(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 126 343 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
04.08.2010 Patentblatt 2010/31

(21) Anmeldenummer: **08734845.4**

(22) Anmeldetag: **28.03.2008**

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

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2008/002470

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2008/119508 (09.10.2008 Gazette 2008/41)

(54) **LASERZÜNDUNG FÜR GASGEMISCHE**

LASER IGNITION FOR GAS MIXTURES

ALLUMAGE LASER DE MÉLANGES GAZEUX

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL NO PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **29.03.2007 DE 102007015036**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.12.2009 Patentblatt 2009/49

(73) Patentinhaber: **MULTITORCH GMBH**
74889 Sinsheim (DE)

(72) Erfinder:
- **KUHNERT, Dieter**
  74889 Sinsheim (DE)
- **KETTNER, Maurice**
  76199 Karlsruhe (DE)
- **MAUL, Georg**
  88410 Wurzach (DE)

(74) Vertreter: **Jany, Peter**
Patentanwalt
Karlstrasse 87
76137 Karlsruhe (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 1 138 893
EP-A- 1 329 631
DE-A1- 2 207 392
FR-A- 2 873 763

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).

EP 2 126 343 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft das Gebiet der Laserzündung von Gasgemischen. Sie richtet sich insbesondere auf eine Zündvorrichtung zum Zünden eines brennbaren oder explosionsfähigen Gasgemischs in einem Hauptbrennraum, insbesondere zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemischs bzw. Brenngas-Luft-Gemischs in einer Brennkraftmaschine, umfassend einen hochtemperaturfesten Absorberkörper, der in Kontakt zu dem Hauptbrennraum entstammendem Gasgemisch angeordnet ist und der eine dem Gasgemisch zugewandte Brennrauminnenseite aufweist, und einen Lichtleitweg zum Leiten eines Laserstrahls auf den Absorberkörper zum Erhitzen des Absorberkörpers mit dem Laserstrahl bis zum Erreichen einer für das Zünden des Gasgemischs erforderlichen Zündtemperatur auf der Brennrauminnenseite des Absorberkörpers, wobei der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch der des Hauptbrennraumes hat, sowie ein entsprechendes Verfahren.

[0002] Die Erfindung richtet sich also auf eine Zündvorrichtung und ein Verfahren zum Entflammen von Brenngas-Luftgemischen mit einer durch einen Laserstrahl erhitzten Hot-Spot-Oberfläche mit schnell veränderbaren Temperaturen.

[0003] Laser zum Erzeugen von Laserstrahlen sind im Stand der Technik bekannt (siehe z.B. DE 39 26 956 A1). Ferner sind im Stand der Technik Laserzündungen bekannt, bei denen der Laserstrahl auf eine Stelle innerhalb des Brennraumes fokussiert wird, also im Brennraum eine gewisse Strecke durch das zu zündende Gasgemisch verläuft. Dieser Fokus liegt entweder auf einem Absorber, der das Laserlicht in Wärme umwandelt, oder direkt in dem Gasgemisch im Brennraum. Diese Laserzündungen zünden nicht mit der gewünschten Zuverlässigkeit. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Laserzündeinrichtungen für Verbrennungsmotoren vorgeschlagen. Diese sind aber bisher noch sehr teuer bzw. aufwändig (DE 28 49 458 A1, DE 199 11 737 A1, US 6,053,140 A, WO 2005/028856 A1 = EP 1 519 038 A1 und EP 1 519 039 A1, WO 2005/021959 A1, DE 203 20 983 U1 = EP 1 329 631 A2, DE 103 50 101 A1, DE 10 2004 061194 A1, JP 10196508, JP 59155573, JP 60150480, JP 63212772, JP 8068374).

[0004] Ein wesentlicher Nachteil derartiger Laserzündungen besteht darin, dass sie nur einen extrem kleinen Zündkern erzeugen, wobei im Zusammenhang mit der vergleichsweise grobballigen Strömungs- und Turbulenzstruktur im Brennraum, insbesondere von Großgasmotoren, lokal am Zündort sehr stark schwankende Ladungszustände (Zusammensetzung, Temperatur, Geschwindigkeit, Turbulenz) bestehen. Dadurch ergeben sich größere Schwankungen bei der Entflammung und damit insbesondere auch beim Drehmoment des Motors. Weiterhin besteht im Magerbetrieb das besondere Problem, dass das Gemisch unmittelbar nach der Entflammung wieder verlöscht, da dem Flammenkern zuviel Wärme entzogen wird. Aus den vorgenannten Gründen kann deshalb das zündungs- und verbrennungstechnische Potential der Laserzündung bisher nicht voll genutzt werden. Zudem ergeben sich bei längerem Betrieb Verschmutzungen bzw. Ablagerungen auf der den rauen Brennraumbedingungen ausgesetzten Oberfläche des optischen Fensters der Laserzündeinrichtung, was im Langzeitbetrieb zu einer Verminderung der Energieübertragung von der Laserzündeinrichtung an die Zündstelle führt. Zudem wird bei der Laserzündung im "offenen" Brennraum eine schnelle Ausbreitung der Flammenfront vom Zündort aus in alle Bereiche des Brennraums hinein nicht gefördert.

[0005] Das Dokument DE 22 07 392 A offenbart eine gattungsgemäße Zündvorrichtung. In der Praxis haben sich derartige, als "Hot-Spot-Laserzündung" zu bezeichnenden Zündvorrichtungen, bei denen das Zünden durch Erhitzen einer zum Brennraum gerichteten Oberfläche mittels eines Lasers erfolgt, jedoch bisher nicht durchgesetzt, weil sich damit die Zündung nicht mit der erforderlichen Zuverlässigkeit die hochfrequenten Zündimpulse von Brennkraftmaschinen, insbesondere bei höheren Drehzahlen, oder mit ausreichend hoher Lebensdauer durchführen ließ.

[0006] Die WO 2004/001221 A1 beschreibt ein Starthilfsmittel für einen Verbrennungsmotor, bei dem mittels eines Laserstrahles eine in dem Brennraum angeordnete Fläche erhitzt wird. Diese Fläche wird konstant erhitzt und ist beispielsweise ein in den Brennraum ragender Glühstift oder ein anderer Punkt im Brennraum. Eine Vorkammer ist nicht vorgesehen.

[0007] Eine Vorkammerzündung mit einem Laser wurde in der nach dem Prioritätstag der vorliegenden Anmeldung veröffentlichten DE 10 2006 018 973 A1 vorgeschlagen. Der Laser wird dabei auf einen Zündort fokussiert, der im Gas-Luft-Gemisch innerhalb der Vorkammer liegt.

[0008] Eine weitere Vorkammerzündung mit einem Laser wurde in der nach dem Prioritätstag der vorliegenden Anmeldung veröffentlichten DE 10 2005 050 435 A1 vorgeschlagen. Mittels eines Lasers wird dabei ein Abschnitt der Aufnahmeeinrichtung einer Laserheizeinrichtung erhitzt, der in den Vorkammerraum hineinragt. Die Geometrie und der Werkstoff des erhitzten Abschnitts der Aufnahmeeinrichtung werden den erforderlichen Zündbedingungen angepasst. Die Verwendung eines separaten Absorberkörpers, der durch den Laser erhitzt wird, ist nicht offenbart.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Eigenschaften der bekannten Hot-Spot-Laserzündungen derart zu verbessern, dass sie im praktischen Betrieb bei Brennkraftmaschinen anwendbar ist.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Zündvorrichtung bzw. ein Verfahren mit den Merkmalen der beigefügten unabhängigen Patentansprüche gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Paten-

tansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung mit zugehöriger Zeichnung.

[0011] Eine erfindungsgemäße Zündvorrichtung zum Zünden eines brennbaren oder explosionsfähigen Gasgemischs in einem Hauptbrennraum, insbesondere zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemischs bzw. Brenngas-Luft-Gemischs in einer Brennkraftmaschine, umfassend einen hochtemperaturfesten Absorberkörper, der in Kontakt zu dem Hauptbrennraum, entstammendem Gasgemisch angeordnet ist und der eine dem Gasgemisch zugewandte Brennrauminnenseite aufweist, und einen Lichtleitweg zum Leiten eines Laserstrahls auf den Absorberkörper zum Erhitzen des Absorberkörpers mit dem Laserstrahl bis zum Erreichen einer für das Zünden des Gasgemischs erforderlichen Zündtemperatur auf der Brennrauminnenseite des Absorberkörpers, wobei der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch des Hauptbrennraumes hat, weist also die Besonderheit auf, dass dem Absorberkörper auf der Brennrauminnenseite eine Vorkammer mit mindestens einer die Vorkammer und den Hauptbrennraum verbindenden Überströmöffnung vorgelagert ist, wobei die Brennrauminnenseite des Absorberkörpers dem Gasgemisch der Vorkammer zugewandt ist und der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch der Vorkammer hat.

[0012] Ein entsprechendes Verfahren zum Zünden eines brennbaren oder explosionsfähigen Gasgemischs in einem Hauptbrennraum, insbesondere zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemischs bzw. Brenngas-Luft-Gemischs in einer Brennkraftmaschine, bei dem ein hochtemperaturfester Absorberkörper mit einer der Brennrauminnenseite zugewandten Brennrauminnenseite in Kontakt zu dem Hauptbrennraum entstammendem Gasgemisch angeordnet wird, und entlang eines Lichtleitweges ein Laserstrahl auf den Absorberkörper geleitet wird, wobei der Absorberkörper mit dem Laserstrahl erhitzt wird, bis auf der Brennrauminnenseite des Absorberkörpers eine für das Zünden des Gasgemischs erforderliche Zündtemperatur erreicht wird" wobei der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch des Hauptbrennraumes hat, weist die Besonderheit auf, dass dem Absorberkörper auf der Brennrauminnenseite eine Vorkammer mit mindestens einer die Vorkammer und den Hauptbrennraum verbindenden Überströmöffnung vorgelagert wird, wobei die Brennrauminnenseite des Absorberkörpers dem Gasgemisch der Vorkammer zugewandt angeordnet wird und der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper derart ausgebildet wird, dass der Laserstrahl keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch der Vorkammer hat.

[0013] Das Merkmal, dass der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch des Brennraumes bzw. der Vorkammer hat, ist dabei so zu verstehen, dass der Brennraum bzw. die Vorkammer vollstandig gegen den Lichtleitweg abgedichtet ist, also der Laserstrahl nicht durch den Hauptbrennraum oder die Vorkammer bzw. nicht durch das zu zündende Gasgemisch darin verläuft.

[0014] Die Vorkammerzündung ist bei konventionellen, auf einer elektrischen Funkenzündung basierenden Zündverfahren bekannt. Vorkammerzündeinrichtungen, insbesondere Vorkammerzündkerzen, sind seit vielen Jahren bekannt und auch in die Serie eingeführt worden, insbesondere bei mager und/oder mit Abgasrückführung stationär betriebenen Gasmotoren. Sie werden vor allem zur Verminderung der NOx-Rohemission eines Verbrennungsmotors bei gleichzeitig niedrigen Werten für den Kraftstoffverbrauch und die Verminderung der Drehmomentschwankungen verwendet. Im englischen Sprachraum werden derartige Zündvorrichtungen als Prechamber Spark Plugs bezeichnet.

[0015] Die Vorkammer einer elektrischen Vorkammerzündkerze ist eine kleine, einen Bereich um und/oder vor den Zündelektroden liegenden Raum gegen den Hauptbrennraum abgrenzende Kammer, die zumeist mit mehreren umlaufend angeordneten Bohrungen und einer zentralen engen Bohrung, die als Überströmöffnungen oder, insbesondere bei größerer Wandstärke der Vorkammer, als Überströmkanäle bezeichnet werden, versehen ist. Während der Kompressionsphase stellen diese engen Bohrungen einen hohen Strömungswiderstand dar; hierdurch kann sich der Kompressionsdruck nur verzögert in der Vorkammer einstellen. Es sind Ausführungsformen von Vorkammer-Zündungen mit und ohne entsprechende Kolbenmulde, in die die Vorkammer im Kompressionstakt eintaucht, bekannt.

[0016] Bei Ausführungsformen von Vorkammer-Zündkerzen mit Anfettung des Kraftstoff-Luftgemisches in der Kolbenmulde entsteht beim Eintauchen der Vorkammer in die Kolbenmulde ein Druckgefälle zwischen Hauptbrennraum und Vorkammer, so dass das fette Kraftstoff-Luft-Gemisch, das in der Kolbenmulde aufgefangen wurde, durch die engen Bohrungen mit hoher Strömungsgeschwindigkeit in die Vorkammer eintritt. Dabei entsteht in der Vorkammer zum Zündzeitpunkt idealerweise ein zündfähiges, hochturbulentes, relativ homogenes Gemisch. Dieses Gemisch ist weder von einer besonderen Ladungsbewegung im Zylinder noch von einer speziellen Einspritzstrahlgeometrie abhängig. Nach der erfolgten Zündung schießen die Flammen infolge des positiven Druckgefälles durch die engen Bohrungen in den Hauptbrennraum und erfassen schnell das restliche, relativ magere Kraftstoff-Luft-Gemisch. Durch die heraustretenden Flammenstrahlen werden rasch und gleichzeitig weite Bereiche des mageren Kraftstoff-Luft-Gemisches im Hauptbrennraum an der Verbrennung beteiligt. Das intensive Durchdringen der Flammenfront im Hauptbrennraum führt zu einer schnelleren und vollständigeren Kraftstoffumsetzung als bei einer von einem Zündort ausgehenden sphärischen Flammenausbreitung.

[0017] Bedingt durch die Strömungsverhältnisse wäh-

rend der Kompression und die anwachsende Druckdifferenz zwischen Hauptbrennraum und Vorkammer, die eine Strömung aus der Vorkammerumgebung ins Innere der Vorkammer induziert, strömt das Gemisch, das sich in der Nähe einer Kolbenmulde befindet, über die Überströmbohrungen in die Vorkammer. Durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten beim Einströmen wird eine gute Gemischbildung für das heterogene Kraftstoff- Luftgemisch des Zylinders und damit besonders zündfähige Gemisch in der Vorkammer erzeugt. Die Gemischbildung ist somit von der zugrundeliegenden Zylinderinnenströmung entkoppelt, so dass negative Einflüsse aus zyklischen Schwankungen der Strömung minimiert werden. Nach Zündung des homogenen Gemisches in der Vorkammer schießt das entflammte Gemisch in Form von Fackelstrahlen in Folge des starken Druckanstieges über die Vorkammerbohrungen in den Hauptbrennraum und entzündet dort weiträumig das heterogene Grundgemisch

[0018] Der Zündvorgang im Hauptbrennraum wird also durch einen vorausgehenden Vorkammerzündvorgang ausgelöst. Dieser Vorkammerzündvorgang umfasst bei Vorkammerzündkerzen mit Elektroden zwei Stufen, nämlich einen Aufladeschritt und einen Entladeschritt. Während des Aufladeschritts wird die Vorkammer durch den Kompressionstakt des Motors bzw. Kolbens mit einem frischen Gas-Luft-Gemisch gefüllt. Dabei wird Restgas aus der vorausgegangen Zündung in einen rückwärtig liegenden Bereich gedrückt. Dadurch erzielt man eine sehr schnelle Entflammung des Zündgemischs in der Vorkammer beim Zünden. Nach dem Zünden des Gemischs in der Vorkammer steigen der Druck und die Temperatur in der Vorkammer sehr schnell an, so dass die Verbrennungsprodukte in Form von Fackelstrahlen durch die Überströmöffnungen der Vorkammer in den Hauptbrennraum gedrückt werden und dort die Zündung des Gasgemisches auslösen.

[0019] Für weitere Einzelheiten zu elektrischen Vorkammerzündungen wird auf die Literatur Bezug genommen, beispielsweise die Dokumente WO 98/45588 A1, WO 03/071644 A1 und EP 0 675 272 A1.

[0020] Zur Verbesserung der Eigenschaften von Vorkammerzündungen wurden in neuerer Zeit Lösungen vorgeschlagen, bei denen durch Anreicherung des mageren Gemischs in der Vorkammer mit Kraftstoff verbesserte Zündungs- und Entflammungseigenschaften erreicht werden (DE 44 19 429 A1, DE 197 14 796 A1, DE 10 2004 039818 A1, DE 10 2004 043143 A1, DE 100 16 558 A1). Diese Verfahren sind aber sehr aufwändig, da sie neben dem Gemischbildungssystem für das Hauptgemisch im Hauptbrennraum ein zusätzliches Gemischbildungs- oder Einspritzsystem zur Bildung des Gemischs in der Vorkammer mit erfordern.

[0021] Im Rahmen der Erfindung wurde gefunden, dass sich die bekannten Konzepte der Hot-Spot-Laserzündung und der Vorkammer in vorteilhafterweise kombinieren lassen, um eine verbesserte, den praktischen Anforderungen entsprechende Entzündung des Hauptgemisches im Hauptbrennraum mittels Hot-Spot-Laserzündung zu erzielen.

[0022] Die Verbesserung der Eigenschaften einer Laserzündung bei einem Verbrennungsmotor beruht dabei auf der Verlagerung der Zündstelle bzw. des Zündgebietes in eine Vorkammer, insbesondere einer Vorkammerzündkerze. Dabei wird während des Kompressionstaktes vom Hauptbrennraum ein Kraftstoff-Luft-Gemisch über Überströmöffnungen der Vorkammer zugeführt. Bei Annäherung an den oberen Totpunkt des Kolbens erfolgt in der Vorkammer eine Entflammung des Gemischs mit der Laserzündung, wobei am Zündort ein für die Laserzündung besonders günstiger Strömungszustand erzeugt wird, der die sichere Entflammung des Gemischs ermöglicht. Durch eine besonders schnelle Verbrennung des Gemischs in der Vorkammer werden Zündfackelstrahlen erzeugt, die zu einer schnellen und gleichmäßigen Umsetzung des Gemischs im Hauptbrennraum führen.

[0023] Die Erfindung aus einer Kombination der Hot-Spot-Laserzündung mit einer Vorkammeranordnung verbessert die Eigenschaften der Hot-Spot-Laserzündung, insbesondere bei Großgasmotoren, hinsichtlich Sicherheit und Gleichmäßigkeit der Entflammung und Verbrennung, bei gleichzeitig hohen Langzeiteigenschaften, insbesondere für die Eigenschaften der Einkoppelung der Laserzündenergie, und vermindert den Aufwand bei der Verbesserung der Entflammung bei Vorkammerzündkerzen, wobei insbesondere eine sichere Entflammung und gleichmäßige Energieumsetzung bei Luftzahlen Lambda > 2,0 erreicht wird, was mit dem jeweiligen Einzelsystem (Hot-Spot-Laserzündung, Vorkammerzündung) nicht möglich ist.

[0024] Die Erfindung hat folgende Vorteile:

- Im Vergleich zu existierenden Glühzündverfahren (z.B. bei Modellbaumotoren) für die Entflammung vorgemischter Gemische mit konstanter Oberflächentemperatur kann mit der Erfindung der Zündzeitpunkt in fremdgezündeten Motoren präzise und reproduzierbar eingestellt werden.

- Bei einer hochtransienten Temperaturführung am Hot-Spot in der Vorkammerzündkerze ergibt sich die gleiche Funktion wie bei einer bekannten elektrischen Vorkammerzündkerze, da ein zeitgerechtes Entflammen des brennbaren Gemisches in der Vorkammer durch den Hot-Spot erfolgt.

- Bei einer hochtransienten Temperaturführung wird bewirkt, dass vor und nach der Entflammungsphase alle Wandtemperaturen am Laser-Hot-Spot-System sicher unterhalb der Entflammungstemperatur liegen. Damit wird die Gefahr unkontrollierter Glühzündungen vermieden. Beim konventionellen Aufbau mit metallischen Zündelektroden und keramischem Kerzenfuß besteht dagegen stets die Gefahr von Glühzündungen, da begrenzte Oberflächenzonen

durch unzureichende Wärmeabfuhr zu Glühzündungen Anlass geben können.

- Wegen der feinballigen Turbulenzstruktur innerhalb der Vorkammer ergeben sich bessere Entflammungsbedingungen. Die sichere Entflammung durch Hot-Spot-Systeme setzt voraus, dass das Gemisch mit möglichst feinballiger Turbulenz die heiße Oberfläche berührt. Dadurch ist der Energiebedarf wegen der kleinen Dimensionen der Turbulenzballen geringer als bei großen Ballen. Eine Besonderheit der Strömung in der Vorkammer ist die feinballige Turbulenzstruktur. Daher ist in der Kombination einer Hot-Spot-Laserzündung mit einer Vorkammer eine wesentlich sichere Entflammung zu erreichen als mit einer Laserzündung oder Hot-Spot-Laserzündung ohne Vorkammer.

- Unterstützt wird das Entflammen des Gasgemisches in der Vorkammer weiterhin durch die vergleichsweise höheren Wandtemperaturen der Vorkammer bei geringeren Wärmeverlusten als im Hauptbrennraum.

- Die günstigen Entflammungsbedingungen ermöglichen es, den Hot-Spot so auszulegen, dass eine möglichst kleine Substratfläche (ca. 0,5 mm Durchmesser) um eine möglichst geringe Temperaturerhöhung verändert werden muss. Dadurch sinkt der Kostenaufwand und ein wirtschaftlicher Betrieb kann erreicht werden.

- Durch den bei der Funkenzündung entstehenden Verschleiß der Zündelektrode ist die Lebensdauer der Vorkammerkerze in konventioneller Bauweise begrenzt. Dieser Nachteil verstärkt sich insbesondere bei hohen spezifischen Zylinderleistungen (hohe Mitteldrücke) durch den höheren Zündspannungsbedarf infolge des höheren Dichteniveaus. Dabei tritt ein unvermeidbarer Verschleiß ("Abbrand") der Elektroden auf, durch den die Lebensdauer begrenzt wird. Insbesondere bei weiterer Leistungserhöhung der Motoren (Aufladung) und damit den zunehmenden höheren Zünddrücken nehmen die Durchbruchspannung und damit der Elektrodenverschleiß zu. Diese Verschleißprobleme bestehen bei der Hot-Spot-Laserzündung nicht, da die Oberflächentemperaturen am Absorber viel niedriger sind als am Zündfunken. Zusätzlich ist die Entflammungsneigung durch das höhere Dichteniveau stark begünstigt. Insgesamt hat die erfindungsgemäße Zündvorrichtung einen unmerklichen Verschleiß und damit eine annähernd unbegrenzte Lebensdauer.

- Die Erfindung schafft eine Zündvorrichtung zum Entflammen von Brenngas-Luft-Gemischen mit hoher Zündimpulsfrequenz in dem Brennraum eines fremdgezündeten Motors.

[0025] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen erläutert. Die beschriebenen Merkmale können einzeln oder in Kombination verwendet werden, um bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung zu schaffen.

[0026] Es zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt einer erfindungsgemäßen Hot-Spot-Laser- zündkerze mit Vorkammer;

Fig. 2 einen Querschnitt zu Fig. 1 in der Ebene der schrägen Über- strömöffnungen;

Fig. 3 eine Detailansicht zu Fig. 1;

Fig. 4 eine Detailansicht zu Fig. 3;

Fig. 5 eine Abwandlung zu Fig. 4;

Fig. 6 eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Laserpulsleistung bei Verwendung der Erfindung in einer Brennkraftmaschine;

Fig. 7 eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Oberflächentem- peratur des Absorbers bei Verwendung der Erfindung in einer Brennkraftmaschine; und

Fig. 8 eine Detailansicht zu Fig. 7.

[0027] Die Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Zündvorrichtung zum Zünden eines brennbaren oder explosionsfähigen Gasgemischs in einem Hauptbrennraum 1, insbesondere zum Zünden eines Kraftstoff-Luft-Gemischs bzw. Brenngas-Luft-Gemischs in einer Brennkraftmaschine. Bei einer Hot-Spot-Laserzündung nach dem Stand der Technik, d.h. ohne Vorkammer 10, ist der Hauptbrennraum 1 gleich dem von dem Hot-Spot entflammten Brennraum. Die Zündvorrichtung ist in Form einer in die Wandung eines Zylinderkopfes 18 montierbaren Zündkerze 2 ausgebildet. Hierzu umfasst die Zündkerze 2 ein Außengewinde 3 und eine Dichtung 4, womit sie dichtend in die Wandung des Zylinderkopfes 18 eingeschraubt werden kann. Sie umfasst einen hochtemperaturfesten Absorberkörper 5, der in Kontakt zu dem Hauptbrennraum 1 entstammendem Gasgemisch angeordnet ist, mit einer dem Gasgemisch, nämlich dem Gasgemisch in einer Vorkammer 10 zugewandten Brennrauminnenseite 6.

[0028] Ferner umfasst die Zündkerze 2 einen Lichtleitweg zum Leiten eines Laserstrahls 7 auf den Absorberkörper 5 zum Erhitzen des Absorberkörpers 5 mit dem Laserstrahl 7 bis zum Erreichen einer für das Zünden des Gasgemischs erforderlichen Zündtemperatur auf der Brennrauminnenseite 6 des Absorberkörpers 5, wobei

der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper 5 derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl 7 keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch des Hauptbrennraumes 1 oder der Vorkammer 10 hat. Der Laser 8 und ggf. eine Laserstrahloptik 9 können in die Zündkerze 2 integriert sein.

[0029] Neben dem Absorberkörper 5 und dem Lichtweg umfasst die Zündkerze 2 eine Vorkammer 10, die dem Absorberkörper 5 auf der Brennrauminnenseite 6 vorgelagert ist und die Vorkammer 10 und den Hauptbrennraum 1 verbindende Überströmöffnungen 11 aufweist. Die Vorkammer 10 ist als Hohlzylinder ausgebildet und umfasst vorteilhafterweise zwischen 1 und 20, bevorzugt 3 bis 8 Überströmöffnungen 11. Die Überströmöffnungen 11 können axial und/oder radial und/oder schräg, bezogen auf die Achse in dem in Fig. 1 dargestellten Längsschnitt, durch die Wandung der Vorkammer 10 verlaufen.

[0030] Der Absorberkörper 5 ist bevorzugt nicht wandbündig in der Wandung der Vorkammer 10 angeordnet, sondern ragt auf einem Sockel oder Vorsprung 19 ein Stück in die Vorkammer 10 hinein. Der Absorberkörper 5 ist dann auf einem Vorsprung 19 angeordnet, der mit einer gewissen Eintauchtiefe in die Vorkammer 10 hineinragt. Die Eintauchtiefe des Vorsprungs 19 in die Vorkammer 10 beträgt vorteilhafterweise zwischen 5% und 35%, bevorzugt zwischen 10% und 25% der (axialen) Länge der Vorkammer 10. Dieser Vorsprung 19 hat Vorteile für die Schaffung eines "Atmungsraumes" für die Gemischbildung in der Vorkammer 10, die Ausbildung einer günstigen Strömung in der Vorkammer 10 und das Zündverhalten des Gasgemischs.

[0031] Wenn die Zündkerze 2 in die Wandung des Hauptbrennraumes 1, d.h. in den Zylinderkopf 18 eingeschraubt ist, ist der Absorberkörper 5 im Bereich der Wand des Hauptbrennraumes 1 angeordnet. Der Absorberkörper 5 ist ein hochtemperaturresistentes Substrat ohne oder mit Beschichtung. Die Einstellung der Temperatur der zur Vorkammer 10 gerichteten Oberfläche, der Brennrauminnenseite 6, erfolgt durch zeitlich gesteuerte Beheizung der Rückseite des Absorberkörpers 5, seiner der Vorkammer 10 abgewandten Brennraumaußenseite 14. Die Beheizung erfolgt durch den gepulsten Laserstrahl 7, der auf eine möglichst gut absorbierende rückwärtige Substrat-Oberfläche trifft. Vor dem Einschalten des Laserimpulses ist die Oberflächentemperatur der in die Vorkammer 10 hineinragenden Brennrauminnenseite 6 unter der für die Gemischzündung erforderlichen Temperatur. Durch Einschalten des Laserimpulses wird die Oberflächentemperatur soweit erhöht, dass eine sichere Gemischentzündung stattfindet. Über den Zeitpunkt der Beheizung wird der Zündzeitpunkt des Gemisches eingestellt und gesteuert.

[0032] Die Zündkerze 2 mit einer insbesondere im Wesentlichen zylindrischen Vorkammer 10 in Form einer in einen Zylinderkopf 18 einschraubbaren Anordnung hat mehrere Überströmöffnungen 11, die eine Verbindung zwischen der Vorkammer 10 und dem Hauptbrennraum 1 herstellen. Die vorzugsweise zentral angeordnete Lasereinrichtung 8 besitzt eine Strahloptik 9, die den Laserstrahl 7 auf den Absorberkörper 5 fokussiert, so dass dieser eine Zündstelle bildet. Die während des Verdichtungstaktes in den Überströmöffnungen 11 erzeugten Eintrittstrahlen in die Vorkammer 10 treffen sich mit ihren Achsen vorteilhaft in einem im Wesentlichen achsnahen Treffpunkt, der sich im Bereich des Absorberkörpers 5 oder entfernt davon befindet. Der Treffpunkt und dessen Umgebung ist ein ausgewählter Bereich innerhalb der Vorkammer 10 mit hoher und besonders feinballiger Turbulenz, der sich insbesondere in Verbindung mit der sehr kurzen Entladedauer des Lasers 8 mit hoher kurzzeitiger Leistung in hervorragender Weise zu einer sicheren Entflammung des Gemischs in der Vorkammer 10, mit einem gewünschten schnell wachsenden Flammenkern, eignet.

[0033] Besonders vorteilhaft für die Zündung ist dabei, dass das an dem Absorperkörper 5 zu zündende Kraftstoff-Luft-Gemisch während des Verdichtungstaktes des Motors aus dem Hauptbrennraum 1 zur Zündstelle gelangt. Dadurch wird das bei Verdichtungsbeginn noch allein in der Vorkammer 10 befindliche unbrennbare Restgas aus dem vorhergehenden Arbeitzyklus während des Verdichtungstaktes durch die sich ausbildende Strömung in den hinteren Teil der Vorkammer 10 verdrängt. Zudem führt dies zu besonders geringen Schwankungen der Gemischzusammensetzung und Gemischtemperatur, weil insbesondere als Folge des Zustroms des Gases über die Überströmöffnungen 11 aus unterschiedlichen Bereichen des Hauptbrennraums 1 vor der Vorkammer 10 die Gemischzusammensetzung und die Gemischtemperatur an dem Absorberkörper 5 jeweils gemittelt werden. Durch die im Wesentlichen achsnahe Lage der Zündstelle sind zudem die Löscheffekte durch feste Oberflächen auf den sich nach der Zündung ausbildenden Flammenkern besonders gering.

[0034] Die Ausbildung einer geeigneten Strömung in der Vorkammer 10 kann verbessert werden, wenn die Vorkammer Überströmöffnungen 11 aufweist, die tangential verlaufen, wie es in dem Querschnitt in Fig. 2 dargestellt ist, der in der Ebene der schrägen Überströmöffnungen 11 in Fig. 1 verläuft. Die Überströmöffnungen 11 sind dabei nicht auf die Achse gerichtet, sondern (schräg) tangential auf einen um die Achse verlaufenden Kreis, dessen Radius zwischen Null und dem Radius der Vorkammer 10 liegen kann. Hierdurch bildet sich eine vorteilhafte Drehströmung in der Vorkammer 10 aus.

[0035] Die Fig. 1 zeigt eine Vorkammerzündkerze mit einer vorderen Vorkammer 12 und hinteren Vorkammer 13, wobei in die vordere Vorkammer 12 die Überströmöffnungen 11 einmünden. Zudem ist eine zentrale Überströmöffnung 11 dargestellt, mit der einerseits dem zu zündenden Gasgemisch durch den in die vordere Vorkammer 12 eintretenden Strahl eine axiale Strömungskomponente in Richtung auf die hintere Vorkammer 13 aufgeprägt und durch die schrägen, tangential eintretenden Überströmöffnungen 11 in der hinteren Vorkammer 13 eine Drehströmung erzeugt wird. Die axiale Strö-

mungskomponente bewirkt, dass zum Zündzeitpunkt ausschließlich Frischgemisch aus dem Hauptbrennraum 1 am Hot-Spot vorhanden ist und nach Entflammung des Frischgemisches die Flammenausbreitung in der hinteren Vorkammer 13 durch die vorhandene Drehströmung stark beschleunigt wird. Die schnelle Entflammung erfasst auch das vorhandene Gemisch in der vorderen Vorkammer 12 und es treten Fackelstrahlen in den Hauptbrennraum 1 aus, die eine besonders schnelle und gleichmäßige Umsetzung des Hauptgemischs im Hauptbrennraum 1 bewirken.

[0036] Allgemein ist es vorteilhaft, wenn die Vorkammer 10 in axialer Richtung in eine vordere Vorkammer 12 und eine hintere Vorkammer 13 aufgeteilt ist, wobei die hintere Vorkammer 13 weiter von dem Hauptbrennraum 1 als die vordere Vorkammer 12 gelegen ist und wobei der Durchmesser der hinteren Vorkammer 13 größer als der Durchmesser der vorderen Vorkammer 12 ist. Vorteilhafterweise ist der Durchmesser der hinteren Vorkammer 13 zwischen 5% und 100%, bevorzugt zwischen 10% und 30% größer als der Durchmesser der vorderen Vorkammer 12. Die (axiale) Länge der hinteren Vorkammer 13 beträgt vorteilhafterweise zwischen 5% und 200%, bevorzugt zwischen 10% und 80% der Länge der vorderen Vorkammer 12. Die Ausbildung einer hinteren Vorkammer 13 hat Vorteile für die Schaffung eines "Atmungsraumes" für die Gemischbildung in der Vorkammer 10, die Ausbildung einer günstigen Strömung in der Vorkammer 10 und das Zündverhalten des Gasgemischs.

[0037] Die Fig. 3 zeigt ein Detail zu Fig. 1, nämlich den Laser 8, die Strahloptik 9, den Lichtleitweg und den Absorberkörper 5. Die Vorkammer 10 und das äußere Gehäuse der Zündkerze 2 sind in dieser Darstellung nicht eingezeichnet.

[0038] Die Fig. 4 zeigt in einer Detaildarstellung das untere Ende der Anordnung von Fig. 3, in der man gut erkennen kann, dass der Absorberkörper 5 aus einem das Laserlicht absorbierenden Material besteht, dessen der Vorkammer 10 abgewandte Brennraumaußenseite 14 gegenüber der Brennrauminnenseite 6 abgedichtet ist. Der Absorberköper 5 stellt in dieser Ausführungsform sozusagen ein "schwarzes Fenster" dar, das von seiner Rückseite her mittels des Laserstrahls 7 erhitzt wird. Der Absorberkörper 5 ist also ein hochtemperaturfestes Bauteil, das abgedichtet in die Wandung der Vorkammer 10 eingelassen bzw. eingesetzt ist. Das Material des Absorberkörpers 5 kann somit unabhängig von dem Material der Wandung der Vorkammer 10 gewählt und den Zündbedingungen angepasst werden. Vorzugsweise ist das Material des Absorberkörpers 5 verschieden von dem Material der Wandung der Vorkammer 10, die den Absorberkörper 5 trägt.

[0039] Im Gegensatz zu bekannten Laserzündsystemen ist hierbei eine Einkopplung des Laserstrahls 7 durch einen optischen Zugang in die Vorkammer 10 nicht erforderlich, wodurch die verfahrensbedingten Nachteile von Verschmutzungen/Ablagerungen umgangen werden. Zusätzlich ist eine geringere Laserstrahlleistung erforderlich. Der Absorberkörper 5 kann aus geeigneten Materialien, beispielsweise aus einer Keramik und/oder aus einem Wolfram-Carbid bestehen. Der Absorberkörper 5 ist vorzugsweise scheibenförmig ausgebildet. Vorteilhaftervveise hat der Absorberkörper 5 einen Durchmesser von weniger als 10 mm, bevorzugt weniger als 5 mm, besonders bevorzugt weniger als 2 mm.

[0040] Ferner weist der Absorberkörper 5 vorteilhafterweise eine Aussparung 17 auf, in der seine Dicke reduziert ist. Die Aussparung 17 kann auf der Brennrauminnenseite 6 und/oder der Brennraumaußenseite 14 ausgebildet sein. Die Aussparung 17 hat vorteilhafterweise einen Durchmesser von weniger als 1 mm, bevorzugt weniger als 0,5 mm, und die Dicke des Absorberkörpers 5 im Bereich der Aussparung 17 liegt vorteilhafterweise unter 2 mm, bevorzugt unter 1 mm und besonders bevorzugt unter 0,5 mm. Aus Festigkeitsgründen ist ein dikker Absorberkörper 5 vorteilhaft, um den hohen Zylinderdrücken standzuhalten. Aus Gründen der Wärmeleitung und zum Erzielen einer möglichst schnellen Erwärmung bei möglichst kleiner Laserleistung ist es jedoch wünschenswert, wenn der Absorberkörper 5 dünn ist. Diesen sich widersprechenden Anforderungen kann mit einer Aussparung 17 entsprochen werden.

[0041] Die Fig. 5 zeigt eine abgewandelte Ausführung zu Fig. 4 bei einer Zündkerze 2 mit einer Strahlführung durch einen transparenten Werkstoff und einer Absorption des Laserstrahls 7 in einer auf dem transparenten Werkstoff angebrachten absorbierenden Beschichtung, die den Absorberkörper 5 bildet. Dabei ist der Absorberkörper 5 als das Laserlicht absorbierendes, vorzugsweise tiefschwarzes Material ausgebildet, das auf der der Vorkammer 10 zugewandten Brennrauminnenseite 6 eines Fenstermaterials 15 angeordnet ist. Der Absorberkörper 5 kann auf der der Vorkammer 10 abgewandten Brennraumaußenseite 14 des Fenstermaterials 15 angeordnet sein, oder, wie in Fig. 4 dargestellt ist, auf der der Vorkammer 10 zugewandten Brennrauminnenseite 6 des Fenstermaterials 15 angeordnet sein, wobei das Fenstermaterial 15 für das Laserlicht durchlässig ist.

[0042] Der Absorberkörper 5 kann bei diesen Ausführungsformen beispielsweise aus einer Keramik, insbesondere einer Sinter-Keramik, vorzugsweise aus Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid, einem metallischen Stoff, aus Carbid, Borid, Silicid oder Nitrid bestehen. Das Fenstermaterial 15 kann scheibenförmig oder als Lichtleitstab 16 ausgebildet sein. Es besteht beispielsweise aus einem Wolfram-Silikatglas, einem Bor-Silikatglas oder Saphir.

[0043] Der dem Absorberkörper 5 bzw. dem Fenstermaterial 15 unmittelbar vorgelagerte Lichtweg kann durch Luft, Schutzgas oder einen Lichtleiter oder Lichtleitstab 16 verlaufen.

[0044] Die Fig. 6 zeigt den Verlauf der Laserpulsleistung P als Funktion der Zeit t. Man erkennt, dass der Laserstrahl 7 im Arbeitszyklus T der Brennkraftmaschine gepulst wird. Die Pulsfrequenz der Laserpulse beträgt

vorteilhafterweise zwischen 1 Hz und 2.000 Hz, bevorzugt zwischen 1 Hz und 50 Hz. Die Pulsdauer der Laserpulse liegt vorteilhafterweise zwischen 0,1 μs und 1 min, bevorzugt zwischen 1 μs und 1 s, besonders bevorzugt zwischen 1 μs und 1 ms, wobei die langen Pulsdauern insbesondere zum Temperaturaufbau beim Kaltstart einer Brennkraftmaschine zweckmäßig sein können. Die Anstiegszeit der Laserpulse beträgt vorteilhafterweise zwischen 1 ns und 1 ms, bevorzugt zwischen 100 ns und 10 μs, und die Abklingzeit der Laserpulse vorteilhafterweise zwischen 1 ns und 1 ms, bevorzugt zwischen 100 ns und 10 μs.

[0045] In Fig. 7 ist der zugehörige zeitliche Verlauf der Oberflächentemperatur TO des Absorberkörpers 5 auf der Brennrauminnenseite 6 dargestellt. Jeweils kurz nach dem Auslösen eines Laserpulses wird die zur Gemischzündung erforderliche Zündtemperatur TZ überschritten. Die erforderliche Zündtemperatur des jeweiligen Zyklus kann infolge des Einflusses von Gemischzusammensetzung, Druck, Temperatur und Strömungsparameter an der Zündstelle schwanken. Der erforderliche zeitliche Anstieg der Oberflächentemperatur TO ergibt sich aus der Anforderung der zeitlichen Lage des Zündzeitpunkts des Gemisches. Durch Vorgabe der Pulsdauer und Pulsanzahl kann die Oberflächentemperatur TO zur Gemischentzündung an unterschiedliche Betriebzustände eines Motors angepasst werden (Kaltstart, Instationärbetrieb, Drehzahl, Last).

[0046] Die Fig. 8 zeigt in einer Detailansicht zu Fig. 7 den zeitlichen Verlauf der Oberflächentemperatur TO für einen einzelnen Laserpuls.

Bezugszeichenliste

[0047]

1	Hauptbrennraum
2	Zündkerze
3	Außengewinde
4	Dichtung
5	Absorberkörper
6	Brennrauminnenseite
7	Laserstrahl
8	Laser
9	Laserstrahloptik
10	Vorkammer
11	Überströmöffnung
12	Vordere Vorkammer
13	Hintere Vorkammer
14	Brennraumaußenseite
15	Fenstermaterial
16	Lichtleitstab
17	Aussparung
18	Zylinderkopf
19	Vorsprung
P	Laserpulsleistung
T	Arbeitszyklus
TO	Oberflächentemperatur
TZ	Zündtemperatur
t	Zeit

Patentansprüche

1. Zündvorrichtung zum Zünden eines brennbaren oder explosionsfähigen Gasgemischs in einem Hauptbrennraum (1), umfassend
einen hochtemperaturfesten Absorberkörper (5), der in Kontakt zu dem Hauptbrennraum (1) entstammendem Gasgemisch angeordnet ist, mit einer dem Gasgemisch zugewandten Brennrauminnenseite (6), und
einen Lichtleitweg zum Leiten eines Laserstrahls (7) auf den Absorberkörper (5) zum Erhitzen des Absorberkörpers (5) mit dem Laserstrahl (7) bis zum Erreichen einer für das Zünden des Gasgemischs erforderlichen Zündtemperatur (TZ) auf der Brennrauminnenseite (6) des Absorberkörpers (5),
wobei der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper (5) derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl (7) keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch des Hauptbrennraumes (1) hat,
dadurch gekennzeichnet, dass
dem Absorberkörper (5) auf der Brennrauminnenseite (6) eine Vorkammer (10) mit mindestens einer die Vorkammer (10) und den Hauptbrennraum (1) verbindenden Überströmöffnung (11) vorgelagert ist, wobei
die Brennrauminnenseite (6) des Absorberkörpers (5) dem Gasgemisch der Vorkammer (10) zugewandt ist und
der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper (5) derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl (7) keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch der Vorkammer (10) hat.

2. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Absorberkörper (5) scheibenförmig ausgebildet ist.

3. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Absorberkörper (5) einen Durchmesser von weniger als 10 mm, bevorzugt weniger als 5 mm, besonders bevorzugt weniger als 2 mm hat.

4. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Absorberkörper (5) aus einem das Laserlicht absorbierenden Material besteht, dessen der Vorkammer (10) abgewandte Brennraumaußenseite (14) gegenüber der Brennrauminnenseite (6) abgedichtet ist.

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

Absorberkörper (5) aus einer Keramik und/oder aus einem Wolfram-Carbid besteht.

6. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Absorberkörper (5) als das Laserlicht absorbierendes, vorzugsweise tiefschwarzes Material ausgebildet ist, das auf der der Vorkammer (10) zugewandten Brennrauminnenseite (6) eines Fenstermaterials (15) angeordnet ist und dass der Absorberkörper (5) aus einer Keramik, insbesondere einer Sinter-Keramik, vorzugsweise aus Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid, einem metallischen Stoff, aus Carbid, Borid, Silicid oder Nitrid besteht.

7. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Absorberkörper (5) als das Laserlicht absorbierendes, vorzugsweise tiefschwarzes Material ausgebildet ist, das auf der der Vorkammer (10) zugewandten Brennrauminnenseite (6) eines Fenstermaterials (15) angeordnet ist und dass das Fenstermaterial (15) als Lichtleitstab (16) ausgebildet ist.

8. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Absorberkörper (5) als das Laserlicht absorbierendes, vorzugsweise tiefschwarzes Material ausgebildet ist, das auf der der Vorkammer (10) zugewandten Brennrauminnenseite (6) eines Fenstermaterials (15) angeordnet ist und dass das Fenstermaterial (15) ein Wolfram-Silikatglas, ein Bor-Silikatglas oder Saphir ist.

9. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Laserstrahl (7) gepulst wird.

10. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Laser (8) in die Zündvorrichtung integriert ist.

11. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie in Form einer in die Wandung eines Zylinderkopfes (18) montierbare, vorzugweise in ein Gewinde einschraubbare Zündkerze (2) ausgebildet ist, die den Absorberkörper (5), einen Teil des Lichtweges und die Vorkammer (10) umfasst.

12. Zündvorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Laser (8) in die Zündkerze (2) integriert ist.

13. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorkammer (10) in axialer Richtung in eine vordere Vorkammer (12) und eine hintere Vorkammer (13) aufgeteilt ist, wobei die hintere Vorkammer (13) weiter von dem Hauptbrennraum (1) als die vordere Vorkammer (12) gelegen ist und wobei der Durchmesser der hinteren Vorkammer (13) größer als der Durchmesser der vorderen Vorkammer (12) ist.

14. Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Absorberkörper (5) auf einem Vorsprung (19) angeordnet ist, der mit einer Eintauchtiefe in die Vorkammer (10) hineinragt.

15. Brennkraftmaschine, insbesondere Benzinmotor oder Gasmotor, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Zündvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist.

16. Verfahren zum Zünden eines brennbaren oder explosionsfähigen Gasgemischs in einem Hauptbrennraum (1), bei dem
ein hochtemperaturfester Absorberkörper (5) mit einer dem Gasgemisch zugewandten Brennrauminnenseite (6) in Kontakt zu dem Hauptbrennraum (1) entstammendem Gasgemisch angeordnet wird, und
entlang eines Lichtleitweges ein Laserstrahl (7) auf den Absorberkörper (5) geleitet wird, wobei der Absorberkörper (5) mit dem Laserstrahl (7) erhitzt wird, bis auf der Brennrauminnenseite (6) des Absorberkörpers (5) eine für das Zünden des Gasgemischs erforderliche Zündtemperatur (TZ) erreicht wird,
wobei der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper (5) derart ausgebildet ist, dass der Laserstrahl (7) keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch des Hauptbrennraumes (1) hat,
dadurch gekennzeichnet, dass
dem Absorberkörper (5) auf der Brennrauminnenseite (6) eine Vorkammer (10) mit mindestens einer die Vorkammer (10) und den Hauptbrennraum (1) verbindenden Überströmöffnung (11) vorgelagert wird, wobei
die Brennrauminnenseite (6) des Absorberkörpers (5) dem Gasgemisch der Vorkammer (10) zugewandt angeordnet wird und
der Lichtleitweg bis zu dem Absorberkörper (5) derart ausgebildet wird, dass der Laserstrahl (7) keinen direkten Kontakt zu dem Gasgemisch der Vorkammer (10) hat.

Claims

1. An ignition device for the ignition of a combustible or explosive gas mixture in a main combustion chamber (1), comprising
a high temperature-resistant absorber body (5), which is arranged in contact with gas mixture coming from the main combustion chamber (1), with a combustion chamber inner side (6) facing the gas mix-

ture, and
a light guide path for guiding a laser beam (7) onto the absorber body (5) in order to heat the absorber body (5) with the laser beam (7) until an ignition temperature (TZ) required for the ignition of the gas mixture is reached on the combustion chamber inner side (6) of the absorber body (5),
wherein the light guide path up to the absorber body (5) is configured in such a way that the laser beam (7) does not have direct contact with the gas mixture of the main combustion chamber (1),
characterised in that
a prechamber (10) with at least one overflow opening (11) connecting the prechamber (10) and the main combustion chamber (1) is located upstream of the absorber body (5) on the combustion chamber inner side (6), wherein
the combustion chamber inner side (6) of the absorber body (5) is facing the gas mixture of the prechamber (10) and
the light guide path up to the absorber body (5) is configured in such a way that the laser beam (7) does not have direct contact with the gas mixture of the prechamber (10).

2. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the absorber body (5) is designed disk-shaped.

3. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the absorber body (5) has a diameter of less than 10 mm, preferably less than 5 mm, particularly preferably less than 2 mm.

4. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the absorber body (5) is made from a material that absorbs the laser light, its combustion chamber outer side (14) facing away from prechamber (10) being sealed off with respect to the combustion chamber inner side (6).

5. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the absorber body (5) is made from a ceramic and/or from a tungsten carbide.

6. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the absorber body (5) is formed as a preferably deep-black material which absorbs the laser light, which is arranged on the combustion chamber inner side (6) of a window material (15) facing the prechamber (10) and that the absorber body (5) is made from a ceramic, in particular a sintered ceramic, preferably of aluminum oxide or aluminum nitride, a metallic material, of carbide, boride, silicide or nitride.

7. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the absorber body (5) is formed as a preferably deep-black material which absorbs the laser light, which is arranged on the combustion chamber inner side (6) of a window material (15) facing the prechamber (10) and that the window material (15) is formed as a light-conducting rod (16).

8. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the absorber body (5) is formed as a preferably deep-black material which absorbs the laser light, which is arranged on the combustion chamber inner side (6) of a window material (15) facing the prechamber (10) and that the window material (15) is a tungsten-silicate glass, a borosilicate glass or sapphire.

9. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the laser beam (7) is pulsed.

10. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the laser (8) is integrated into the ignition device.

11. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** it is designed in the form of a spark plug (2) which can be mounted in the wall of a cylinder head (18), preferably capable of being screwed into a thread, said spark plug comprising the absorber body (5), a part of the light path and the prechamber (10).

12. The ignition device according to the preceding claim, **characterised in that** the laser (8) is integrated into the spark plug (2).

13. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the prechamber (10) is divided in the axial direction into a front prechamber (12) and a rear prechamber (13), wherein the rear prechamber (13) is positioned farther away from main combustion chamber (1) than the front prechamber (12) and wherein the diameter of the rear prechamber (13) is greater than the diameter of the front prechamber (12).

14. The ignition device according to any one of the preceding claims, **characterised in that** the absorber body (5) is arranged on a projection (19), which projects with an immersion depth into the prechamber (10).

15. An internal combustion engine, in particular a petrol engine or gas engine, **characterised in that** it comprises an ignition device according to any one of the preceding claims.

16. A method for the ignition of a combustible or explosive gas mixture in a main combustion chamber (1), wherein
a high temperature-resistant absorber body (5) with a combustion chamber inner side (6) facing the gas mixture is arranged in contact with gas mixture coming from the main combustion chamber (1), and
a light beam (7) is guided along a light guide path onto the absorber body (5), wherein the absorber body (5) is heated with the laser beam (7) until an ignition temperature (TZ) required for the ignition of the gas mixture is reached on the combustion chamber inner side (6) of the absorber body (5),
wherein the light guide path up to the absorber body (5) is configured in such a way that the laser beam (7) does not have direct contact with the gas mixture of the main combustion chamber (1),
characterised in that
a prechamber (10) with at least one overflow opening (11) connecting the prechamber (10) and the main combustion chamber (1) is located upstream of the absorber body (5) on the combustion chamber inner side (6), wherein
the combustion chamber inner side (6) of the absorber body (5) is arranged facing the gas mixture of the prechamber (10) and
the light guide path up to the absorber body (5) is configured in such a way that the laser beam (7) does not have direct contact with the gas mixture of the prechamber (10).

Revendications

1. Dispositif d'allumage pour allumer un mélange gazeux inflammable ou explosible dans une chambre de combustion principale (1), comprenant:

un corps absorbant (5) résistant aux températures élevées qui est disposé en contact avec un mélange gazeux provenant de la chambre de combustion principale (1), avec un côté intérieur de chambre de combustion (6) tourné vers le mélange gazeux, et
un chemin conducteur de lumière pour conduire un faisceau laser (7) sur le corps absorbant (5) pour échauffer le corps absorbant (5) avec le faisceau laser (7) jusqu'à l'atteinte d'une température d'allumage (TZ) nécessaire pour allumer le mélange gazeux du côté intérieur de chambre de combustion (6) du corps absorbant (5),
le chemin conducteur de lumière jusqu'au corps absorbant (5) étant conçu de façon que le faisceau laser (7) n'ait pas de contact direct avec le mélange gazeux de la chambre de combustion principale (1),
caractérisé en ce
qu'une préchambre (10) avec au moins une ouverture de décharge (11) reliant la préchambre (10) et la chambre de combustion principale (1) est placée en amont du corps absorbant (5) du côté intérieur de chambre de combustion (6), le côté intérieur de chambre de combustion (6) du corps absorbant (5) étant tourné vers le mélange gazeux de la préchambre (10) et
le chemin conducteur de lumière jusqu'au corps absorbant (5) étant conçu de façon que le faisceau laser (7) n'ait pas de contact direct avec le mélange gazeux de la préchambre (10).

2. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps absorbant (5) est réalise en forme de disque.

3. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps absorbant (5) a un diamètre inférieur à 10 mm, de préférence inférieur à 5 mm, particulièrement de préférence inférieur à 2 mm.

4. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps absorbant (5) est composé d'un matériau absorbant la lumière laser, dont le côté extérieur de chambre de combustion (14) éloigné de la préchambre (10) est rendu étanche par rapport au côté intérieur de chambre de combustion (6).

5. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps absorbant (5) est composé d'une céramique et/ou d'un carbure de tungstène.

6. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps absorbant (5) est réalisé sous forme de matériau absorbant la lumière laser, de préférence noir mat, qui est disposé du côté intérieur de chambre de combustion (6) tourné vers la préchambre (10) d'un matériau de fenêtre (15) et que le corps absorbant (5) est composé d'une céramique, en particulier d'une céramique frittée, de préférence en oxyde d'aluminium ou nitrure d'aluminium, en une substance métallique, en carbure, borure, siliciure ou nitrure.

7. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps absorbant (5) est réalisé sous forme de matériau absorbant la lumière laser, de préférence noir mat, qui est disposé du côté intérieur de chambre de combustion (6) tourné vers la préchambre (10) d'un matériau de fenêtre (15) et que le matériau de fenêtre (15) est réalisé sous forme de barre conductrice de lumière (16).

8. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps absorbant (5) est réalisé sous forme de matériau absorbant la lumière laser, de préférence noir mat, qui est disposé du côté intérieur de chambre de combustion (6) tourné vers la préchambre (10) d'un matériau de fenêtre (15) et que le matériau de fenêtre (15) est un verre au silicate de tungstène, un verre au silicate de bore ou du saphir.

9. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le faisceau laser (7) est pulsé.

10. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le laser (8) est intégré dans le dispositif d'allumage.

11. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il est réalisé sous la forme d'une bougie d'allumage (2) pouvant être montée dans la paroi d'une culasse (18), de préférence vissée dans un filetage, qui comprend le corps absorbant (5), une partie du chemin optique et la préchambre (10).

12. Dispositif d'allumage selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le laser (8) est intégré dans la bougie d'allumage (2).

13. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la préchambre (10) est divisée en direction axiale en une préchambre avant (12) et une préchambre arrière (13), la préchambre arrière (13) étant située plus loin de la chambre de combustion principale (1) que la préchambre avant (12) et le diamètre de la préchambre arrière (13) étant plus grand que le diamètre de la préchambre avant (12).

14. Dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le corps absorbant (5) est disposé sur une saillie (19) qui pénètre d'une certaine profondeur d'insertion dans la préchambre (10).

15. Moteur à combustion interne, en particulier moteur à essence ou moteur à gaz, **caractérisé en ce qu'**il présente un dispositif d'allumage selon une des revendications précédentes.

16. Procédé pour allumer un mélange gazeux inflammable ou explosible dans une chambre de combustion principale (1), dans lequel
un corps absorbant (5) résistant aux températures élevées, avec un côté intérieur de chambre de combustion (6) tourné vers le mélange gazeux, est disposé en contact avec un mélange gazeux provenant de la chambre de combustion principale (1), et
un faisceau laser (7) est conduit sur le corps absorbant (5) le long d'un chemin conducteur de lumière, le corps absorbant (5) étant échauffé avec le faisceau laser (7) jusqu'à ce qu'une température d'allumage (TZ) nécessaire pour allumer le mélange gazeux soit atteinte du côté intérieur de chambre de combustion (6) du corps absorbant (5),
le chemin conducteur de lumière jusqu'au corps absorbant (5) étant conçu de façon que le faisceau laser (7) n'ait pas de contact direct avec le mélange gazeux de la chambre de combustion principale (1), **caractérisé en ce qu'**une préchambre (10) avec au moins une ouverture de décharge (11) reliant la préchambre (10) et la chambre de combustion principale (1) est placée en amont du corps absorbant (5) du côté intérieur de chambre de combustion (6),
le côté intérieur de chambre de combustion (6) du corps absorbant (5) étant tourné vers le mélange gazeux de la préchambre (10) et
le chemin conducteur de lumière jusqu'au corps absorbant (5) étant conçu de façon que le faisceau laser (7) n'ait pas de contact direct avec le mélange gazeux de la préchambre (10).

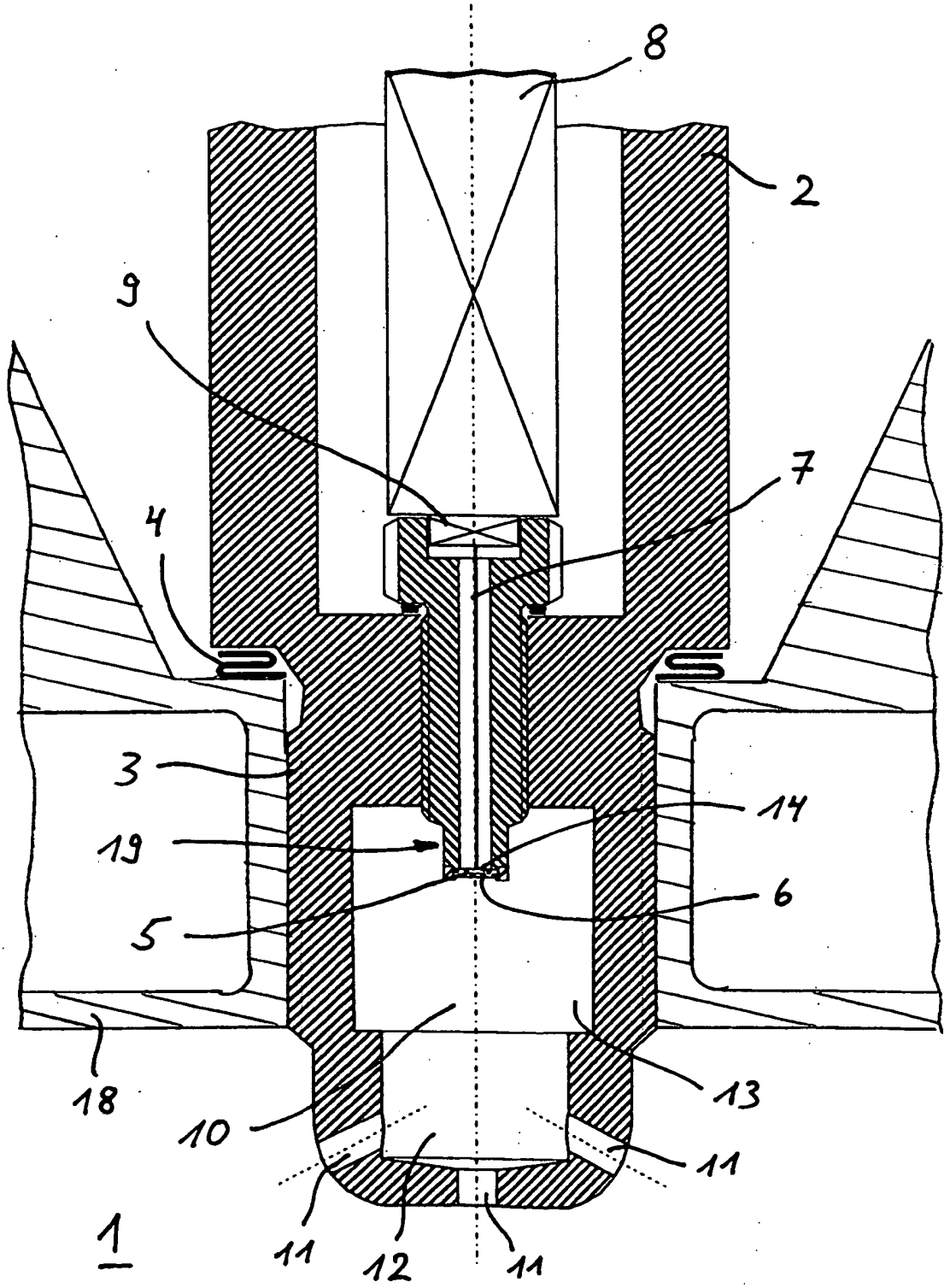


Fig. 1

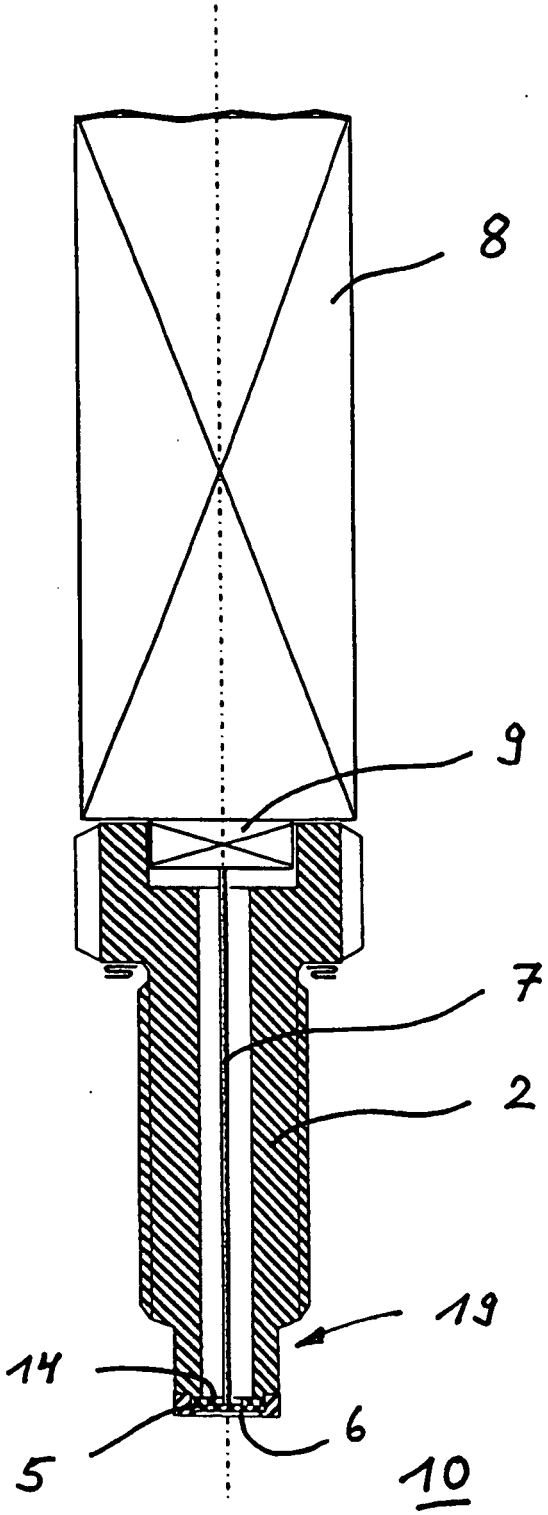


Fig. 3

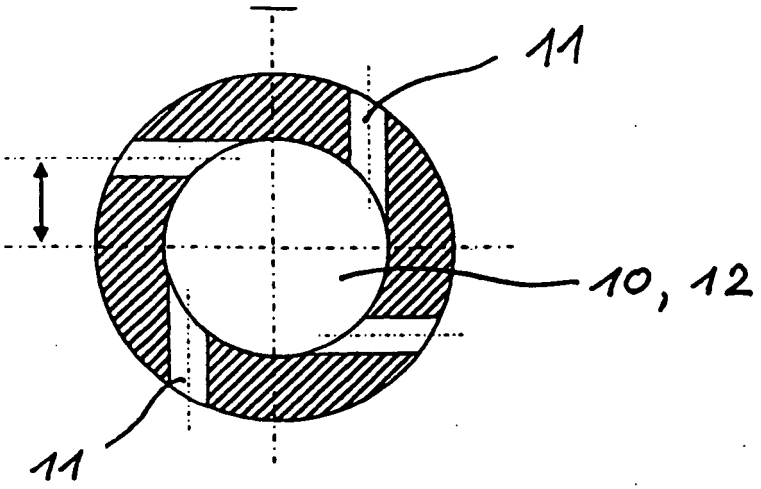


Fig. 2

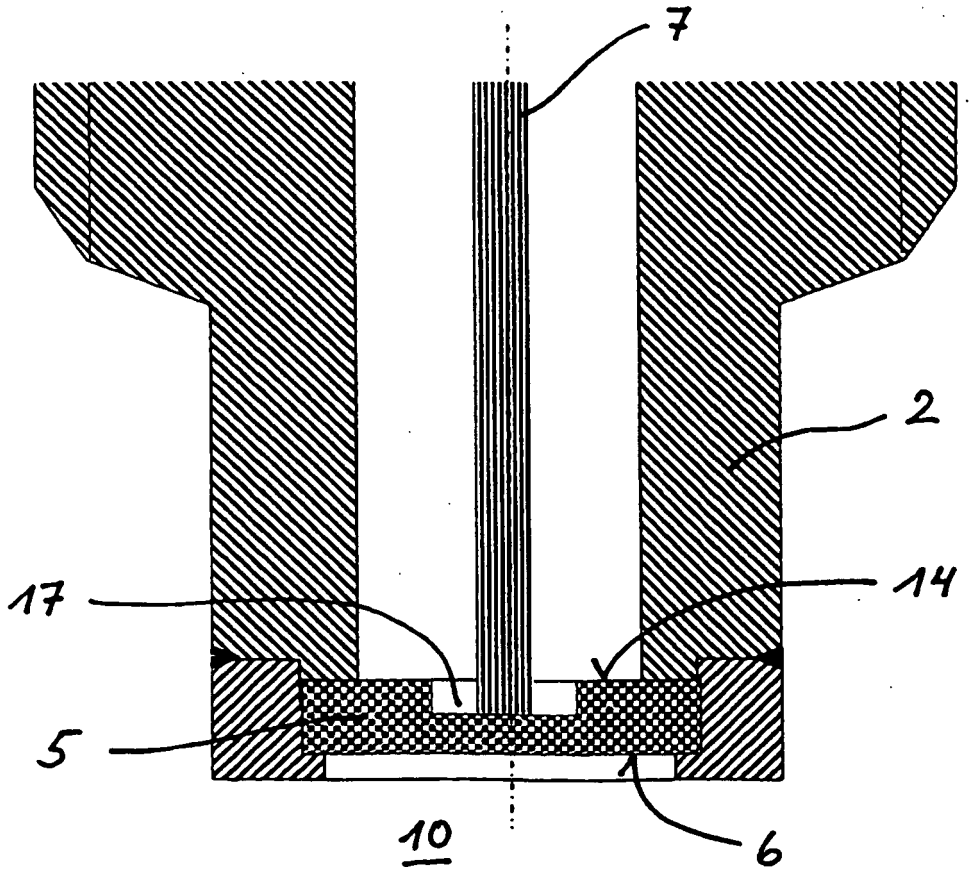


Fig. 4

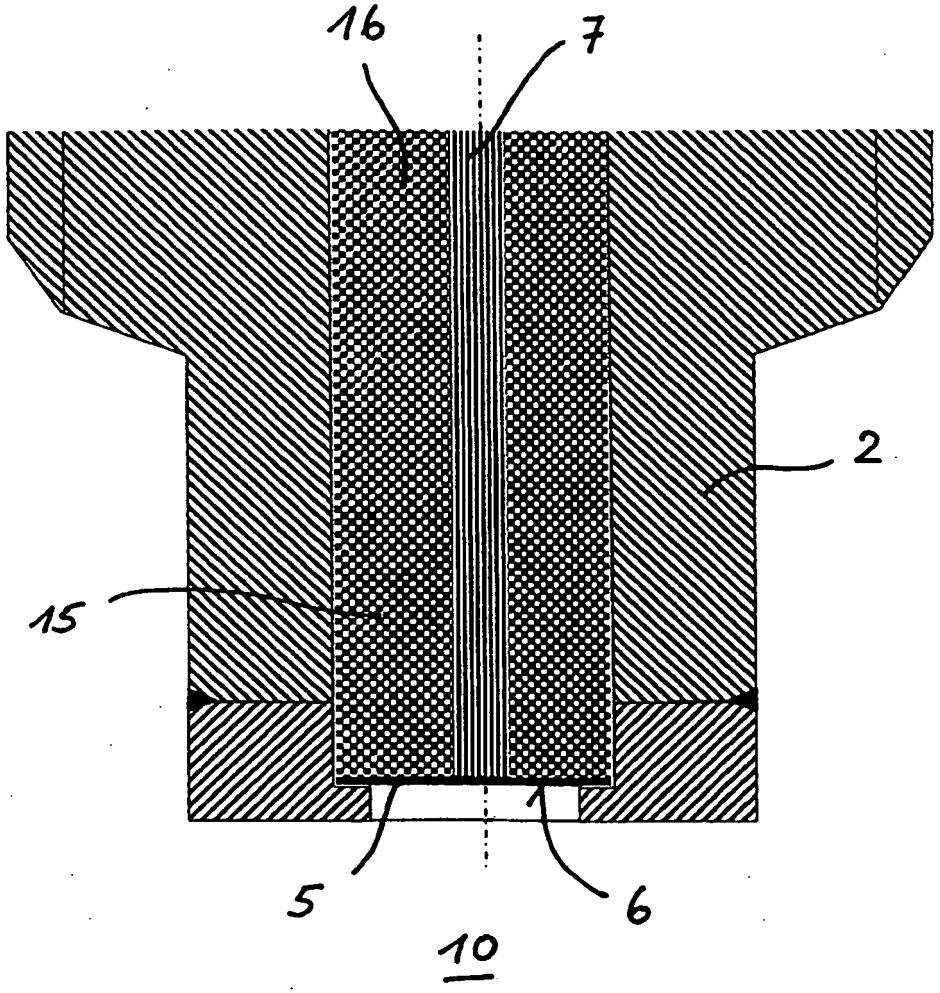


Fig. 5

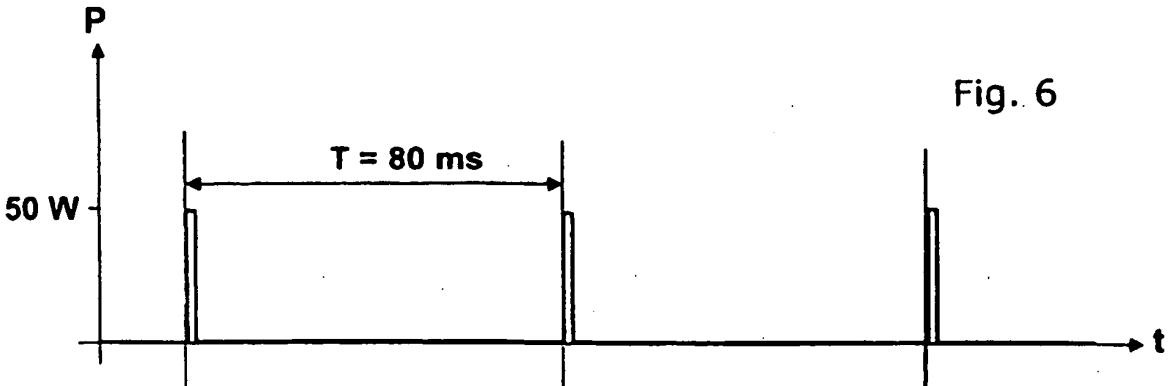


Fig. 6

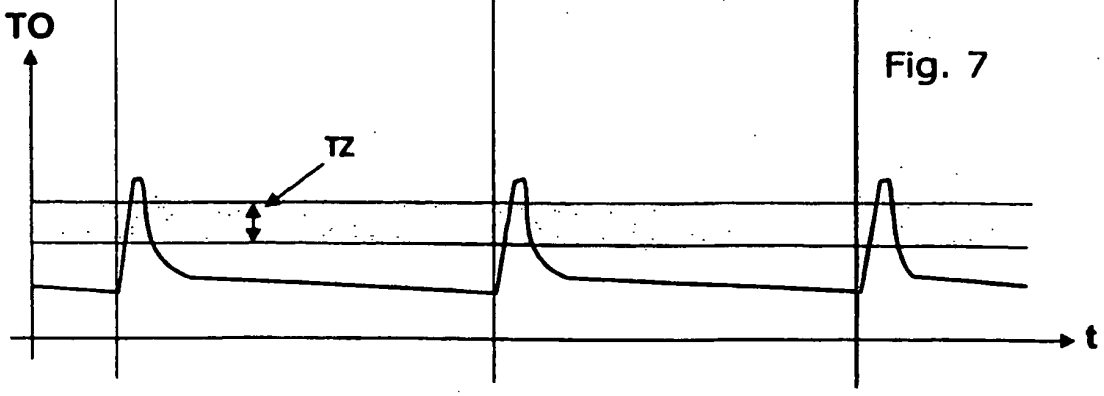


Fig. 7

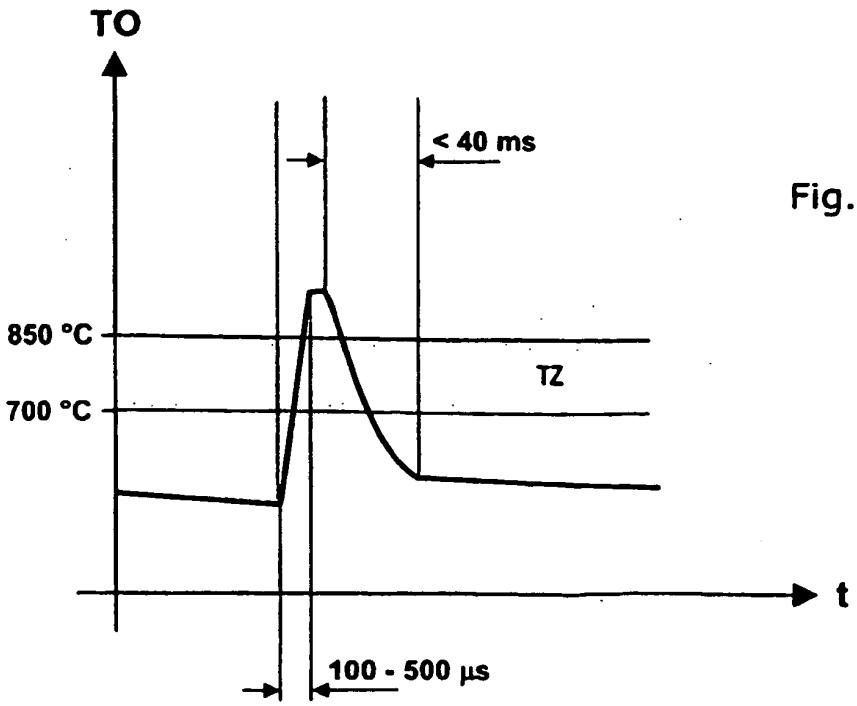


Fig. 8

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

- DE 3926956 A1 **[0003]**
- DE 2849458 A1 **[0003]**
- DE 19911737 A1 **[0003]**
- US 6053140 A **[0003]**
- WO 2005028856 A1 **[0003]**
- EP 1519038 A1 **[0003]**
- EP 1519039 A1 **[0003]**
- WO 2005021959 A1 **[0003]**
- DE 20320983 U1 **[0003]**
- EP 1329631 A2 **[0003]**
- DE 10350101 A1 **[0003]**
- DE 102004061194 A1 **[0003]**
- JP 10196508 B **[0003]**
- JP 59155573 B **[0003]**
- JP 60150480 B **[0003]**
- JP 63212772 B **[0003]**
- JP 8068374 B **[0003]**
- DE 2207392 A **[0005]**
- WO 2004001221 A1 **[0006]**
- DE 102006018973 A1 **[0007]**
- DE 102005050435 A1 **[0008]**
- WO 9845588 A1 **[0019]**
- WO 03071644 A1 **[0019]**
- EP 0675272 A1 **[0019]**
- DE 4419429 A1 **[0020]**
- DE 19714796 A1 **[0020]**
- DE 102004039818 A1 **[0020]**
- DE 102004043143 A1 **[0020]**
- DE 10016558 A1 **[0020]**