



(11) **EP 2 438 289 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
03.04.2013 Patentblatt 2013/14

(51) Int Cl.:
F02P 15/08 ^(2006.01) **F02P 23/04** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10721159.1**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2010/057198

(22) Anmeldetag: **26.05.2010**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2010/139576 (09.12.2010 Gazette 2010/49)

(54) **LASERZÜNDKERZE FÜR EINE BRENNKRAFTMASCHINE**

LASER SPARK PLUG FOR AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

BOUGIE D'ALLUMAGE LASER POUR UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

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

(30) Priorität: **05.06.2009 DE 102009026799**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
11.04.2012 Patentblatt 2012/15

(73) Patentinhaber: **Robert Bosch GmbH
70442 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:
• **SCHWARZ, Hans-Jochen
70567 Stuttgart (DE)**
• **HARTKE, Rene
70178 Stuttgart (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 10 350 101 DE-A1- 19 609 276

• **"BRAGG-GITTER" FUNKSCHAU, WEKA
FACHZEITSCHRIFTEN VERLAG, POING, DE, Bd.
72, Nr. 13, 11. Juni 1999 (1999-06-11) , Seite 59/60,
XP000913218 ISSN: 0016-2841**

EP 2 438 289 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 Laserzündkerze für eine Brennkraftmaschine.

[0002] Laserzündkerzen werden vergleichbar zu bei der Hochspannungszündung eingesetzten konventionellen Zündkerzen im Bereich eines Zylinderkopfes einer Brennkraftmaschine angeordnet und koppeln energiereiche Laserimpulse in einen ihnen zugeordneten Brennraum ein, um ein darin befindliches Luft-/Kraftstoffgemisch zu entzünden. Um einen zuverlässigen Betrieb einer Laserzündkerze mit darin integrierten optischen Komponenten unter den im Bereich des Zylinderkopfes herrschenden Umgebungsbedingungen (unter anderem große Temperaturschwankungen, Vibrationen) zu gewährleisten, ist ein erheblicher konstruktiver Aufwand erforderlich.

[0003] Aus der JP 2006-242038 A ist bereits ein laserbasiertes Zündsystem für eine Brennkraftmaschine bekannt, bei dem in einer Laserzündkerze eine Sammellinse angeordnet ist. Zusätzlich weist die bekannte Laserzündkerze Deformationsmittel auf, die dazu ausgebildet sind, die Sammellinse zu deformieren. Auf diese Weise kann ein Zündort des bekannten Laserzündsystems variiert werden.

[0004] DE 10 350 101 offenbart ein laserbasiertes Zündsystem mit einem bolegtalischenoptischen Element zot Fokussierang.

[0005] Nachteilig an dem bekannten laserbasierten Zündsystem ist der konstruktive Aufwand, der mit der Vorsehung der Deformationsmittel zur gezielten Deformation der Sammellinse einhergeht. Es ist eine erhebliche Antriebsenergie für die Deformationsmittel erforderlich, um die verhältnismäßig massereiche Sammellinse in der gewünschten Art und Weise zur Einstellung der Fokusslage zu deformieren.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Demgemäß ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Laserzündkerze der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass mit einem verhältnismäßig geringen konstruktiven Aufwand die Möglichkeit für eine räumliche Mehrfachzündung in einem Brennraum der Brennkraftmaschine gegeben ist.

[0007] Diese Aufgabe wird bei der Laserzündkerze der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mindestens ein Volumen-Bragg-Gitterelement in einem Strahlengang der Laserzündkerze angeordnet ist.

[0008] Das englisch auch als Volume-Bragg-Grating, kurz VBG, bezeichnete Volumen-Bragg-Gitterelement besteht aus einem räumlich angeordneten optischen Gitter, dessen Transmissions- beziehungsweise Reflexionsverhalten für auftreffende elektromagnetische Strahlung durch Vorgabe unter anderem einer Gitterkonstante

in an sich bekannter Weise einstellbar ist. Das optische Gitter ist gebildet durch eine periodische Variation des Brechungsindex eines das VBG enthaltenden Trägermediums.

[0009] Um eine räumliche Mehrfachzündung zu realisieren, bei der Laserzündimpulse gleichzeitig auf mindestens zwei verschiedene Zündpunkte abgestrahlt werden können, ist bei der erfindungsgemäßen Laserzündkerze vorgesehen, dass das Volumen-Bragg-Gitterelement als Strahlteiler ausgebildet ist. Hierzu kann das Volumen-Bragg-Gitterelement bevorzugt mindestens zwei unterschiedliche Volumen-Bragg-Gitter aufweisen, die in an sich bekannter Weise in demselben Volumenbereich eines geeigneten Trägermediums angeordnet sein können und unterschiedliche Eigenschaften bzw. Ausrichtungen haben.

[0010] Im Unterschied zu den herkömmlichen Systemen mit deformierbarer Sammellinse ist bei dieser Erfindungsvariante vorteilhaft gar keine bewegliche Komponente vorgesehen, und die Integration mehrerer Volumen-Bragg-Gitter in ein entsprechendes Trägerelement erlaubt eine sehr kleinbauende Anordnung.

[0011] Das erfindungsgemäße Volumen-Bragg-Gitterelement kann einer weiteren Variante zufolge vorteilhaft auch direkt in eine Fokussieroptik und/oder ein Brennraumfenster der Laserzündkerze integriert sein. In diesen Fällen werden ein oder mehrere Volumen-Bragg-Gitter direkt in die betreffenden Komponenten eingeschrieben, was ebenfalls zu einer sehr kompakten Konstruktion führt.

[0012] Bei einer weiteren sehr vorteilhaften Variante der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass das Volumen-Bragg-Gitterelement eine Beugungseffizienz aufweist, die geringer ist als etwa 95%.

[0013] Durch die erfindungsgemäß bewusst geringer als 95% gewählte Beugungseffizienz des Volumen-Bragg-Gitterelements ergeben sich bei dem Hindurchtreten von Laserstrahlung durch das erfindungsgemäße Volumen-Bragg-Gitterelement wiederum mehrere Teilstrahlen, die zueinander divergierende Strahlachsen aufweisen, so dass durch eine nachgeordnete Fokussieroptik wiederum eine Fokussierung der mehreren Teilstrahlen auf unterschiedliche Zündpunkte möglich ist.

[0014] Besonders bevorzugt weist das Volumen-Bragg-Gitterelement eine Beugungseffizienz von etwa 50% auf, so dass neben einem ersten Laserteilstrahl ein zweiter, auch als off-axis-Strahl bezeichneter, Laserteilstrahl erzeugt wird, wenn das Volumen-Bragg-Gitterelement ordnungsgemäß ausgerichtet ist gegenüber der optischen Achse einer in der Laserzündkerze angeordneten Lasereinrichtung. Die Beugungseffizienz wird in an sich bekannter Weise u.a. durch einen Einstrahlwinkel der auftreffenden Laserstrahlung und deren Wellenlänge beeinflusst. Zur Erzielung der vorstehend genannten Effekte der Strahlteilung sind die Eigenschaften des Volumen-Bragg-Gitterelements und seine Ausrichtung in der Laserzündkerze entsprechend zu wählen.

[0015] Bei einer weiteren sehr vorteilhaften Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze ist vorgesehen, dass das Volumen-Bragg-Gitterelement relativ zu der optischen Achse der Laserzündkerze bewegbar angeordnet ist, wodurch sich weitere Freiheitsgrade bei der räumlichen Mehrfachzündung ergeben. Beispielsweise kann durch Steuerung eines Verkippungswinkels zwischen einer Oberflächennormalen des Volumen-Bragg-Gitterelements und der optischen Achse der Laserzündkerze die Ausbreitungsrichtung von aus dem Volumen-Bragg-Gitterelement austretender Laserstrahlung beeinflusst werden, wodurch vorteilhaft eine zeitlich nacheinander erfolgende Mehrfachzündung an unterschiedlichen Zündpunkten möglich ist.

[0016] Die Antriebsmittel zur Bewegung des erfindungsgemäßen Volumen-Bragg-Gitterelements sind bei einer weiteren vorteilhaften Erfindungsvariante direkt in der Laserzündkerze angeordnet. Im Unterschied zu herkömmlichen Systemen, die auf einer Deformation von Sammellinsen beruhen, ist für die erfindungsgemäße Bewegung des Volumen-Bragg-Gitterelements eine vergleichsweise geringe Antriebsenergie erforderlich.

[0017] Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze ist das Volumen-Bragg-Gitterelement so angeordnet, dass es einer zur Auskopplung der erzeugten Laserstrahlung vorgesehenen Stirnfläche einer in der Laserzündkerze angeordneten Lasereinrichtung direkt gegenüberliegt. Die für einen ordnungsgemäßen Betrieb des erfindungsgemäßen Volumen-Bragg-Gitterelements erforderliche präzise Winkelausrichtung des Volumen-Bragg-Gitterelements zu der Auskoppelfläche der Lasereinrichtung beziehungsweise zu der optischen Achse der Lasereinrichtung wird erfindungsgemäß vorteilhaft dadurch erzielt, dass ein Abstandshalter zwischen dem Volumen-Bragg-Gitterelement und der Lasereinrichtung vorgesehen ist. Der erfindungsgemäße Abstandshalter weist vorzugsweise eine Parallelität seiner Oberflächen von weniger als etwa $2\ \mu\text{m}$ auf und besitzt bevorzugt eine im wesentlichen ringförmige Geometrie, so dass Laserstrahlung von der Lasereinrichtung durch das erfindungsgemäße Volumen-Bragg-Gitterelement hindurchtreten kann. Besonders bevorzugt ist das erfindungsgemäße Volumen-Bragg-Gitterelement federkraftbeaufschlagt so gelagert, dass es in seiner Ruhelage durch die Federkräfte auf den Abstandshalter gedrückt wird, wodurch das Volumen-Bragg-Gitterelement die geforderte präzise Parallellage zur Auskoppelfläche der Lasereinrichtung einnimmt.

[0018] Ein erfindungsgemäß in der Laserzündkerze vorgesehener Antrieb für das Volumen-Bragg-Gitterelement kann beispielsweise so ausgebildet sein, dass er das Volumen-Bragg-Gitterelement in seinem radialen Außenbereich axial gegen die Federkräfte verschiebt, so dass sich eine Verkippung des Volumen-Bragg-Gitterelements gegenüber der optischen Achse der Lasereinrichtung ergibt.

[0019] Bei einer weiteren besonders bevorzugten Aus-

führungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze ist vorgesehen, dass das Volumen-Bragg-Gitterelement eine ortsabhängige Gitterkonstante aufweist, mithin als chirped Volumen-Bragg-Gitterelement ausgebildet ist. Durch die Verwendung eines chirped VBG, das vorteilhaft eine gesteigerte spektrale Akzeptanz gegenüber VBGs mit ortsunabhängiger, konstanter Gitterkonstante aufweist, kann den im Bereich der Zündkerze auftretenden verhältnismäßig großen Temperaturschwankungen Rechnung getragen werden, die sich üblicherweise negativ auf die Wellenlängenstabilität der in der Laserzündkerze enthaltenen Lasereinrichtung auswirken.

[0020] Zur Erzeugung energiereicher Laserzündimpulse weist die erfindungsgemäße Laserzündkerze bevorzugt einen laseraktiven Festkörper mit einer, vorzugsweise passiven, Güteschaltung auf. Das erfindungsgemäße VBG ist auf einfache Weise in den laseraktiven Festkörper integrierbar und eignet sich speziell auch für den Betrieb mit hochenergetischen Laserimpulsen, die aufgrund der hohen Leistungsdichten die Standzeiten von herkömmlichen, dielektrischen Reflexionsschichten stark verringern.

[0021] Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung beziehungsweise Darstellung in der Beschreibung beziehungsweise in der Zeichnung.

[0022] In der Zeichnung zeigt:

- | | | |
|----|------------------|---|
| 35 | Figur 1 | eine Brennkraftmaschine mit einer erfindungsgemäßen Laserzündkerze, |
| 40 | Figur 2 | schematisch eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze aus Figur 1 im Detail, |
| 45 | Figur 3a, 3b, 3c | Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Laserzündkerze mit einem mehrere Volumen-Bragg-Gitter aufweisenden Volumen-Bragg-Gitterelement, |
| 50 | Figur 4a, 4b | Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Laserzündkerze mit einem Volumen-Bragg-Gitterelement verminderter Beugungseffizienz zur Erzeugung von off-axis-Laserstrahlen, |
| 55 | Figur 5 | eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserzündkerze |

ze, und

Figur 6

noch eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Laserzündkerze.

[0023] Eine Brennkraftmaschine trägt in Figur 1 insgesamt das Bezugszeichen 10. Sie dient zum Antrieb eines nicht dargestellten Kraftfahrzeugs. Die Brennkraftmaschine 10 umfasst mehrere Zylinder, von denen in Figur 1 nur einer mit dem Bezugszeichen 12 bezeichnet ist. Ein Brennraum 14 des Zylinders 12 wird von einem Kolben 16 begrenzt. Kraftstoff gelangt in den Brennraum 14 direkt durch einen Injektor 18, der an einen auch als Rail bezeichneten Kraftstoff-Druckspeicher 20 angeschlossen ist.

[0024] In den Brennraum 14 eingespritzter Kraftstoff 22 wird mittels eines Laserstrahls 24 entzündet, der vorzugsweise in Form eines Laserimpulses 24 von einer Lasereinrichtung 26 aufweisenden Laserzündkerze 100 auf den Zündpunkt ZP in dem Brennraum 14 abgestrahlt wird. Hierzu wird die Lasereinrichtung 26 über eine Lichtleitereinrichtung 28 mit Pumplicht gespeist, welches von einer Pumplichtquelle 30 bereitgestellt wird. Die Pumplichtquelle 30 wird von einem Steuergerät 32 gesteuert, das auch den Injektor 18 ansteuert.

[0025] Die Pumplichtquelle 30 bildet zusammen mit der Lichtleitereinrichtung 28 und der die Lasereinrichtung 26 aufweisenden Laserzündkerze 100 ein laserbasiertes Zündsystem 27 der Brennkraftmaschine 10.

[0026] Wie aus Figur 2 ersichtlich ist, weist die Lasereinrichtung 26 neben einem laseraktiven Festkörper 44 erfindungsgemäß auch eine passive Güteschaltung 46 auf, so dass die Komponenten 44, 46 zusammen mit einem Einkoppelspiegel 42 und einem Auskoppelspiegel 48 einen Laser-Oszillator bilden.

[0027] Die grundsätzliche Funktionsweise der Lasereinrichtung 26 ist folgende: Pumplicht 60, das der Lasereinrichtung 26 über die Lichtleitereinrichtung 28 zugeführt wird, tritt durch den für eine Wellenlänge des Pumplichts 60 durchsichtigen Einkoppelspiegel 42 in den laseraktiven Festkörper 44 ein. Dort wird das Pumplicht 60 absorbiert, was zu einer Besetzungsinversion führt. Die zunächst hohen Transmissionsverluste der passiven Güteschaltung 46 verhindern eine Laser-Oszillation in der Lasereinrichtung 26. Mit steigender Pumpdauer steigt jedoch auch die Strahlungsdichte in dem Inneren des durch den laseraktiven Festkörper 44 und die passive Güteschaltung 46 sowie die Spiegel 42, 48 gebildeten Resonators. Ab einer gewissen Strahlungsdichte bleicht die passive Güteschaltung 46 beziehungsweise ein sättigbarer Absorber der passiven Güteschaltung 46 aus, so dass eine Laser-Oszillation in dem Resonator zustande kommt.

[0028] Durch diesen Mechanismus wird ein Laserstrahl 24 in Form eines sog. Riesenimpulses erzeugt, der durch den Auskoppelspiegel 48 hindurchtritt und nachfolgend als Laserzündimpuls bezeichnet wird.

[0029] Anstelle der vorstehend beschriebenen passiven Güteschaltung 46 ist auch der Einsatz einer aktiven Güteschaltung denkbar.

[0030] Erfindungsgemäß ist mindestens ein Volumen-Bragg-Gitterelement in dem Strahlengang der Laserzündkerze 100 angeordnet. Vorliegend ist der Auskoppelspiegel 48 durch ein derartiges Volumen-Bragg-Gitterelement gebildet, so dass an dieser Stelle vorteilhaft auf eine herkömmliche dielektrische Reflexionsbeschichtung verzichtet werden kann.

[0031] Das den Auskoppelspiegel bildende Volumen-Bragg-Gitterelement 48 kann vorteilhaft direkt in die Lasereinrichtung 26 integriert sein, beispielsweise durch Einschreiben eines entsprechenden Gittermusters in den laseraktiven Festkörper 44 bzw. die Güteschaltung 46.

[0032] Das Volumen-Bragg-Gitterelement 48 kann alternativ hierzu auch als separates Bauteil ausgeführt sein, das extern zu den Komponenten 44, 46 angeordnet ist oder mit der Lasereinrichtung 26 beispielsweise durch Ansprenge- oder adhäsionsfreie Bonden verbindbar ist.

[0033] Das Volumen-Bragg-Gitterelement 48 ist vorliegend neben seiner Funktion als Auskoppelspiegel so ausgebildet, dass es als Strahlteiler wirkt. Dadurch werden die durch die Lasereinrichtung 26 erzeugten Laserimpulse 24 vorteilhaft in mehrere Teilstrahlen aufgeteilt. Diese Teilstrahlen können durch eine dem Volumen-Bragg-Gitterelement 110 nachgeordnete, nicht in Figur 2 abgebildete Fokussieroptik vorteilhaft auf mehrere unterschiedliche Zündpunkte in dem Brennraum 14 (Figur 1) der Brennkraftmaschine 10 gebündelt werden.

[0034] Figur 3a zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze 100, bei der ein außerhalb der Lasereinrichtung 26 angeordnetes Volumen-Bragg-Gitterelement 110 vorgesehen ist. Das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 gemäß Figur 3a weist mindestens zwei unterschiedliche Volumen-Bragg-Gitter auf, so dass die von der Lasereinrichtung 26 erzeugte Laserstrahlung 24 wie bereits beschrieben in zwei Teilstrahlen 24a, 24b aufgeteilt wird. Die Integration der mindestens zwei unterschiedlichen Volumen-Bragg-Gitter in das erfindungsgemäße Volumen-Bragg-Gitterelement 110 ist in Figur 3a durch die sich in zwei unterschiedliche Raumrichtungen erstreckenden Linienscharen symbolisiert.

[0035] Wie aus Figur 3a ersichtlich ist, wird die aus dem Volumen-Bragg-Gitterelement 110 austretende Laserstrahlung 24a, 24b zunächst durch eine bikonkave Zerstreuungslinse 49a aufgeweitet, so dass sie danach durch eine der Zerstreuungslinse 49a nachgeordnete bikonvexe Sammellinse 49b auf die Zündpunkte ZP1, ZP2 in den Brennraum 14 der Brennkraftmaschine 10 (Figur 1) fokussierbar ist. Vorliegend bildet die Sammellinse 49b gleichzeitig ein den Innenraum der Laserzündkerze 100 gegenüber dem Brennraum 14 der Brennkraftmaschine abschließendes Brennraumfenster.

[0036] Figur 3b zeigt eine weitere Variante der erfin-

dungsgemäßen Laserzündkerze 100, bei der das mindestens zwei unterschiedliche Volumen-Bragg-Gitter aufweisende Volumen-Bragg-Gitterelement 110 monolithisch integriert ist in die Lasereinrichtung 26.

[0037] Figur 3c zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze 100, bei der die mindestens zwei unterschiedlichen Volumen-Bragg-Gitter zur Realisierung einer räumlichen Mehrfachzündung vorteilhaft direkt in das Brennraumfenster 49c integriert sind.

[0038] Bei dieser Erfindungsvariante ist die Zerstreuungslinse 49a und die Sammellinse 49b in dem Innenraum der Laserzündkerze 100 angeordnet.

[0039] Figur 4a zeigt eine weitere sehr vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze 100, bei der eine räumliche Mehrfachzündung vorteilhaft dadurch realisiert wird, dass das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 eine geringere Beugungseffizienz aufweist als etwa 95%. Dadurch entsteht neben einem zu der optischen Achse OA der Lasereinrichtung 26 koaxialen primären Teilstrahl 24a auch ein sogenannter off-axis-Teilstrahl 24b, der durch die vorliegend nicht näher bezeichnete Fokussieroptik auf einen zweiten Zündpunkt ZP2 außerhalb der optischen Achse OA fokussiert wird.

[0040] Durch die Auswahl der Beugungseffizienz des erfindungsgemäßen Volumen-Bragg-Gitterelements 110 kann vorteilhaft die Verteilung der Laserleistung auf die verschiedenen Laserzündpunkte ZP1, ZP2 gesteuert werden.

[0041] Figur 4b zeigt eine weitere sehr vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze 100, bei der ein off-axis-Laserteilstrahl 24b wiederum durch die Vorsehung eines Volumen-Bragg-Gitterelements 110 mit einer geringen Beugungseffizienz von etwa 50% erzeugt wird. Im Unterschied zu der in Figur 4a abgebildeten Erfindungsvariante weist die Laserzündkerze 100 gemäß Figur 4b ein bewegbar angeordnetes Volumen-Bragg-Gitterelement 110 auf, das vorliegend mittels eines Drehgelenks 111 drehbar an einer Gehäuseinnenwand der Laserzündkerze 100 gelagert ist. Auf diese Weise kann das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 unter Antrieb durch die Antriebseinrichtung 112 vorteilhaft so gegenüber einer die Laserstrahlung 24 auskoppelnden Stirnseite der Lasereinrichtung 26 verkippt werden, dass der off-axis-Laserteilstrahl 24b dann erzeugt wird, wenn das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 in einem entsprechenden Winkel bezüglich der Lasereinrichtung 26 bzw. der optischen Achse OA der Laserzündkerze angeordnet ist.

[0042] Das heißt, bei der in Figur 4b veranschaulichten Erfindungsvariante kann durch entsprechende Ausrichtung des Volumen-Bragg-Gitterelements 110, die durch die Antriebseinheit 112 steuerbar ist, zwischen einer Laserzündung nur in dem Zündpunkt ZP1 oder auch in dem Zündpunkt ZP2 gewählt werden.

[0043] Im Unterschied zu herkömmlichen deformierbaren Sammellinsen zur Realisierung einer räumlichen

Mehrfachzündung erfordert die erfindungsgemäße Konfiguration einer verhältnismäßig geringe Antriebsenergie und einen sehr geringen axialen Verstellweg der Antriebseinheit 112 parallel zu der optischen Achse OA der Laserzündkerze 100, was durch die verhältnismäßig geringe Winkelakzeptanz des Volumen-Bragg-Gitterelements 110 bedingt ist.

[0044] Figur 5 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laserzündkerze 100, bei der das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 bevorzugt eine möglichst hohe Beugungseffizienz aufweist, insbesondere eine Beugungseffizienz von 99% oder mehr.

[0045] Auf diese Weise kann durch entsprechende Ausrichtung des Volumen-Bragg-Gitterelements 110 relativ zu der Lasereinrichtung 26 ein off-axis-Zündpunkt ZP' realisiert werden, dessen Lage in dem Brennraum 14 abhängig ist von dem Verkippfungswinkel zwischen dem Volumen-Bragg-Gitterelement 110 und der ihm zugeordneten Stirnfläche der Lasereinrichtung 26 beziehungsweise der optischen Achse OA.

[0046] Figur 6 zeigt eine weitere sehr vorteilhafte Ausführungsform der Laserzündkerze 100, bei der ein Volumen-Bragg-Gitterelement 110 bewegbar angeordnet ist relativ zu der Lasereinrichtung 26 beziehungsweise ihrer optischen Achse OA. Das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 ist dabei vorliegend eingefasst durch einen Montagering 115, der wie aus Figur 6 ersichtlich federkraftbeaufschlagt und so gegenüber dem Gehäuse der Laserzündkerze 100 angeordnet ist, dass das in dem Montagering 115 gehaltene Volumen-Bragg-Gitterelement 110 in Planlage bezüglich einer Auskoppelfläche 48 befindlich ist, solange es nicht wie abgebildet durch die Antriebseinheit 112 ausgelenkt wird.

[0047] Zwischen der Lasereinrichtung 26 beziehungsweise ihrer Auskoppelfläche 48' und der entsprechenden Stirnfläche des Volumen-Bragg-Gitterelements 110 ist vorliegend erfindungsgemäß ein Abstandshalter 116 vorgesehen. Der Abstandshalter 116 kann bevorzugt, ebenso wie der Montagering 115, eine ringförmige Geometrie aufweisen, so dass die von der Lasereinrichtung 26 erzeugte Laserstrahlung durch den Montagering 115 hindurch auf das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 austreten kann.

[0048] Gleichzeitig gewährleistet der Abstandshalter 116 eine präzise Planlage des Volumen-Bragg-Gitterelements 110 gegenüber der Lasereinrichtung 26. Die entsprechenden Stirnflächen des Abstandshalters 116 weisen hierzu bevorzugt eine Parallelität von etwa 2 µm oder weniger auf.

[0049] Durch die Vorsehung des erfindungsgemäßen Abstandshalters 116 ist ferner vorteilhaft gewährleistet, dass keine Berührung zwischen dem Volumen-Bragg-Gitterelement 110 und der Lasereinrichtung 26 stattfindet, wodurch eine mechanische Beeinträchtigung der Auskoppelfläche 48' verhindert wird. Über die Antriebseinrichtung 112, bei der es sich beispielsweise um einen piezoelektrischen Aktor handeln kann, kann das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 wie aus Figur 6 ersichtlich

aus einer Ruhelage, in der seine Längsachse einen rechten Winkel zu der optischen Achse OA der Lasereinrichtung 26 aufweist, verkippt werden, so dass die räumliche Lage des Zündpunkts in dem Brennraum 14 in der bereits vorstehend beschriebenen Weise präzise einstellbar ist.

[0050] Bei weiteren bevorzugten Erfindungsvarianten kann das Volumen-Bragg-Gitterelement 110 eine ortsabhängige Gitterkonstante aufweisen, um die spektrale Akzeptanz des Volumen-Bragg-Gitterelements 110 in ansich bekannter Art und Weise zu erhöhen.

[0051] Das erfindungsgemäße Volumen-Bragg-Gitterelement 110 ermöglicht vorteilhaft die Bereitstellung einer kostengünstigen und kompakten Laserzündkerze 100, die gleichzeitig eine räumliche und zeitliche Mehrfachzündung bietet. Zudem ist das erfindungsgemäße Volumen-Bragg-Gitterelement 110 vorteilhaft geeignet für die bei der Laserzündung auftretenden hohen optischen Pulsleistungen und bis mindestens etwa 400 °C temperaturstabil.

Patentansprüche

1. Laserzündkerze (100) für eine Brennkraftmaschine, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens ein als Volumen-Bragg-Gitterelement (48, 110), das als Strahlteiler ausgebildet ist, um in der Laserzündkerze (100) geführte Laserstrahlung (24) in mehrere Teilstrahlen aufzuteilen, in einem Strahlengang der Laserzündkerze (100) angeordnet ist.
2. Laserzündkerze (100) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Volumen-Bragg-Gitterelement (110) mindestens zwei unterschiedliche Volumen-Bragg-Gitter aufweist.
3. Laserzündkerze (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Volumen-Bragg-Gitterelement (110) in eine Fokussieroptik (49b) und/oder ein Brennraumfenster (49c) integriert ist.
4. Laserzündkerze (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Volumen-Bragg-Gitterelement (110) eine Beugungseffizienz aufweist, die geringer ist als etwa 95 Prozent.
5. Laserzündkerze (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Volumen-Bragg-Gitterelement (110) relativ zu einer optischen Achse (OA) der Laserzündkerze (100) bewegbar angeordnet ist.
6. Laserzündkerze (100) nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** Antriebsmittel (112) zur Bewegung des Volumen-Bragg-Gitterelements (110).

7. Laserzündkerze (100) nach einem der Ansprüche 5 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen einer Auskoppelfläche (48') einer in der Laserzündkerze (100) angeordneten Lasereinrichtung (26) und dem Volumen-Bragg-Gitterelement (110) ein, vorzugsweise eine im wesentlichen ringförmige Geometrie aufweisender, Abstandshalter (116) angeordnet ist, dessen zur Kontaktierung der Auskoppelfläche (48') und des Volumen-Bragg-Gitterelements (110) vorgesehene Stirnflächen planparallel zueinander sind.
8. Laserzündkerze (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Volumen-Bragg-Gitterelement (110) eine ortsabhängige Gitterkonstante aufweist.
9. Laserzündkerze (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Volumen-Bragg-Gitterelement (110) monolithisch integriert ist in einen laseraktiven Festkörper (44) und/oder eine weitere in dem Strahlengang angeordnete optische Komponente.
10. Laserzündkerze (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein laseraktiver Festkörper (44) mit einer passiven Güteschaltung (46) in die Laserzündkerze (100) integriert ist.

Claims

1. Laser ignition plug (100) for an internal combustion engine, **characterized in that** at least one volume Bragg grating element (48, 110), which is configured as a beam splitter for splitting laser radiation (24) guided in the laser ignition plug (100) into a plurality of partial beams, is arranged in a beam path of the laser ignition plug (100).
2. Laser ignition plug (100) according to Claim 1, **characterized in that** the volume Bragg grating element (110) has at least two different volume Bragg gratings.
3. Laser ignition plug (100) according to one of Claims 1 to 2, **characterized in that** the volume Bragg grating element (110) is integrated in focusing optics (49b) and/or a combustion space window (49c).
4. Laser ignition plug (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the volume Bragg grating element (110) has a diffraction efficiency that is less than approximately 95 percent.
5. Laser ignition plug (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the volume

Bragg grating element (110) is arranged such that it is moveable relative to an optical axis (OA) of the laser ignition plug (100).

6. Laser ignition plug (100) according to Claim 5, **characterized by** drive means (112) for moving the volume Bragg grating element (110).
7. Laser ignition plug (100) according to one of Claims 5 to 6, **characterized in that** a spacer (116), which preferably has a substantially annular geometry and whose end faces, which are provided for making contact with a coupling-out surface (48') of a laser device (26) arranged in the laser ignition plug (100) and the volume Bragg grating element (110), are plane-parallel with respect to one another, is arranged between the coupling-out surface (48') and the volume Bragg grating element (110).
8. Laser ignition plug (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the volume Bragg grating element (110) has a location-dependent grating constant.
9. Laser ignition plug (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** the volume Bragg grating element (110) is monolithically integrated in a laser-active solid body (44) and/or a further optical component arranged in the beam path.
10. Laser ignition plug (100) according to one of the preceding claims, **characterized in that** a laser-active solid body (44) with a passive Q switch (46) is integrated in the laser ignition plug (100).

Revendications

1. Bougie d'allumage à laser (100) pour un moteur à combustion interne, **caractérisée en ce qu'**au moins un élément de grille de Bragg en volume (48, 110) développé en tant que diviseur de faisceau, est disposé dans un chemin de faisceau de la bougie d'allumage à laser (100) pour répartir le rayonnement laser (24) guidé dans la bougie d'allumage à laser (100) en plusieurs faisceaux partiels.
2. Bougie d'allumage à laser (100) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** l'élément de grille de Bragg en volume (110) comporte au moins deux grilles de Bragg en volume différentes.
3. Bougie d'allumage à laser (100) selon une des revendications 1 à 2, **caractérisée en ce que** l'élément de grille de Bragg en volume (110) est intégré dans une optique de focalisation (49b) et/ou dans une fenêtre de la chambre de combustion (49c).

4. Bougie d'allumage à laser (100) selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'élément de grille de Bragg en volume (110) présente une efficacité de diffraction qui est inférieure à environ 95 pourcent.
5. Bougie d'allumage à laser (100) selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'élément de grille de Bragg en volume (110) est disposé de manière mobile par rapport à un axe optique (OA) de la bougie d'allumage à laser (100).
6. Bougie d'allumage à laser (100) selon la revendication 5, **caractérisée par** un moyen de commande (112) pour le déplacement de l'élément de grille de Bragg en volume (110).
7. Bougie d'allumage à laser (100) selon une des revendications 5 à 6, **caractérisée en ce qu'**une entretoise (116) est disposée entre une surface de couplage de sortie (48') d'un dispositif laser (26) disposé dans la bougie d'allumage à laser (100) et l'élément de grille de Bragg en volume (110), cette entretoise ayant de préférence une géométrie de forme essentiellement annulaire dont les surfaces frontales à faces mutuellement parallèles assurent le contact avec la surface de couplage de sortie (48') et avec l'élément de grille de Bragg en volume (110).
8. Bougie d'allumage à laser (100) selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'élément de grille de Bragg en volume (110) présente une constante de grille dépendant de la localisation.
9. Bougie d'allumage à laser (100) selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** l'élément de grille de Bragg en volume (110) est intégré de manière monolithique dans un corps solide actif du laser (44) et/ou qu'il constitue un autre composant optique disposé dans le chemin de faisceau.
10. Bougie d'allumage à laser (100) selon une des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'**un corps solide actif du laser (44) est intégré dans la bougie d'allumage à laser (100) avec un circuit passif de déclenchement (46).

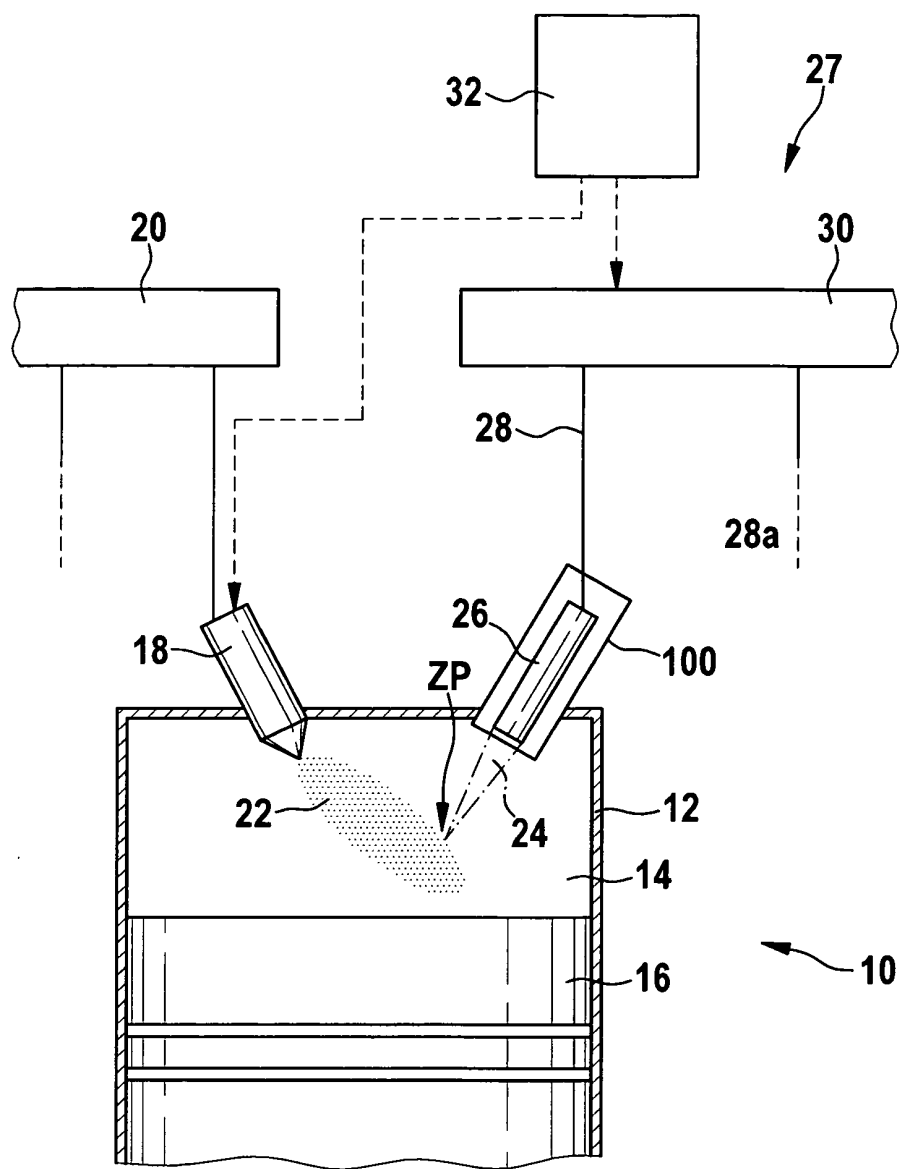


Fig. 1

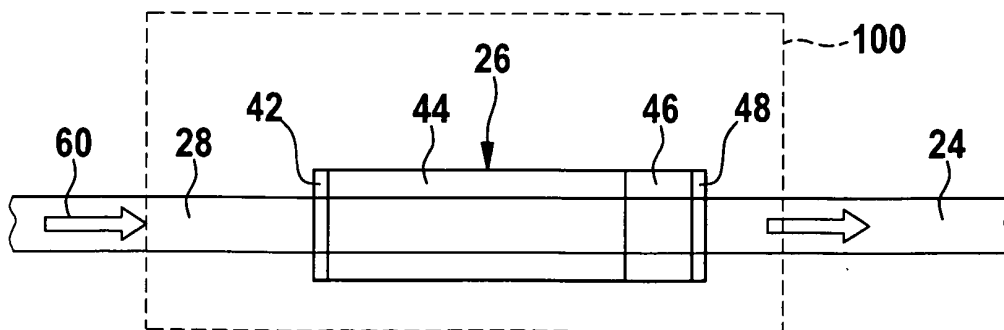


Fig. 2

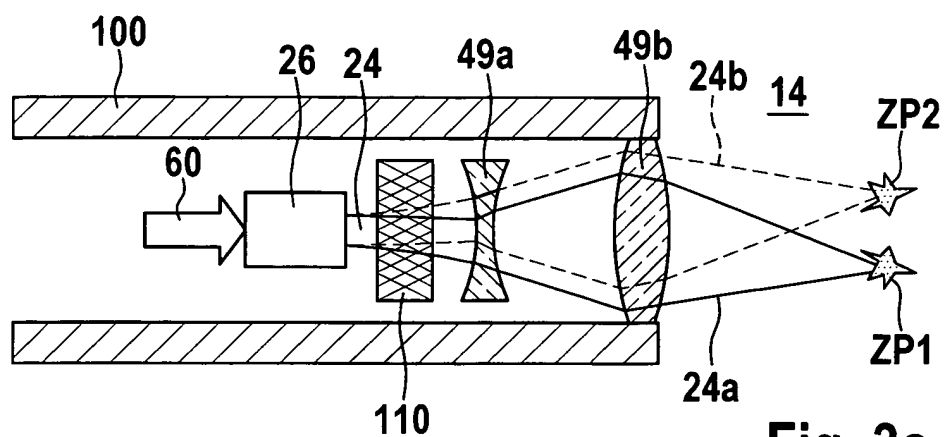


Fig. 3a

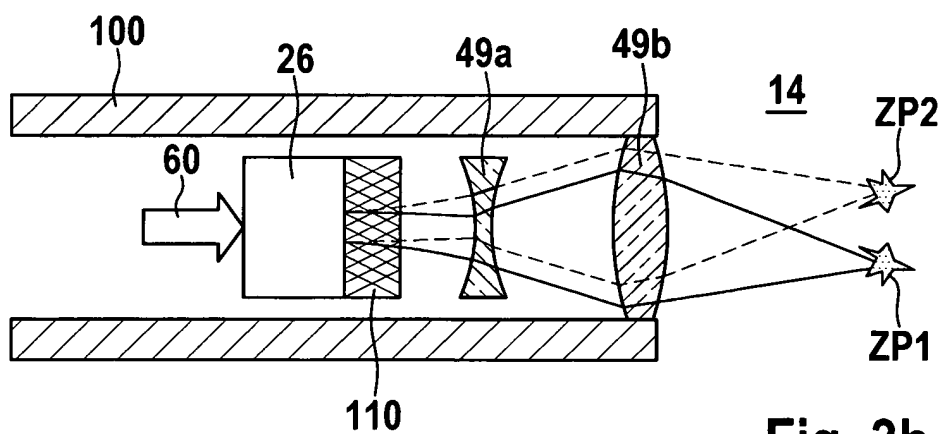


Fig. 3b

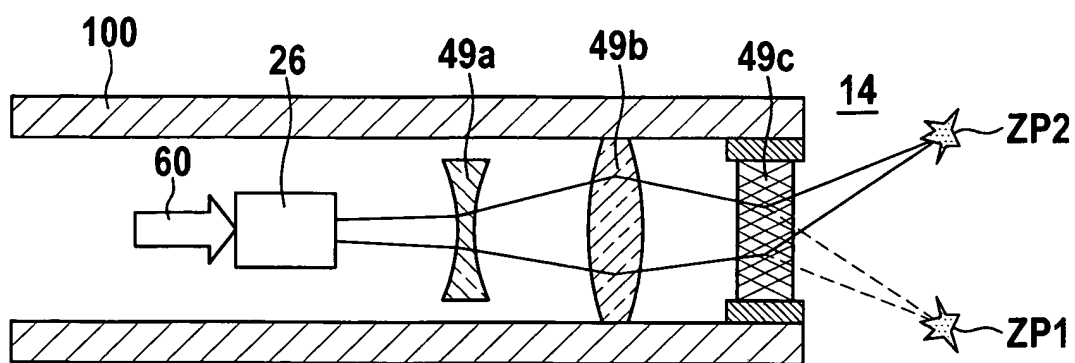


Fig. 3c

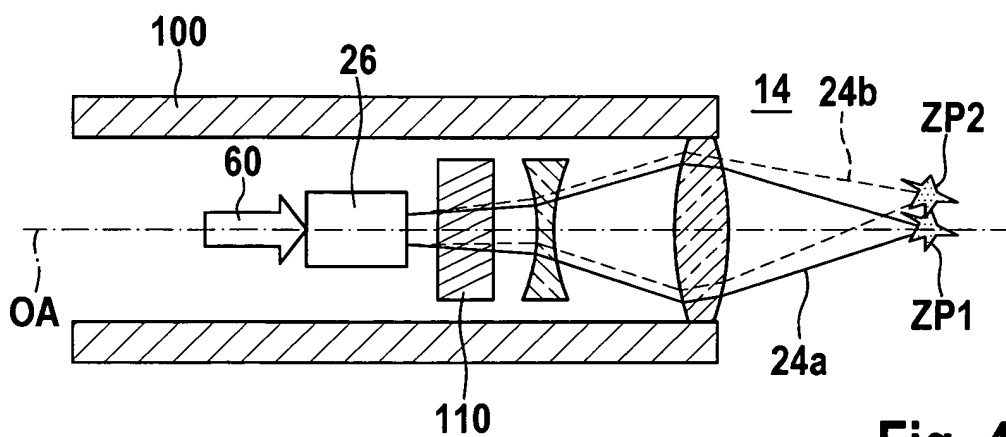


Fig. 4a

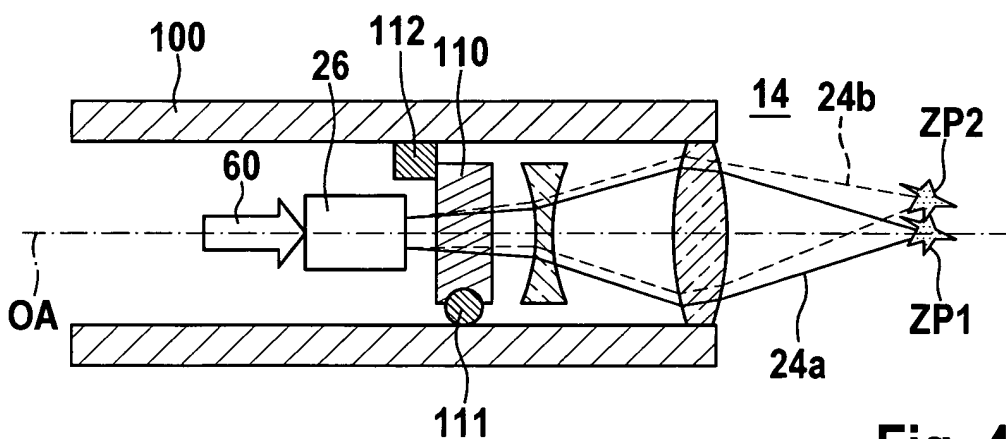


Fig. 4b

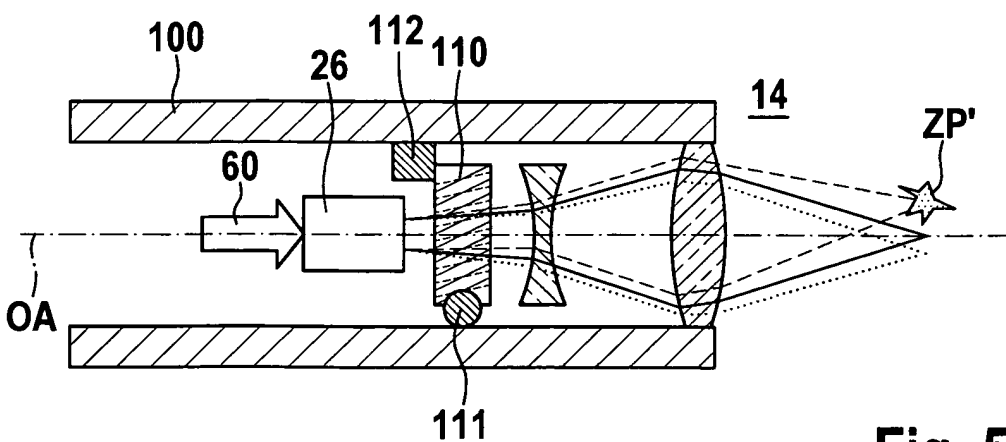


Fig. 5

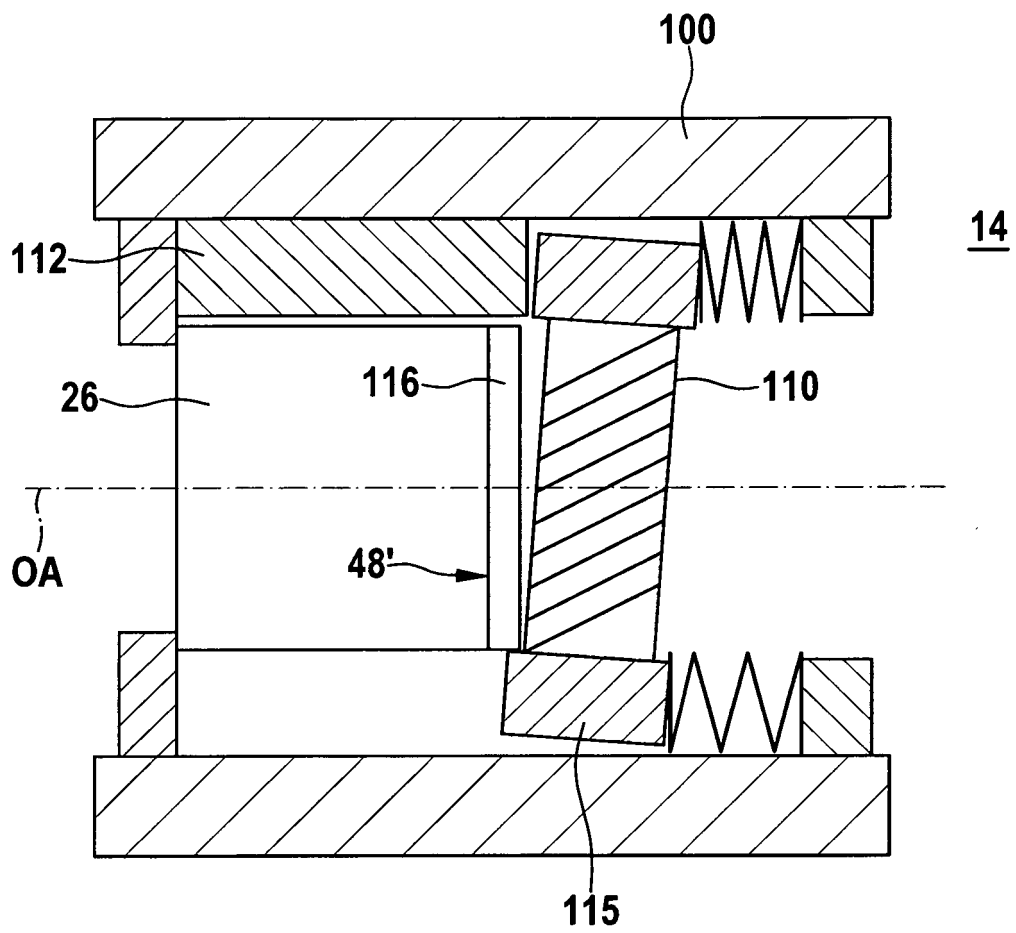


Fig. 6

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

- JP 2006242038 A [0003]
- DE 10350101 [0004]