

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第6992639号

(P6992639)

(45)発行日 令和4年1月13日(2022.1.13)

(24)登録日 令和3年12月13日(2021.12.13)

(51)国際特許分類

F 0 2 P 23/04 (2006.01)

F I

F 0 2 P 23/04

A

請求項の数 6 (全18頁)

(21)出願番号	特願2018-56611(P2018-56611)	(73)特許権者	000004260 株式会社デンソー
(22)出願日	平成30年3月23日(2018.3.23)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(65)公開番号	特開2019-167888(P2019-167888 A)	(74)代理人	110000648 特許業務法人あいち国際特許事務所
(43)公開日	令和1年10月3日(2019.10.3)	(72)発明者	石川 智啓 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式 会社デンソー内
審査請求日	令和3年2月4日(2021.2.4)	(72)発明者	金原 賢治 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式 会社デンソー内
		審査官	小林 勝広

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザ点火装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

パルスレーザ（Lp）を発振させるレーザ発振光学系（2）と、
上記パルスレーザを燃焼室（6）内に集光させる集光光学素子（3）と、
上記集光光学素子を内側に収容するハウジング（4）と、
上記ハウジングにおける上記集光光学素子よりも先端側に設けられると共に上記パルスレーザを透過させる光学窓（5）と、を有し、
上記パルスレーザが、少なくとも上記光学窓を通過する部分において、光軸を囲むリング状となるよう構成されており、
上記レーザ発振光学系は、入射光を、光軸を囲むリング状の出射光に変換するアキシコンレンズ（22）を有し、
上記レーザ発振光学系は、励起光（L0）を発生させる励起光源（21）と、上記励起光を入射させて上記リング状の出射光に変換する上記アキシコンレンズと、上記出射光を上記光軸に平行な平行光に変換するコリメートレンズ（23）と、上記平行光として入射した上記励起光によって励起されることで上記パルスレーザを出射するレーザ共振器（24）と、を有し、
上記レーザ共振器は、光軸を含む領域に形成された不活性媒質（241）と、該不活性媒質の外周側に筒状に形成されと共に該不活性媒質よりも光屈折率の大きい筒状媒質（242）とを有し、上記筒状媒質において、上記パルスレーザが共振するよう構成されている、レーザ点火装置（1）。

【請求項 2】

パルスレーザ（Lp）を発振させるレーザ発振光学系（2）と、
上記パルスレーザを燃焼室（6）内に集光させる集光光学素子（3）と、
上記集光光学素子を内側に収容するハウジング（4）と、
上記ハウジングにおける上記集光光学素子よりも先端側に設けられると共に上記パルスレーザを透過させる光学窓（5）と、を有し、
上記パルスレーザが、少なくとも上記光学窓を通過する部分において、光軸を囲むリング状となるよう構成されており、
上記レーザ発振光学系は、励起光（L0）を発生させる励起光源（21）として、多数の発光素子（211）を平面上に配列してなる面発光レーザ（210）を有し、該面発光レーザは、光軸を囲むリング状の上記励起光を出射することができるよう構成されており、
上記レーザ発振光学系は、上記面発光レーザから出射した上記励起光によって励起されることで上記パルスレーザを出射するレーザ共振器（24）を有し、
上記レーザ共振器は、光軸を含む領域に形成された不活性媒質（241）と、該不活性媒質の外周側に筒状に形成されると共に該不活性媒質よりも光屈折率の大きい筒状媒質（242）とを有し、上記筒状媒質において、上記パルスレーザが共振するよう構成されている、レーザ点火装置（1）。

10

【請求項 3】

パルスレーザ（Lp）を発振させるレーザ発振光学系（2）と、
上記パルスレーザを燃焼室（6）内に集光させる集光光学素子（3）と、
上記集光光学素子を内側に収容するハウジング（4）と、
上記ハウジングにおける上記集光光学素子よりも先端側に設けられると共に上記パルスレーザを透過させる光学窓（5）と、を有し、
上記パルスレーザが、少なくとも上記光学窓を通過する部分において、光軸を囲むリング状となるよう構成されており、
上記レーザ発振光学系は、励起光（L0）を発生させる励起光源（21）と、上記励起光を導光する筒状光ファイバ（250）と、該筒状光ファイバの出射端面（255）から出射した上記励起光によって励起されることで上記パルスレーザを出射するレーザ共振器（24）と、を有し、上記筒状光ファイバは、長手方向に直交する断面が環状となるように形成された筒状外周部（251）を有し、導光される上記励起光が、上記筒状外周部の内周面と外周面とにおいて全反射しながら上記出射端面へ向かうよう構成されており、
上記レーザ発振光学系は、上記筒状光ファイバから出射した上記励起光によって励起されることで上記パルスレーザを出射するレーザ共振器（24）を有し、
上記レーザ共振器は、光軸を含む領域に形成された不活性媒質（241）と、該不活性媒質の外周側に筒状に形成されると共に該不活性媒質よりも光屈折率の大きい筒状媒質（242）とを有し、上記筒状媒質において、上記パルスレーザが共振するよう構成されている、レーザ点火装置（1）。

20

30

【請求項 4】

上記筒状光ファイバに入射させる上記励起光は、光軸を囲むリング状である、請求項 3 に記載のレーザ点火装置。

40

【請求項 5】

上記レーザ発振光学系は、入射光を、光軸を囲むリング状の出射光に変換するアキシコンレンズ（22）を有し、該アキシコンレンズから出射したリング状の上記出射光を、上記筒状光ファイバに入射させるよう構成されている、請求項 4 に記載のレーザ点火装置。

【請求項 6】

上記レーザ発振光学系は、多数の発光素子（211）を平面上に配列してなる面発光レーザ（210）を有し、該面発光レーザは、光軸を囲むリング状の上記励起光を出射することができるよう構成されており、該面発光レーザから出射したリング状の上記励起光を、上記筒状光ファイバに入射させるよう構成されている、請求項 4 に記載のレーザ点火装置。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、レーザ点火装置に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

自動車等の内燃機関の点火手段として、レーザ光を用いて混合気点火するレーザ点火装置がある。かかるレーザ点火装置は、レーザ光を燃焼室内に集光させる集光光学素子を、ハウジング内に配置してなる。そして、例えば、特許文献 1 に開示されたレーザ点火装置においては、集光光学素子よりも先端側において、レーザ光を透過させる光学窓が、ハウジングに取り付けられている。光学窓は、例えば透明なガラスによって構成されている。この光学窓によって、燃焼室内の熱、圧力、燃料、煤等による汚染等から集光光学素子を保護している。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【文献】特開 2 0 1 3 - 1 6 4 0 4 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかしながら、光学窓は、燃焼室に面する位置に設けられている。そのため、燃焼室内において生じた金属酸化物等のデポジットが、光学窓の外側面に付着、堆積することがある。かかる場合、光学窓におけるレーザ光の透過率が低減し、燃焼室内に集光されるレーザ光の強度が低下することが懸念される。

20

【 0 0 0 5 】

そこで、本願発明者らは、光学窓におけるデポジットの付着、堆積のメカニズムにつき研究した。光学窓は、燃焼室内の燃焼ガスに曝されることにより、高温となる。この高温となった光学窓に、デポジットの由来であるエンジンオイルが付着し、焼き付きが起こることで、デポジットが発生することが分かった。

【 0 0 0 6 】

ここで、光学窓は、その外周端においてハウジングの先端部に固定されている。それゆえ、光学窓の外周部分は、ハウジングを介して放熱されやすい。そのため、光学窓の外周部分は、比較的溫度が高くなりやすく、中央部分が比較的高温となりやすい。それゆえ、光学窓の外周部分よりも中央部分にデポジットの付着、堆積が生じやすいといえる。

30

【 0 0 0 7 】

このようなデポジットの生成メカニズム及び傾向に着目し、デポジットの付着、堆積が生じた場合でも、光学窓におけるレーザ光を透過させる位置を適切にすることで、燃焼室への集光強度の低下を抑制する余地がある。

【 0 0 0 8 】

本発明は、かかる課題に鑑みてなされたものであり、燃焼室への集光強度の低下を抑制することができるレーザ点火装置を提供しようとするものである。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本発明の一態様は、パルスレーザ（L p）を発振させるレーザ発振光学系（2）と、上記パルスレーザを燃焼室（6）内に集光させる集光光学素子（3）と、上記集光光学素子を内側に収容するハウジング（4）と、上記ハウジングにおける上記集光光学素子よりも先端側に設けられると共に上記パルスレーザを透過させる光学窓（5）と、を有し、上記パルスレーザが、少なくとも上記光学窓を通過する部分において、光軸を囲むリング状となるよう構成されており、

上記レーザ発振光学系は、入射光を、光軸を囲むリング状の出射光に変換するアキシコン

50

レンズ(22)を有し、

上記レーザ発振光学系は、励起光(L0)を発生させる励起光源(21)と、上記励起光を入射させて上記リング状の出射光に変換する上記アキシコンレンズと、上記出射光を上記光軸に平行な平行光に変換するコリメートレンズ(23)と、上記平行光として入射した上記励起光によって励起されることで上記パルスレーザを出射するレーザ共振器(24)と、を有し、

上記レーザ共振器は、光軸を含む領域に形成された不活性媒質(241)と、該不活性媒質の外周側に筒状に形成されると共に該不活性媒質よりも光屈折率の大きい筒状媒質(242)とを有し、上記筒状媒質において、上記パルスレーザが共振するよう構成されている、レーザ点火装置(1)にある。

10

本発明の他の態様は、パルスレーザ(Lp)を発振させるレーザ発振光学系(2)と、

上記パルスレーザを燃焼室(6)内に集光させる集光光学素子(3)と、

上記集光光学素子を内側に収容するハウジング(4)と、

上記ハウジングにおける上記集光光学素子よりも先端側に設けられると共に上記パルスレーザを透過させる光学窓(5)と、を有し、

上記パルスレーザが、少なくとも上記光学窓を通過する部分において、光軸を囲むリング状となるよう構成されており、

上記レーザ発振光学系は、励起光(L0)を発生させる励起光源(21)として、多数の発光素子(211)を平面上に配列してなる面発光レーザ(210)を有し、該面発光レーザは、光軸を囲むリング状の上記励起光を出射することができるよう構成されており、

20

上記レーザ発振光学系は、上記面発光レーザから出射した上記励起光によって励起されることで上記パルスレーザを出射するレーザ共振器(24)を有し、

上記レーザ共振器は、光軸を含む領域に形成された不活性媒質(241)と、該不活性媒質の外周側に筒状に形成されると共に該不活性媒質よりも光屈折率の大きい筒状媒質(242)とを有し、上記筒状媒質において、上記パルスレーザが共振するよう構成されている、レーザ点火装置(1)にある。

本発明の更に他の態様は、パルスレーザ(Lp)を発振させるレーザ発振光学系(2)と、

上記パルスレーザを燃焼室(6)内に集光させる集光光学素子(3)と、

上記集光光学素子を内側に収容するハウジング(4)と、

30

上記ハウジングにおける上記集光光学素子よりも先端側に設けられると共に上記パルスレーザを透過させる光学窓(5)と、を有し、

上記パルスレーザが、少なくとも上記光学窓を通過する部分において、光軸を囲むリング状となるよう構成されており、

上記レーザ発振光学系は、励起光(L0)を発生させる励起光源(21)と、上記励起光を導光する筒状光ファイバ(250)と、該筒状光ファイバの出射端面(255)から出射した上記励起光によって励起されることで上記パルスレーザを出射するレーザ共振器(24)と、を有し、上記筒状光ファイバは、長手方向に直交する断面が環状となるように形成された筒状外周部(251)を有し、導光される上記励起光が、上記筒状外周部の内周面と外周面とにおいて全反射しながら上記出射端面へ向かうよう構成されており、

40

上記レーザ発振光学系は、上記筒状光ファイバから出射した上記励起光によって励起されることで上記パルスレーザを出射するレーザ共振器(24)を有し、

上記レーザ共振器は、光軸を含む領域に形成された不活性媒質(241)と、該不活性媒質の外周側に筒状に形成されると共に該不活性媒質よりも光屈折率の大きい筒状媒質(242)とを有し、上記筒状媒質において、上記パルスレーザが共振するよう構成されている、レーザ点火装置(1)にある。

【発明の効果】

【0010】

上記レーザ点火装置においては、上記パルスレーザが、少なくとも上記光学窓を通過する部分において、光軸を囲むリング状となるよう構成されている。これにより、パルスレー

50

ザは、光学窓の中央部分（すなわち光軸近傍）ではなく、その外周側を透過することができる。

【 0 0 1 1 】

上述のように、光学窓に付着、堆積するデポジットは、光学窓の外周部分よりも中央部分に付着、堆積しやすい。逆に、光学窓の外周部分においては、デポジットが付着、堆積し難い。それゆえ、この外周部分を透過させることができるよう、パルスレーザがリング状となるよう構成してある。その結果、光学窓へのデポジットの付着が生じて、燃焼室への集光強度の低下を抑制することができる。

【 0 0 1 2 】

以上のごとく、上記態様によれば、燃焼室への集光強度の低下を抑制することができるレーザ点火装置を提供することができる。

10

なお、特許請求の範囲及び課題を解決する手段に記載した括弧内の符号は、後述する実施形態に記載の具体的手段との対応関係を示すものであり、本発明の技術的範囲を限定するものではない。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

【図 1】実施形態 1 における、レーザ点火装置の説明図。

【図 2】実施形態 1 における、図 1 のII - II線矢視断面相当の、光学窓におけるパルスレーザの透過位置を示す線図。

【図 3】実施形態 1 における、レーザ点火装置の一部の、光軸を含む平面による断面説明図。

20

【図 4】実施形態 1 における、レーザ共振器の断面説明図。

【図 5】実施形態 1 における、励起光源から出射した励起光の強度分布を示す線図。

【図 6】実施形態 1 における、パルスレーザの強度分布を示す線図。

【図 7】実施形態 1 における、光学窓の温度分布を示す線図。

【図 8】実施形態 2 における、レーザ点火装置の説明図。

【図 9】実施形態 2 における、光軸方向から見た面発光レーザの平面説明図。

【図 10】実施形態 2 における、光軸方向から見た面発光レーザの一部の拡大平面説明図。

【図 11】図 10 のXI - XI線矢視断面説明図。

【図 12】実施形態 3 における、光軸方向から見た面発光レーザの平面説明図。

30

【図 13】実施形態 3 における、環状領域のみ発光させた状態を示す、面発光レーザの平面説明図。

【図 14】実施形態 4 における、レーザ点火装置の説明図。

【図 15】実施形態 4 における、筒状光ファイバの、長手方向に沿った断面説明図。

【図 16】実施形態 5 における、レーザ点火装置の説明図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 4 】

（実施形態 1）

レーザ点火装置に係る実施形態について、図 1 ~ 図 7 を参照して説明する。

本形態のレーザ点火装置 1 は、図 1 に示すごとく、レーザ発振光学系 2 と、集光光学素子 3 と、ハウジング 4 と、光学窓 5 と、を有する。

40

【 0 0 1 5 】

レーザ発振光学系 2 は、パルスレーザ L p を発振させる光学系である。集光光学素子 3 は、パルスレーザ L p を燃焼室 6 内に集光させる光学素子である。本形態において、集光光学素子 3 は、集光レンズである。ハウジング 4 は、集光光学素子 3 を内側に収容する。光学窓 5 は、ハウジング 4 における集光光学素子 3 よりも先端側に設けられると共にパルスレーザ L p を透過させる。

【 0 0 1 6 】

レーザ点火装置 1 は、パルスレーザ L p が、少なくとも光学窓 5 を通過する部分において、図 2 に示すごとく、光軸を囲むリング状となるよう構成されている。同図において、点

50

Aが光軸を示す。本形態においては、パルスレーザL pが、光軸を中心とする円環状となるよう構成されている。

【0017】

本形態において、レーザ点火装置1は、車両等の内燃機関に取り付けられる。図3に示すごとく、レーザ点火装置1は、レーザ点火プラグ10を、その先端部が燃焼室6に露出するように、内燃機関に取り付けて用いられる。そして、レーザ点火装置1は、内燃機関の燃焼室6においてパルスレーザL pを集光させて、混合気に点火するよう構成されている。

【0018】

図3に示すごとく、レーザ点火プラグ10は、外周面に取付ネジ部41を設けたハウジング4と、ハウジング4内に配設した集光光学素子3と、ハウジング4の先端部に取り付けた光学窓5とを少なくとも有する。なお、レーザ点火プラグ10の軸方向において、燃焼室6側を先端側、その反対側を基端側というものとする。また、レーザ点火プラグ10の軸方向は、パルスレーザL pの光軸の方向と同等となっている。

10

【0019】

ハウジング4は、略筒状の金属製部材である。ハウジング4は、光学窓5をその外周端において保持している。また、光学窓5の基端側において、集光光学素子3が、ハウジング4の内側に保持されている。

【0020】

図1に示すごとく、本形態において、レーザ発振光学系2は、アキシコンレンズ22を有する。アキシコンレンズ22は、入射光を、光軸を囲むリング状の出射光に変換するレンズである。

20

なお、「リング状の出射光」など、光に関してリング状というときは、特に示さない限り、光軸に直交する断面の形状が、リング状、すなわち環状であることを示すものとする。ここで、リング状、環状は、必ずしも円環状である必要はなく、例えば、略楕円環状、略多角形環状などとすることもできる。

【0021】

また、リング状の光は、光軸付近における光強度がゼロである必要は必ずしもなく、光軸付近における光強度よりも、その外周側の外周部分に、光強度のピークが来るような強度分布を有するものであればよい。つまり、後述する図6に示す強度分布は、光軸付近における光強度がゼロとなっているが、必ずしもこれに限らず、中央部分の光強度が、外周部分の光強度よりも十分に小さいものであれば、中央部分にも光強度が存在したものとすることもできる。

30

【0022】

レーザ発振光学系2は、励起光源21と、アキシコンレンズ22と、コリメートレンズ23と、レーザ共振器24と、を有する。励起光源21は、励起光L0を発生させる。アキシコンレンズ22は、励起光L0を入射させてリング状の出射光に変換する。コリメートレンズ23は、出射光を光軸に平行な平行光に変換する。レーザ共振器24は、平行光として入射した励起光L0によって励起され、パルスレーザL pを出射する。

【0023】

レーザ共振器24は、レーザ媒質240と、その出射端側に設けたQスイッチ素子243とが接合されており、さらに、光が通過する両端面には、レーザ光を反射する反射鏡244、245として、ダイクロイックミラーがコーティングされている。そのため、共振器24の内側でパルスレーザL pが共振する。また、レーザ媒質240の入射側に設けたダイクロイックミラー（すなわち、反射鏡244）は、励起光L0は透過し、レーザ媒質内で蛍光した光は反射するよう構成されている。また、Qスイッチ素子243側の端面に設けたダイクロイックミラー（すなわち、反射鏡245）は、レーザ媒質240内で蛍光したレーザ光を部分的に反射するよう構成されている。そのため、Qスイッチ素子243側からパルスレーザL pが出射される。

40

【0024】

レーザ発振光学系2のうち、励起光源21は、レーザ点火プラグ10の外部に配置されて

50

いる。励起光源 21 は、例えば、固体レーザ、半導体レーザ等を用いることができる。励起光源 21 とレーザ点火プラグ 10 とは、光ファイバ 25 にて光学的に接続されている。すなわち、光ファイバ 25 の一端が、励起光源 21 に接続され、光ファイバ 25 の他端が、レーザ点火プラグ 10 の基端部に接続されている。

【0025】

レーザ発振光学系 2 のうち、アキシコンレンズ 22 と、コリメートレンズ 23 と、レーザ共振器 24 とは、レーザ点火プラグ 10 に配設されている。すなわち、これらは、ハウジング 4 内に固定されており、集光光学素子 3 よりも基端側に配置されている。

また、本形態においては、光軸方向におけるレーザ共振器 24 と集光光学素子 3 との間に、拡張レンズ 11 が配置されている。拡張レンズ 11 は、レーザ共振器 24 から出射したリング状のパルスレーザ Lp の直径を拡張させながら、集光光学素子 3 へ向かわせる。

10

【0026】

図 4 に示すごとく、レーザ共振器 24 は、不活性媒質 241 と、不活性媒質 241 の外周側に筒状に形成された筒状媒質 242 とを有する。不活性媒質 241 は、光軸を含む領域に形成されている。筒状媒質 242 は、不活性媒質 241 よりも光屈折率の大きいレーザ媒質である。そして、筒状媒質 242 において、パルスレーザ Lp が共振するよう構成されている。

【0027】

例えば、不活性媒質 241 を円柱状に形成し、筒状媒質 242 を円筒状に形成することができる。ただし、必ずしもこれに限らず、不活性媒質 241 の外周を筒状に覆うように筒状媒質 242 が形成されていれば、他の形状とすることもできる。

20

【0028】

不活性媒質 241 は、例えば、YAG (イットリウム・アルミニウム・ガーネット)、YVO₄ (イットリウム・バナデート)、Al₂O₃ (サファイア)、SiO₂ (石英) CaF₂ (フッ化カルシウム) 等によって形成することができる。また、不活性媒質 241 は、空気等であってもよい。

筒状媒質 242 は、例えば、Nd (ネオジウム)、Yb (イッテルビウム) 等を添加した YAG、YVO₄ 等によって形成することができる。

【0029】

そして、不活性媒質 241 と筒状媒質 242 とは、互いの境界面において、筒状媒質 242 を通るレーザ光が全反射する条件を満たすように、レーザ共振器 24 に、励起光 L0 を導入する。例えば、筒状媒質 242 が Nd からなり、不活性媒質 241 が空気であり、励起光 L0 が YAG レーザによるものである場合、境界面に対する入射角が 33.1° 以上となるように、励起光 L0 を導入する。

30

【0030】

本形態のレーザ点火装置 1 においては、図 1 に示すごとく、励起光源 21 にて発生させた励起光 L0 が、光ファイバ 25 を介してレーザ点火プラグ 10 の基端側に導入される。励起光 L0 は、光ファイバ 25 の出射端面から出射すると共に拡散する。この段階で、励起光 L0 の強度分布は、図 5 に示すごとく、光軸を中心とするガウス状分布となっている。同図において、縦軸が光学窓 5 の光軸からの径方向距離 D を示し、横軸が強度 I を示す。

40

【0031】

このガウス状分布の励起光 L0 は、アキシコンレンズ 22 に入射して、リング状に変換されて出射する。すなわち、この出射光は、リング状の励起光 L0 である。特に、本形態においては、このリング状の励起光 L0 は、光軸に直交する断面形状が円環状である。

【0032】

アキシコンレンズ 22 から出射したリング状の励起光 L0 は、直径が広がるように拡張して進む。この拡張するリング状の励起光 L0 は、コリメートレンズ 23 によって、光軸に平行な平行光に変換される。そして、平行光となったリング状の励起光 L0 は、レーザ共振器 24 に入射する。

【0033】

50

レーザ共振器 24 は、Q スイッチ素子を備えている。この Q スイッチ式のレーザ共振器 24 に、平行光であるリング状の励起光 L0 を導入し、レーザ共振器 24 から、短いパルス幅でエネルギーを集中させてパルスレーザ Lp を放出させる。レーザ共振器 24 は、上述のように、不活性媒質 241 とその外側に形成した筒状媒質 242 とを有する（図 4 参照）。励起光 L0 は、筒状媒質 242 の内周面と外周面とにおいて全反射しながら、往復する。これにより、励起光 L0 のエネルギー損失を抑制することができる。また、これにより、励起光 L0 は、リング状を保ったままレーザ共振器 24 内を伝搬し、リング状のパルスレーザ Lp がレーザ共振器 24 から出射する。

【0034】

図 1 に示すごとく、レーザ共振器 24 から出射したパルスレーザ Lp は、拡張レンズ 11 によって直径を拡張された後、集光光学素子 3 によって集光される。集光光学素子 3 から出射したパルスレーザ Lp は、光学窓 5 を透過して、燃焼室 6 内へ向かう。ここで、パルスレーザ Lp は、拡張レンズ 11、集光光学素子 3、及び光学窓 5 において、その光軸から離れた外周部分を透過する。そして、パルスレーザ Lp は、燃焼室 6 内にて焦点 FP を結ぶ。

【0035】

図 2 には、光学窓 5 におけるパルスレーザ Lp の透過する位置を示す。また、この光学窓 5 におけるパルスレーザ Lp の強度分布は、図 6 のように表される。同図において、縦軸が光学窓 5 の光軸からの径方向距離 D を示し、横軸が強度 I を示す。つまり、光軸付近から外周側に離れた位置に、パルスレーザ Lp の強度分布が生じることが分かる。

【0036】

燃焼室 6 内において焦点 FP を結んだパルスレーザ Lp は、焦点 FP において高いエネルギーを集中させることとなる。これにより、燃焼室 6 内においてプラズマが発生する。この発生したプラズマにより、燃焼室 6 内の混合気が着火する。

【0037】

次に、本実施形態の作用効果につき説明する。

上記レーザ点火装置 1 においては、パルスレーザ Lp が、少なくとも光学窓 5 を通過する部分において、光軸を囲むリング状となるよう構成されている（図 2 参照）。これにより、パルスレーザ Lp は、光学窓 5 の中央部分（すなわち光軸近傍）ではなく、その外周側を透過することができる。

【0038】

上述のように、光学窓 5 に付着、堆積するデポジットは、光学窓 5 の外周部分よりも中央部分に付着、堆積しやすい。逆に、光学窓 5 の外周部分付近においては、デポジットが付着、堆積し難い。すなわち、光学窓 5 は、その外周端部においてハウジング 4 の先端部に固定されている。それゆえ、図 7 に示すごとく、光学窓 5 の外周部分は、比較的温度が高くなりやすく、中央部分が比較的高温となりやすい。同図において、縦軸が光学窓 5 の中心（光軸）からの距離 D を示し、横軸が温度 T を示す。

【0039】

それゆえ、この外周部分を透過させることができるよう、パルスレーザ Lp がリング状となるよう構成してある。その結果、光学窓 5 へのデポジットの付着が生じても、燃焼室 6 への集光強度の低下を抑制することができる。

【0040】

本形態において、レーザ発振光学系 2 は、アキシコンレンズ 22 を有する。これにより、容易かつ効果的に、リング状の励起光 L0 を形成することができる。

【0041】

レーザ発振光学系 2 は、励起光源 21 と、アキシコンレンズ 22 と、コリメートレンズ 23 と、レーザ共振器 24 と、を有する。これにより、レーザ共振器 24 によって増幅される前の励起光 L0 をアキシコンレンズ 22 によってリング状にすることができる。それゆえ、レーザ発振光学系 2 の途中において、一旦、励起光 L0 がアキシコンレンズ 22 の先端側において焦点を結んだとしてもプラズマが発生せず、そこでエネルギー損失が発生する

10

20

30

40

50

ことを防ぐことができる。したがって、レーザ発振光学系 2 から出射した後、燃焼室 6 内において集光されたときの集光強度が低下することを防ぐことができる。つまり、燃焼室 6 内において、高い集光強度を得ることができ、着火性を向上させることができる。

【0042】

レーザ共振器 24 は、不活性媒質 241 と筒状媒質 242 とを有し、筒状媒質 242 において、パルスレーザ Lp が共振するよう構成されている。これにより、リング状の励起光 L0 が、レーザ共振器 24 の活性媒質（すなわち筒状媒質 242）を励起し、リング状のパルスレーザ Lp をレーザ共振器 24 から出射させることができる。そして、不活性媒質 241 と筒状媒質 242 との境界面において励起光 L0 を効率的に反射させながら、筒状媒質 242 を励起させることができる。これにより、レーザ共振器 24 内においてエネルギー損失が生じることを抑制しつつ、高い強度のパルスレーザ Lp を得ることができる。

10

【0043】

以上のごとく、本実施形態によれば、燃焼室への集光強度の低下を抑制することができるレーザ点火装置を提供することができる。

【0044】

（実施形態 2）

本実施形態のレーザ点火装置 1 においては、図 8～図 12 に示すごとく、レーザ発振光学系 2 が、励起光源 21 として、面発光レーザ 210 を有する。

面発光レーザ 210 は、図 9～図 11 に示すごとく、多数の発光素子 211 を平面上に配列してなる。面発光レーザ 210 は、光軸を囲むリング状の励起光 L0 を出射することができるよう構成されている。

20

【0045】

すなわち、図 9 に示すごとく、面発光レーザ 210 は、多数の発光素子 211 を、半導体基板 213 における環状領域 214 に、並べて配置してある。環状領域 214 内において、図 10 に示すごとく、発光素子 211 は、半導体基板 213 の主面の広がり方向に多数配列されている。各発光素子 211 からの励起光 L0 の出射方向は、半導体基板 213 の主面の法線方向である。

【0046】

ただし、各発光素子 211 から直接出射する励起光 L0 は、径方向に拡張する。この励起光 L0 を平行光とすべく、図 11 に示すように、マイクロレンズ 212 が、各発光素子 211 の出射面に配置されている。これにより、多数の発光素子 211 から、半導体基板 213 の法線方向に、励起光 L0 が出射する。そして、多数の発光素子 211 がリング状に配置されているため、面発光レーザ 210 からは、リング状の励起光 L0 が出射する。面発光レーザ 210 は、垂直共振器型面発光レーザ（すなわち、VCSEL）にて構成される。

30

【0047】

図 8 に示すごとく、面発光レーザ 210 と光ファイバ 25 との間には、集光レンズ 26 が配置されている。面発光レーザ 210 から出射したリング状の励起光 L0 は、集光レンズ 26 によって光ファイバ 25 の入射端面に集光される。そして、励起光 L0 は、光ファイバ 25 内を伝搬して、レーザ点火プラグ 10 に導かれる。光ファイバ 25 から出射した励起光 L0 は、リング状を保ったまま、径方向に拡張する。

40

【0048】

レーザ点火プラグ 10 に導入された励起光 L0 は、コリメートレンズ 23 によって平行光に変換される。

本形態においても、レーザ発振光学系 2 は、レーザ共振器 24 を有する。レーザ共振器 24 は、面発光レーザ 210 から出射した励起光 L0 によって励起されることで上記パルスレーザ Lp を出射する。実施形態 1 と同様に、レーザ共振器 24 は、不活性媒質 241 と筒状媒質 242 とを有し、筒状媒質 242 において、パルスレーザ Lp が共振するよう構成されている（図 4 参照）。

【0049】

50

コリメートレンズ 2 3 によって平行光となった励起光 L 0 が、レーザ共振器 2 4 を励起して、リング状のパルスレーザ L p が、レーザ共振器 2 4 から出射する。パルスレーザ L p は、実施形態 1 と同様に、拡張レンズ 1 1、集光光学素子 3、光学窓 5 を透過して、燃烧室 6 内において焦点 F P を結ぶ。これにより、燃烧室 6 内の混合気に点火する。

【 0 0 5 0 】

なお、実施形態 2 以降において用いた符号のうち、既出の実施形態において用いた符号と同一のものは、特に示さない限り、既出の実施形態におけるものと同様の構成要素等を表す。

【 0 0 5 1 】

本形態においても、リング状のパルスレーザ L p が、光学窓 5 を透過するよう構成されている。それゆえ、光学窓 5 におけるデポジットの付着、堆積を抑制し、燃烧室 6 への集光強度の低下を抑制することができる。

10

【 0 0 5 2 】

また、本形態においては、励起光 L 0 をレーザ点火プラグ 1 0 の外部でリング状に整形している。そのため、光ファイバ 2 5 の出射端からレーザ点火プラグ 1 0 の光学窓 5 までの距離を短くすることができ、エンジンから受ける圧力・振動により生じうる光軸ずれの影響を抑制することができる。それとともに、エンジンに搭載するレーザ点火プラグ 1 0 を短小化できる。また、レーザ点火プラグ 1 0 における光学素子数を削減できるため、組付け時の光軸ずれを抑制しやすくなる。

その他、実施形態 1 と同様の作用効果を有する。

20

【 0 0 5 3 】

(実施形態 3)

本実施形態は、図 1 2、図 1 3 に示すごとく、面発光レーザ 2 1 0 における多数の発光素子 2 1 1 を、環状領域 2 1 4 のみならず、その内側にも配置した形態である。

つまり、図 1 2 に示すごとく、発光素子 2 1 1 を、半導体基板 2 1 3 上における円形領域 2 1 5 全域に配置している。

【 0 0 5 4 】

図 1 3 のように配置した多数の発光素子 2 1 1 のうち、円形領域 2 1 5 の外周部分の一部である環状領域 2 1 4 の発光素子 2 1 1 のみを、発光させることができるよう構成されている。この環状領域 2 1 4 の発光素子 2 1 1 のみを発光させることで、面発光レーザ 2 1 0 は、実施形態 2 と同様に、リング状の励起光 L 0 を、出射させることができる。

30

その他の構成は、実施形態 1 と同様である。

【 0 0 5 5 】

本形態においては、環状領域 2 1 4 以外にも、発光素子 2 1 1 が配置されている。これにより、環状領域 2 1 4 以外の領域の発光素子 2 1 1 を、適宜発光させることも可能となる。すなわち、円形領域 2 1 5 に配された多数の発光素子 2 1 1 のうちの所望の発光素子 2 1 1 を、適宜発光させることができるように構成することで、レーザ点火装置 1 によるパルスレーザ L p の照射パターンを適宜変更することも可能となる。

【 0 0 5 6 】

例えば、内燃機関の始動時等においては、環状領域 2 1 4 よりも内側の中央領域 2 1 6 の発光素子 2 1 1 のみ、若しくは、環状領域 2 1 4 を含めた円形領域 2 1 5 全体の発光素子 2 1 1 を発光させる。その後、環状領域 2 1 4 の発光素子 2 1 1 のみを発光させる。このような照射パターンとすることもできる。

40

【 0 0 5 7 】

内燃機関の始動時等においては、光学窓 5 に凝縮水が付着している場合があり、凝縮水は光学窓 5 の外周部分に付着しやすい。そこで、始動時等においては、パルスレーザ L p が光学窓 5 の中央部分を透過させるようにすべく、環状領域 2 1 4 よりも内側の発光素子 2 1 1 を発光させることが考えられる。これにより、内燃機関の始動時においては、ガウス状のパルスレーザ L p が、光学窓 5 の中央部分、すなわち凝縮水が付着し難い部分を通過するようにして、集光強度の低下を防ぐことができる。

50

【 0 0 5 8 】

そして、その後、凝縮水が蒸発してからは、図 1 3 に示すごとく、環状領域 2 1 4 の発光素子 2 1 1 のみを発光させて、リング状のパルスレーザ L p が光学窓 5 を透過するようにする。これにより、デポジットの付着、堆積の少ない、光学窓 5 における外周部分にパルスレーザ L p を通過させることで、集光強度の低下を抑制することができる。

その他、実施形態 2 と同様の作用効果を有する。

【 0 0 5 9 】

(実施形態 4)

本実施形態は、図 1 4、図 1 5 に示すごとく、励起光 L 0 をレーザ点火プラグ 1 0 に導く光ファイバとして、筒状光ファイバ 2 5 0 を設けた形態である。

10

本形態において、レーザ発振光学系 2 は、少なくとも、励起光 L 0 を発生させる励起光源 2 1 と、励起光 L 0 を導光する筒状光ファイバ 2 5 0 と、筒状光ファイバ 2 5 0 の出射端面 2 5 5 から出射した励起光 L 0 によって励起されることでパルスレーザ L p を出射するレーザ共振器 2 4 と、を有する。

【 0 0 6 0 】

筒状光ファイバ 2 5 0 は、長手方向に直交する断面が環状となるように形成された筒状外周部 2 5 1 を有する。そして、筒状光ファイバ 2 5 0 によって導光される励起光 L 0 が、筒状外周部 2 5 1 の内周面 2 5 2 と外周面 2 5 3 とにおいて全反射しながら出射端面 2 5 5 へ向かうよう構成されている。

なお、本形態においては、筒状光ファイバ 2 5 0 の筒状外周部 2 5 1 は、長手方向に直交する断面が、円環状となる円筒形状を有する。

20

【 0 0 6 1 】

本形態においては、筒状光ファイバ 2 5 0 は、筒状外周部 2 5 1 の内周側が中空となった中空形状を有している。ただし、筒状光ファイバ 2 5 0 の形状は、中空形状に限らず、筒状外周部 2 5 1 の内周側に、所定の光学的条件を満たす内側部材が配置されていてもよい。ここで、所定の光学的条件としては、筒状外周部 2 5 1 との間で、以下の光屈折率の関係を満たす部材であるという条件がある。

【 0 0 6 2 】

すなわち、筒状外周部 2 5 1 の光屈折率を n_1 、内側部材の光屈折率を n_2 としたとき、まず、 $n_1 > n_2$ を満たすことが最低限必要となる。さらに、筒状光ファイバ 2 5 0 への励起光 L 0 の入射角度にもよるが、筒状光ファイバ 2 5 0 を伝搬する励起光 L 0 が、筒状外周部 2 5 1 の内部を、全反射を繰り返しながら伝搬するような条件を満たす必要もある。すなわち、筒状外周部 2 5 1 を進む励起光 L 0 の、筒状外周部 2 5 1 の内周面 2 5 2 に対する入射角度を θ_2 とすると、 $\sin \theta_2 > n_2 / n_1$ 、を満たすことが求められる。逆に、筒状光ファイバ 2 5 0 の入射端面 2 5 4 に導入される励起光 L 0 の角度を、上記の全反射条件を満たすように、設計することにもなる。

30

【 0 0 6 3 】

また、筒状外周部 2 5 1 の外周面における全反射条件として、 $\sin \theta_1 > 1 / n_1$ 、が要求される。ここで、筒状外周部 2 5 1 の外側は空気であるという前提で、上記不等式の右辺が $(1 / n_1)$ となっている。

40

なお、筒状光ファイバ 2 5 0 が中空形状である場合には、 $\sin \theta_2 > 1 / n_1$ 、かつ、 $\sin \theta_1 > 1 / n_1$ 、である。

【 0 0 6 4 】

図 1 4 に示すごとく、本形態において、レーザ発振光学系 2 は、励起光源 2 1 と筒状光ファイバ 2 5 0 との間に配置された集光レンズ 2 6 を有する。また、筒状光ファイバ 2 5 0 の出射側における光学系、すなわち、レーザ点火プラグ 1 0 における光学系は、実施形態 2 と略同様である。すなわち、筒状光ファイバ 2 5 0 の出射側には、コリメートレンズ 2 3、レーザ共振器 2 4、拡張レンズ 1 1、集光光学素子 3、光学窓 5 が、順次並んでいる。なお、筒状光ファイバ 2 5 0 の入射端面 2 5 4 及び出射端面 2 5 5 には、反射防止膜をコーティングしてあってもよい。

50

【 0 0 6 5 】

本形態においては、励起光源 2 1 から出射した励起光 L 0 は、集光レンズ 2 6 によって集光されて、入射端面 2 5 4 から筒状光ファイバ 2 5 0 に導入される。図 1 5 に示すごとく、入射端面 2 5 4 から筒状光ファイバ 2 5 0 に導入された励起光 L 0 のうち、筒状外周部 2 5 1 の内周側（例えば、中空部）に導入された励起光 L 0 は、筒状外周部 2 5 1 との境界面、すなわち筒状外周部 2 5 1 の内周面 2 5 2 から、筒状外周部 2 5 1 内に屈折しながら導入される。筒状外周部 2 5 1 に導入された励起光 L 0 は、全反射を繰り返しながら、出射端面 2 5 5 へ向かう。

【 0 0 6 6 】

一方、入射端面 2 5 4 から筒状光ファイバ 2 5 0 に導入された励起光 L 0 のうち、入射端面 2 5 4 から筒状外周部 2 5 1 に直接導入された励起光 L 0（図示略）は、そのまま筒状外周部 2 5 1 内を、全反射を繰り返しながら、出射端面 2 5 5 へ向かう。

10

【 0 0 6 7 】

出射端面 2 5 5 から出射した励起光 L 0 は、筒状外周部 2 5 1 の内周面 2 5 2 及び外周面 2 5 3 における反射角度（すなわち $\theta 1$ 、 $\theta 2$ ）と同程度の角度を、光軸に対して形成して、径方向に広がって進む。これにより、リング状の励起光 L 0 が、出射端面 2 5 5 から出射することとなる。

【 0 0 6 8 】

このリング状の励起光 L 0 は、図 1 4 に示すごとく、実施形態 2 と同様に、レーザ点火プラグ 1 0 における光学系においてリング状のパルスレーザ L p となって、光学窓 5 を透過し、燃焼室 6 内に集光される。

20

その他の構成は、実施形態 1 と同様である。

【 0 0 6 9 】

本形態においても、リング状のパルスレーザ L p が、光学窓 5 を透過するよう構成されている。それゆえ、光学窓 5 におけるデポジットの付着、堆積を抑制し、燃焼室 6 への集光強度の低下を抑制することができる。

【 0 0 7 0 】

また、本形態においては、実施形態 2 と同様に、励起光 L 0 をレーザ点火プラグ 1 0 の外部でリング状に整形している。そのため、実施形態 2 と同様に、光軸ずれの影響を抑制することができるとともに、レーザ点火プラグ 1 0 を短小化できる。また、レーザ点火プラグ 1 0 における光学素子数を削減できるため、組付け時の光軸ずれを抑制しやすくなる。その他、実施形態 1 と同様の作用効果を有する。

30

【 0 0 7 1 】

（実施形態 5）

本実施形態は、図 1 6 に示すごとく、筒状光ファイバ 2 5 0 に入射させる励起光 L 0 を、光軸を囲むリング状とした形態である。

すなわち、実施形態 4 においては、筒状光ファイバ 2 5 0 に入射させる励起光 L 0 が、ガウス状分布の励起光 L 0 となる形態を示したが、本形態においては、筒状光ファイバ 2 5 0 に入射する段階で、すでに励起光 L 0 がリング状となっている。

【 0 0 7 2 】

40

具体的手段として、レーザ発振光学系 2 は、面発光レーザ 2 1 0 を励起光源 2 1 として有する。面発光レーザ 2 1 0 から出射したリング状の励起光 L 0 を、筒状光ファイバ 2 5 0 に入射させるよう構成されている。

【 0 0 7 3 】

実施形態 2 又は実施形態 3 に示したものと同様に、面発光レーザ 2 1 0 は、多数の発光素子 2 1 1 を平面上に配列してなる。そして、面発光レーザ 2 1 0 は、光軸を囲むリング状の励起光 L 0 を出射することができるよう構成されている。

そして、リング状の励起光 L 0 が、筒状光ファイバ 2 5 0 における入射端面 2 5 4 において、筒状外周部 2 5 1 に直接入射するよう構成されている。

ここで、筒状光ファイバ 2 5 0 の入射端面 2 5 4 には、反射防止膜（図示略）が設けてあ

50

る。

その他の構成は、実施形態 1 と同様である。

【 0 0 7 4 】

本形態においては、筒状光ファイバ 2 5 0 に入射する段階で、励起光 L 0 をリング状にすることができる。そのため、励起光 L 0 の略全体を、筒状光ファイバ 2 5 0 の入射端面 2 5 4 から直接筒状外周部 2 5 1 に導入することができる。それゆえ、筒状光ファイバ 2 5 0 への入射時における励起光 L 0 のエネルギー損失を低減することができる。

その他、実施形態 1 と同様の作用効果を有する。

【 0 0 7 5 】

なお、上記実施形態 5 の変形形態として、レーザ発振光学系 2 が、励起光源 2 1 と筒状光ファイバ 2 5 0 との間に、アキシコンレンズ 2 2 を有する形態も、考えられる。

10

そして、この変形形態においては、アキシコンレンズ 2 2 から出射したリング状の出射光（励起光 L 0 ）を、筒状光ファイバ 2 5 0 に入射させるよう構成することができる。その他は、実施形態 5 と同様である。

上記以外にも、上記各実施形態を適宜組み合わせた実施形態とすることもできる。

【 0 0 7 6 】

本発明は上記各実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の実施形態に適用することが可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 7 】

20

- 1 レーザ点火装置
- 2 レーザ発振光学系
- 3 集光光学素子
- 4 ハウジング
- 5 光学窓
- 6 燃焼室
- L p パルスレーザ

30

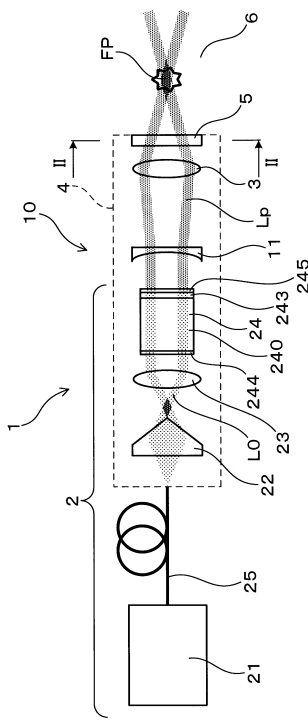
40

50

【図面】

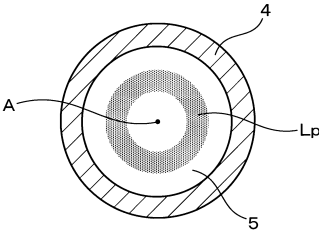
【図 1】

(図 1)



【図 2】

(図 2)

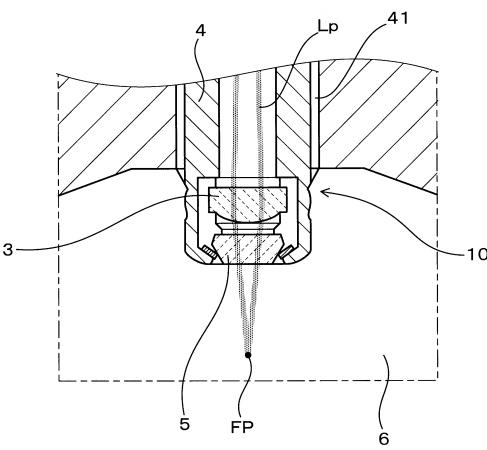


10

20

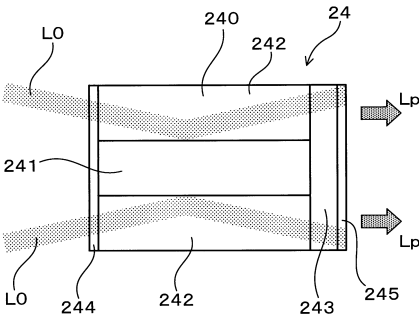
【図 3】

(図 3)



【図 4】

(図 4)



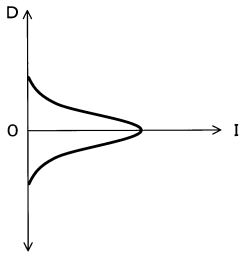
30

40

50

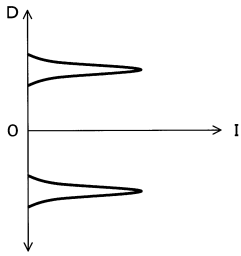
【図 5】

(図 5)



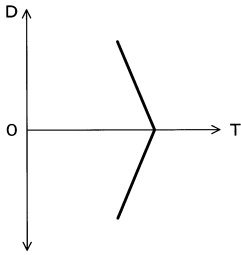
【図 6】

(図 6)



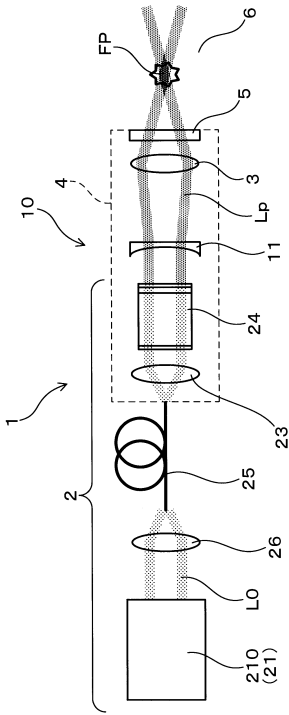
【図 7】

(図 7)



【図 8】

(図 8)



10

20

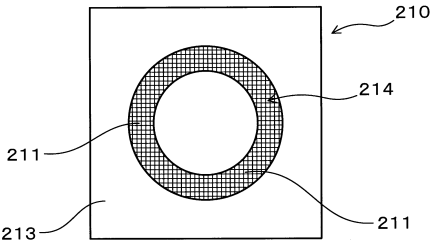
30

40

50

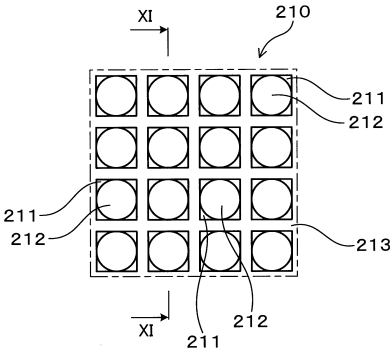
【図 9】

(図 9)



【図 10】

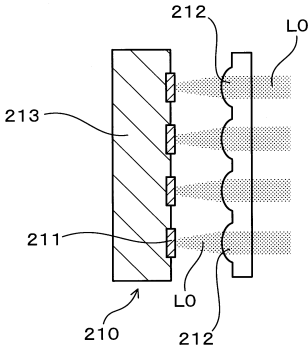
(図 10)



10

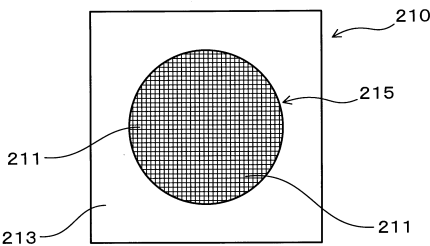
【図 11】

(図 11)



【図 12】

(図 12)



20

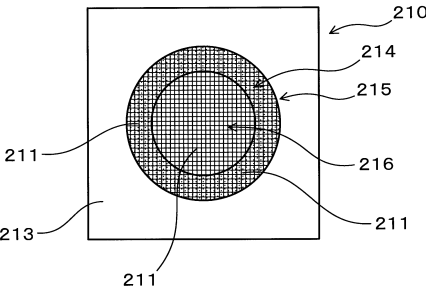
30

40

50

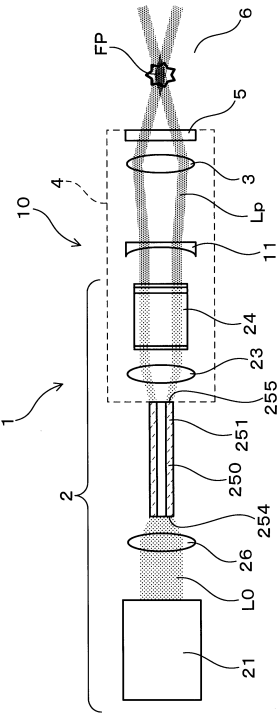
【図 13】

(図 13)



【図 14】

(図 14)

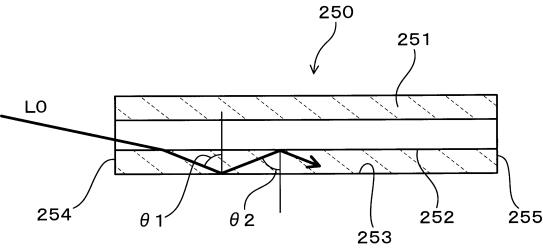


10

20

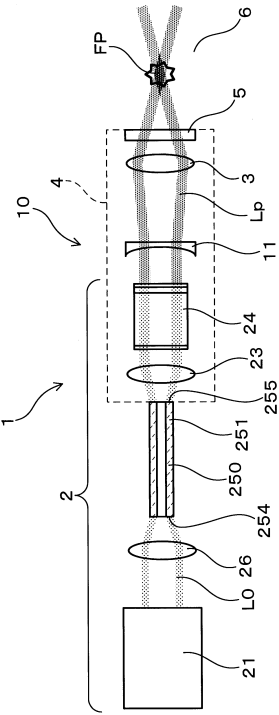
【図 15】

(図 15)



【図 16】

(図 16)



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 3 - 1 6 4 0 4 2 (J P , A)
 特開 2 0 0 8 - 2 9 1 8 3 2 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 2 4 2 0 3 6 (J P , A)
 特開 2 0 0 8 - 2 5 8 4 4 6 (J P , A)
 米国特許第 9 5 4 8 5 8 5 (U S , B 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 F 0 2 P 2 3 / 0 4