte Wechselspannung kann unterschiedliche Signalformen aufweisen.

[0033] Bei einer ersten Ausführungsform ist die erzeugte Wechselspannung nahezu sinusförmig, wobei die positiven Halbwellen eine größere Amplitude aufweisen als die negativen Halbwellen oder umgekehrt.

[0034] Bei einer alternativen Ausführungsform ist die erzeugte Wechselspannung pulsformig, wobei ebenfalls eine Halbwellenabweichung in der Fläche der Spannungsfunktion zwischen der positiven und den negativen Halbfunktion besteht.

[0035] Bei einer bevorzugten Ausführungsform erzeugt der Spannungsgenerator neben der Wechselspannung zusätzlich eine Gleichspannung. Dabei kann es sich bei der Wechselspannung um eine reine Sinuswechselspannung handeln.

[0036] In diesem Fall wird in dem Verbrennungsraum neben dem elektrischen Wechselfeld zusätzlich ein elektrisches Gleichfeld überlagert.

[0037] Die Feldstärke des an die Flamme angelegten elektrischen Feldes beträgt vorzugsweise zwischen 0,1 und 10 kV/cm.

[0038] Zu einer bevorzugten Ausführungsform liegt die Frequenz des an die Flamme angelegten elektrischen Feldes zwischen 50 Hz und 2 GHz.

[0039] Der Verbrennungsraum kann offen oder geschlossen sein.

[0040] In dem Verbrennungsraum kann sich auch ein Verbrennungsmedium befinden, in dem die Flamme ausgebildet wird, beispielsweise ein Katalytbrennerkörper oder ein Porenbrennerkörper.

[0041] Bei einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung ist der Verbrennungsraum ein offener Raum.

[0042] Bei einer alternativen Ausführungsform ist der Verbrennungsraum eine geschlossene Brennkammer.

[0043] Bei dem zugeführten Brennstoff kann es sich im Prinzip um einen beliebigen Brennstoff handeln.

[0044] Bei einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem zugeführten Brennstoff um ein Gasgemisch.

[0045] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das zugeführte Brennstoffgasgemisch ein Kohlenwasserstoffgemisch.

[0046] An die Flamme wird über mindestens zwei Elektroden ein elektrisches Feld zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas angelegt.

[0047] An die Flamme wird über mindestens zwei Elektroden, zwischen denen bei einer möglichen Ausführungsform mindestens eine Gitterelektrode zur Schwingungsbeeinflussung liegt, ein elektrisches Feld zur Er-

zeugung eines Reaktionsplasmas angelegt.

[0048] Durch die beiden Elektroden wird ein elektrisches Gleichfeld durch die Gitterelektroden wird ein elektrisches Wechselfeld angelegt. Dieser Anordnung ist einer Röhrenanordnung, beispielsweise einer Triode oder Penthode gleichzusetzen.

[0049] Die Gitterelektroden übernehmen dabei eine Ladungsflusssteuerung innerhalb der Flammverbrennung.

[0050] Dabei kann zwischen Anode und Kathode eine reine Gleichspannung liegen, wenn an den Gitterelektroden wechselfrequente Steuerströme fließen.

[0051] Dabei weist vorzugsweise mindestens eine Elektrode eine Elektrodenspitze zur Erhöhung der Feldstärke des elektrischen Feldes auf.

[0052] Bei der anderen Elektrode handelt es sich vorzugsweise um eine Ringelektrode.

[0053] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform bilden die beiden Elektroden mit der Flamme einen Kondensator, der in einem elektrischen Schwingkreis verschaltet ist, wobei die Flamme selbst ein RC-Glied bildet.

[0054] Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden in der geschlossenen Brennkammer der Brennstoffverbrennungsvorrichtung durch die Flamme Abfallstoffe, wie beispielsweise Müll, verbrannt.

[0055] Diese Abfallstoffe bilden den zugeführten Brennstoff.

[0056] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung ist die Form der Flamme in dem Verbrennungsraum durch Veränderungen der Feldstärke und der Frequenz des an die Flamme angelegten elektrischen Feldes E einstellbar.

[0057] Dies bietet den besonderen Vorteil, dass man gezielt bestimmte Räume innerhalb des Verbrennungsraums durch die Flamme erreichen kann. Man kann die Flamme so auf die räumliche Dimensionierung des Verbrennungsraums abstimmen und die Feldstärke und Frequenz des angelegten elektrischen Feldes vorzugsweise so einstellen, dass der Verbrennungsraum vollständig ausgefüllt ist.

[0058] Bei einer bevorzugten Ausführungsform weist die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung eine Mischeinrichtung zum Vormischen der zugeführten Brennstoffe auf.

[0059] In der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung erfolgt die Zündung vorzugsweise durch das Anlegen des elektrischen Feldes.

[0060] Bei einer alternativen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungseinrichtung ist zusätzlich eine Zündungseinrichtung zum Zünden der zugeführten Brennstoffe vorgesehen. Durch diese Zündungseinrichtung wird beispielsweise ein Zündfunken zur Auslösung der Verbrennung erzeugt.

[0061] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung besteht mindestens eine der beiden Elektro-

den aus einem katalytisch aktiven Material.

[0062] Dieses katalytisch aktive Material ist vorzugsweise Platin.

[0063] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung ist eine der beiden Elektroden als Injektor-elektrode ausgebildet, durch die die Brennstoffe in den Verbrennungsraum eingesprüht oder durch Ultraschall-schwingungen eingenebelt werden.

[0064] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung ist eine der beiden Elektroden als Sprühelektrode ausgebildet.

[0065] Durch die Sprühelektrode wird die Flamme vorzugsweise elektrostatisch aufgeladen.

[0066] In diese Flamme kann über ein Antennensystem, das aus der Ringelektrode besteht, ein elektromagnetisches Wechselfeld in die Flamme eingekoppelt werden.

[0067] Die Erfindung schafft ferner ein Verfahren zur Verbrennung von Brennstoffen durch eine Flamme in einer exothermen chemischen Reaktion mit den folgenden Schritten, nämlich Zuführen der Brennstoffe in einen Verbrennungsraum zur Erzeugung der Flamme,

Anlegen eines elektrischen Feldes an die Flamme zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas mit einem hohen Ionisationsgrad innerhalb der Flamme.

[0068] Dabei wird an die Flamme vorzugsweise ein elektrisches Wechselfeld angelegt.

[0069] Das elektrische Wechselfeld kann auch über einen Hohlleiter in die Flamme eingekoppelt werden.

[0070] Das elektrische Wechselfeld kann dabei von einem Mikrowellenerzeuger generiert werden.

[0071] Zusätzlich zu dem elektrischen Wechselfeld wird bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ein elektrisches Gleichfeld an die Flamme angelegt werden.

[0072] Die Feldstärken des elektrischen Feldes liegen vorzugsweise zwischen 0,1 kV/cm und 10 kV/cm.

[0073] Das elektrische Feld wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durch mindestens zwei Elektroden an die Flamme angelegt.

[0074] Die Feldstärke des elektrischen, dem Gleichspannungsfeld überlagerten Wechselfeldes ist im Zeitverlauf bei einer ersten Ausführungsform sinusförmig.

[0075] Bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Feldstärke des elektrischen Wechselfeldes im Zeitverlauf puls-förmig.

[0076] Die Art der Pulsung einer Gleichspannung ist ebenso von Bedeutung, wie dessen Pulscurvenverlauf. Auch die Frequenz und der Kurvenformverlauf einer Gleichspannung überlagernden Wechselfeldspannung ist von Bedeutung.

[0077] Sinkt die Pulsweite mit entsprechendem Pulsflankenanstieg von ab 1kV/ns unter 500 ns oder kleiner, ab, werden Festbrennstoffe innerhalb des Flammkörpers weiter pulverisiert. Der Pulsflankenanstieg und die Pulsbreite sind ein Maß für die partikuläre Zerkleinerung der

Festbrennstoffe wie beispielsweise Kohlestaub.

[0078] Bei der Müllverbrennung vermindert man dadurch eine hohe Staubentwicklung, und ein Anhaften unverbrannter Kohlenwasserstoffe.

[0079] Eine hochfrequente und von hoher Spannung hervorgerufene Verbrennungsreaktion ist sehr wünschenswert, da eine Anzahl sich kurzzeitig und intensiv ausbildender Plasmaflammerscheinungen gebildet werden, die zu einer kurzzeitigen, intensiven Entladung innerhalb der Flamme führen. Es ist aber über den Flammwiderstand ein Gleichgewicht des Energieeintrages berechenbar.

[0080] In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird das Hochfrequenzfeld derart betrieben, dass sich das in dem Kraftstoff Luft-Gemisch im Brennraum gebildete Plasma thermisch im Gleichgewicht befindet, obwohl der Energieeintrag auch nur gepulst werden kann. Durch die erfindungsgemäße Regelung des Hochfrequenzfeldes eines elektrisch gepulsten oder wechselfeldüberlagerten Gleichspannungsfeldes wird erreicht, dass sich eine stationäre Plasmaverbrennung und dadurch eine gleichmäßige Plasmaentladung hoher Intensität ausbildet, die nur eine geringe Entladungsneigung aufweist. Statt dessen wird aufgrund der hohen Frequenz erfindungsgemäß erreicht, dass sich kurzzeitige, hochohmige Plasmaentladungen innerhalb der Flamme in Form von Plasmaabblitzen ausbilden, die intensiv Energie zur Radikalisierung des Kohlenwasserstoff Luft-Gemisches hervorrufen. Zwar wirken diese Plasmaentladungen nur kurzzeitig, dafür aber aufgrund ihrer Anzahl in dem der Elektrode benachbarten Bereich bei der hohen Potentialdifferenzen besonders intensiv. Dadurch ist der niedrige Energieeintrag in die Flamme zu erklären.

[0081] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung wird das Hochfrequenzfeld mit einer Frequenz im MHz-Bereich betrieben. Eine derart hohe Frequenz trägt zur Bildung der homogen stationären, sich im thermischen Gleichgewicht befindlichen Plasmaverbrennung bei, bei der Ausgleichsvorgänge durch Entladungen in Form von hochohmigen Plasmaentladungen erfolgen und damit eine intensive Flammreaktion erfolgt.

[0082] Besonders günstig ist es, wenn das Plasma durch ein Hochfrequenzfeld mit einem steil ansteigenden, impulsförmigen Verlauf erzeugt wird, bei dem in weiterer Ausgestaltung der steil ansteigende impulsförmige Verlauf auf Werte kleiner oder gleich etwa 500 V/us begrenzt wird. Durch derartige Spannungsverläufe wird die Bildung von hochohmigen, nur kurzzeitig brennenden Plasmaentladungen innerhalb der Flamme begünstigt.

[0083] In einer anderen Weiterbildung wird das Hochfrequenzfeld auf einen im Wesentlichen sinusförmigen Verlauf ausgeregelt, der im Bereich der Flanken der Sinusfunktion einen steil ansteigenden Verlauf aufweisen kann.

[0084] Von besonderem Vorteil ist es, wenn die Plasmaentladung aus Korona- und/oder Streamer-Entladungen an der Elektrode gebildet werden, um einen sicheren

Flammkontakt herzustellen und den Elektrodenverschleiß zu reduzieren. Hierbei können sich in einer Weiterbildung die Plasmafäden von der Elektrode büschelförmig divergierend zu der Flamme ausbreiten.

[0085] In einer vorteilhaften Ausgestaltung bilden sich die Entladungen zwischen einer einzelnen Elektrode an der Flamme im Brennraum aus.

[0086] Dies hat den Vorteil, dass die Geometrie der mindestens einen Elektrode eine Feldstärkeüberhöhungen des Hochfrequenzfeldes hervorruft, die zu Bildung kurzzeitiger Plasmaentladungen in die Flamme hinein führen. Eine derartige Konzentration der Wirkungen des Hochfrequenzfeldes auf die Flamme erlaubt ein sicheres Zünden der Flamme als auch ein sicheres Betreiben derselben.

[0087] Beispielhaft konstruktiv ist eine Elektrode in der Mitte des Reaktionsraumes der technischen Flamme sinnvoll, die eine Spitzenzündentladung mittels einer Tesla-Transformatoranordnung bei Reaktionsstart auslöst.

[0088] Die Abbrandkapazität ist ein dynamischer Flammsteuerungsfaktor und kann als regeldynamische Flammoptimierungskonstante genutzt werden.

[0089] Flammen werden bei bestimmten Frequenzen zum Oszillieren in Eigenresonanz angeregt. Die Oszillation der Flamme kann frequenzgesteuert werden.

[0090] Bei Anlegen von zwei Wechselspannungen an die Flamme entsteht nach dem Überlagerungsprinzip eine Differenzfrequenz der Frequenzen beider Wechselspannungen, was bedeutend zur Vermeidung von Flammabrissen oder der Unterdrückung von dynamischen Überschwüngen der Flammen beiträgt.

[0091] Die Frequenz des elektrischen Wechselfeldes liegt vorzugsweise zwischen 50 Hz und 2 GHz.

[0092] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die zugeführten Brennstoffe durch Anlegen des elektrischen Feldes gezündet, wobei die exotherme chemische Reaktion ausgelöst wird.

[0093] Bei einer alternativen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist zusätzlich eine Zündeinrichtung vorgesehen, durch die die zugeführten Brennstoffe gezündet werden.

[0094] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Brennstoffe zunächst durch eine Mischeinrichtung stöchiometrisch gemischt und anschließend dem Verbrennungsraum zugeführt.

[0095] Die Brennstoffe werden vorzugsweise in den Verbrennungsraum gesprüht.

[0096] Der Verbrennungsraum wird vorzugsweise durch einen Motorzylinder und einen darin beweglichen Motorkolben zur Kraftübertragung gebildet.

[0097] Bei einer Ausführungsform ist der Verbrennungsraum ein Drehtrommelofen.

[0098] Bei einer weiteren Ausführungsform wird die erste Elektrode durch ein Nadelelektrodenraster und die zweite Elektrode durch ein Rostfeuerungsgerüst gebildet.

[0099] Bei der bevorzugten Ausführungsform weist der Verbrennungsraum eine erste Öffnung zum Zuführen von Zuluft und eine zweite Öffnung zum Abführen von Abluft auf.

[0100] Im Weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung, und des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verbrennung von Brennstoffen, unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren zur Erläuterung der erfindungsgemäßen Merkmale beschrieben.

[0101] Es zeigen:

Figur 1 einen Flammenionisationsdetektor nach dem Stand der Technik;

Figur 2a einen Plasma-Jet-Generator nach dem Stand der Technik;

Figur 2b einen Schadstoffkatalysator nach dem Stand der Technik;

Figur 3 eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung;

Figur 4a eine erste Ausführungsform der in der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung eingesetzten Spitzenelektrode;

Figur 4b eine zweite Ausführungsform der in der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung eingesetzten Spitzenelektrode;

Figur 5 eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

Figur 6a eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

Figur 6b die in Figur 6a dargestellte dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung in einem Regelkreis;

Figur 7 eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

Figur 8 eine an die Elektroden angelegte Wechselspannung gemäß einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

Figur 9 ein weiteres an die Elektroden angelegtes Wechselspannungssignal gemäß einer

weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung;

5 Figur 10 ein weiteres an die Elektroden angelegtes Spannungssignal gemäß einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung;

10 Figur 11 ein weiteres Wechselspannungssignal, das an die Elektroden der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform angelegt wird;

15 Figur 12 die Anordnung der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung in einem Schwingkreis;

20 Figur 13 ein Ersatzschaltbild des in Figur 12 dargestellten Schwingkreises;

Figur 14 einen schadstoffarmen Verbrennungsmotor **als Anwendungsbeispiel der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung**;

25 Figur 15a ein Pulssignal, welches in den Schwingkreis des Verbrennungsmotors gemäß Figur 14 eingekoppelt wird;

30 Figur 15b ein an die Spitzenelektrode des Verbrennungsmotors angelegtes Wechselspannungssignal gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des Verbrennungsmotors nach Figur 14;

Figur 16 eine Abfallverbrennungsvorrichtung **als Anwendungsbeispiel der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung**;

Figur 17 eine Abfallverbrennungsvorrichtung **als Anwendungsbeispiel der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung**;

[0102] Figur 3 zeigt die Grundanordnung der erfindungsgemäßen Verbrennungsvorrichtung 1. Die Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1 dient zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion. Die Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1 weist eine Einrichtung 2 zum Zuführen von Brennstoffen auf. Bei der in Figur 3 dargestellten Ausführungsform handelt es sich bei den Brennstoffen um ein Gasgemisch. Dabei werden die zu verbrennenden Gase einer Mischeinrichtung 3 zugeführt, die die zu verbrennenden Gase durch stöchiometrisch vormischt und das Brennstoffgemisch über eine Gasleitung 2 abgibt. Die Gasleitung 2 weist

eine Austrittsöffnung 4 auf, über die das Gasgemisch ausströmt. Eine Ringelektrode 5 ist ringförmig um die Austrittsöffnung 4 angeordnet und über eine Leitung 6 mit einem Spannungsgenerator 7 verbunden. Der Spannungsgenerator 7 ist über eine Leitung 8 an eine Spitzenelektrode 9 angeschlossen. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung U zwischen der Ringelektrode 5 und der Spitzenelektrode 9 entsteht ein elektrisches Feld E in dem offenen Verbrennungsraum zwischen den Elektroden 5, 9.

[0103] Das elektrische Feld E zündet das ausströmende Gasgemisch, das in einer Abbrandflamme 10 verbrennt. Die Flamme 10 weist einen Flammenkern 10a und einen Flammenmantel 10b auf. Die Flamme 10 brennt in einem Verbrennungsraum. Bei der in der Figur 3 dargestellten Ausführungsform ist der Verbrennungsraum offen. Bei einer alternativen Ausführungsform ist der Verbrennungsraum eine geschlossene Brennkammer. Durch das an die Flamme 10 angelegte elektrische Feld E wird in der Flamme 10 ein Reaktionsplasma erzeugt, das einen hohen Ionisationsgrad aufweist. Die an die beiden Elektroden 9, 5 angelegte Wechselspannung weist vorzugsweise eine Frequenz f zwischen 50 Hz und 2 GHz auf. Dabei kann die Wechselspannung sinusförmig oder pulsförmig sein. Zusätzlich erzeugt der Spannungsgenerator 7 vorzugsweise zusätzlich eine Gleichspannung, so dass neben dem elektrischen Wechselfeld auch ein elektrisches Gleichfeld an die Flamme 10 angelegt ist. Die Feldstärke des angelegten elektrischen Feldes E beträgt dabei vorzugsweise 0,1 - 10 kV/cm.

[0104] In der Flamme 10 läuft eine ladungsbeschleunigte exotherme Reaktion ab. Durch das angelegte elektrische Feld E, das aus einem elektrischen Gleichfeld und einem elektrischen Wechselfeld besteht, entstehen Ionen und Elektronen in der Flamme.

[0105] Die wichtigsten Reaktionsphasen innerhalb des Verbrennungsprozesses redoxreaktiver exothermer Reaktionen sind die thermische Radikalisierung, das Cracken und die redoxreaktive Abbrandreaktion. Die thermische Radikalisierung und die Plasmabildung wird durch das angelegte elektrische Feld E verstärkt. Die gebildeten Radikale erhalten ihren Energiezustand aufrecht bis ein Redoxreaktionspartner die chemische Redoxreaktion auslöst. Die Reaktionszeit der Redoxreaktion sinkt mit dem zunehmenden Radikalisierungsgrad der Redoxreaktionspartner. Dies hat zur Folge, dass der exotherme Temperaturgradient steigt. Die Temperatur innerhalb der Flamme 10 und somit der Verbrennungswirkungsgrad η werden ebenfalls erhöht.

[0106] Die zugeführten Brennstoffmoleküle werden thermisch gecrackt. Das angelegte elektrische Feld E beschleunigt das Zusammenführen der radikalisierten und ionisierten Redoxreaktionspartner, so dass die Reaktionsgeschwindigkeit stark zunimmt. Durch das elektrische Feld E verschiebt sich das elektrochemische Gleichgewicht der Verbrennungsreaktion. Es werden die statischen, elektrodynamischen und verbrennungskinetischen Parameter verändert. Die Abbrandzeiten werden

verkürzt. Das Reaktionsplasma der Flamme weist einen sehr hohen Ionisationsgrad I auf. Der Flammenwiderstand R des erzeugten Plasmas ist niedriger als der elektrische Widerstand einer gewöhnlichen Flamme. Der dabei auftretende Ionisationsgrad I innerhalb des Plasmas hängt von der Frequenz, der Flankensteilheit und dem Pulsverhältnis der angelegten elektrischen Wechselspannung U ab.

[0107] Das elektrische Wechselfeld wird bezüglich der Feldstärke und der Frequenz derart ausgebildet, dass der Ionisationsgrad I innerhalb der Flamme optimal ist. Mit steigendem Ionisationsgrad I sinkt der Schadstoffanteil, da die Verbrennungsstoffe vollständig verbrennen. Der Ionisationsgrad I darf allerdings nicht zu sehr gesteigert werden, damit nicht zuviel zugeführte elektrische Energie als Wärme verlorengeht. Durch die Einstellung der Feldstärke und der Frequenz des angelegten elektrischen Feldes E lässt sich das Verhältnis der Ausgangsprodukte der chemischen Redoxreaktion zueinander beeinflussen. Reagieren beispielsweise zwei Stoffe A, B zu Ausgangsprodukten C, D, lässt sich durch die Frequenz f und die Feldstärke des an die Flamme 10 angelegten elektrischen Feldes E das Verhältnis der Ausgangsprodukte C, D beeinflussen. Mit der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung 1 ist es daher möglich, gezielt den Anteil von schädlichen Brennstoffprodukten zu reduzieren.

[0108] Die Figuren 4a, 4b zeigen verschiedene Ausführungsformen der Spitzenelektrode 9 innerhalb der erfindungsgemäßen Brennstoffvorrichtung 1. Durch die Spitzenelektrode 9a bzw. 9b erfolgt eine Verdichtung der Feldlinien und somit eine lokale Erhöhung der Feldstärke. Bei der in Figur 4a dargestellten Ausführungsform der Spitzenelektrode 9a ist ein Draht 11a mit einem Durchmesser von 1/10 bis 1/100 mm in einem Mantel 12a untergebracht. Die Ummantelung 12a besteht aus einem Isolationsmaterial bzw. einer Keramik, wie beispielsweise Quarz. Dieser Draht 11a ist über die Leitung 8 an den Spannungsgenerator 7 angeschlossen. Am Ende des Zuleitungsdrahtes 11a befindet sich eine Kugel 13a, deren Durchmesser größer ist als der Durchmesser des Drahtes 11a. Der Draht 11a besteht herkömmlicherweise aus einer Wolfram-Stahl-Legierung. Die Kugel 13a besteht ebenfalls vor dem Zünden aus einer Wolfram-Stahl-Legierung. Nach dem Zünden bildet sich in der Kugel 13a eine Schicht aus Wolfram-Carbid, die hochtemperaturbeständig ist.

[0109] Die Figur 4b zeigt eine alternative Ausführungsform der Spitzenelektrode 9. Bei der in Figur 4b dargestellten Ausführungsform weist die Spitzenelektrode 9b eine kegelförmige Spitze 13b auf. Aufgrund der kegelförmig zulaufenden Spitze 13b wird eine besonders hohe Feldstärkendichte erreicht.

[0110] Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1. Bei der in Figur 5 dargestellten Ausführungsform ist zusätzlich ein Transformator 14 vorgesehen, der eine erste Spule 14a und eine zweite Spule 14b enthält. Durch

den Transformator 14 wird die durch die Spannungsquelle 7 erzeugte Wechselspannung entsprechend dem Windungsverhältnis der beiden Spulen 14a, 14b hochtransformiert. Die hochtransformierte Wechselspannung wird über die Leitungen 6, 8 an die beiden Elektroden 5, 9 zur Erzeugung eines elektrischen Wechselfeldes angelegt. Durch die in Figur 5 dargestellte Ausführungsform können besonders hohe elektrische Feldstärken erreicht werden.

[0111] Die Figur 6a zeigt eine dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1. Bei der in Figur 6a dargestellten Ausführungsform wird die Gegenelektrode 9 nicht durch eine Spitzenelektrode gebildet, sondern durch eine Gegenelektrode 9, die einen aus Isolationsmaterial bestehenden Glaszylinder umschließt. Der aus einem isolierenden Material bestehende Zylinder 15 ist mit der Gegenelektrode 9 beschichtet. Der Innenraum des Zylinders 15 bildet den Verbrennungsraum für die Flamme 10. Bei dem Zylinder 15 handelt es sich vorzugsweise um eine Quarzröhre. Die Flamme 10 nimmt über das Quarz 15 elektrische Ladung auf, sodass aufgrund des elektrischen Wechselfeldes ein kapazitiver Blindstrom fließen kann. Wird zusätzlich durch den Spannungsgenerator 7 eine Gleichspannung an die Elektroden 5 und 9 angelegt, fließt zusätzlich ein geringer Gleichstrom.

[0112] Figur 6b zeigt die in Figur 6a dargestellte dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1 in einem Regelkreis. Die Flamme 10 verbrennt das zugeführte Gasgemisch und gibt Abgase nach oben zu einem Abgasdetektor 16 ab. Der Abgasdetektor 16 erfasst die chemische Zusammensetzung des Abgases und stellt den Schadstoffanteil beispielsweise den Anteil von Stickoxid innerhalb des Abgases fest. Der Abgasdetektor 16 liefert über eine Datenleitung 17 Daten an eine Steuerung 18, wobei die zugeführten Daten den Anteil der zu beseitigenden Schadstoffe im Abgas anzeigen. Die Steuerung 18 steuert über Steuerleitungen 19 die Amplitude (U) und die Frequenz f der durch den Spannungsgenerator 7 erzeugten Spannung U. Hierdurch werden die Amplitude |U| und die Frequenz f des an die Flamme 10 angelegten elektrischen Feldes E eingestellt. Die in Figur 6b dargestellte Anordnung stellt einen Regelkreis 20 dar, mit dessen Hilfe der Schadstoffanteil der Abgase, die durch die Abbrandflamme 10 hervorgerufen werden, minimiert werden kann. Hierzu verändert die Steuerung 8 die Frequenz und die Amplitude der Spannung solange, bis durch den Abgasdetektor 16 ein minimaler Schadstoffanteil festgestellt wird. Durch die in Figur 6b dargestellte Regelung können besonders umweltfreundliche Heizöfen realisiert werden. Durch die Erzeugung des Plasmas innerhalb der Flamme 10 wird der Schadstoffanteil minimiert. Dabei werden die Frequenz f und die Amplitude des angelegten elektrischen Feldes E derart geregelt, dass die Konzentration der abgegebenen Schadstoffe minimal ist. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die Steuerung 18 für verschiedene durch den Mischer 3 zugeführte Brenn-

stoffgasgemische programmierbar.

[0113] Figur 7 zeigt eine vierte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1. Bei der in Figur 7 dargestellten Ausführungsform wird die Gegenelektrode durch die Erde bzw. Masse gebildet. Der Vorteil der in Figur 7 dargestellten Ausführungsform besteht darin, dass eine Gegen- bzw. Spitzenelektrode nicht vorgesehen werden muss.

[0114] Die Figuren 8 bis 11 zeigen verschiedene Signalverläufe der an die Elektroden 5, 9 angelegten Spannung U. Bei dem in Figur 8 dargestellten Spannungsverlauf handelt es sich um eine sinusförmige Wechselspannung, die mit einer Gleichspannung U_0 überlagert ist. Dabei beträgt das Verhältnis der Amplitude der Wechselspannung $|\dot{U}|$ zu der Gleichspannung U_0 vorzugsweise etwa eins, wie in Figur 9 dargestellt.

[0115] Figur 10 zeigt eine weitere mögliche Signalförmigkeit des angelegten Wechselspannungssignals, wobei die ansteigende Signalfanke steiler ist als die abfallende Signalfanke. Das angelegte Wechselspannungssignal ist pulsförmig. Die ansteigende Signalfanke weist beispielsweise eine Flankensteilheit von 2 kV/ms auf. Hierdurch lassen sich besonders hohe Ionisationsgradienten innerhalb der Flamme erreichen.

[0116] Figur 11 zeigt eine weitere Variante eines an die Elektroden 5, 9 angelegten Wechselspannungssignals. Das in Figur 11 dargestellte Wechselspannungssignal ist pulsförmig. Das Pulsverhältnis, welches sich aus dem Verhältnis zwischen der Dauer des Pulses Δt_{Puls} und der Pulsfolgezeit Δt_{Pause} ergibt, beträgt vorzugsweise etwa 1/3. Mit zunehmender Dauer der angelegten Spannungsimpulse sinkt der Widerstand R der Flamme asymptotisch gegen einen Widerstand R_0 ab. Die Flankensteilheit der Spannungsimpulse beträgt beispielsweise 2 kV/ms. Typische Amplituden der Spannungsimpulse liegen bei 8 kV. Durch das Anlegen der pulsförmigen Wechselspannung oszilliert die Flamme harmonisch.

[0117] Figur 12 zeigt die in Figur 6a dargestellte dritte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung 1 in einem Schwingkreis. Die durch den Spannungsgenerator 7 erzeugte Spannung U wird über einen Kondensator 21 und einen Transformator 22, der aus zwei gekoppelten Spulen 22a, 22b besteht, an den Sekundärkreis angelegt. Die Ringelektrode 5 ist über eine Leitung 23 mit der Sekundärspule 22b verbunden. Die Gegenelektrode 9 ist über eine Leitung 24 an eine Gleichspannungsquelle 25 angeschlossen. Der Flammenmantel 10b der Flamme 10 bildet eine Gegenelektrode zu der zylinderförmigen Elektrode 9. Der Flammenmantel 10b bildet eine Kondensatoroberfläche. Über den Schwingkreis wird Energie eingekoppelt. Der sekundäre Schwingkreis besteht aus der Koppelinduktivität 22b und einem Kondensator. Dieser Kondensator wird durch den Gegenelektrodenmantel 9, den Flammenmantel 10b sowie das Luftdielektrikum gebildet.

[0118] Figur 13 zeigt das Ersatzschaltbild für den in Figur 12 dargestellten Schwingkreis. Die Elektrode 9 und der Flammenmantel 10b bilden einen Kondensator 26,

zu dem der Flammenwiderstand 27 parallel geschaltet ist. Durch die Gleichspannungsquelle 25 wird eine Gleichvorspannung von 1 bis 10 kV angelegt. Durch den Schwingkreis wird die Flamme bezüglich ihrer Form und ihres Abbrandverhaltens stabilisiert. Bei dem sekundären Schwingkreis handelt es sich um einen RCL-Schwingkreis. Der Schwingkreis weist eine Resonanzfrequenz f_R auf. Die Flamme kann als halboffener Resonanzkreis oder als geschlossener Resonanzkreis fungieren. Die Flamme 10 wirkt als offener Resonanzkreis bzw. als Antenne, wobei der Flammenkörper selbst als Energieabsorber fungiert.

[0119] Figur 14 ist eine bevorzugte Ausführungsform eines schadstoffarmen Verbrennungsmotors **als Anwendungsbeispiel für die erfindungsgemäße Brennstoffverbrennungsvorrichtung**. Der Verbrennungsmotor weist eine nicht dargestellte Kraftstoffzuführeinrichtung zum Zuführen von Kraftstoff auf. Der Kraftstoff wird in einer geschlossenen Brennkammer 28 als Verbrennungsraum zugeführt. Die Brennkammer 28 wird durch einen Motorzylinder 29 und einen darin beweglichen Motorkolben 20 gebildet, der zur Kraftübertragung vorgesehen ist. Eine Spitzenelektrode 9 ragt in den Verbrennungsraum 28 hinein. Bevorzugte Ausführungsformen einer derartigen Spitzenelektrode 9 sind in den Figuren 4a, 4b dargestellt. Der Kolben 30 ist bis zu einem oberen Totpunkt OT innerhalb des Motorzylinders 29 beweglich. Die Spitzenelektrode 9 reicht bis zu einer Distanz L1 in den Verbrennungsraum 28 hinein. Die Distanz zwischen der Oberseite des Verbrennungsraumes und dem oberen Totpunkt OT beträgt L2. Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der Abstand L1 größer als die Differenz zwischen L2 und L1. Sobald der Kolben 30 den oberen Totpunkt OT erreicht hat, wird über einen Transformator 31, der zwei Spulen 31a, 31b umfasst, ein Spannungsimpuls in die Schwingkreisspule 31b eingekoppelt. Ein Kondensator 32 ist parallel zu der Schwingkreisspule 31b verschaltet. Zwischen der Spitzenelektrode 9 und der Schwingkreisspule 31b ist seriell eine Gleichspannungsquelle 32 verschaltet. Die Gegenelektrode zu der Spitzenelektrode 9 wird vorzugsweise durch den geerdeten Motorzylinder 29 gebildet.

[0120] An der Spitzenelektrode 9 liegt das in Figur 15b dargestellte Spannungssignal an. Durch den Transformator 31 wird die Spannung U1 in die Schwingkreisspule 31b eingekoppelt, sodass der aus dem Kondensator 32 und der Spule 31 bestehende Schwingkreis zu schwingen beginnt. Die erzeugte Schwingung ist gedämpft, sodass deren Amplitude abnimmt. Die Amplitude der vom Spannungsgenerator erzeugten pulsformigen Spannung beträgt beispielsweise 2 kV. Die Abstände zwischen den verschiedenen Spannungsimpulsen des Spannungssignals U1 wird durch die Umdrehungszahl des Motors bestimmt. Durch den Schwingkreis 31b, 32 wird an die Spitzenelektrode 9 ein schwingendes, abklingendes sinusförmiges Wechselspannungssignal angelegt, dem eine Gleichspannung U_0 überlagert ist. Das so gebildete Spannungssignal ist in Figur 15b dargestellt.

Durch den ersten Impuls einer Spannungspulsfolge wird das der Brennkammer zugeführte Kraftstoffgemisch gezündet. Durch die nachfolgenden Spannungsimpulse der Pulsfolge wird das in der Explosionsflamme gebildete Plasma aufrecht erhalten. Die Zündung erfolgt vorzugsweise kurz bevor der Kolben 30 den oberen Totpunkt OT erreicht hat. Der erfindungsgemäße Verbrennungsmotor, wie er in Figur 14 dargestellt ist, benötigt keine eigenständige Zündeinrichtung. Diese kann optional zusätzlich vorgesehen werden. Bei dem erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor handelt es sich um einen Ottomotor oder um einen Dieselmotor. Die Frequenz f der durch den Schwingkreis 31b, 32 erzeugten Spannungsimpulse kann in einem Bereich zwischen 50 Hz und 2 GHz liegen. Der in Figur 14 dargestellte Verbrennungsmotor gemäß der Erfindung zeichnet sich durch einen besonders einfachen Aufbau aus. Eine herkömmliche Zündkerze wird zur Zündung nicht benötigt. Die Zündung erfolgt durch die Spitzenelektrode 9. Durch Erzeugung des Plasmas innerhalb der Explosionsflamme erfolgt die Verbrennung innerhalb der Verbrennungskammer 28 besonders effektiv mit einem hohen Wirkungsgrad. Der Anteil der dabei gebildeten Schadstoffe ist aufgrund des in der Explosionsflamme gebildeten Plasmas besonders gering.

[0121] Figur 16 zeigt eine erste Ausführungsform einer Abfallverbrennungsvorrichtung 33 **als Anwendungsbeispiel der erfindungsgemäßen Brennstoffverbrennungsvorrichtung**. Die Abfallverbrennungsvorrichtung 33, wie sie in Figur 16 dargestellt ist, weist einen Verbrennungsraum 34 auf, der bei der in Figur 16 dargestellten Ausführungsform ein Drehtrommelofen 34 ist. Der Drehtrommelofen 34 wird durch Walzantriebe 36, 37 kontinuierlich gedreht. An dem Boden des Drehtrommelofens 34 befindet sich der zu verbrennende Abfallstoff 38. Der Abfallstoff 38 wird durch eine Öffnung innerhalb des Drehtrommelofens 34 eingeführt. In den Drehtrommelofen 34 ragt eine Spitzenelektrode 9 hinein. Die Spitzenelektrode 9 ist über eine Leitung 8 mit dem Spannungsgenerator 7 verbunden. Der Spannungsgenerator 7 erzeugt eine Wechselspannung und eine Gleichspannung. Die erzeugte Spannung wird über eine Leitung 6 an eine Ofenmantelelektrode 39 angelegt. Die generierte Spannung U zur Müllverbrennung liegt beispielsweise zwischen 30 und 45 kV. Dadurch wird ein derart starkes elektrisches Feld E innerhalb des Verbrennungsraumes 34 erzeugt, dass der darin enthaltene Abfallstoff 38 zu brennen beginnt. Der Abfallstoff 38 brennt in einer Flamme 10 ab, die ein Reaktionsplasma beinhaltet. Typische Verbrennungstemperaturen liegen bei 800 °C bis 900 °C.

[0122] Figur 17 zeigt eine alternative Ausführungsform einer Abfallverbrennungsvorrichtung 33. Bei dieser Ausführungsform wird die erste Elektrode durch ein Nadel-elektrodengitter 40 und die zweite Elektrode durch ein Rostfeuerunggitter, d. h. durch ein isoliertes Netzband 41 gebildet. Der Verbrennungsraum 34 weist eine erste Öffnung 42 zum Zuführen von Zuluft und eine zweite Öff-

nung 43 zum Abführen von Abluft aus.

[0123] Die erfindungsgemäße Verbrennungsvorrichtung 1, wie sie in Figur 3 dargestellt ist, eignet sich auch zum Aufbau von Heizöfen. Dabei erhitzt die Flamme 10 die Umgebungsluft als Energieübertragungsmedium. Die Umgebungsluft wird dann einem Wärmetauscher zugeführt.

Patentansprüche

1. Brennstoffverbrennungsvorrichtung (1) zur Verbrennung von Brennstoffen in einer exothermen chemischen Reaktion mit:

- (a) einer Einrichtung (2) zum Zuführen der Brennstoffe;
- (b) einem Verbrennungsraum zur Verbrennung der zugeführten Brennstoffe in einer Flamme (10);
- (c) wobei die Flamme (10) und eine Spule (22b) einen sekundären Schwingkreis (10, 22b) ausbilden, **dadurch gekennzeichnet, dass** über eine Resonanzkopplung eines primären Schwingkreises (21, 22a) Energie in die Flamme (10) eingekoppelt wird.

2. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass der sekundäre Schwingkreis (10, 22b) einen offenen Schwingkreis, einen halboffenen Schwingkreis oder einen geschlossenen Schwingkreis bildet.

3. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass in den sekundären Schwingkreis (10, 22b) die Energie in die Flamme (10) durch einen Hohlleiter eingekoppelt wird, wobei dem Schwingkreis (10, 22b) ein Gleichfeld oder Gleichstrom überlagert ist.

4. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Elektrode (5) und eine Gegenelektrode (9) vorgesehen sind, durch die ein elektrischer Strom mit Gleichstrom- und Wechselstromanteil (I) durch die Flamme (10) zur Erzeugung eines Reaktionsplasmas in der Flamme (10) angelegt wird, wobei das erzeugte Reaktionsplasma einen hohen Ionisationsgrad aufweist.

5. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die Gegenelektrode (9) und ein Flammenman-

tel (10b) der Flamme (10) einen Kondensator (26) bilden, der mit der Spule (22b) eines Transformators (22) zu dem Schwingkreis verschaltet ist, in den Energie über eine weitere Spule (22a) des Transformators (22) aus dem primären Schwingkreis (22a, 21) zur Stabilisierung der Flamme (10) eingekoppelt wird.

6. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass der primäre Schwingkreis (22a, 21) einen Kondensator (21) und die erste Spule (22a) des Transformators (22) aufweist.

7. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass der sekundäre Schwingkreis (22b, 26) den Kondensator (26) und die zweite Koppelspule (22b) des Transformators (22) aufweist, wobei ein Flammenwiderstand (27) der Flamme (10) parallel zu dem Kondensator (26) geschaltet ist.

8. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass an dem primären Schwingkreis (22a, 21) ein Spannungsgenerator (7) angeschlossen ist.

9. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass an die Gegenelektrode (9) eine Gleichspannungsquelle (25) angeschlossen ist.

10. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass der Transformator (22) ein Tesla-Transformator ist.

11. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass eine der beiden Elektroden (5, 9) eine Gitterelektrode ist.

12. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungsgenerator (7) eine Wechselspannung erzeugt.

13. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet,

dass der Transformator (22) zur Hochtransformation der durch den Spannungsgenerator (7) erzeugten Wechselspannung vorgesehen ist.

14. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erzeugte Wechselspannung nahezu sinusförmig ist, wobei eine Differenz in der Fläche der Spannungsfunktion zwischen der positiven und den negativen Halbwelle besteht. 5
15. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine erzeugte Wechselspannung pulsförmig ist. 10
16. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Frequenz (f) des an die Flamme (10) angelegten elektrischen Feldes (E) zwischen 50 Hz und 2 GHz liegt. 15
17. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Elektrode (5) eine Ringelektrode ist. 20
18. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Form der Flamme in dem Verbrennungsraum durch Veränderung der Feldstärke und der Frequenz (f) des an die Flamme (10) angelegten elektrischen Feldes (E) einstellbar ist. 25
19. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine der Elektroden (5, 9) eine Sprühelektrode ist, durch die die Brennstoffe in den Verbrennungsraum einsprühbar sind. 30
20. Brennstoffverbrennungsvorrichtung nach Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Flamme (10) durch die Sprühelektrode elektrostatisch aufladbar ist. 35
21. Verfahren zur Verbrennung von Brennstoffen durch eine Flamme (10) in einer exothermen chemischen Reaktion mit den folgenden Schritten: 40
(a) Zuführen der Brennstoffe in einem Verbrennungsraum zur Erzeugung der Flamme (10), die einen Flammenkern (10a) und einen Flammen- 45

mantel (10b) aufweist;

(b) Anlegen einer potentialdifferenzbildenden Wechselspannung an eine Elektrode (5) und an eine Gegenelektrode (9) zum Erzeugen eines elektrischen Gleichfeldes und eines elektrischen Wechselfeldes an der Flamme (10), so dass ein Reaktionsplasma mit einem hohen Ionisationsgrad in der Flamme (10) erzeugt wird; (c) wobei die Gegenelektrode (9) und der Flammenmantel (10b) der Flamme (10) einen Kondensator (26) bilden, der mit einer Koppelspule (22b) eines Transformators (22) zu einem sekundären Schwingkreis (22b, 26) verschaltet ist; (d) Einkoppeln von Energie über eine erste Koppelspule (22a) des Transformators (22) aus einem primären Schwingkreis (22a, 21) in den sekundären Schwingkreis (22b, 26) zur Stabilisierung der Flamme (10).

22. Verfahren nach Anspruch 21,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Feldstärke des elektrischen Wechselfeldes (E) im Zeitverlauf sinusförmig ist. 20
23. Verfahren nach Anspruch 21,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Feldstärke des elektrischen Wechselfeldes (E) im Zeitverlauf pulsförmig ist. 25
24. Verfahren nach Anspruch 21,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Frequenz (f) des elektrischen Wechselfeldes (E) zwischen 50 Hz und 2 GHz liegt. 30
25. Verfahren nach Anspruch 21,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zugeführten Brennstoffe durch Anlegen des elektrischen Feldes (E), welches gepulst, oder gleichspannungsüberlagert wechselförmig ist, gezündet werden, wobei die exotherme chemische Reaktion ausgelöst wird. 35

Claims

1. A fuel combustion apparatus (1) for the combustion of fuels in an exothermic chemical reaction having:
(a) a device (2) for supplying the fuels;
(b) a combustion chamber for combustion of the supplied fuels in a flame (10);
(c) with the flame (10) and a coil (22b) forming a secondary resonant circuit (10, 22b), **characterized in that** energy is coupled into the flame (10) via a resonant coupling with a primary resonant circuit (21, 22a). 45
2. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 1, 50

wherein

the secondary resonant circuit (10, 22b) forms an open resonant circuit, a half-open resonant circuit or a closed resonant circuit.

3. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 1, wherein
the energy is coupled into the flame (10) in the secondary resonant circuit (10, 22b) through a waveguide, with a DC field or direct current being superimposed on the resonant circuit (10, 22b).
4. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 1, wherein
at least one electrode (5) and one opposing electrode (9) are provided, by means of which an electric current with a DC component and an AC component (I) is applied through the flame (10) in order to produce a reaction plasma in the flame (10) with the reaction plasma that is produced having a high ionization degree.
5. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 4, wherein
the opposing electrode (9) and a flame envelope (10b) of the flame (10) form a capacitor (26) which is connected to the coil (22b) of a transformer (22) to form the resonant circuit, into which energy is coupled via a further coil (22a) of the transformer (22) from the primary resonant circuit (22a, 21) in order to stabilize the flame (10).
6. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 5, wherein
the primary resonant circuit (22a, 21) comprises a capacitor (21) and the first coil (22a) of the transformer (22).
7. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 1, wherein
the secondary resonant circuit (22b, 26) has the capacitor (26) and the second coupling coil (22b) of the transformer (22),
with the flame resistance (27) connecting the flame (10) in parallel with the capacitor (26).
8. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 1, wherein
a voltage generator (7) is connected to the primary resonant circuit (22a, 21).
9. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 5, wherein
a DC voltage source (25) is connected to the opposing electrode (9).
10. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 5, wherein

the transformer (22) is a Tesla transformer.

11. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 5, wherein
one of the two electrodes (5, 9) is a grid electrode.
12. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 8, wherein
the voltage generator (7) produces AC voltage.
13. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 12, wherein
the transformer (22) is intended for step-up transformation of the AC voltage which is produced by the voltage generator (7).
14. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 13, wherein
the AC voltage which is produced is virtually sinusoidal, with there being a difference in the area of the voltage function between the positive and the negative half-cycle.
15. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 13, wherein
the AC voltage which is produced is pulsed.
16. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 4, wherein
the frequency of the electrical field (E) which is applied to the flame (10) is between 50 Hz and 2 GHz.
17. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 1, wherein
at least one electrode (5) is a ring electrode.
18. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 1, wherein
the shape of the flame in the combustion chamber can be adjusted by variation of the field strength and the frequency (f) of the electrical field (E) which is applied to the flame (10).
19. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 1, wherein
one of the electrodes (5, 9) is an injector electrode through which fuels are sprayed in the combustion chamber.
20. The fuel combustion apparatus as claimed in claim 19, wherein
the flame (10) can be electrostatically charged by the injection electrode.

21. A method for combustion of fuels by means of a flame (10) in an exothermic chemical reaction comprising the following steps:

- (a) supplying the fuels to a combustion chamber to generate the flame (10) which comprises a flame core (10a) and a flame envelope (10b);
- (b) applying an AC voltage forming a potential difference at an electrode (5) and an opposing electrode (9) to generate an electrical DC field and an electrical AC field at the flame (10) such that a reaction plasma with a high ionization degree within the flame (10) is produced;
- (c) wherein the opposing electrode (9) and the flame envelope (10b) of the flame (10) form a capacitor (26) which is connected to a coupling coil (22b) of a transformer (22) to form a secondary resonant circuit (22b, 26);
- (d) coupling of energy via a first coupling coil (22a) of said transformer (22) from a primary resonant circuit (22a, 21) into the secondary resonant circuit (22b, 26) to stabilize said flame (10).

22. The method as claimed in claim 21, wherein the field strength of the electrical alternating field (E) has a sinusoidal waveform.

23. The method as claimed in claim 21, wherein the field strength of the electrical alternating field (E) has a pulsed waveform.

24. The method as claimed in claim 21, wherein the frequency (f) of the electrical alternating field (E) is between 50 Hz and 2 GHz.

25. The method as claimed in claim 21, wherein the supplied fuels are ignited by application of the electrical field (E), which is pulsed or sinusoidal superimposed with a constant voltage, wherein the exothermic chemical reaction is initiated.

Revendications

1. Installation de combustion (1) pour la combustion de combustibles en une réaction chimique exothermique, avec:

- a) Un dispositif (2) pour l'alimentation des combustibles,
- b) Une chambre de combustion pour la combustion en une flamme (10),
- c) Par où la flamme (10) et une bobine (22b)

forment un circuit oscillant secondaire (10, 22b), **caractérisé par** l'énergie qui est induite dans la flamme (19) via le couplage d'un circuit oscillant primaire (21, 22c).

2. Installation de combustion selon point 1, **caractérisée par le fait que** le circuit oscillant secondaire (10, 22b) représente un circuit oscillant ouvert, semi-ouvert ou fermé.

3. Installation de combustion selon point 1, **caractérisée par le fait que** dans le circuit oscillant secondaire (10, 22b), l'énergie est induite dans la flamme (10) via un guide d'onde, par où un champ continu est superposé au circuit oscillant (10, 22b).

4. Installation de combustion selon point 1, **caractérisée par le fait qu'**au moins une électrode (5) et une contre-électrode (9) sont prévues, alimentées par une composante de courant continu et alternatif (I) traversant la flamme (10) pour produire un plasma de réaction dans la flamme (10), ce plasma de réaction ayant un degré élevé de ionisation.

5. Installation de combustion selon point 4, **caractérisée par le fait que** la contre-électrode (9) et l'enveloppe (10b) de la flamme (10) forment un condensateur qui est connecté à une bobine (22b) d'un transformateur (22) résultant en un circuit oscillant, dans lequel, et via une autre bobine (22a) du transformateur (22) et émanant du circuit oscillant primaire (21, 22a) de l'énergie est emmagasinée pour la stabilisation de la flamme (10).

6. Installation de combustion selon point 5, **caractérisée par le fait que** le circuit oscillant primaire (21, 22a) présente un condensateur (21) et la première bobine (22a) du transformateur (22).

7. Installation de combustion selon point 1, **caractérisée par le fait que** le circuit oscillant secondaire (22b, 26) présente le condensateur (26) et la deuxième bobine de couplage (22b) du transformateur (22), par où une résistance de flamme (27) de la flamme (10) est connectée en parallèle au condensateur (26).

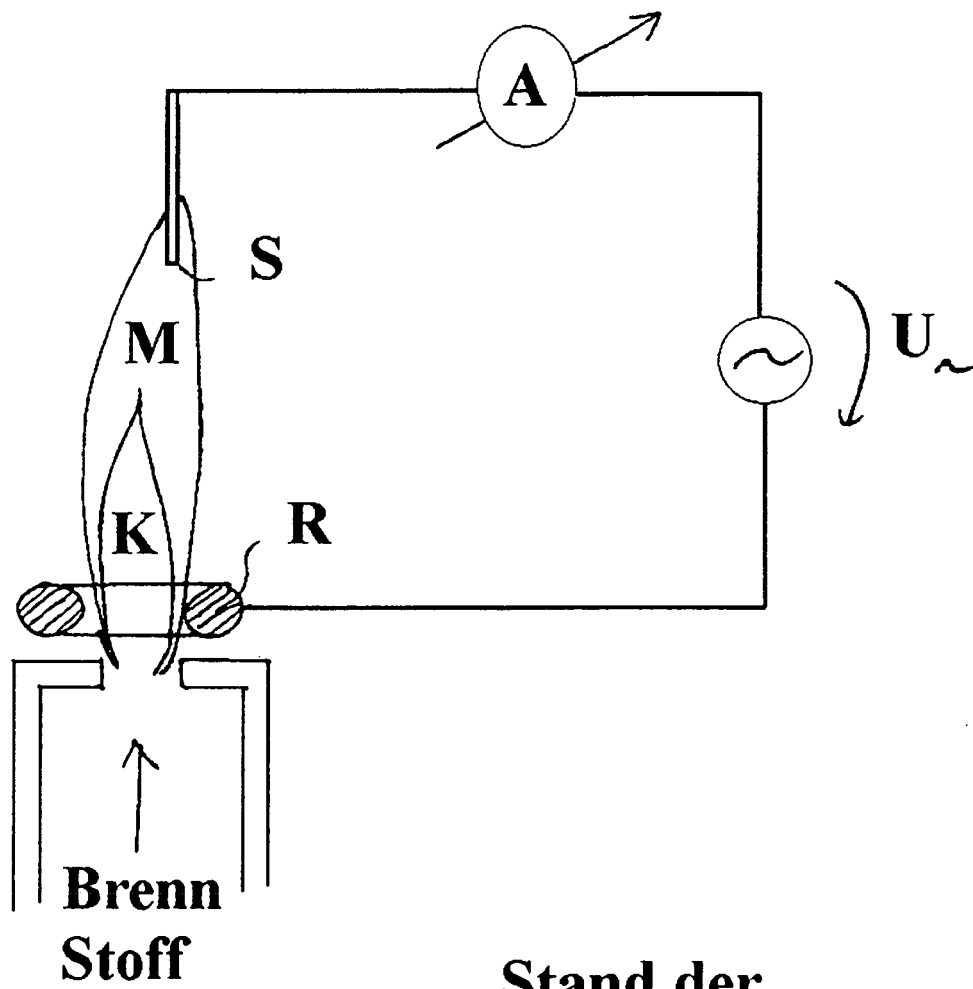
8. Installation de combustion selon point 1, **caractérisée par le fait qu'**au circuit oscillant primaire (22a, 21) est connecté un générateur de tension.

9. Installation de combustion selon point 5, **caractérisée par le fait qu'**à la contre-électrode (9), une source de tension continue (25) est connectée.

10. Installation de combustion selon point 5, **caractérisée par le fait que** le transformateur (22) est un transformateur Tesla.

11. Installation de combustion selon point 5, **caractérisée par le fait qu'une des deux électrodes (5, 9) est une électrode de grille.**
12. Installation de combustion selon point 8, **caractérisée par le fait que le générateur de tension (7) produit une tension alternative.** 5
13. Installation de combustion selon point 12, **caractérisée par le fait le transformateur (22) élève la tension alternative produite par le générateur de tension (7).** 10
14. Installation de combustion selon point 13, **caractérisée par le fait que la tension alternative produite est presque sinusoïdale et qu'il existe une différence entre les surfaces positives et négatives des demi-ondes de cette tension.** 15
15. Installation de combustion selon point 13, **caractérisée par le fait qu'une tension alternative est pulsée.** 20
16. Installation de combustion selon point 4, **caractérisée par le fait que la fréquence (f) du champ électrique (E) appliquée à la flamme (10) se situe entre 50 Hz et 2 GHz.** 25
17. Installation de combustion selon point 1, **caractérisée par le fait que l'électrode est une électrode circulaire.** 30
18. Installation de combustion selon point 1, **caractérisé par le fait que la forme de la flamme dans la chambre de combustion est réglable par la variation de la force et de la fréquence (f) du champ électrique (E) appliquée à la flamme (10).** 35
19. Installation de combustion selon point 1, **caractérisé par le fait qu'une des électrodes (5, 9) est une électrode d'injection, par laquelle les combustibles sont injectés dans la chambre de combustion.** 40
20. Installation de combustion selon point 19, **caractérisée par le fait que la flamme (10) peut être chargée électrostatiquement via l'électrode d'injection.** 45
21. Procédé pour la combustion de combustibles par une flamme (10) dans une réaction chimique exotherme selon les pas suivants : 50
 - a) Alimentation des combustibles dans une chambre de combustion pour la production de la flamme (10) qui a un noyau de flamme (10a) et une enveloppe (10b) ; 55
 - b) Application d'une tension formant une différence de potentiel alternative, à une électrode (5) et à une contre-électrode (9) pour la produc-
- tion d'un champ électrique continu et champ électrique alternatif à la flamme (10), pour qu'un plasma de réaction avec un degré de ionisation élevé soit produit dans la flamme (10) ;
- c) Par où la contre-électrode (9) et l'enveloppe de flamme (10b) de la flamme (10) forment un condensateur (26), qui, au moyen d'une bobine de couplage (22b) d'un transformateur (22), est connecté à un circuit oscillant secondaire (22b, 26) ;
- d) Couplage de l'énergie, via une première bobine de couplage (22a) du transformateur (22), d'un circuit oscillant primaire (22b, 21) au circuit oscillant secondaire (22b, 26), pour la stabilisation de la flamme (10) .
22. Procédé selon point 21, **caractérisé par le fait que le champ électrique du champ électrique alternatif (E) est un processus sinusoïdal dans le temps.**
23. Procédé selon point 21, **caractérisé par le fait que le champ électrique du champ électrique alternatif (E) a un processus impulsionnel dans le temps.**
24. Procédé selon point 21, **caractérisé par le fait que la fréquence (f) du champ électrique alternatif (E) se situe entre 50 Hz et 2 GHz.**
25. Procédé selon point 21, **caractérisé par le fait que les combustibles introduits sont mis à feu par l'application du champ électrique (E) qui est pulsé ou alternatif (superposé à une tension continue) par où la réaction chimique exotherme est déclenchée.**

FIG. 1



**Stand der
Technik**

Fig. 2a Stand der Technik

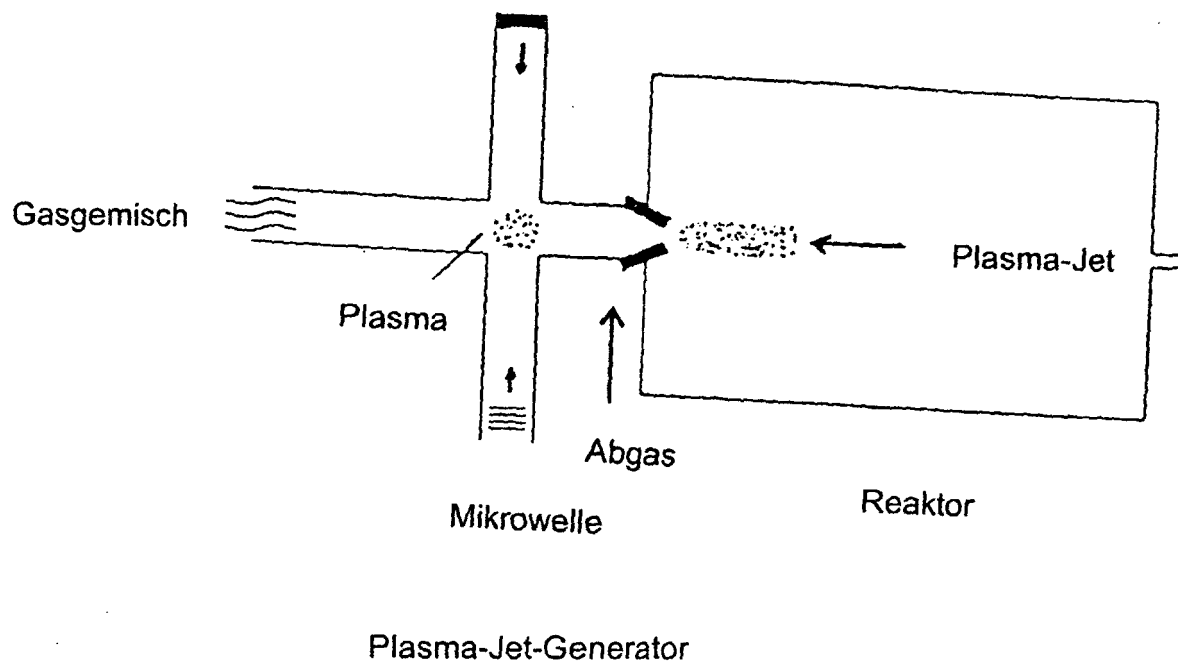


FIG. 2b

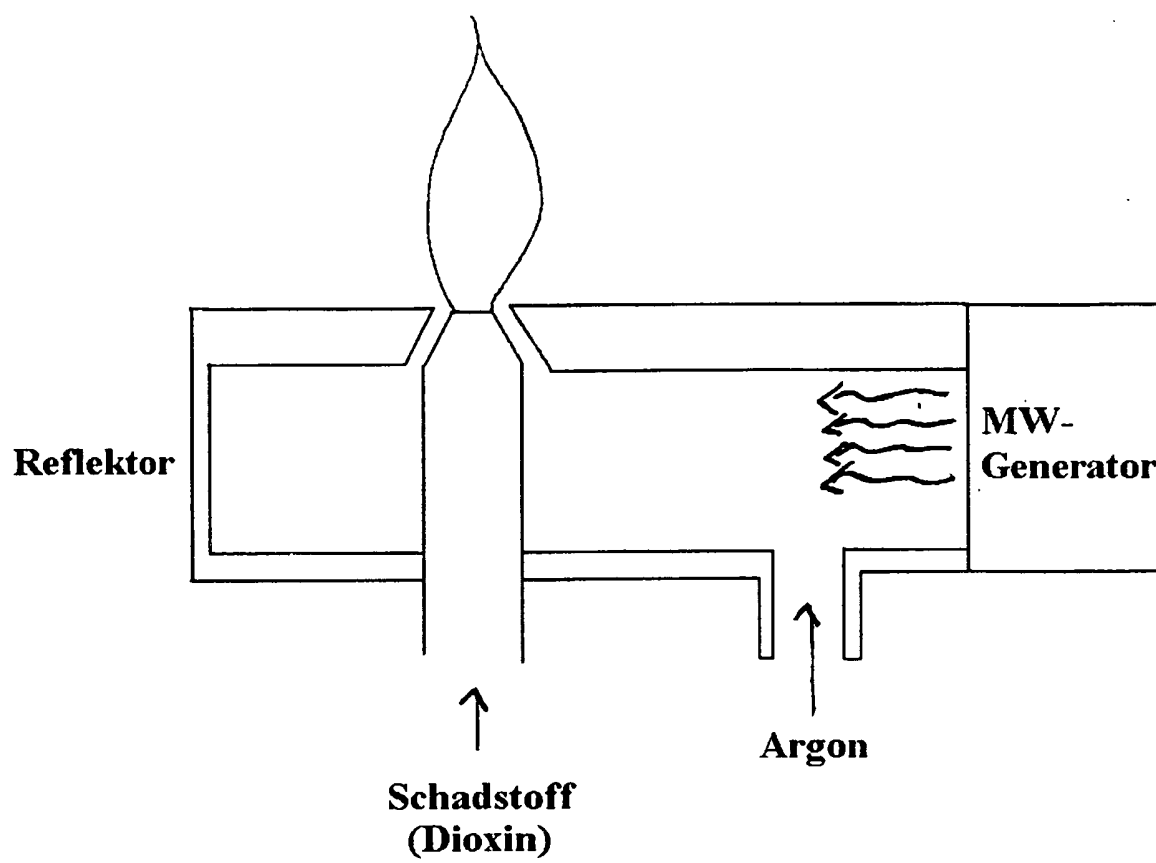
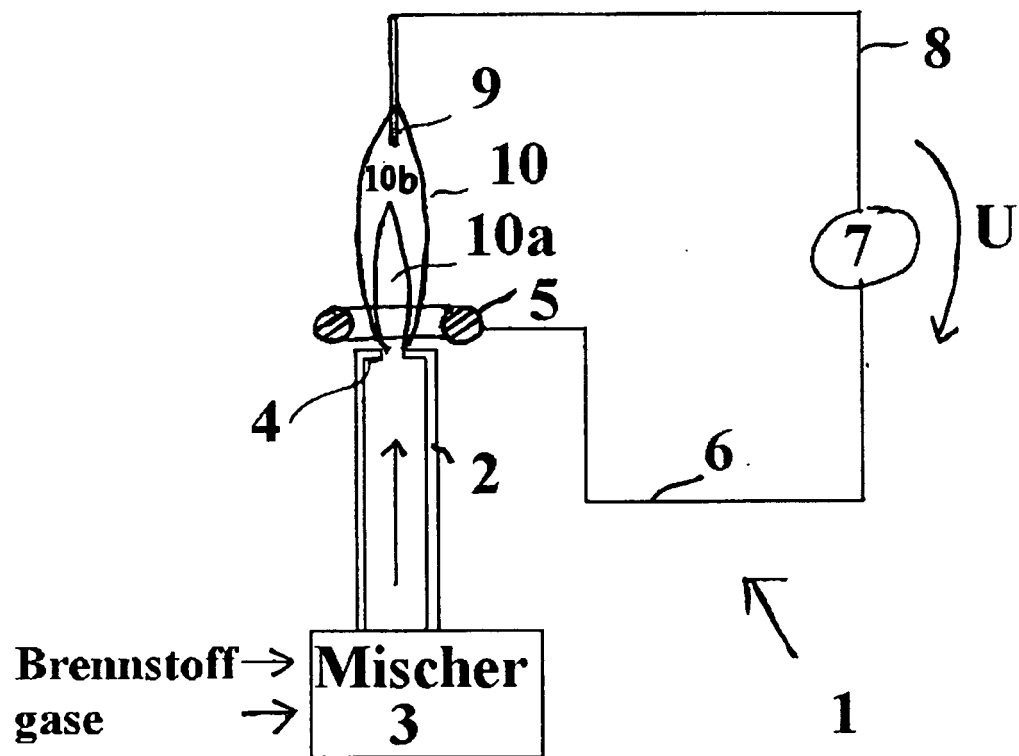


FIG. 3



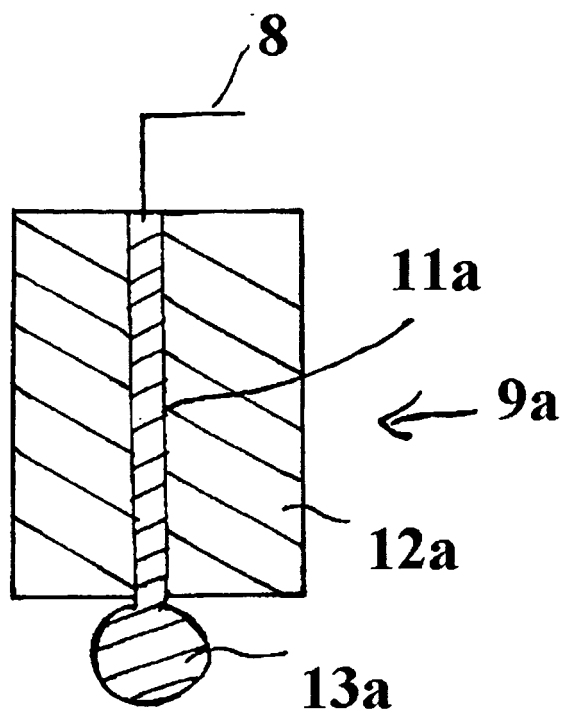


Fig.4a

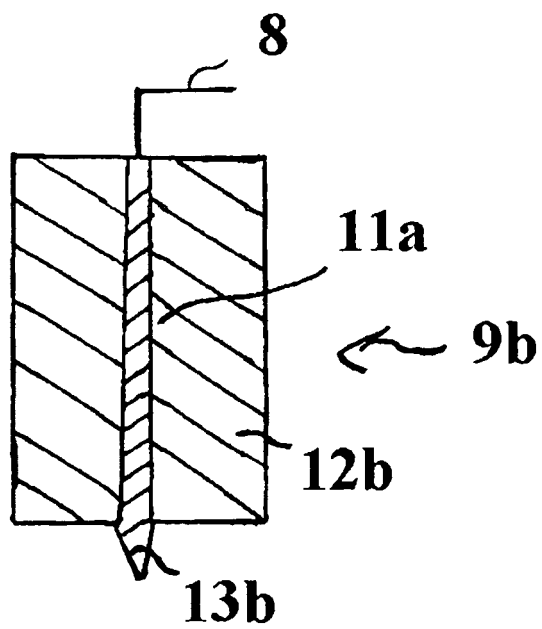


Fig.4b

FIG. 5

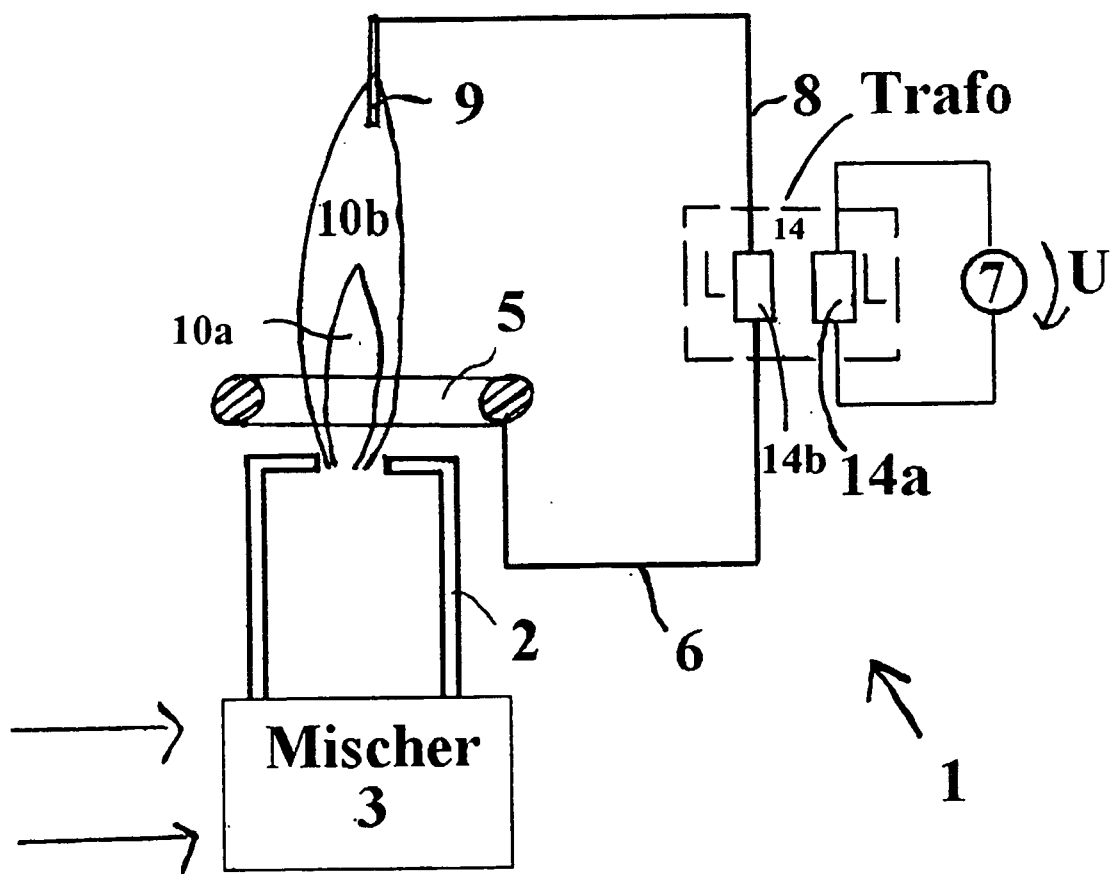


FIG. 6a

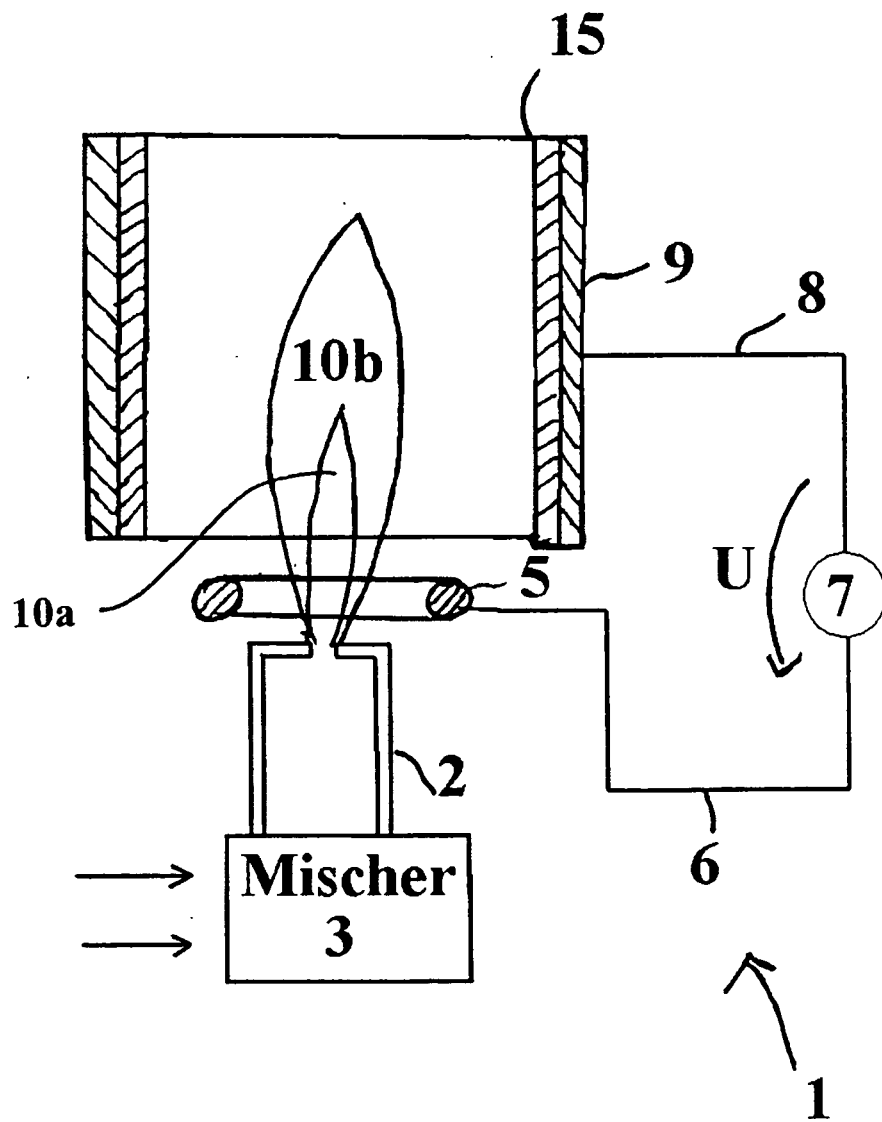


Fig.6a

FIG. 6b

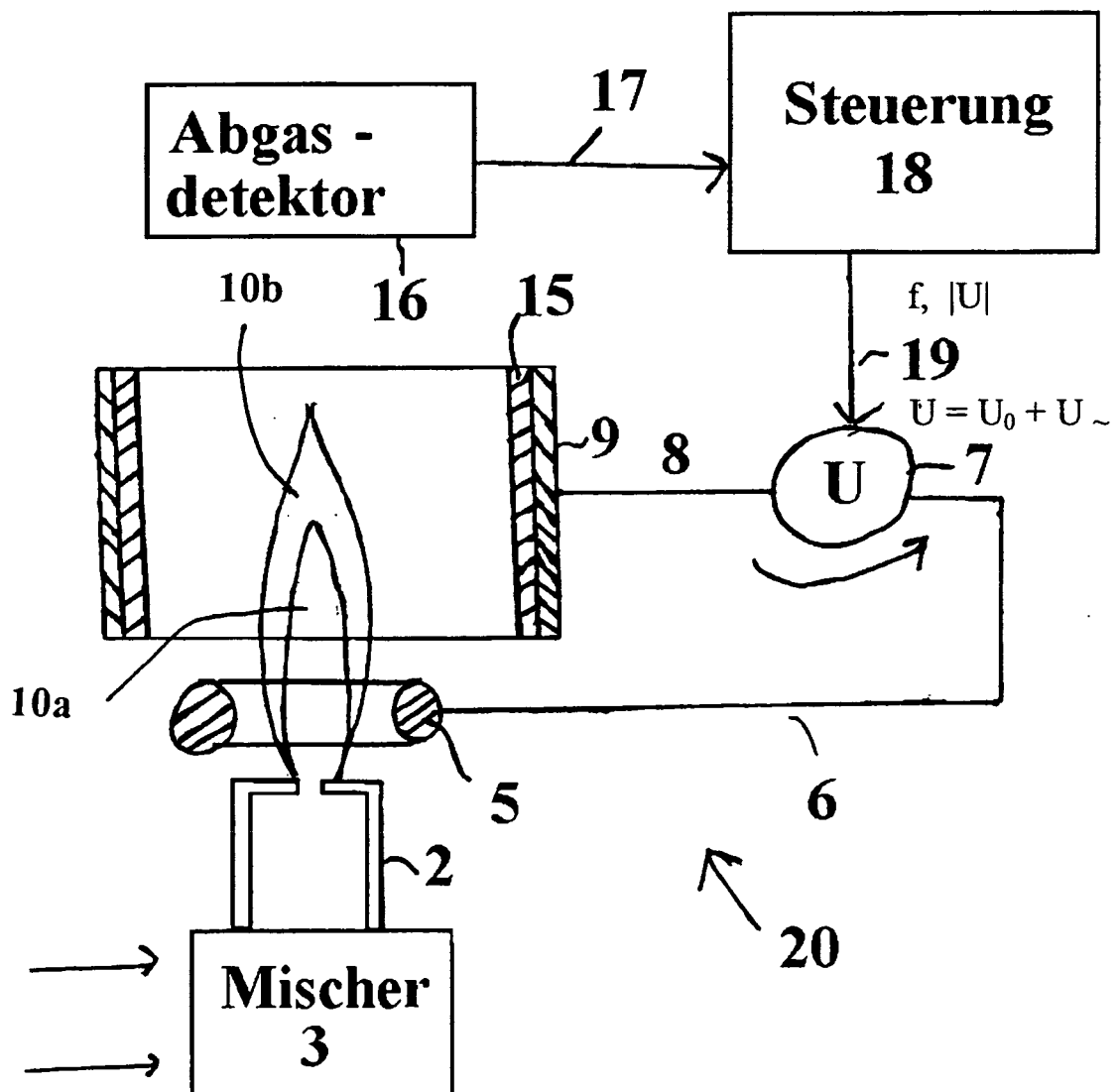


FIG. 7

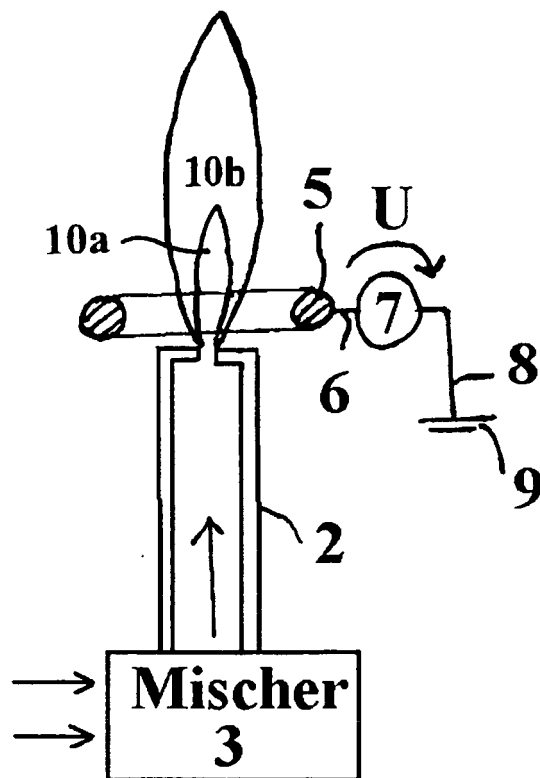
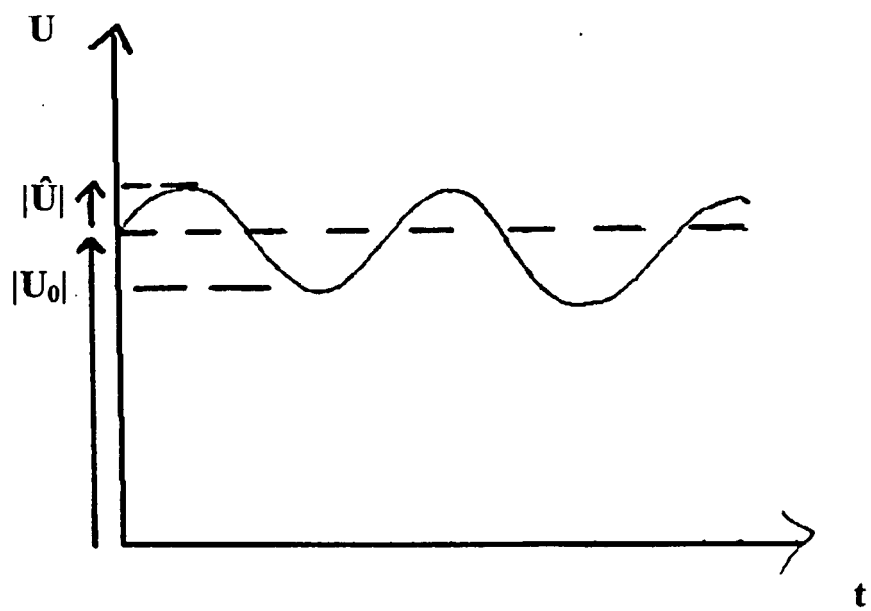


FIG. 8



$$V = \frac{|\hat{U}|}{|U_0|}$$

FIG. 9

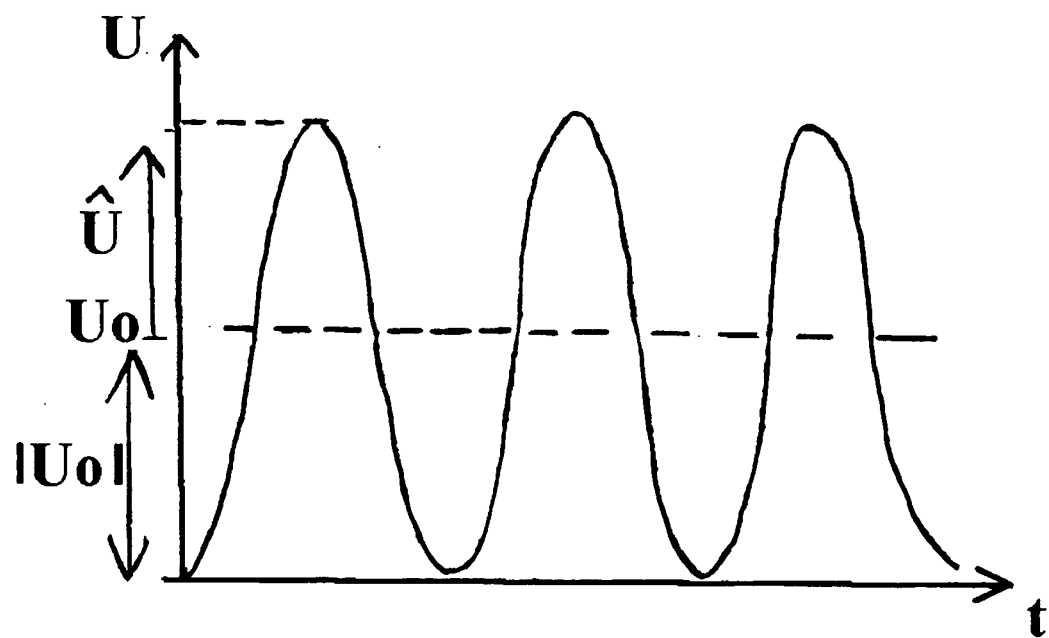


FIG. 10

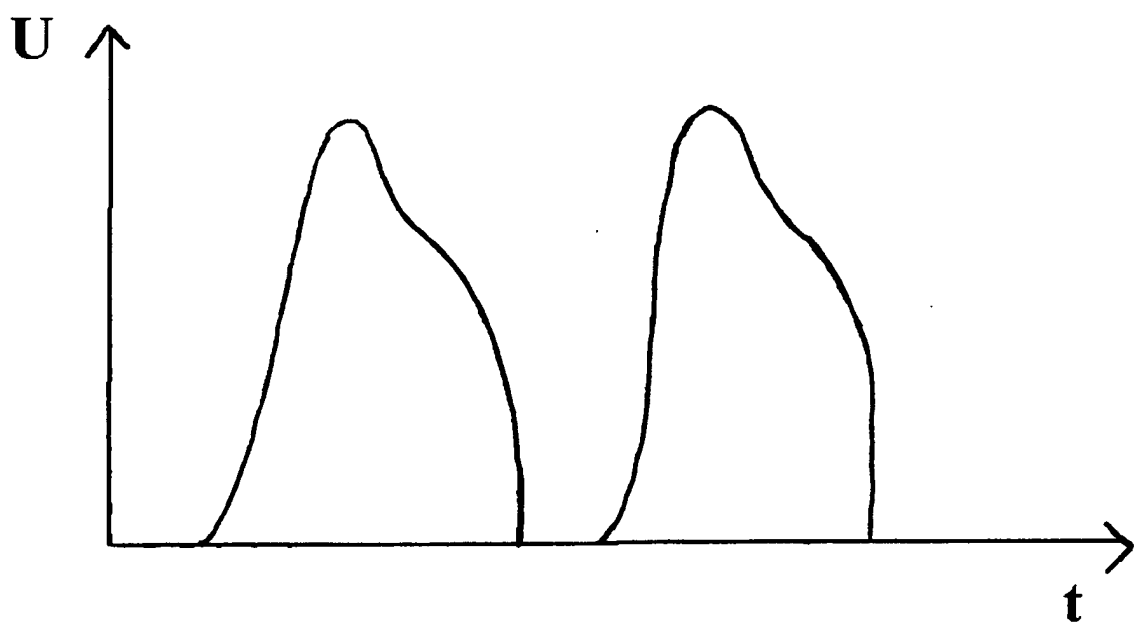


FIG. 11

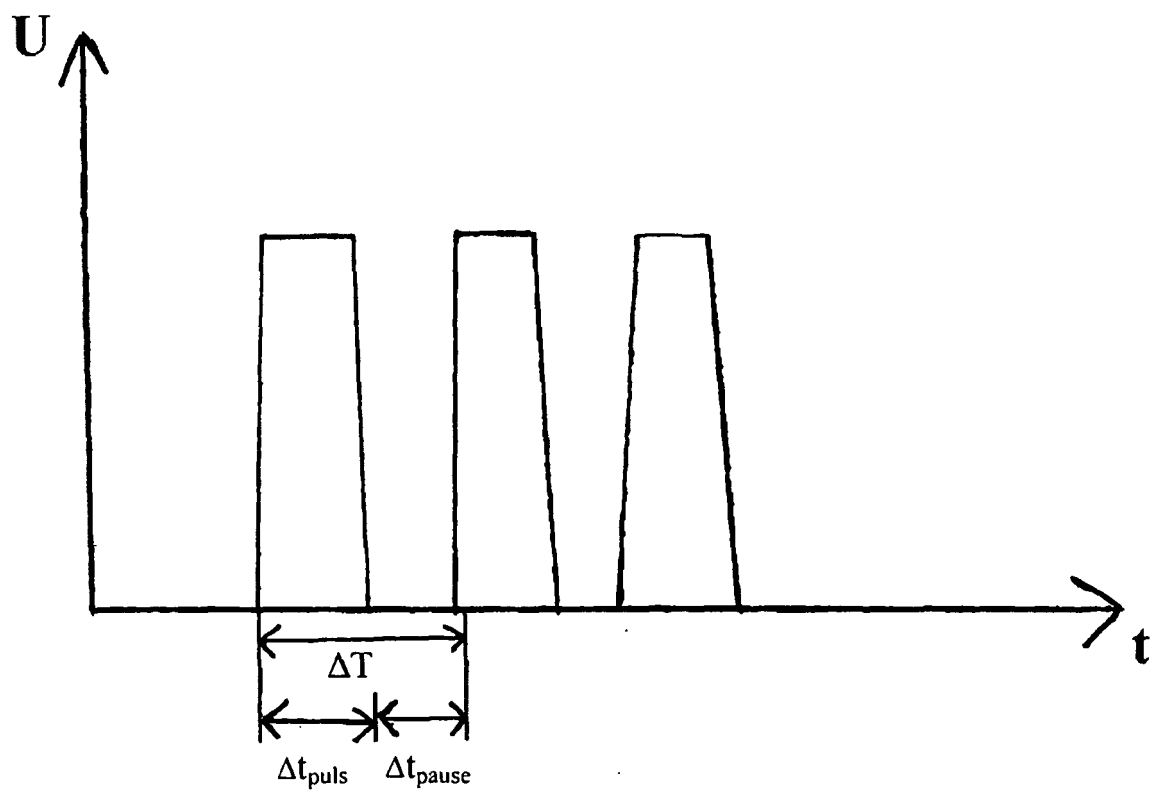
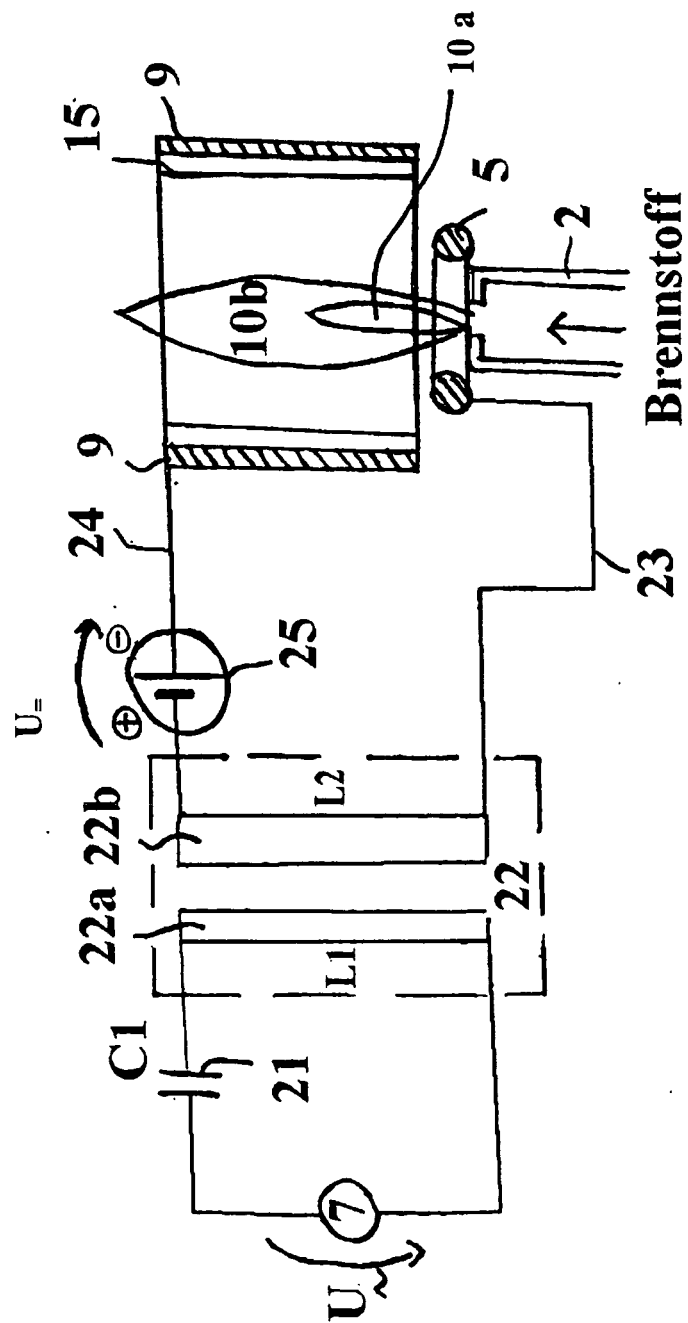


FIG. 12



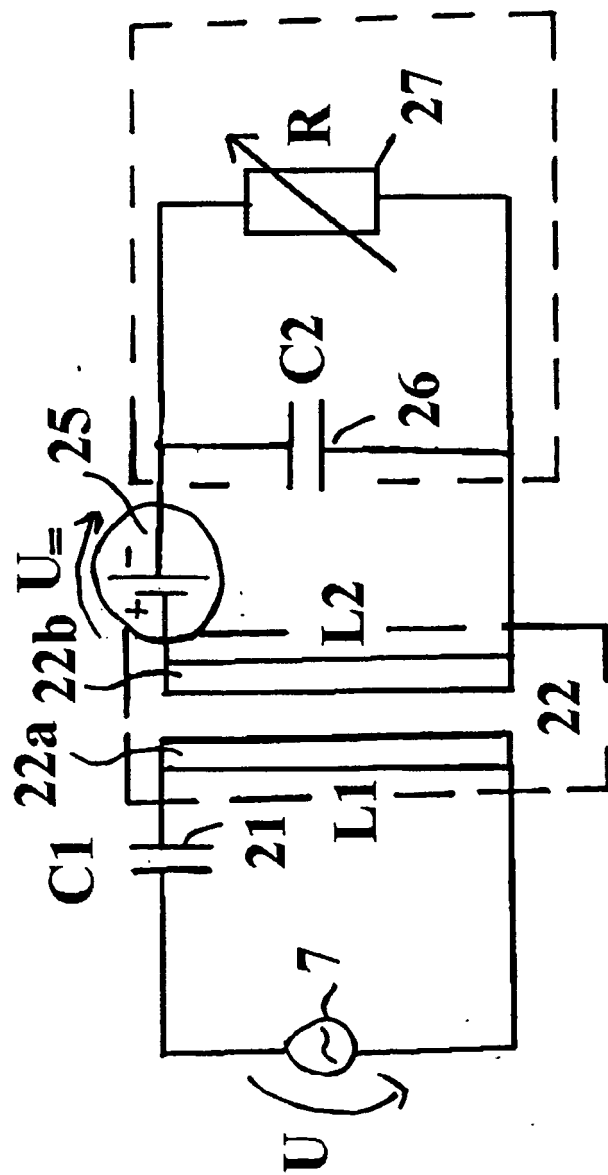


Fig.13

Fig. 14

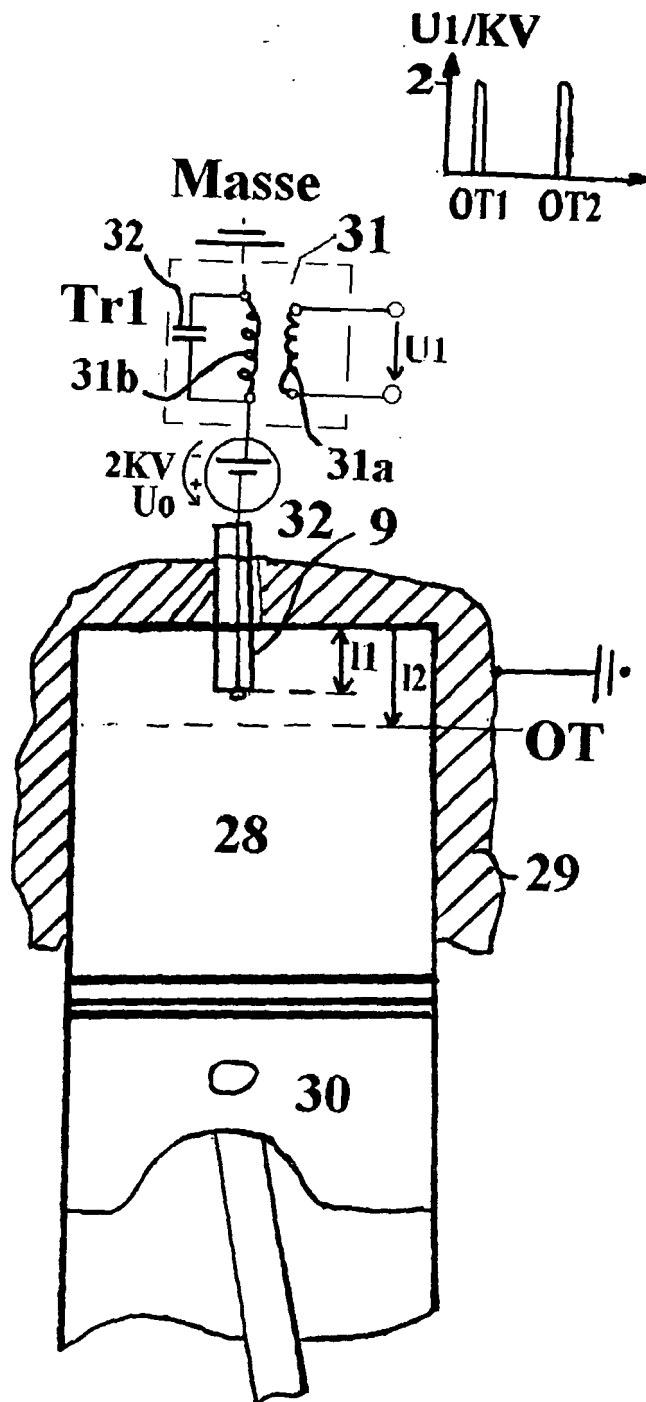


FIG. 15

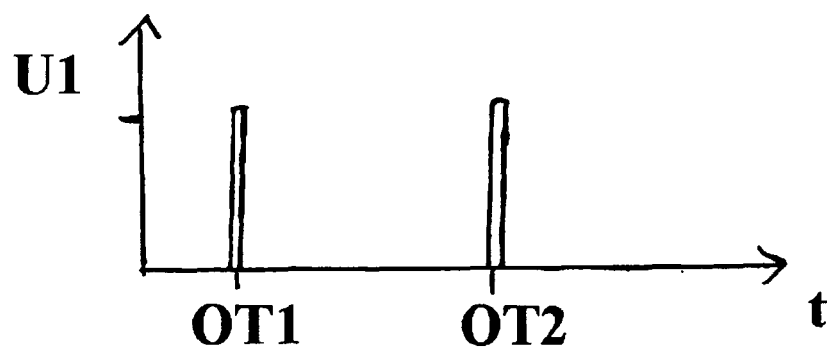


Fig. 15a

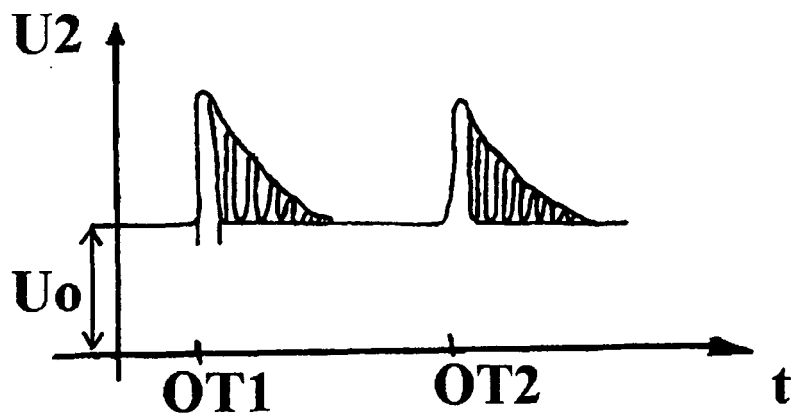


Fig. 15b

FIG. 16

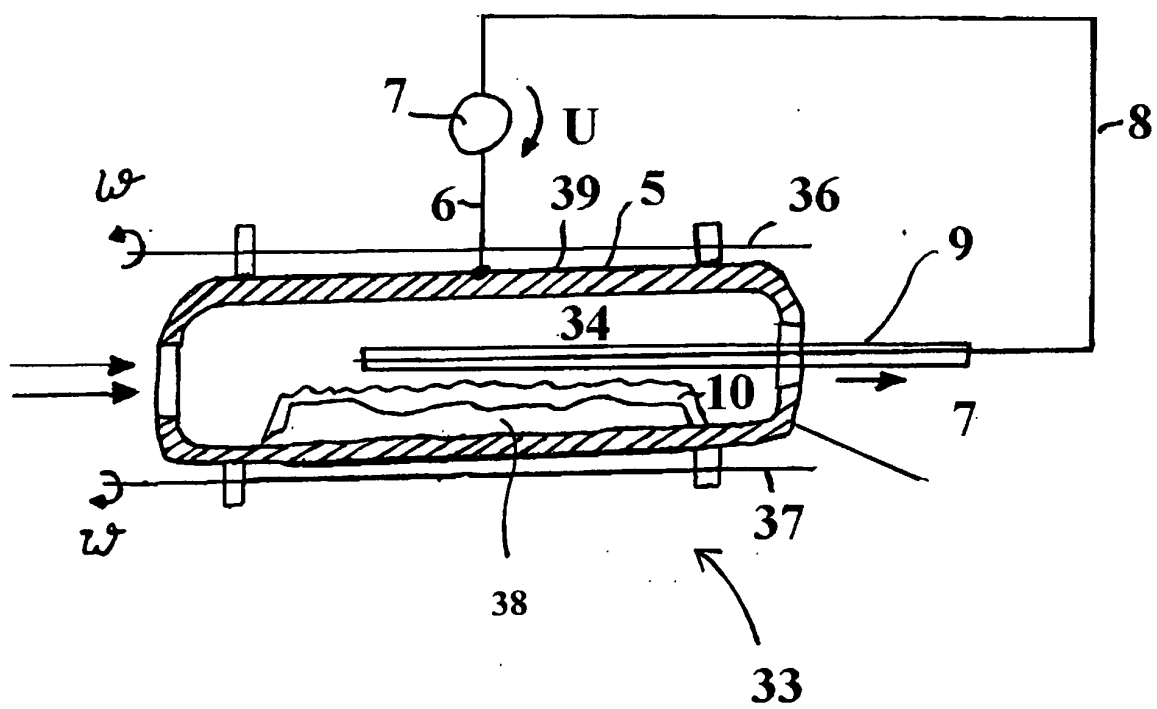


FIG. 17

