

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-167211

(P2015-167211A)

(43) 公開日 平成27年9月24日(2015.9.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1S 3/0941 (2006.01)	HO1S 3/094 S	5F172
HO1S 3/00 (2006.01)	HO1S 3/00 A	
FO2P 23/04 (2006.01)	FO2P 23/04 A	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2014-41804 (P2014-41804)
 (22) 出願日 平成26年3月4日 (2014.3.4)

(71) 出願人 000004695
 株式会社日本自動車部品総合研究所
 愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地

(71) 出願人 504261077
 大学共同利用機関法人自然科学研究機構
 東京都三鷹市大沢二丁目21番1号

(71) 出願人 000004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(74) 代理人 110000648
 特許業務法人あいち国際特許事務所

(72) 発明者 金原 賢治
 愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地 株式会社日本自動車部品総合研究所内

最終頁に続く

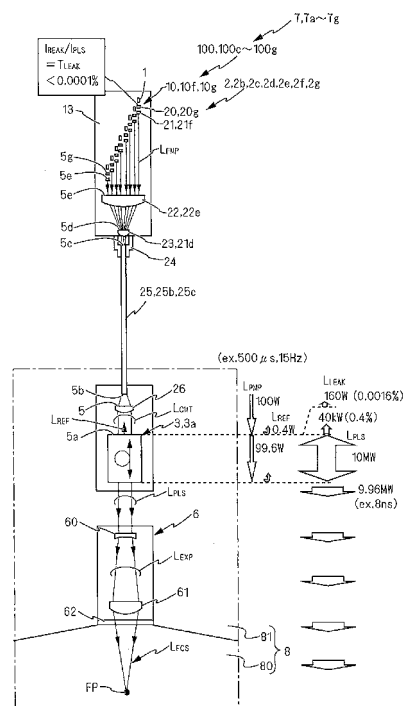
(54) 【発明の名称】 レーザ点火装置

(57) 【要約】

【課題】簡素な構成でレーザ共振器から半導体レーザ側へ漏れる発振漏れ光の強度を抑制することにより、半導体レーザの劣化を防止して安定した着火を実現できるレーザ点火装置を提供する。

【解決手段】コヒーレントな励起光 $L_{PM P}$ を放射する励起光源 1 と励起光 $L_{PM P}$ を伝送する光学素子 2 と、励起光 $L_{PM P}$ の照射によりエネルギー密度の高い発振光 $L_{PL S}$ を発振するレーザ共振器 3 と、発振光 $L_{PL S}$ を集光する集光手段 6 とからなるレーザ点火装置 7 であって、励起光源 1 とレーザ共振器 3 との間に、波長の短い励起光 $L_{PM P}$ は透過し、かつ、波長の長い発振漏れ光 L_{LEAK} は反射する励起光透過漏発振漏れ光反射膜 5 を具備する。

【選択図】 図 6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コヒーレントな励起光 (L_{PMP}) を放射する励起光源 (1) と、該励起光源 (1) から放射された励起光を伝送する光学素子 (2、2a ~ 2g) と、該光学素子を介して伝送された励起光の照射によりエネルギー密度の高い発振光 (L_{PLS}) を発振するレーザ共振器 (3、3a) と、該レーザ共振器から発振された発振光を集光する集光手段 (6) とを具備し、内燃機関 (8) の燃焼室 (80) の内側に導入した混合気にエネルギー密度の高い発振光 (L_{FCS}) を集光して点火を行うレーザ点火装置であって、

前記励起光源と前記レーザ共振器との間に、波長の短い前記励起光は透過し、かつ、波長の長い前記発振光の一部であって、前記レーザ共振器から前記励起光源側に漏れる発振漏れ光 (L_{LEAK}) は反射する励起光透過発振漏れ光反射膜 (5、5a ~ 5g) を設けたことを特徴とするレーザ点火装置 (7、7a ~ 7g)

10

【請求項 2】

前記光学素子が前記励起光の入射側又は出射側の少なくともいずれかに平面状の端面を具備し、前記励起光透過発振漏れ光反射膜を該平面状の端面、及び、又は、前記レーザ共振器の入射側の端面に形成せしめた請求項 1 に記載のレーザ点火装置 (7、7a ~ 7g)

【請求項 3】

前記励起光源を複数設けると共に、前記光学素子が、それぞれの励起光源から発振された励起光をコリメートするシリンドリカルレンズ (20、20g、21、21f) と、複数の励起光源から発振され、コリメートされた複数の励起光を集束する集束レンズ (22、22e、23、23d) と、該集束レンズによって集束された励起光 (L_{CND}) をコリメートするコリメートレンズ (26、26a) と、該集束された励起光 (L_{CND}) を前記コリメートレンズに伝送する光ファイバ (25、25b、25d) とを含み、前記励起光透過発振漏れ光反射膜を、前記シリンドリカルレンズ、前記集束レンズ、前記コリメートレンズ、前記光ファイバのいずれかの少なくとも一の端面、及び、又は、前記レーザ共振器の入射側の端面に形成せしめた請求項 1 又は 2 に記載のレーザ点火装置 (7、7a ~ 7g)

20

【請求項 4】

前記励起光透過発振漏れ光光反射膜は、前記光学素子又は前記レーザ共振器を構成する光学材料の屈折率より屈折率の小さい低屈折率膜と屈折率の大きい高屈折率膜とを交互に重ねた多層膜である請求項 1 ないし 3 に記載のレーザ点火装置 (7、7a ~ 7g)

30

【請求項 5】

前記低屈折率膜は SiO_2 、 MgF_2 から選択した誘電体からなり、前記高屈折率膜は TiO_2 、 Ta_2O_3 から選択した誘電体からなる請求項 3 に記載のレーザ点火装置 (7、7a ~ 7g)

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の半導体レーザ装置を励起光源とし、光学素子を介してレーザ共振器に伝送して発生させたエネルギー密度の高いパルスレーザを内燃機関の燃焼室の内側に集光して混合気の点火を行うレーザ点火装置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

近年、コジェネ発電用の気体燃料エンジンや、希薄混合気燃焼エンジン等の難着火性の内燃機関の点火装置であって、半導体レーザを励起光源として用い、半導体レーザから発振された励起光を Q スイッチ式のレーザ共振器に照射して、エネルギー密度の高いパルスレーザを発振し、さらに、集光手段を用いて、燃焼室内に導入された混合気中にパルスレーザを集光してエネルギー密度をさらに高めて点火を行うレーザ点火装置について、種々検討されている。

例えば、特許文献 1 には、レーザ活性な領域とレーザ不活性な領域とを特定の長さに設

50

定したレーザ活性固体を有する受動Qスイッチを有するレーザ装置を用いて内燃機関の点火を行うレーザ点火装置が開示されている。

【0003】

一方、半導体レーザ装置においては、半導体レーザ等の光源から出射した光が、各種の光学素子や光ファイバ等に入射されると、その一部が光学素子や光ファイバ等の入射面において、反射や散乱を起こし、その一部が光源側に戻る場合があり、この戻り光が半導体レーザの活性層に入射すると発振波長の乱れや出力変動を招き、最悪の場合には半導体レーザ素子の破壊を招くおそれがあることが知られている。

このため、一般的な半導体レーザ装置には、戻り光を除去する手段として光アイソレータが用いられており、入射光の偏光状態に依存する偏光依存型の光アイソレータと入射光の偏向状態に依存しない偏光無依存型の光アイソレータが知られている（例えば、特許文献2、特許文献3参照）。

レーザ点火装置においても、光アイソレータを用いることによって、戻り光による半導体レーザの破損を抑制できると考えられていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-141362号公報

【特許文献2】特開平11-223797号公報

【特許文献3】特開2008-268847号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところが、レーザ点火装置において、複数の半導体レーザ装置を励起光源とすることで、出力エネルギーを増加して、難着火性の内燃機関気の点火を図ろうとした場合に、戻り光による半導体レーザの破損を防止すべく従来のように光アイソレータを用いたのでは、以下の問題があることが判明した。

第1に、光アイソレータを構成する様々な光学部品を使用する必要があり、製造コストの増加を招くおそれがある。

【0006】

第2に、複数の半導体レーザから発振された励起光の光軸を調整して光アイソレータに導入する必要があり、光軸調整のための作業あるいは機構が必要となり、さらなるコストの増加を招くおそれがある。

レーザ点火装置においては、極めて大きなエネルギー密度のパルスレーザを集光させる必要があるため、複数の半導体レーザを組み合わせた半導体レーザモジュールを励起光源として用いることで、それぞれの半導体レーザの負荷を小さくすることが考えられる。

このような場合、複数の半導体レーザから発振された励起光を集光レンズによって集束させた場合には、位相の異なる複数の励起光が複数存在し、それぞれの光軸も異なっているため、光アイソレータを通過した複数の励起光の束が元の励起光の束と同じように再結合され、かつ、戻り光が光源側に出射される際には、複数の半導体レーザのいずれにも分離された常光と異常光のいずれもが半導体レーザに入光しないように調整するのは、極めて困難となるものと考えられる。

【0007】

第3に、光アイソレータを用いた場合、励起光が光アイソレータに入光する際の反射損失や、光アイソレータを構成する光学部品の透過損失により、レーザ媒質に照射される励起光強度が低下するおそれがある。

光アイソレータに限らず、光学部品を通過する際には不可避免的に透過損失を生じるので、レーザ点火装置のエネルギー効率を上げるためにも、光学部品はできる限り少なくし、簡素な構成とするのが望ましい。

【0008】

10

20

30

40

50

第4に、光アイソレータでは、永久磁石を用いてファラデー回転子に強力な磁界を作用させてファラデー効果を発揮させるものであるため、その周辺に磁気を遮断する機構を設ける必要があり、レーザ点火装置の大型化を招くことにもなり、近年のレーザ点火装置の小型化に対する要求に応えられないおそれがある。

【0009】

第5に、従来、レーザ共振器の励起側端面からのレーザ発振光の漏れ光は殆ど無いとされていたが、レーザ点火に必要なメガワット以上のジャイアントパルス発生にかかるレーザとなると、励起側端面からの漏れ光が無視できない値となることが判明した。

例えば、マイクロチップレーザの励起端面は共振器全反射鏡を兼ねており、従来、高反射コーティングの透過率として、発振光に対しては、0.1%程度透過で十分とされていた。

10

【0010】

しかし、レーザ発振の共振器内部光電力が10MW以上になると、たとえ高反射コーティングの透過率が0.1%としても、その端面から透過する漏れ光の光電力は10KWにも及ぶことになる。

一方で、このようなマイクロチップレーザの励起光の光電力は100W程度であり、仮にその励起光が100%戻ったとしても、発振光の漏れ光の光電力の1/100にしかならない。

【0011】

すなわち、従来、半導体レーザの問題とされていた励起光の反射による戻り光を何桁も上回る共振器から発振光の「漏れ光」が、励起光源に用いられている半導体レーザを直撃する虞がある。

20

発振漏れ光が半導体レーザに照射されるのは、数ナノ秒程度の極めて短い時間であるが、長期的な信頼性を損なうことが判明した。レーザ共振器側から戻る光について、半導体レーザに照射される時間は、励起反射光の方が発振漏れ光よりも桁違いに長く、エネルギー量としては、励起反射光の方が発振漏れ光よりも多いが、電力が小さいのでレーザダイオードにダメージは起こらず、電力が極めて高い発振漏れ光は、たとえ極短い時間であっても、レーザダイオードの破損を招くことになる。

なお、半導体レーザの破壊には、熱で起きるものや光強度（電力/面積）で起こるモードがあるが、本発明は、励起光源側に戻る光の内、発振漏れ光の電力が高くなったために起きる障害を解決するものである。

30

【0012】

そこで、本発明は、かかる実情に鑑み、簡素な構成でレーザ共振器から半導体レーザへの漏れ光の強度を抑制することにより、半導体レーザの劣化を防止して安定した着火を実現できるレーザ点火装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明のレーザ点火装置（7、7a~7g）は、コヒーレントな励起光（ L_{PMP} ）を放射する励起光源（1）と、該励起光源（1）から放射された励起光を伝送する光学素子（2、2a~2g）と、該光学素子を介して伝送された励起光の照射によりエネルギー密度の高い発振光（ L_{PLS} ）を発振するレーザ共振器（3、3a）と、該レーザ共振器から発振された前記発振光を集光する集光手段（6）とを具備し、内燃機関（8）の燃焼室（80）の内側に導入した混合気にエネルギー密度の高い発振光（ L_{FCS} ）を集光して点火を行うレーザ点火装置であって、前記励起光源と前記レーザ共振器との間に、波長の短い前記励起光は透過し、かつ、波長の長い前記発振光の一部であって、前記レーザ共振器から前記励起光源側に戻る発振漏れ光（ L_{LEAK} ）は反射する励起光透過発振漏れ光反射膜（5、5a~5g）を設けたことを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0014】

前記レーザ共振器内で共振増幅されて発振された発振光の一部が、漏れ光として前記励

50

起光源側に入射されても、前記励起光透過発振漏れ光反射膜によってレーザ共振器側に反射され、前記励起光源に到達するまでに極めて小さいエネルギーとなるので、発振漏れ光による前記励起光源の損傷が抑制される。

また、前記励起光透過発振漏れ光反射膜は、前記光学素子の端面に極薄い多層膜として設けるため、従来の光アイソレータを配設する場合のように装置の大型化を招くことがない。

さらに、既存の前記光学素子に前記励起光透過発振漏れ光反射膜を形成するため、新たな光学素子の追加を必要とすることなく、透過エネルギーの損失の増加を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0015】

【図1A】本発明の第1の実施形態におけるレーザ点火装置の要部の概要を示し、図1B中A-Aに沿った断面図

【図1B】図1A中B-Bに沿った一部断面図

【図1C】本発明に用いられる励起光透過発振漏れ光反射膜の効果を示す模式図

【図2】本発明の効果を確認するために行った検証方法を示す断面図

【図3A】比較例と共に本発明の発振漏れ光抑制に対する効果を示す特性図

【図3B】耐久試験の条件を示す特性図

【図3C】比較例と共に本発明の耐久性向上に対する効果を示す特性図

【図4A】本発明の実施例における耐久試験後の発光エミッタの状態を示す図面代用写真

20

【図4B】比較例における耐久試験後の発光エミッタの破損状態を示す図面代用写真

【図4C】レーザ共振器内におけるエネルギー密度を示す特性図

【図4D】従来のレーザ共振器における特定のエネルギー密度範囲と発光エミッタの損傷頻度の高い位置とを重ね合わせた図

【図5A】本発明の第2の実施形態におけるレーザ点火装置の要部を示す断面図

【図5B】本発明の第3の実施形態におけるレーザ点火装置の要部を示す断面図

【図5C】本発明の第4の実施形態におけるレーザ点火装置の要部を示す断面図

【図5D】本発明の第5の実施形態におけるレーザ点火装置の要部を示す断面図

【図5E】本発明の第6の実施形態におけるレーザ点火装置の要部を示す断面図

【図5F】本発明の第7の実施形態におけるレーザ点火装置の要部を示す断面図

30

【図5G】本発明の第8の実施形態におけるレーザ点火装置の要部を示す断面図

【図6】本発明のレーザ点火装置全体の概要を示す構成図

【発明を実施するための形態】

【0016】

本発明は、コヒーレントな励起光 $L_{PM P}$ を放射する励起光源1と、励起光源1から放射された励起光を伝送する光学素子2と、光学素子2を介して伝送された励起光 $L_{PM P}$ の照射によりエネルギー密度の高い発振光 $L_{PL S}$ を発振するレーザ共振器3と、レーザ共振器3から発振された発振光 $L_{PL S}$ を集光する集光手段6とを具備し、内燃機関8の燃焼室80の内側に導入した混合気にエネルギー密度の高い発振光 $L_{FC S}$ を集光して点火を行うレーザ点火装置7に関する。

40

図1A、図1B、図1Cを参照して、本発明の第1の実施形態におけるレーザ点火装置7の要部について説明する。なお、レーザ点火装置7の全体構成については図6を参照して後述する。

【0017】

本実施形態における励起光源1は、半導体レーザからなる発光エミッタを有し、通電によりコヒーレントな励起光 $L_{PM P}$ を放射する。

本実施形態においては、励起光 $L_{PM P}$ として、808nmのピーク波長 $\lambda_{PM P}$ を有する赤外線レーザを用いており、励起光 $L_{PM P}$ の照射によりレーザ共振器3からは、1064nmのピーク波長 $\lambda_{PL S}$ を有する発振光 $L_{PL S}$ が出射される例を示しているが励起光源1から放射される励起光 $L_{PM P}$ の波長 $\lambda_{PM P}$ 及び発振光 $L_{PL S}$ の波長 $\lambda_{PL S}$

50

L_S は、適宜選択可能である。

【0018】

励起光源 1 には、光学素子として、励起光 $L_{PM P}$ をコリメートするシリンダリカルレンズ 20、21 が設けられ、半導体レーザモジュール 10 を構成している。

シリンダリカルレンズ 20、21 には、光学ガラス、耐熱ガラス、石英ガラス、サファイアガラス等の公知の光学材料が用いられている。

また、複数の半導体レーザモジュール 10 を半導体レーザ固定台 13 に離段状に並べて配設してある。

本実施形態においては、一列に 8 個の半導体レーザモジュール 10 を並べ、2 列配設したものを示してあるが、半導体モジュール 10 の数を限定するものではない。

10

【0019】

複数の半導体レーザモジュール 10 から放射され、コリメートされた複数の励起光 $L_{PM P}$ は、光学素子として先端側に設けた、集束レンズ 22、23 によって集束される。

集束レンズ 22、23 は、光学ガラス、耐熱ガラス、石英ガラス、サファイアガラス等の公知の光学材料が用いられている。

集束レンズ 22、23 の表面を、公知の反射防止膜で覆っても良い。

集束レンズ 22、23 の入射側の端面は平面状に加工され、出射面は、非球面レンズとなっている。

【0020】

集束レンズ 22、23 によって束ねられた集束光 L_{CND} は、結合素子 24 を介して、光ファイバ 25 に結合される。

20

結合素子 24 には、結晶化ガラス等の公知の光学材料からなる光フェルルや、光ファイバ 25 の端部を保持する中空のスリーブ等を用いることができる。

光ファイバ 25 には、例えば、開口数 0.22 以下で、コア径が $600 \mu m$ 以下に形成された公知の光ファイバを用いることができ、レーザ共振器 3 に照射される励起光 $L_{PM P}$ のビーム径が $1200 \mu m$ となっている。

【0021】

光ファイバ 25 を介して伝送された集束光 L_{CND} は、コリメートレンズ 26 によって、平行光 L_{CMT} とされレーザ共振器 3 に入射される。

コリメートレンズ 26 には、光学ガラス、耐熱ガラス、石英ガラス、サファイアガラス等の公知の光学材料が用いられている。

30

本実施形態におけるコリメートレンズ 26 の入射側の端面は平面状に加工され、出射面は、非球面レンズに加工され、複数の励起光 $L_{PM P}$ が集束された集束光 L_{CND} を平行光 L_{CMT} に調光している。

【0022】

コリメートレンズ 26 の表面には、反射防止膜 4 が形成され、さらに、少なくとも、平面状に形成した入射側の端面に、本発明の要部である励起光透過発振漏れ光反射膜 5 が形成されている。

本実施形態における励起光透過発振漏れ光反射膜 5 は、高屈折率 ($n_H = 2.16$) の Ta_2O_5 からなる高屈折率膜 50 と、低屈折率 ($n_L = 1.41$) の SiO_2 からなる低屈折率膜 51 とが交互に 19 層成膜されている。

40

【0023】

励起光透過発振漏れ光反射膜 5 は、波長の短い (例えば、 $\lambda_{PM P} = 808 nm$) 励起光 $L_{PM P}$ の 99.8% を透過し、かつ、波長の長い (例えば、 $\lambda_{LEAK} = \lambda_{PLS} = 1064 nm$) 発振光 L_{PLS} の漏れ光 L_{LEAK} の 99.6% を反射する。

さらに、コリメートレンズ 26 の出射面には透過膜 4 として、高屈折率 ($n_H = 2.16$) の Ta_2O_5 からなる高屈折率膜 50 と、低屈折率 ($n_L = 1.41$) の SiO_2 からなる低屈折率膜 51 とが交互に 4 層成膜され、励起光 $L_{PM P}$) 99.8% が透過して、平行光 L_{CMT} として出射するようになっている。

【0024】

50

低屈折率膜 51 には SiO_2 、 MgF_2 から選択した誘電体、屈折率膜 50 には TiO_2 、 Ta_2O_3 から選択した誘電体を用いることができ、蒸着、イオンプレーティング等の公知の薄膜形成方法により多層膜を形成できる。

【0025】

コリメートレンズ 26 の先端側には、レーザ共振器 3 が配設されている。

レーザ共振器 3 には、公知の受動 Q スイッチ式のレーザ共振器を用いることができる。

レーザ共振器 3 は、レーザ媒質 30 と、その入射側に設けた反射防止膜 31 と、全反射鏡 32 と、出射側に設けた可飽和吸収体 33 と、部分反射膜からなる出光鏡 34 とによって構成され、筒状のハウジング 35 内に収容されている。

レーザ媒質 30 は、YAG 単結晶に Nd をドーピングした Nd : YAG 等の公知のレーザ媒質が用いられている。

10

【0026】

全反射鏡 32 は、波長の短い励起光 L_{PM} は透過し、波長の長い発振光 L_{PLS} は全反射するように形成されている。

過飽和吸収体 33 は、YAG 単結晶に Cr^{4+} をドーピングした Cr : YAG 等が用いられている。

レーザ共振器 3 は、共振器内に導入された励起光 L_{PM} によって、レーザ媒質 30 内の Nd が励起され、1064 nm の光を放射し、レーザ媒質 30 内に蓄積する。

【0027】

レーザ媒質 30 内のエネルギーレベルが一定レベルに達すると出力鏡 34 から、発振光 L_{PLS} が発振する。

20

このとき、背面側の全反射鏡 32 の入射面からは、不可避免的に発振光 L_{PLS} の強度の約 0.4% が発振漏れ光 L_{LEAK} として、励起光源 1 側に伝播する。

【0028】

本実施形態においては、発振光 L_{PLS} の 0.4% の強度を有する発振漏れ光 L_{LEAK} が、コリメートレンズ 26 の入射側の端面に到達したとき、その表面に形成された励起光透過発振漏れ光反射膜 5 によって、その 99.8% が反射され、レーザ共振器 3 側に戻り、0.2% が励起光源側に透過し、出射側の端面でも発振漏れ光 L_{LEAK} の 0.2% が励起光源側に反射される。

レーザ共振器 3 の入射面と、本発明の要部である励起光透過発振漏れ光反射膜 5 との間で複数回（例えば、約 3 ns の間）反射と透過を繰り返す内に発振漏れ光 L_{LEAK} は消滅する。

30

結果的に、発振光 L_{PLS} の強度の 0.4% が発振漏れ光 L_{LEAK} としてレーザ共振器 3 から励起光源側に漏れても、その内の 99.6% が励起光透過発振漏れ光反射膜 5 によってカットされ、発振漏れ光 L_{LEAK} の 0.4%、即ち、発振光 L_{PLS} の強度の 0.0016% まで、励起光源 1 側に伝送される発振漏れ光 L_{LEAK} の強度を抑制することができる。

これにより、励起光 L_{PM} の電力に比べて桁違いに大きな電力の発振光 L_{PLS} の一部が漏れても、発振漏れ光 L_{LEAK} の電力は、励起光 L_{PM} の反射光と同程度の電力にまで低減されるので、これが、励起光源 1 に到達しても半導体レーザの破損を招くことがない。

40

図 1C に具体例として、波長 λ_{PM} が 808 nm の励起光 L_{PM} を 100 W の電力でレーザ共振器 3 に投入し、波長 λ_{PLS} が 1064 nm の発振光 L_{PLS} を 10 MW の電力で出射した場合の発振漏れ光透過率 T_{LEAK} を算出した例を示しているが、本発明に係るレーザ点火装置において、発振光 L_{PLS} の電力をこれに限るものではない。

【0029】

励起光透過発振漏れ光反射膜 5 について、スネルの法則、フレネルの公式、マックスウェル方程式を利用したシミュレーションによって、励起光 L_{PM} の透過率 T_{PM} を高くし、かつ、漏れ光 L_{LEAK} の反射率 R_{LEAK} を高くする高屈折率膜 50 の屈折率 n_H とその膜厚 d_H 及び低屈折率膜 51 の屈折率 n_L とその膜厚 d_L 並びに、励起光 L_{PM}

50

L_{PMP} の波長 L_{PLS} 、発振光 L_{PLS} の波長 L_{PLS} 即ち発振漏れ光 L_{LEAK} の波長 L_{LEAK} との組み合わせを適宜算出することができる。

但し、計算上では、励起光 L_{PMP} を 100% 透過し、発振漏れ光 L_{LEAK} を 100% 反射する条件を求め得るが実際には、前記実施例に示したように、励起光 L_{PMP} の透過率 T_{PMP} は 99.8% 程度となり、発振漏れ光 L_{LEAK} の反射率 R_{LEAK} は、99.6% 程度、即ち、発振漏れ光 L_{LEAK} の透過率 T_{LEAK} は 0.4% 程度となる。

【0030】

したがって、本発明のように、励起光透過発振漏れ光反射膜 5 をレーザ共振器 3 の全反射膜 32 と重畳的に設けることにより、レーザ共振器 3 から、発振光 L_{PLS} の一部であって、発振光 L_{PLS} の強度の 0.4% 程度漏れる発振漏れ光 L_{LEAK} をレーザ共振器 3 側との間で往復させ、部分反射膜 31 から励起光源 1 側へ伝播する漏れ光 L_{LEAK} の 99.5% 程度をカットし、発振漏れ光 L_{LEAK} を発振光 L_{PLS} の 0.0016% 程度とすることができるのである。

10

【0031】

ここで、図 2 を参照して、本発明の発振漏れ光抑制効果についての行った検証方法について説明する。

上述の半導体レーザモジュール 100 とレーザ共振器 3 とを接続し励起光 L_{PMP} を伝送する光ファイバ 25 の途中に 1064 nm の波長の光を全反射する膜をコーティングしたビームスプリッタ 90 を配置し、光ファイバ 91 を介してフォトディテクタ 92 によって発振漏れ光 L_{LEAK} の強度を検出した。

20

【0032】

本発明に係る励起光透過発振漏れ光反射膜 5 を形成していない場合を比較例とし、コリメートレンズ 26 の平面部に励起光透過発振漏れ光反射膜 5 を形成した実施例 1 との比較によって、本発明の効果を検証した。

その結果、図 3 A に示すように、実施例 1 で検出された発振漏れ光 L_{LEAK} の強度は、比較例で検出された 1064 nm の戻り光 L_{LEAK} の強度の 0.5% 以下となっており、発振漏れ光 L_{LEAK} の 99.5% が励起光透過発振漏れ光反射膜 5 によって反射され、励起光源 1 への発振漏れ光 L_{LEAK} が抑制できることが検証された。

【0033】

さらに、半導体レーザモジュール 100 に電流 10.5 A (光エネルギー 81 mJ に相当)

30

を図 3 B に示す条件で駆動し、実施例 1 と比較例とについて、耐久試験を行った。その結果を図 3 C に示す。比較例においては、数時間程度で、半導体レーザモジュール 100 の出力が 30% 低下した。

一方、本発明の実施例 1 では、数十時間以上連続駆動しても、全く出力低下が見られなかった。

【0034】

耐久試験後の実施例 1 と比較例とに用いた半導体レーザモジュール 100 を確認したところ、図 4 A に示すように、本発明の実施例 1 では、いずれの発光エミッタも正常に作動したが、図 4 B に示すように、比較例では、特定位置の発光エミッタで損傷が確認された。

40

【0035】

図 4 C に示すように、レーザ共振器 3 のエネルギー分布は、ガウス関数的な分布を示しつつ、二山のピークがあり、特定の範囲で高いエネルギー分布を示していることが判明した。

このエネルギー分布について横断面方向において特定のエネルギーを超える範囲を半導体レーザモジュール 100 の発光エミッタの位置に投影させると、図 4 D に示すように、エネルギー密度が一定以上となる範囲と、発光エミッタの損傷しやすい位置とが一致していることが判明した。

このことから、本発明の励起光透過発振漏れ光反射膜 5 を戻り光 L_{LEAK} のエネルギー密度の高い位置に限定的に設けても効果を発揮し得るものと考えられる。

【0036】

50

図 5 A、図 5 B、図 5 C、図 5 D、図 5 E、図 5 F、図 5 G を参照して、本発明の他の実施形態について説明する。

以下の実施形態においては、前述の第 1 の実施形態と基本的な構成は同じで、本発明の要部である励起光透過発振漏れ光反射膜 (5 a ~ 5 g) の配設位置のみを変化させたものである。

このため、前記実施形態と同じ構成については同じ符号を付し、各実施形態における特徴的な部分にアルファベット a ~ g の枝番を付したので、共通する部分についての説明を省略し、特徴的な部分のみを説明する。

また、第 1 の実施形態から第 8 の実施形態までのいずれか 2 つを適宜組み合わせる実施しても良い。

【 0 0 3 7 】

第 2 の実施形態におけるレーザ点火装置 7 a では、コリメートレンズ 2 6 a には励起光透過発振漏れ光反射膜 5 を設けず、レーザ共振器 3 a の入射側の端面に励起光透過発振漏れ光反射膜 5 a を設けてある。

このような構成においても、レーザ共振器 3 a から漏れる発振光 $L_{P L S}$ の強度の 0 . 4 % の発振漏れ光 $L_{L E A K}$ のさらに 0 . 4 %、即ち、発振光 $L_{P L S}$ の強度の 0 . 0 0 1 6 % のみが励起光源側に伝播することになり、前記実施形態と同様の効果を発揮し得る。

【 0 0 3 8 】

なお、前記第 1 の実施形態のようにコリメートレンズ 2 6 に励起光透過発振漏れ光反射膜 5 を設け、さらに、レーザ共振器 3 a の入射側の端面に重畳的に励起光透過発振漏れ光反射膜 5 a を設けても良い。

但し、励起光透過発振漏れ光反射膜 5 と励起光透過発振漏れ光反射膜 5 a とを重ねて設ければ、励起光源 1 に到達する発振漏れ光 $L_{L E A K}$ の強度はほとんど 0 に等しくなり、それ以上に重ねて励起光透過発振漏れ光反射膜 5 を設けても、却って励起光 $L_{P M P}$ の透過率 $T_{P M P}$ を低下させることになるので必要はない。

【 0 0 3 9 】

第 3 の実施形態におけるレーザ点火装置 7 b では、光ファイバ 2 5 b の出射面に励起光透過発振漏れ光反射膜 5 b を形成してある。

本実施形態においては、励起光透過発振漏れ光反射膜 5 b とレーザ共振器 3 との間で発振漏れ光 $L_{L E A K}$ が往復し、前記実施形態と同様の効果を発揮する。

【 0 0 4 0 】

第 4 の実施形態におけるレーザ点火装置 7 c では、光ファイバ 2 5 c の入射側の端面に励起光透過発振漏れ光反射膜 5 c を形成してある。

本実施形態においては、励起光透過発振漏れ戻り光反射膜 5 c とレーザ共振器 3 との間で漏れ戻り光 $L_{L E A K}$ が往復し、前記実施形態と同様の効果を発揮する。

さらに、本実施形態及び以下に示す実施形態においては、光ファイバ 2 5、2 5 c には、共振器 3 から漏れた発振漏れ光 $L_{L E A K}$ が伝送されるので、図 2 に示した発振漏れ光検出装置 9 を設けることによって、発振漏れ光 $L_{L E A K}$ の強度を検出し、その結果を、内燃機関における燃焼異常の検出等に利用することも可能となる。

【 0 0 4 1 】

第 5 の実施形態におけるレーザ点火装置 7 d では、コリメートレンズ 2 3 d の入射側の端面に励起光透過発振漏れ光反射膜 5 d を形成してある。

本実施形態においては、励起光透過発振漏れ光反射膜 5 d とレーザ共振器 3 との間で発振漏れ光 $L_{L E A K}$ が往復し、前記実施形態と同様の効果を発揮する。

【 0 0 4 2 】

第 6 の実施形態におけるレーザ点火装置 7 e では、集束レンズ 2 2 e の入射側の端面に励起光透過発振漏れ光反射膜 5 e を形成してある。

本実施形態においては、励起光透過発振漏れ光反射膜 5 e とレーザ共振器 3 との間で発振漏れ光 $L_{L E A K}$ が往復し、前記実施形態と同様の効果を発揮する。

10

20

30

40

50

【0043】

第7の実施形態におけるレーザ点火装置7fでは、コリメートレンズ21fの入射側の端面に励起光透過発振漏れ光反射膜5fを形成してある。

本実施形態においては、励起光透過発振漏れ光反射膜5fとレーザ共振器3との間で発振漏れ光L_{LEAK}が往復し、前記実施形態と同様の効果を発揮する。

【0044】

第8の実施形態におけるレーザ点火装置7gでは、コリメートレンズ20gの入射側の端面に励起光透過発振漏れ光反射膜5gを形成してある。

本実施形態においては、励起光透過発振漏れ光反射膜5gとレーザ共振器3との間で発振漏れ光L_{LEAK}が往復し、前記実施形態と同様の効果を発揮する。

10

【0045】

図6を参照して、本発明のレーザ点火装置7、7a~7gの全体概要について説明する。レーザ点火装置7、7a~7gは、内燃機関8の気筒毎に設けられ、エンジンヘッド81に固定した集光手段4と、上述の第1~8の実施形態に示した、励起光源1、光学素子2(20~26)、2a(20~26a)~2g(20g~26g)、レーザ共振器3、3aによって構成されている。

【0046】

集光手段4は、レーザ共振器3、3aから発振された発振光L_{PLS}を拡張して拡張光L_{EXP}を出光する発振光拡張レンズ40と、拡張光L_{EXP}を燃焼室80内の所定の集光点FPに集光する集光光L_{FC}を出光する集光レンズ41と、集光レンズ41を燃焼室80の圧力、温度等から保護する保護ガラス42と、発振光拡張レンズ40、集光レンズ41、保護ガラス42をエンジンヘッド81に固定するためのハウジング43とによって構成されている。

20

レーザ共振器3、3aから発振された発振光L_{PLS}は集光手段4によって一旦、拡張された後、再度所定の集光点FPに集光されることで、エネルギー密度を極めて高くすることができ、燃焼室80内に導入された混合気の点火を行うことができる。

【0047】

本発明によれば、レーザ共振器3、3aと励起光透過発振漏れ戻り光反射膜5、5a~5gとの間で、励起光源1への発振漏れ光L_{LEAK}の強度を極めて小さくできるので、励起光源1の発振漏れ光L_{LEAK}による損傷を防止し、安定した着火を維持するレーザ点火装置7、7a~7gを実現できる。

30

【符号の説明】

【0048】

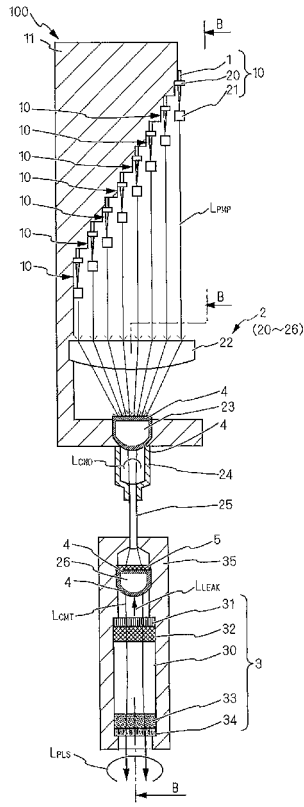
- 1 励起光源
- 10 半導体レーザモジュール
- 11 半導体レーザ固定部材
- 100 半導体レーザアレイ
- 2 光学素子
- 20、21 シリンドリカルレンズ
- 22、23 励起光集束レンズ
- 24 励起光結合素子
- 25 光ファイバ
- 26 励起光コリメートレンズ
- 3 レーザ共振器
- 30 レーザ媒質
- 31 反射防止膜
- 32 全反射鏡
- 33 可飽和吸収体
- 34 部分反射膜
- 35 共振器収容ハウジング

40

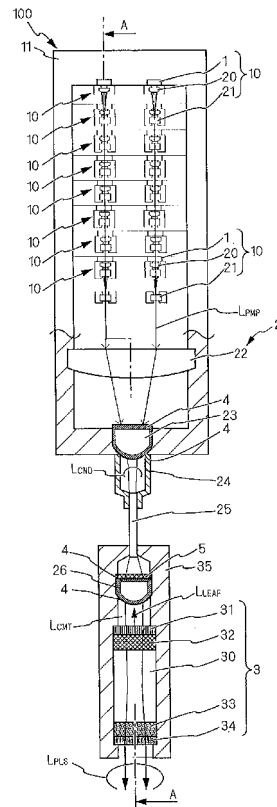
50

5	励起光透過発振漏れ光反射膜	
5 0	高屈折率膜	
5 1	低屈折率膜	
6	発振光集光手段	
6 0	発振光拡張素子 (ビームエキスパンダ)	
6 1	集光レンズ	
6 2	保護ガラス	
7	レーザ点火装置	
8	内燃機関	
8 0	燃焼室	10
8 1	エンジンヘッド	
9	発振漏れ光検出装置	
9 0	発振漏れ光サンプリング用ビームスプリッタ	
9 1	光ファイバ	
9 2	光検出装置 (フォトディテクタ)	
L P M P	励起光	
L C N D	集束光	
L C L M	平行光	
L P L S	発振光	
L L E A K	発振漏れ光	20
L E X P	拡張光	
L F C S	集光光	
F P	集光点	
P M P	励起光波長	
P L S	発振光波長	
R P M P	励起光反射率	
T P M P	励起光透過率	
R L E A K	発振漏れ光反射率	
T L E A K	発振漏れ光透過率	
I P L S	発振光強度	30
I L E A K	発振漏れ光強度	
n _H	高屈折率膜の屈折率	
n _L	低屈折率膜の屈折率	
n ₀	空気の屈折率	
n _M	光学素子の屈折率	

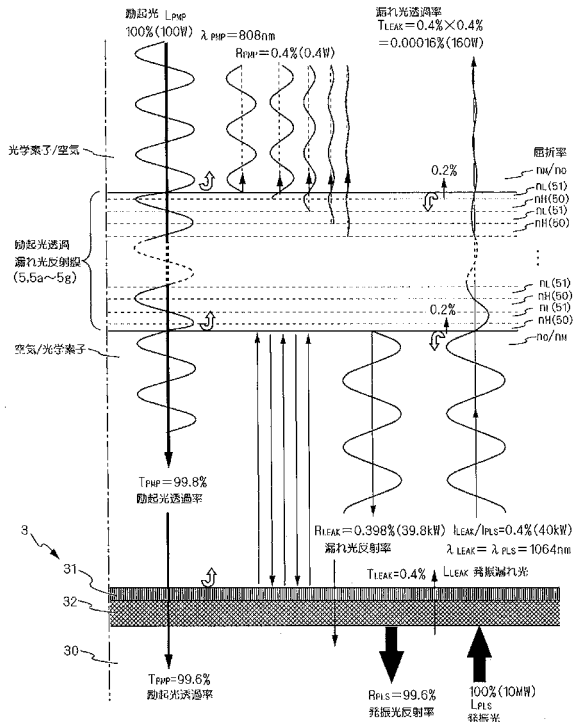
【図1A】



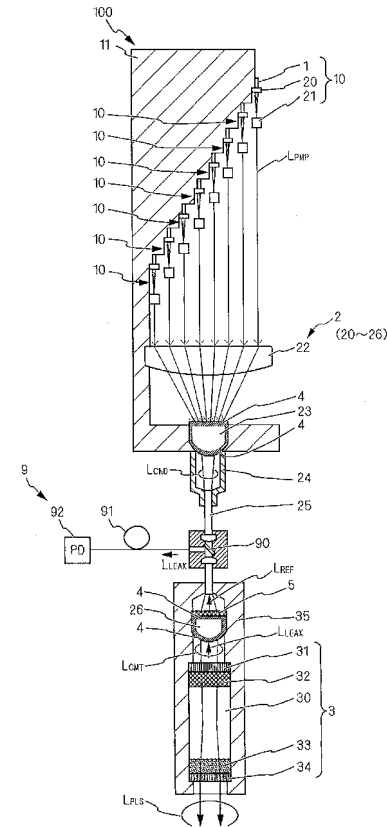
【図1B】



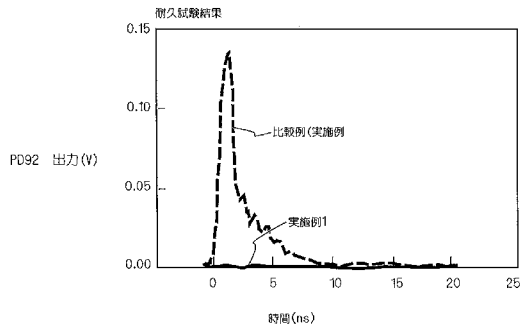
【図1C】



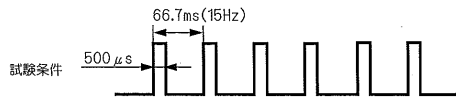
【図2】



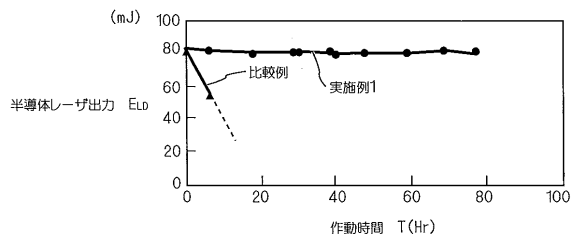
【図3A】



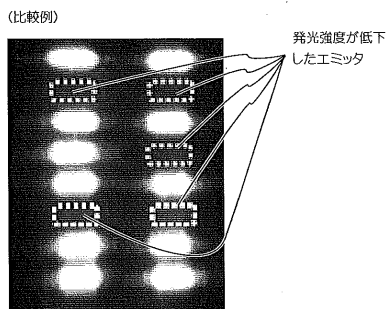
【図3B】



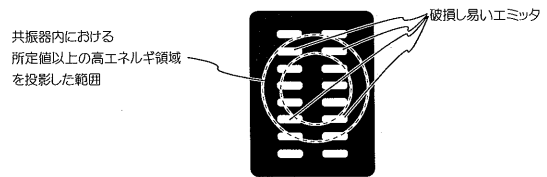
【図3C】



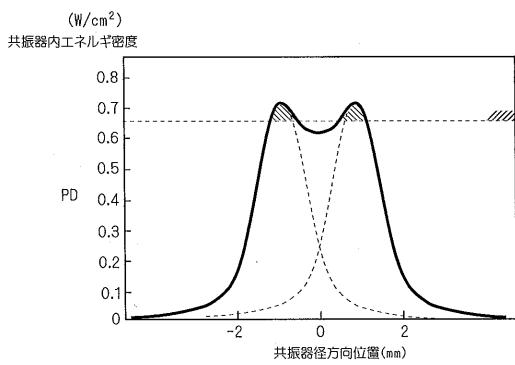
【図4B】



【図4D】

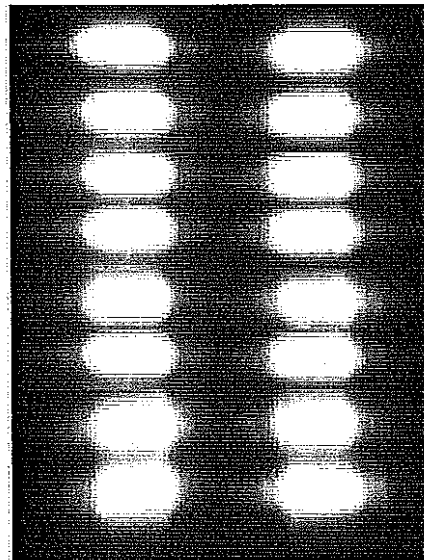


【図4C】

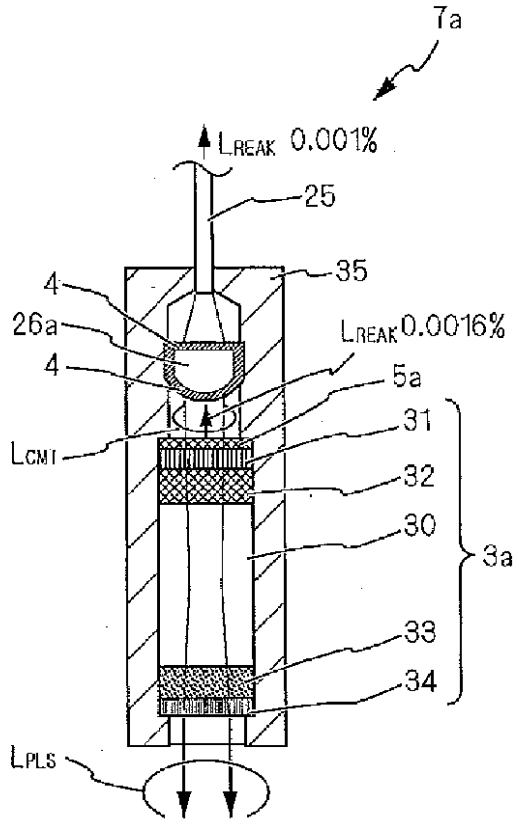


【図4A】

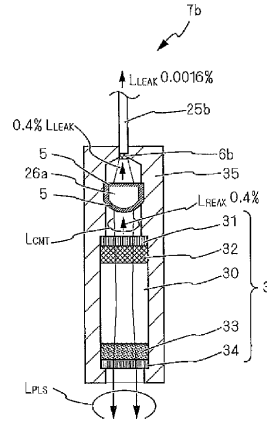
(実施例)



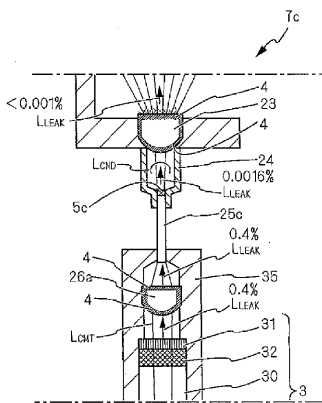
【図 5 A】



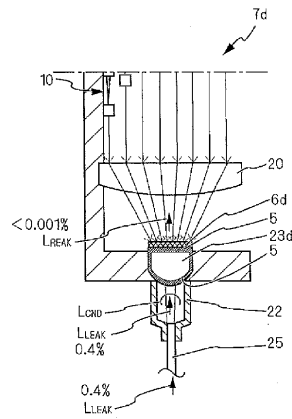
【図 5 B】



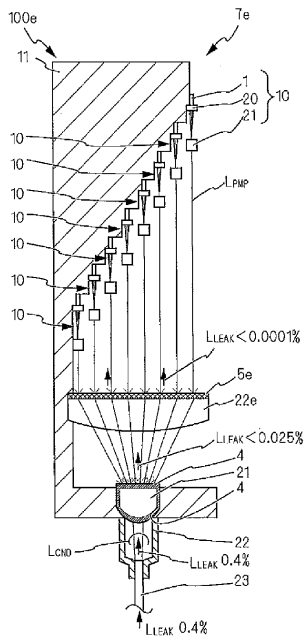
【図 5 C】



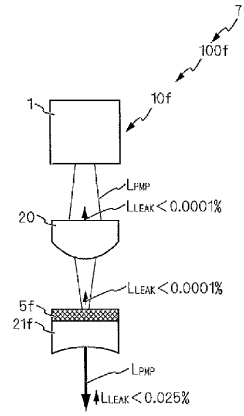
【図 5 D】



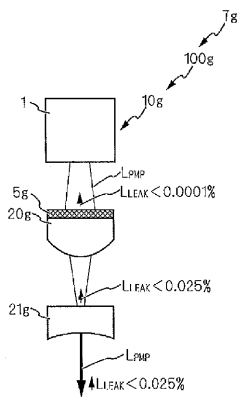
【 図 5 E 】



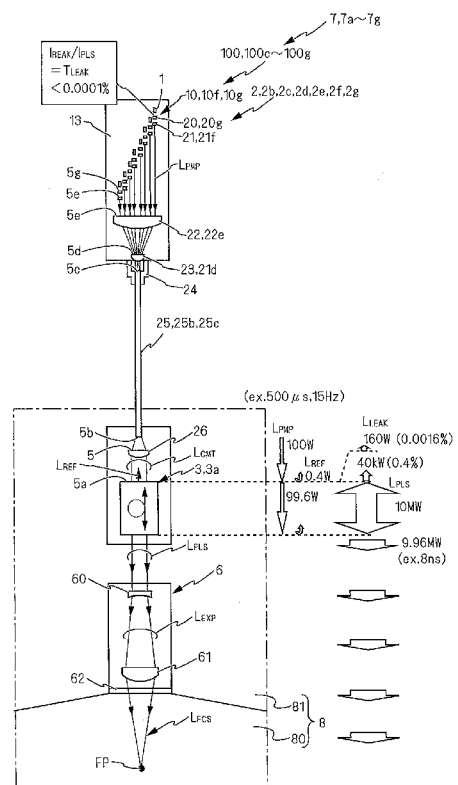
【 図 5 F 】



【 図 5 G 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 杉浦 明光

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

(72)発明者 平等 拓範

愛知県岡崎市明大寺町字西郷中3番地 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構内

Fターム(参考) 5F172 AE03 AF02 EE15 EE16 NN13 NQ53 ZZ20