



(11) **EP 1 537 329 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
21.03.2012 Patentblatt 2012/12

(51) Int Cl.:
F02P 23/04^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **03790742.5**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2003/002828

(22) Anmeldetag: **25.08.2003**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/020820 (11.03.2004 Gazette 2004/11)

(54) **VORRICHTUNG ZUM ZÜNDEN EINES LUFT-KRAFTSTOFF-GEMISCHS IN EINEM VERBRENNUNGSMOTOR MITTELS EINER HOCHFREQUENTEN ELEKTRISCHEN ENERGIEQUELLE**

DEVICE FOR IGNITING AN AIR-FUEL-MIXTURE IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY MEANS OF A HIGH FREQUENCY ELECTRIC ENERGY SOURCE

DISPOSITIF POUR ENFLAMMER UN MÉLANGE AIR-CARBURANT DANS UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE AU MOYEN D'UNE SOURCE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE HAUTE FRÉQUENCE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

- **RUOSS, Hans-Oliver**
70569 Stuttgart (DE)
- **LINKENHEIL, Klaus**
70329 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **28.08.2002 DE 10239410**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.06.2005 Patentblatt 2005/23

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A- 19 747 701 DE-A- 19 852 652
US-A- 5 361 737

(73) Patentinhaber: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:

- **SCHMIDT, Ewald**
71634 Ludwigsburg (DE)
- **THIEL, Michael**
71229 Leonberg (DE)
- **HASCH, Juergen**
70195 Stuttgart (DE)

- **DATABASE SAE [Online] SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, WARRENDALE, PA, US; R. STILES: "Investigation of a radio frequency plasma ignitor for possible internal combustion engine use" XP008026009**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 031 (M-192), 8. Februar 1983 (1983-02-08) -& JP 57 186067 A (HITACHI SEISAKUSHO KK), 16. November 1982 (1982-11-16)**

EP 1 537 329 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten Energiequelle nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

[0002] Die Zündung eines solchen Luft-Kraftstoff-Gemischs mit Hilfe einer sogenannten Zündkerze stellt einen üblichen Bestandteil von Verbrennungsmotoren für Kraftfahrzeuge dar. Bei diesen heute eingesetzten Zündsystemen wird die Zündkerze induktiv mittels einer Zündspule mit einer genügend hohen elektrischen Spannung versorgt, so dass sich ein Zündfunke am Ende der Zündkerze im Brennraum des Verbrennungsmotors herausbildet um die Verbrennung des Luft-Kraftstoff-Gemischs einzuleiten.

[0003] Beim Betrieb dieser herkömmlichen Zündkerze können Spannungen bis über dreißig Kilovolt auftreten, wobei durch den Verbrennungsprozess Rückstände, wie Ruß, Öl oder Kohle sowie Asche aus Kraftstoff und Öl auftreten, die unter bestimmten thermischen Bedingungen elektrisch leitend sind. Es dürfen jedoch bei diesen hohen Spannungen keine Über- oder Durchschläge am Isolator der Zündkerze auftreten, so dass der elektrische Widerstand des Isolators auch bei den auftretenden hohen Temperaturen während der Lebensdauer der Zündkerze sich nicht verändern sollte.

[0004] Aus der US-A-5 361 737 ist bekannt, dass ein Plasma am Ende eines HF-Resonators als Zündkerze zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor bekannt. Es ist hieraus weiterhin zu entnehmen, dass das Ende einer coaxialen Wellenleiterstruktur des HF-Resonators als Zündstift ausgebildet ist und hieran durch eine in den Brennraum des Verbrennungsmotors hineinragende Feldstruktur das freistehende Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch erzeugt wird.

[0005] Es ist auch noch beispielsweise aus der DE 198 52 652 A1 eine Zündvorrichtung bekannt, bei der die Zündung eines solchen Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges unter Verwendung eines coaxialen Leitungsresonators vorgenommen wird. Hierbei wird die Zündspule durch eine genügend starke Mikrowellenquelle, z.B. eine Kombination aus einem Hochfrequenzgenerator und einem Verstärker, ersetzt. Mit einem geometrisch optimierten coaxialen Leitungsresonator stellt sich dann die für die Zündung erforderliche Feldstärke am offenen Ende des kerzenähnlichen Leitungsresonators ein und zwischen den Elektroden der Kerze bildet sich mit dem Spannungsüberschlag eine zündfähige Plasmastrecke heraus.

[0006] Eine solche Hochfrequenzzündung ist auch in dem Aufsatz "SAE-Paper 970071, Investigation of a Radio Frequency Plasma Ignitor for Possible Internal Combustion Engine Use" beschrieben. Auch bei dieser Hochfrequenz- bzw. Mikrowellenzündung wird ohne eine übliche Zündspule eine Hochspannung mittels einer nie-

derohmigen Einspeisung am sogenannten heißen Ende einer $\lambda/4$ -Leitung eines HF-Leitungsresonators erzeugt.

Vorteile der Erfindung

[0007] Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten elektrischen Energiequelle, mit einer coaxialen Wellenleiterstruktur, in die die hochfrequente elektrische Energie eingekoppelt ist und die mit einem Ende in den jeweiligen Brennraum eines Zylinders des Verbrennungsmotors hineinragt, wobei an diesem Ende durch ein hohes Spannungspotential ein Mikrowellenplasma erzeugbar ist. Das eine Ende der coaxialen Wellenleiterstruktur ist so ausgebildet, dass bei einem anstehenden Spannungspotential durch eine in den Brennraum hineinragende Feldstruktur ein freistehendes Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch zwischen dem aus der Wellenleiterstruktur einen vorgegebenen Betrag herausragenden Innenleiter und dem Außenleiter der Wellenleiterstruktur erzeugbar ist. In dieser um das Ende des herausragenden Innenleiters herum freistehenden Plasmawolke, findet kein Überschlag zwischen den Elektroden statt, so dass auch kein Ionenstrom fließt.

[0008] Die erfindungsgemäße Ausgestaltung des Endes der coaxialen Wellenleiterstruktur wird in vorteilhafter Weise gemäß der Merkmale des Kennzeichens des Anspruchs 1 vorgenommen, bei dem das eine Ende der coaxialen Wellenleiterstruktur im Brennraum eine Abdichtung aus dielektrischem Material zwischen dem Außenleiter und dem coaxialen Innenleiter enthält, die derart mit mindestens einer in axialer Richtung sprunghaften und/oder gleitenden Querschnittsänderung versehen ist, das sich eine optimale Feldstruktur zur Erzeugung eines freistehenden Plasmas ergibt.

[0009] Die coaxiale Wellenleiterstruktur ist dabei so ausgebildet, dass sich für eine vorgegebene effektive Wellenlänge λ_{eff} der eingekoppelten hochfrequenten Schwingung ein Leitungsresonator in etwa nach der Beziehung $(2n+1) \cdot \lambda_{\text{eff}}/4$ mit $n \geq 0$ ergibt und die hochfrequente Schwingung beispielsweise durch eine kapazitive, induktive, gemischte oder eine Aperturkopplung eingekoppelt wird. Die effektive Wellenlänge λ_{eff} wird dabei im wesentlichen durch die Formgebung des Endes des herausragenden Innenleiters, durch die Abdichtung des Dielektrikums bzw. durch die Formgebung des gesamten Leitungsresonators bestimmt.

[0010] Bei der erfindungsgemäßen Ausführungsform stellt sich die für die Zündung im Brennraum erforderliche Feldstärke damit am offenen Ende des in seiner Form weitgehend zündkerzenähnlichen Resonators ein. Die wesentlichen Vorteile einer solchen Hochfrequenzzündkerze gegenüber der herkömmlichen Verwendung einer Zündkerze sind vor allem eine Kosten- und Gewichtseinsparung durch die Möglichkeit zur Miniaturisierung. Die bei der vorgeschlagenen Vorrichtung erreichte weitgehende Wärmewertfreiheit ermöglicht zudem eine Redu-

zierung der Typenvielfalt und damit ebenfalls eine Kosteneinsparung.

[0011] Dadurch, dass hier auf einfache Weise bevorzugt im Oszillator, eventuell aber auch an sonstigen Bereichen des coaxialen Wellenleiters, ein elektrisches Mess- oder Steuersignal auskoppelbar ist, das von den physikalischen Größen des freistehenden Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch abhängig ist, wird prinzipiell eine Einstellbarkeit der Flammgröße ermöglicht, womit ein vergrößertes Zündvolumen im Vergleich zur herkömmlichen Zündkerze und eine gute Einleitung der Flammfront in den Brennraum erreichbar ist. Dies führt zu einer Erhöhung der Zündsicherheit insbesondere bei Magergemischmotoren und bei einer Benzin-Direkt-Einspritzung.

[0012] Ferner sind zusätzliche Freiheitsgrade durch die Steuerbarkeit der Brenndauer aufgrund der Möglichkeit der Ableitung auskoppelbarer Steuersignale vorhanden. Das ausgekoppelte elektrische Signal ist in einer Auswerteschaltung weiterverarbeitbar, mit der z.B. eine Diagnose der Anordnung, eine Regelung der hochfrequenten Energiequelle und/oder eine Steuerung vorgegebener Betriebsfunktionen bewirkbar ist. Diese Steuerbarkeit aufgrund der Möglichkeit der Verbrennungsdiagnostik und damit der Optimierung der Motorsteuerung führt zu einem geringeren Verschleiß der als Zündelektroden wirkenden Strukturen und es ist außerdem auch ein gesteuertes Abbrennen von Verunreinigungen, z.B. von Ruß, möglich.

[0013] Wenn der coaxiale Resonator als Zylinder mit über der Länge konstantem, kreisförmigen Querschnitt realisiert wird, so entsteht durch eine herkömmliche Abdichtung des offenen Endes des Resonators bzw. der Abtrennung des Volumens des Resonators vom Brennraum, in Abhängigkeit vom Material und der geometrischen Gestaltung, insbesondere der Dicke der Abdichtung, eine deutliche Feldverzerrung bzw. Feldabschwächung am einen Ende an der Spitze des Innenleiters und eine Erhöhung des Leistungsbedarfs zum Erreichen der erforderlichen Zündfeldstärke.

[0014] Erfindungsgemäß wird in vorteilhafter Weise durch eine geeignete Varierung des Querschnitts des coaxialen Resonators der Leistungsbedarf deutlich gegenüber einem Resonator mit über der Länge konstantem, kreisförmigen Querschnitt gesenkt, d.h. eventuell sogar unter das Niveau eines Resonators ohne Abdichtung.

[0015] Hierzu enthält vorzugsweise das eine Ende der coaxialen Wellenleiterstruktur im Brennraum eine Abdichtung aus dielektrischem Material zwischen dem Außenleiter und dem coaxialen Innenleiter, die derart mit mindestens einer in axialer Richtung sprunghaften und/oder gleitenden Querschnittsänderung versehen ist, dass sich eine optimale Feldstruktur ergibt, die die Entstehung des freistehenden Plasmas nach dem Hauptanspruch ermöglicht. Das Plasma wird hierbei nur an einer Elektrode, d.h. am Ende des herausragenden Innenleiters, als freistehende Wolke ausgebildet und es bildet

sich, wie zuvor erwähnt, keine nachteilige Funkenstrecke zwischen zwei Elektroden heraus.

[0016] Insbesondere kann vorteilhaft die Abdichtung in einer Ausnehmung des Außenleiters angebracht werden, die eine zum einen Ende hin sprunghafte Querschnittsvergrößerung aufweist. Im Bereich des einen Endes können darüber hinaus in vorteilhafter Weise die innere Kontur des Außenleiters und die äußere Kontur des Innenleiters in vorgegebenen Bereichen in ihrem Querschnitt korrespondierend verändert werden.

[0017] Die wesentlichen Vorteile dieser erfindungsgemäßen Anordnung sind eine optimale Abtrennung des Volumens des Resonators zum Brennraum, ggf. mit gleichzeitiger dichtender Wirkung, und eine Reduzierung der zur Zündung notwendigen HF-Leistung. Das erfinderische Konzept ist dabei vorteilhaft geeignet für eine nachträgliche Integration in bereits existierende Verbrennungsmotoren.

[0018] Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist es möglich, dass eine kompakte Zündeinheit dadurch gebildet werden kann, dass in einem gemeinsamen Gehäuse eine freischwingende Oszillatorschaltung und der coaxiale Wellenleiter angeordnet wird, wobei der freischwingenden Oszillatorschaltung auch eine Verstärkerschaltung nachgeschaltet werden kann. Die freischwingende Oszillatorschaltung und/oder die nachgeschaltete Verstärkerschaltung werden bevorzugt als eine integrierte Halbleiterschaltung mit SiC oder GaN Bauelementen aufgebaut.

[0019] Die wesentlichen Vorteile eines solchen kompakten Aufbaus einer Hochfrequenz-Zündeinheit sind insbesondere die Möglichkeit einer Reduzierung der Baugröße, z.B. von einer Gewindegröße M14 auf M10 und die damit erreichbare Kosten- und Gewichtseinsparung, da die eigentliche Kerze und die Zündspule eingespart wird. Herkömmliche Zündkerzen können aus physikalischen Gründen nicht in dem Maße verkleinert werden, dass hiermit neue kleinbauende Zünd- und Ventilsysteme an einem, insbesondere auch hochverdichtenden Verbrennungsmotor realisiert werden können. Auch ist ein besseres EMV-Verhalten bei der Integration dieser Bauelemente in die coaxiale Geometrie der Vorrichtung erreichbar.

[0020] Insbesondere auch in Kombination mit der oben erwähnten Steuerbarkeit des Zündverhaltens durch die Verarbeitung eines auskoppelbaren Signals können der Zündzeitpunkt und die Zünddauer auf einfache Weise variabel eingestellt werden. Das freistehende Plasma kann insbesondere durch eine Beeinflussung der Flammgröße, wie oben erwähnt, positiv beeinflusst werden, wodurch eine Erhöhung der Zündsicherheit bei Magergemischen und bei einer Benzin-Direkt-Einspritzung (BDE) erreicht ist.

[0021] Beim Aufbau von Oszillatorschaltung für die beschriebenen Anwendungen ist zu berücksichtigen, dass diese nicht nur auf einen einzigen Betriebszustand auszulegen sind, sondern es können mindestens zwei grundlegende Betriebszustände, nämlich der ungezün-

deten und der gezündeten Zustand, auftreten. Weiterhin kann auch der Übergangsbereich zwischen diesen Zuständen und zusätzliche Einflussparameter wie Temperatur, Rußbelegung sowie weitere Betriebsparameter sich nachhaltig auf das Resonanz- und Impedanzverhalten des HF-Resonators auswirken. Dies hat bei herkömmlichen Aufbauten häufig zur Folge, dass nur noch ein Bruchteil der zur Verfügung stehenden Leistung in den Resonator eingekoppelt wird. Der restliche Anteil wird reflektiert und belastet oder zerstört unter Umständen das verwendete Leistungshalbleiterbauelement in der Oszillatorschaltung; ggf. kann auch eine Zündung komplett verhindert werden.

[0022] Erfindungsgemäß kann durch eine geeignete, kompakt aufgebaute frei schwingende Oszillatorschaltung in jedem Betriebszustand auf einfache Weise gewährleistet werden, dass ein ausreichender Anteil verfügbarer HF-Leistung in den Resonator eingekoppelt wird. Zum Aufbau des erfindungsgemäßen Oszillators in unmittelbarer Motornähe ist dabei der Einsatz neuer hochtemperaturtauglicher Halbleitertechnologien, z.B. SiC oder GaN, besonders vorteilhaft, da sich diese durch ein gutes Frequenzverhalten f_T auch bei hohen Temperaturen, z.B. $> 200^\circ\text{C}$, durch eine hohe Leistungsdichte und eine hohe Integrationsdichte auszeichnen.

Zeichnung

[0023] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine prinzipielle Ansicht einer Vorrichtung zum hochfrequenten Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mit einer koaxialen Wellenleiterstruktur als Resonator,

Figur 2 eine erfindungsgemäße Ausgestaltung des in den Brennraum des Verbrennungsmotors hineinragenden Endes des Resonators mit einer Ansicht der Feldlinien des in den Brennraum des Verbrennungsmotors hineinragenden Endes des Resonators und

Figur 3 ein Blockschaltbild einer Zündeinheit mit einem freischwingenden Oszillator, einem Resonator und einer Einkopplung der hochfrequenten Schwingungen in den Resonator.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0024] In Figur 1 ist eine Prinzipansicht einer Vorrichtung zum hochfrequenten Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor gezeigt, die Bestandteile einer sogenannten Hochfrequenzzündkerze 1 aufweist. Es sind hier im einzelnen ein HF-Generator 2 und ein eventuell auch verzichtbarer Verstärker 3 vorhanden, die als Mikrowellenquelle die hochfrequenten Schwingungen erzeugen. Schematisch ist hier eine in-

duktive Einkopplung 4 der hochfrequenten Schwingungen in eine als $\lambda_{\text{eff}}/4$ -Resonator 5 aufgebaute koaxiale Wellenleiterstruktur als wesentlicher Bestandteil der Hochfrequenzzündkerze 1 gezeigt.

[0025] Der koaxiale Resonator 5 besteht aus einem Außenleiter 6 und einem Innenleiter 7, wobei das eine sogenannte offene oder heiße Ende 8 des Resonators 5 mit dem Innenleiter 7, hier als gegenüber dem Außenleiter 6 isolierten Zündstift 7a, die Zündung bewirkt. Für die hochfrequenten Schwingungen stellt das andere sogenannte kalte brennraumferne Ende 9 des Resonators 5 einen Kurzschluss dar. Das Dielektrikum 10 zwischen dem Außenleiter 6 und einem Innenleiter 7 besteht im wesentlichen aus Luft oder aus einem geeigneten nichtleitenden Material. Lediglich zur Abdichtung des offenen Endes 8 des Resonators 5 zum Brennraum ist eine Dichtung 11 vorhanden. Die Dichtung 11 besteht auch aus einem nichtleitenden Material, das den Temperaturen im Brennraum standhält, z.B. Keramik. Dabei bestimmen die dielektrischen Eigenschaften des Füllmaterials 10 bzw. der Abdichtung 11 mit den Abmessungen des Resonators 5.

[0026] Bei dieser Hochfrequenzzündkerze 1 wird das Prinzip der Feldüberhöhung in einem koaxialen Resonator 5 der Länge $(2n+1) \cdot \lambda_{\text{eff}}/4$ mit $n > 0$ genutzt. Das durch eine genügend starke Mikrowellenquelle als Generator 2 und eventuell dem Verstärker 3 erzeugte hochfrequente Signal wird durch die Einkopplung 4, z.B. induktiv, kapazitiv, aus beiden gemischt oder durch eine Aperturkopplung in den Resonator 5 eingespeist. Durch die Ausbildung eines Spannungsknotens am Kurzschluss 9 und eines Spannungsbauchs am offenen Ende 8 ergibt sich hier am Zündstift 7a eine Feldüberhöhung, die zu dem in der Beschreibungseinleitung erwähnten freistehenden Plasma führt.

[0027] Die wesentlichen Bestandteile der Erfindung sind aus Figur 2 zu entnehmen. Zur Kompensation des durch die Abdichtung 11 nach der Figur 1 des offenen Endes 8 verursachten Effekts einer Feldverzerrung bzw. Feldabschwächung an der Spitze des Innenleiters 7 bzw. Zündstift 7a wird der Querschnitt einer Dichtung 20 nach der Figur 2 im Bereich des offenen Endes 8 des Resonators 5 variiert. Diese erfolgt z.B. durch Querschnittsprünge 21 bzw. auch durch gleitende Formgebungen, Taperung oder dergleichen. Beispielsweise können die innere Kontur des Außenleiters 6 und die äußere Kontur des Innenleiters 7, 7a in vorgegebenen Bereichen in ihrem Querschnitt korrespondierend verändert sein.

[0028] Die Bestimmung der geometrischen Abmessungen des einen Endes 8 des Resonators 5 im Detail hängt dabei von den System- und Materialparametern der gesamten Vorrichtung ab. In der Figur 2 sind zusätzlich noch Feldlinien 22 angedeutet, die zeigen sollen, wie eine optimale geometrische Gestaltung der Abdichtung 20 zu einer Feldlinienverteilung führt, die ein freistehendes Plasma gemäß der Erfindung optimal ermöglicht.

[0029] Aus Figur 3 sind prinzipielle Bestandteile einer Hochfrequenzzündeinheit 30 als Blockschaltbild zu ent-

nehmen. Diese enthält im einzelnen eine HF-Zündeinheit 31, wie sie anhand der Figuren 1 und 2 beschrieben worden ist. Weiterhin ist ein frequenzbestimmender, freischwingender Oszillator 32 unter Verwendung von Leistungstransistoren auf der Basis von hochtemperaturtauglichen HF-Halbleitertechnologien, z.B. hochtemperaturtaugliche SiC oder GaN Bauelemente, und eine Einkopplung 33 für die HF-Schwingungen des Oszillators 32 in die Zündvorrichtung 31 vorhanden. Betriebsbedingte Schwankungen in der Frequenz können dabei durch einen geeigneten, an sich bekannten Aufbau des Oszillators 32 berücksichtigt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Zünden eines Luft-Kraftstoff-Gemischs in einem Verbrennungsmotor mittels einer hochfrequenten elektrischen Energiequelle, mit

- einer koaxialen Wellenleiterstruktur (5), in die die hochfrequente elektrische Energie einkoppelbar ist und die mit einem Ende in den jeweiligen Brennraum eines Zylinders des Verbrennungsmotors hineinragt, wobei
- an diesem Ende durch ein hohes Spannungspotential ein Mikrowellenplasma erzeugbar ist und wobei
- das eine Ende der koaxialen Wellenleiterstruktur (5) als Zündstift (7a) so ausgebildet ist, dass bei einem anstehenden Spannungspotential durch eine in den Brennraum hineinragende Feldstruktur (22) ein freistehendes Plasma im Luft-Kraftstoff-Gemisch an dem aus der Wellenleiterstruktur einen vorgegebenen Betrag herausragenden Innenleiter (7,7a) der Wellenleiterstruktur (5) erzeugbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- das eine Ende der koaxialen Wellenleiterstruktur (5) im Brennraum eine Abdichtung (20) aus dielektrischem Material zwischen dem Außenleiter (6) und dem koaxialen Innenleiter (7) enthält, die derart mit mindestens einer in axialer Richtung sprunghaften und/oder gleitenden Querschnittsänderung (21) versehen ist, das sich eine optimale Feldstruktur (22) zur Erzeugung eines freistehenden Plasmas ergibt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die koaxialen Wellenleiterstruktur (5) so ausgebildet ist, dass sich für eine vorgegebene effektive Wellenlänge (λ_{eff}) der eingekoppelten hochfrequenten Schwingung ein Leitungsresonator in etwa nach der Beziehung $(2n+1) \cdot \lambda_{\text{eff}}/4$ mit $n \geq 0$ ergibt und dass die hochfrequente Schwingung durch eine kapazitive, induktive,

gemischte oder eine Aperturkopplung einkoppelbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Abdichtung (20) in einer Ausnehmung des Außenleiters (6) angebracht ist, die eine zum einen Ende hin sprunghafte Querschnittsvergrößerung (21) aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- im Bereich des einen Endes der Wellenleiterstruktur (5) die innere Kontur des Außenleiters (6) und die äußere Kontur des Innenleiters (7) in vorgegebenen Bereichen in ihrem Querschnitt korrespondierend gleitend und/oder sprunghaft verändert sind.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- am Oszillator (2;32) oder am koaxialen Wellenleiter (5) ein elektrisches Signal auskoppelbar ist, das von den physikalischen Größen des freistehenden Plasmas im Luft-Kraftstoff-Gemisch abhängig ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- das ausgekoppelte elektrische Signal in einer Auswerteschaltung weiterverarbeitbar ist, mit der eine Diagnose der Vorrichtung, eine Regelung der hochfrequenten Energiequelle und/oder eine Steuerung vorgegebener Betriebsfunktionen bewirkbar ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- eine kompakte Zündeinheit (30) gebildet ist, die in einem gemeinsamen Gehäuse eine freischwingende Oszillatorschaltung (32), weitere Bauelemente (31,33) und den koaxialen Wellenleiter (5) aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- der freischwingenden Oszillatorschaltung (2;32) eine Verstärkerschaltung (3) nachgeschaltet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die freischwingende Oszillatorschaltung (2;32) und/oder die nachgeschaltete Verstärkerschaltung (3) als eine integrierte Halbleiterschaltung mit SiC oder GaN Bauelementen aufgebaut ist.

Claims

1. Apparatus for igniting an air/fuel mixture in an internal combustion engine by means of a radio-frequency electrical energy source, having

- a coaxial waveguide structure (5) into which the radio-frequency electrical energy can be coupled and which projects into the respective combustion space of a cylinder of the internal combustion engine by way of one end,
 - it being possible for a microwave plasma to be generated at this end by a high voltage potential, and
 - the one end of the coaxial waveguide structure (5) being in the form of an ignition pin (7a) such that, when a voltage potential is applied through a field structure (22) which projects into the combustion space, a free-standing plasma can be generated in the air/fuel mixture at the internal conductor (7, 7a), which projects out of the waveguide structure by a prespecified amount, of the waveguide structure (5), **characterized in that**
 - the one end of the coaxial waveguide structure (5) contains, in the combustion space, a seal (20), which is composed of dielectric material, between the external conductor (6) and the coaxial internal conductor (7), the said seal being provided with at least one change (21) in cross section, which is abrupt and/or gradual in the axial direction, in such a way that an optimum field structure (22) for generating a free-standing plasma is produced.

2. Apparatus according to Claim 1, **characterized in that**

- the coaxial waveguide structure (5) is formed such that a line resonator approximately of the formula $(2n+1) \cdot \lambda_{\text{eff}}/4$, where $n \geq 0$, is produced for a prespecified effective wavelength (λ_{eff}) of the coupled-in radio-frequency oscillation, and **in that** the radio-frequency oscillation can be coupled in by a capacitive, inductive, mixed or aperture coupling.

3. Apparatus according to Claim 1 or 2, **characterized in that**

- the seal (20) is fitted in a recess of the external conductor (6), which seal has a portion (21) of

abruptly enlarged cross section at one end.

4. Apparatus according to Claim 2 or 3, **characterized in that**

- in the region of one end of the waveguide structure (5), the cross section of the inner contour of the external conductor (6) and the outer contour of the internal conductor (7) is changed in a correspondingly gradual and/or abrupt manner in prespecified regions.

5. Apparatus according to one of the preceding claims, **characterized in that**

- an electrical signal can be coupled out at the oscillator (2; 32) or at the coaxial waveguide (5), the said signal being dependent on the physical variables of the free-standing plasma in the air/fuel mixture.

6. Apparatus according to Claim 5, **characterized in that**

- the coupled-out electrical signal can be further processed in an evaluation circuit which can diagnose the apparatus, control the radio-frequency energy source and/or control prespecified operating functions.

7. Apparatus according to one of the preceding claims, **characterized in that**

- a compact ignition unit (30) is formed, this ignition unit having a freely oscillating oscillator circuit (32), further components (31, 33) and the coaxial waveguide (5) in a common housing.

8. Apparatus according to Claim 7, **characterized in that**

- an amplifier circuit (3) is connected downstream of the freely oscillating oscillator circuit (2; 32).

9. Apparatus according to Claim 6 or 7, **characterized in that**

- the freely oscillating oscillator circuit (2; 32) and/or the downstream amplifier circuit (3) are/is constructed as an integrated semiconductor circuit with SiC or GaN components.

Revendications

1. Dispositif pour enflammer un mélange air-carburant dans un moteur à combustion interne au moyen

d'une source d'énergie électrique à haute fréquence, avec :

- une structure de guidage d'onde (5) coaxiale dans laquelle l'énergie électrique à haute fréquence peut être couplée et ressortant avec une extrémité dans la chambre de combustion respective d'un cylindre du moteur à combustion interne ;
 - un plasma microondes pouvant être réalisé au niveau de cette extrémité par le biais d'un potentiel de tension élevé ; et
 - la première extrémité de la structure de guidage d'onde (5) coaxiale prenant la forme d'un pointeau d'allumage (7a) de telle sorte qu'en présence d'un potentiel de tension apparu du fait d'une structure de champ (22) pénétrant dans la chambre de combustion, un plasma autonome peut être produit dans le mélange air-carburant au niveau du guide intérieur (7, 7a) de la structure de guidage d'onde (5) ressortant de la structure de guidage d'onde d'une quantité prédéfinie, **caractérisé en ce que** :
 - la première extrémité de la structure de guidage d'onde (5) coaxiale prévue dans la chambre de combustion contient un joint (20) en matière diélectrique entre le guide extérieur (6) et le guide intérieur (7) coaxial, qui est pourvu d'au moins une variation de section transversale (21) de façon saccadée et/ou de façon glissante dans la direction axiale de telle sorte que ladite extrémité donne une structure de champ (22) optimale pour produire un plasma autonome.
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la structure de guidage d'onde (5) coaxiale est réalisée de telle sorte que pour une longueur d'onde (λ_{eff}) efficace prédéfinie de l'oscillation à haute fréquence couplée, on obtient un résonateur de guide selon la relation $(2n+1) \cdot \lambda_{\text{eff}}/4$ avec $n \geq 0$ et que l'oscillation à haute fréquence peut être couplée par un couplage capacitif, inductif, mixte ou d'ouverture.
3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** le joint (20) est placé dans un creux du guide extérieur (6) comportant un agrandissement en section transversale (21) réalisant un saut en direction d'une extrémité.
4. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** dans la zone de la première extrémité de la structure de guidage d'onde (5), le contour intérieur du guide extérieur (6) et le contour extérieur du guide intérieur (7) sont altérés de façon correspondante dans des zones prédéfinies de leur section transversale, de façon glissante et/ou de façon saccadée.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'un** signal électrique peut être découplé au niveau de l'oscillateur (2 ; 32) ou au niveau du guide d'onde (5) coaxial, ledit signal dépendant des grandeurs physiques du plasma autonome contenu dans le mélange air-carburant.
6. Dispositif selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le signal électrique découplé peut être retraité dans un circuit d'analyse permettant de réaliser un diagnostic du dispositif, un réglage de la source d'énergie à haute fréquence et/ou une commande de fonctions prédéfinies.
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'une** unité d'allumage (30) compacte est formée qui comporte, dans un carter commun, un circuit d'oscillateur en oscillation libre (32), d'autres composants (31, 33) et le guide d'onde (5) coaxial.
8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce qu'un** circuit d'amplificateur (3) est connecté en aval du circuit d'oscillateur en oscillation libre (2 ; 32).
9. Dispositif selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que** le circuit d'oscillateur en oscillation libre (2 ; 32) et/ou le circuit d'amplificateur (3) connecté en aval prend la forme d'un circuit à semi-conducteur intégré avec des composants SiC ou GaN.

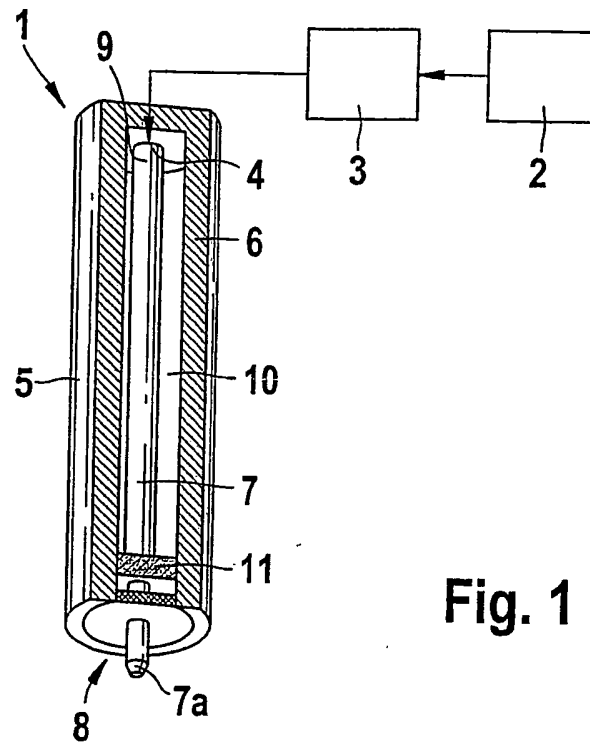


Fig. 1

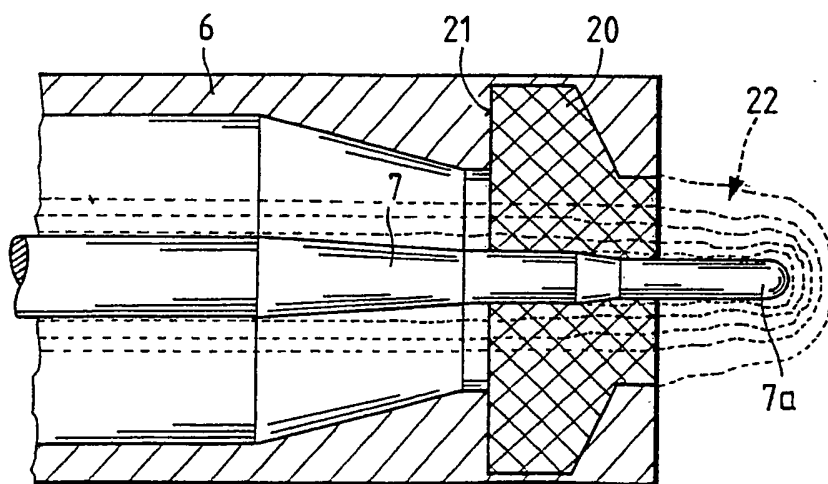


Fig.2

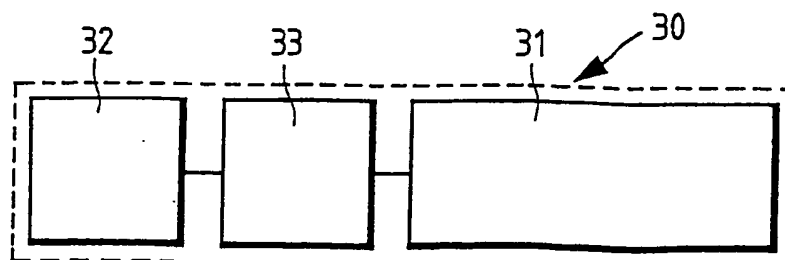


Fig.3

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 5361737 A [0004]
- DE 19852652 A1 [0005]