

(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2019-175944

(P2019-175944A)

(43) 公開日 令和1年10月10日(2019.10.10)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
HO 1 S 5/022 (2006.01)	HO 1 S 5/022	2 H 1 3 7
HO 1 S 5/40 (2006.01)	HO 1 S 5/40	5 F 1 7 3
GO 2 B 6/42 (2006.01)	GO 2 B 6/42	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2018-60596 (P2018-60596)
 (22) 出願日 平成30年3月27日 (2018. 3. 27)

(71) 出願人 000005186
 株式会社フジクラ
 東京都江東区木場1丁目5番1号
 (74) 代理人 110000338
 特許業務法人HARAKENZO WOR
 LD PATENT & TRADEMA
 RK
 (72) 発明者 内山 正裕
 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
 フジクラ佐倉事業所内
 Fターム(参考) 2H137 AB06 AC01 BA01 BB02 BC02
 BC05 BC12 BC52
 5F173 MC02 MD12 MD64 ME24 MF23
 MF28 MF39

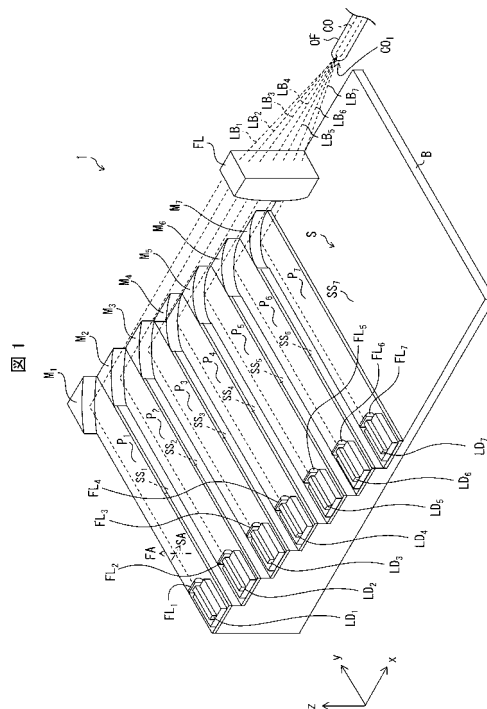
(54) 【発明の名称】 レーザモジュール

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】複数のレーザダイオードと光ファイバとを備えたレーザモジュールにおいて、部品数を減らす。

【解決手段】レーザモジュール1は、光ファイバOFと、高さが上記光ファイバに近づくにしたがって階段状に低くなるように構成されている各サブ載置面SS_iに搭載され、その位置が高い順にi = 1, 2, ..., nと順位付けられたn個のレーザダイオードLD_iと、各レーザダイオードLD_iからの光路の途中に配置され、且つ、その反射面により当該光路を折り曲げる軸外楕円ミラーM_iと、を備えている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コアを備えている光ファイバと、
 n 個 (n は、2 以上の整数) のレーザダイオード LD_i であって、各レーザダイオード LD_i の出射端面から上記コアの入射端面までの光路の長さである光路長 LO_i の長い順に $i = 1, 2, \dots, n$ と順位付けられた n 個のレーザダイオード LD_i と、
 上記光路の途中に配置され、且つ、その反射面 RS_i により当該光路を折り曲げる軸外楕円ミラー M_i と、を備えている、
 ことを特徴とするレーザモジュール。

【請求項 2】

各レーザダイオード LD_i により出射されたそれぞれのレーザ光 LB_i は、F 軸 FA_i 及び S 軸 SA_i を有し、
 F 軸 FA_i に沿った方向から平面視したときの各反射面 RS_i の形状は、第 1 焦点 FP_{1i} 及び第 2 焦点 FP_{2i} を有する仮想楕円 E_i により規定されており、
 各軸外楕円ミラー M_i は、それぞれの第 2 焦点 FP_{2i} が上記コアの入射端面の近傍に位置するように配置されており、
 各レーザダイオード LD_i は、該レーザダイオード LD_i の出射端面の近傍に、対応する軸外楕円ミラー M_i の第 1 焦点 FP_{1i} が位置するように配置されている、
 ことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザモジュール。

【請求項 3】

各レーザダイオード LD_i の光源中心から出射された光線をレーザ光 LB_i の主光線として、
 各軸外楕円ミラー M_i は、それぞれの反射面 RS_i に入射する上記主光線と、それぞれの反射面 RS_i から出射する上記主光線とのなす角が略直角となるように配置されている、
 ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のレーザモジュール。

【請求項 4】

各反射面 RS_i において上記主光線を反射する点を反射点 RP_i として、各第 1 焦点 FP_{1i} と各反射点 RP_i と間の距離である第 1 距離 D_{1i} の各々は、何れも等しく、
 各反射点 RP_i と各第 2 焦点 FP_{2i} と間の距離である第 2 距離 D_{2i} の各々は、 i が大きくなるにしたがって短くなる、
 ことを特徴とする請求項 3 に記載のレーザモジュール。

【請求項 5】

互いに対応するレーザダイオード LD_i と軸外楕円ミラー M_i とがそれぞれに固定されている n 個の板状部材 P_i と、
 各板状部材 P_i がそれぞれに固定されている n 個のサブ載置面 SS_i を含む載置面 S を有し、且つ、上記光ファイバが直接又は間接的に固定されている基板と、を更に備え、
 載置面 S は、各サブ載置面 SS_i の高さが上記光ファイバに近づくにしたがって階段状に低くなるように構成されている、
 ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れか 1 項に記載のレーザモジュール。

【請求項 6】

各レーザダイオード LD_i により出射されたそれぞれのレーザ光 LB_i は、F 軸 FA_i 及び S 軸 SA_i を有し、
 各レーザダイオード LD_i と各軸外楕円ミラー M_i との途中にそれぞれが配置された n 個の F 軸コリメートレンズ FL_i であって、各レーザ光 LB_i のうち各反射面 RS_i に入射するレーザ光 LB_i である入射光を F 軸 FA_i に沿ってコリメートする n 個の F 軸コリメートレンズ FL_i と、
 各軸外楕円ミラー M_i と上記コアの上記入射端面との途中に配置された集光レンズであって、各レーザ光 LB_i のうち各反射面 RS_i により反射されたレーザ光 LB_i である各出射光を上記コアの上記入射端面の近傍に集光する集光レンズと、を更に備えている、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする請求項 1 ~ 5 の何れか 1 項に記載のレーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のレーザダイオードと光ファイバとを備えたレーザモジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

ファイバレーザの励起光源として、複数のレーザダイオードと光ファイバとを備えたレーザモジュールが広く用いられている。このようなレーザモジュールにおいては、複数のレーザダイオードから出力されたレーザ光が光ファイバに入力される。このようなレーザモジュールを用いることによって、単一のレーザダイオードからは得ることのできないハイパワーなレーザ光を得ることができる。従来レーザモジュールとしては、図 4 に示すレーザモジュール 101 (特許文献 1 参照) が代表的である。

10

【0003】

図 4 に示すレーザモジュール 101 では、7 個のレーザダイオード $LD_1 \sim LD_7$ から出力されたレーザ光を、7 個の平面ミラー $M_1 \sim M_7$ を用いて光ファイバ OF に導いている。すなわち、レーザダイオード $LD_1 \sim LD_7$ から出力されたレーザ光と、光ファイバ OF 内を伝搬するレーザ光とは、これらの光学部品を介して光学的に結合している。そのうえで、光ファイバ OF 内を伝搬するレーザ光は、レーザモジュール 101 の出力レーザ光となる。なお、図 4 には、レーザダイオード $LD_1 \sim LD_7$ から出力されたレーザ光の主光線のみを破線にて図示している。

20

【0004】

このように構成されたレーザモジュール 101 によれば、各レーザダイオード LD_i から出力されるレーザ光の約 7 倍のパワーを有する出力レーザ光を得ることができる。

【0005】

また、レーザモジュール 101 は、F 軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ 、S 軸コリメートレンズ $SL_1 \sim SL_7$ と、集光レンズ FL とを、更に備えている。F 軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ 、S 軸コリメートレンズ $SL_1 \sim SL_7$ は、レーザダイオード $LD_1 \sim LD_7$ から出射されたレーザ光を、該レーザ光の F 軸及び S 軸の各々に沿った方向にコリメートする。平面ミラー $M_1 \sim M_7$ は、平面からなる反射面を有する。平面ミラー $M_1 \sim M_7$ の各反射面は、F 軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ 、S 軸コリメートレンズ $SL_1 \sim SL_7$ によってコリメートされた光を光ファイバ OF の方向へ反射する。集光レンズ FL は、平面ミラー $SM_1 \sim SM_7$ によって反射された光を集光し、光ファイバ OF に導いている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2013 - 235943 号公報 (2013 年 11 月 21 日公開)

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来レーザモジュール 101 は、上述したように、F 軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ 、S 軸コリメートレンズ $SL_1 \sim SL_7$ と、集光レンズ FL とを必要とする。また、従来レーザモジュール 101 を製造する際には、これらのレンズ群の位置及び向きを調整する調整工程と、これらのレンズ群を基板に対して固定する固定工程が必要となる。従来レーザモジュール 101 よりもレンズ群の数を減らすことができれば、レンズ群を製造するためのコストを削減できることに加えて、調整工程及び固定工程を実施するためのコストを削減できる。

50

【0008】

本発明は、上記の課題に鑑みなされたものであり、複数のレーザダイオードと光ファイバとを備えたレーザモジュールにおいて、レンズ群の数を減らすことを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るレーザモジュールは、コアを備えている光ファイバと、 n 個 (n は、2以上の整数)のレーザダイオード LD_i であって、各レーザダイオード LD_i の出射端面から上記コアの入射端面までの光路の長さである光路長 LO_i の長い順に $i = 1, 2, \dots, n$ と順位付けられた n 個のレーザダイオード LD_i と、上記光路の途中に配置され、且つ、その反射面 RS_i により当該光路を折り曲げる軸外楕円ミラー M_i と、を備えている、ことを特徴とする。

10

【0010】

軸外楕円ミラー M_i は、その反射面 RS_i を規定する楕円の第1焦点から発せられた光を、当該楕円の第2焦点に結像させることができる。したがって、上記のように構成された本レーザモジュールは、従来のレーザモジュールが備えていたコリメートレンズの少なくとも一部を省略することができる。換言すれば、本レーザモジュールは、従来のレーザモジュールと比較して、レンズ群の数を減らすことができる。

【0011】

また、本発明の一態様に係るレーザモジュールにおいて、各レーザダイオード LD_i により出射されたそれぞれのレーザ光 LB_i は、F軸 FA_i 及びS軸 SA_i を有し、F軸 FA_i に沿った方向から平面視したときの各反射面 RS_i の形状は、第1焦点 FP_{1i} 及び第2焦点 FP_{2i} を有する仮想楕円 E_i により規定されており、各軸外楕円ミラー M_i は、それぞれの第2焦点 FP_{2i} が上記コアの入射端面の近傍に位置するように配置されており、各レーザダイオード LD_i は、該レーザダイオード LD_i の出射端面の近傍に、対応する軸外楕円ミラー M_i の第1焦点 FP_{1i} が位置するように配置されている、ことが好ましい。

20

【0012】

上記の構成によれば、各軸外楕円ミラー M_i の第1焦点 FP_{1i} 近傍から出射された各レーザ光 LB_i は、そのS軸 SA_i に沿った方向において各軸外楕円ミラー M_i の第2焦点 FP_{2i} に結像される。すなわち、各レーザ光 LB_i は、コアの入射端面の近傍において、コアの内部を伝搬するモードと結合する。このように、本レーザモジュールは、従来のレーザモジュールが備えていたS軸コリメートレンズを省略することができるので、そのレンズ群の数を減らしつつ、各レーザダイオード LD_i により出射されたレーザ光をより確実にコアに入射させることができる。

30

【0013】

また、本発明の一態様に係るレーザモジュールにおいて、各レーザダイオード LD_i の光源中心から出射された光線をレーザ光 LB_i の主光線として、各軸外楕円ミラー M_i は、それぞれの反射面 RS_i に入射する上記主光線と、それぞれの反射面 RS_i から出射する上記主光線とのなす角が略直角となるように配置されている、ことが好ましい。

【0014】

上記の構成によれば、軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置するときに定めるべき設計パラメータの数を減らすことができる。また、軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置する位置が明確になる。そのため、本レーザモジュールの設計を容易にすることができる。

40

【0015】

また、本発明の一態様に係るレーザモジュールにおいて、各反射面 RS_i において上記主光線を反射する点を反射点 RP_i として、各第1焦点 FP_{1i} と各反射点 RP_i と間の距離である第1距離 D_{1i} の各々は、何れも等しく、各反射点 RP_i と各第2焦点 FP_{2i} と間の距離である第2距離 D_{2i} の各々は、 i が大きくなるにしたがって短くなる、ことが好ましい。

50

【0016】

上記の構成によれば、軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置するときに定めるべき設計パラメータの数を更に減らすことができる。また、軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置する位置が更に明確になる。そのため、本レーザモジュールの設計を更に容易にすることができる。

【0017】

また、本発明の一態様に係るレーザモジュールは、互いに対応するレーザダイオード LD_i と軸外楕円ミラー M_i とがそれぞれに固定されている n 個の板状部材 P_i と、各板状部材 P_i がそれぞれに固定されている n 個のサブ載置面 SS_i を含む載置面 S を有し、且つ、上記光ファイバが直接又は間接的に固定されている基板と、を更に備え、載置面 S は、各サブ載置面 SS_i の高さが上記光ファイバに近づくにしたがって階段状に低くなるように構成されている、ことが好ましい。

10

【0018】

上記の構成によれば、各サブ載置面 SS_i の高さが異なっており、その各サブ載置面 SS_i に、レーザダイオード LD_i と軸外楕円ミラー M_i とが固定されている板状部材 P_i が固定されているため、各軸外楕円ミラー M_i により折り曲げられた各光路は、光路の途中で互いに交差することなくコアの入射端面に至ることができる。

【0019】

そのうえで、上記のように構成された本レーザモジュールは、予めレーザダイオード LD_i と軸外楕円ミラー M_i とを板状部材 P_i 上の所定の位置に固定しておき、板状部材 P_i とコアの入射端面との相対位置を調整しながら、板状部材 P_i をサブ載置面 SS_i に固定する固定工程を採用することができる。この固定工程によれば、レーザダイオード LD_i の位置と軸外楕円ミラー M_i の位置とを別個に位置を調整しながら基板に固定する工程を採用しなくても、基板に対するレーザダイオード LD_i の位置、及び、軸外楕円ミラー M_i の位置の各々を定めることができる。したがって、本レーザモジュールは、板状部材 P_i を備えていない従来のレーザモジュールと比較して、レーザダイオード LD_i 及び軸外楕円ミラー M_i の位置調整が容易になる。

20

【0020】

また、本発明の一態様に係るレーザモジュールにおいて、各レーザダイオード LD_i により出射されたそれぞれのレーザ光 LB_i は、F軸 FA_i 及びS軸 SA_i を有する。本発明の一態様に係るレーザモジュールは、各レーザダイオード LD_i と各軸外楕円ミラー M_i との途中にそれぞれが配置された n 個のF軸コリメートレンズ FL_i であって、各レーザ光 LB_i のうち各反射面 RS_i に入射するレーザ光 LB_i である入射光をF軸 FA_i に沿ってコリメートする n 個のF軸コリメートレンズ FL_i と、各軸外楕円ミラー M_i と上記コアの上記入射端面との途中に配置された集光レンズであって、各レーザ光 LB_i のうち各反射面 RS_i により反射されたレーザ光 LB_i である各出射光を上記コアの上記入射端面の近傍に集光する集光レンズと、を更に備えている、ことが好ましい。

30

【0021】

上記の構成によれば、各レーザ光 LB_i は、そのF軸 FA_i に沿った方向の成分であるF軸成分が、F軸コリメートレンズ FL_i 及び集光レンズを介して、コアの入射端面の近傍に結像される。すなわち、各レーザ光 LB_i において、S軸 SA_i に沿った方向の成分であるS軸成分及びF軸成分の双方は、コアの入射端面の近傍において、コアの内部を伝搬するモードと結合する。したがって、本レーザモジュールは、そのレンズ群の数を減らしつつ、レーザダイオード LD_i と光ファイバとの間におけるレーザ光 LB_i の結合効率を高めることができる。

40

【発明の効果】

【0022】

本発明の一態様によれば、複数のレーザダイオードと光ファイバとを備えたレーザモジュールにおいて、レンズ群の数を減らすことができる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 2 3 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態に係るレーザモジュールの斜視図である。

【 図 2 】 図 1 に示したレーザモジュールの三面図である。

【 図 3 】 図 1 に示したレーザモジュールが備えている軸外楕円ミラーの反射点と、該軸外楕円ミラーの反射面を規定する楕円の第 1 焦点及び第 2 焦点を示す平面図である。

【 図 4 】 従来 of レーザモジュールの斜視図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 4 】

〔 第 1 の実施形態 〕

（ レーザモジュールの構成 ）

本発明の第 1 の実施形態に係るレーザモジュール 1 の構成について、図 1 ~ 図 3 を参照して説明する。

【 0 0 2 5 】

図 1 は、レーザモジュール 1 の斜視図である。

【 0 0 2 6 】

図 2 は、レーザモジュール 1 の三面図（平面図、正面図、及び左側面図）である。なお、図 2 に示したレーザモジュール 1 において、（ 1 ） y 軸負方向側に位置する z x 平面に沿った側面をレーザモジュール 1 の正面と呼び、（ 2 ） x 軸正方向側に位置する y z 平面に沿った側面をレーザモジュール 1 の左側面と呼ぶ。

【 0 0 2 7 】

図 3 は、レーザモジュール 1 が備えている軸外楕円ミラー M_i の反射点 RP_i と、軸外楕円ミラー M_i の反射面 RS_i を規定する楕円 E_i の第 1 焦点 FP_{1i} 及び第 2 焦点 FP_{2i} を示す平面図である。図 3 には、各レーザダイオード LD_i 、各 F 軸コリメートレンズ FL_i 、及び集光レンズ FL の図示を省略している。また、図 3 においては、 i が 1 ~ 7 である単位光学系の各軸外楕円ミラー M_i のうち、軸外楕円ミラー M_1, M_4, M_7 を代表例として、代表例の反射面である反射面 RS_1, RS_4, RS_7 の一部の形状と、反射面 RS_1, RS_4, RS_7 を規定する仮想的な楕円 E_1, E_4, E_7 とを図示するに留めている。これは、図面が煩雑になることによってレーザモジュール 1 の構成が分かりにくくなることを避けるためである。なお、図 3 に図示していない仮想的な楕円 E_2, E_3, E_5, E_6 についても、第 1 焦点 FP_{1i} 、第 2 焦点 FP_{2i} 、及び反射点 RP_i が与えられているため、対応する楕円 E_i が定められることは自明である。各楕円 E_i は、請求の範囲に記載された仮想楕円 E_i の例である。

【 0 0 2 8 】

レーザモジュール 1 は、図 1 に示すように、7 つのレーザダイオード $LD_1 \sim LD_7$ と、7 つの F 軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ と、7 つの軸外楕円ミラー $M_1 \sim M_7$ と、7 つの板状部材 $P_1 \sim P_7$ と、1 つの集光レンズ FL と、1 つの光ファイバ OF と、を備えている。板状部材 $P_1 \sim P_7$ 及び集光レンズ FL は、レーザモジュール 1 の筐体の底板 B に固定されている。底板 B は、特許請求の範囲に記載の基板である。レーザダイオード $LD_1 \sim LD_7$ 、F 軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ 及び軸外楕円ミラー $M_1 \sim M_7$ は、板状部材 $P_1 \sim P_7$ に固定されている。なお、図 1 において、F 軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ を板状部材 $P_1 \sim P_7$ に固定する固定部材の図示は、省略している。

【 0 0 2 9 】

以降、7 個のレーザダイオード $LD_1 \sim LD_7$ の各々を、レーザダイオード LD_i (i は、1 ~ 7 の自然数) と記載する。また、F 軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ の各々を、F 軸コリメートレンズ FL_i (i は、1 ~ 7 の自然数) と記載する。また、軸外楕円ミラー $M_1 \sim M_7$ の各々を、軸外楕円ミラー M_i (i は、1 ~ 7 の自然数) と記載する。また、板状部材 $P_1 \sim P_7$ の各々を、板状部材 P_i (i は、1 ~ 7 の自然数) と記載する。また、互いに i が同じ数であるレーザダイオード LD_i 、F 軸コリメートレンズ FL_i 、及び軸外楕円ミラー M_i のことを、互いに対応するレーザダイオード LD_i 、F 軸コリメートレンズ FL_i 、及び軸外楕円ミラー M_i と称する。

10

20

30

40

50

【0030】

(光ファイバOF)

光ファイバOFは、コアCO及びクラッドを備えている。光ファイバOFは、レーザモジュール1の筐体の側壁を貫通し、コアCOの入射端面CO_Iを含む端部がレーザモジュール1の筐体内に引き込まれている。コアCOは、入射端面CO_Iの位置が変動しないように、筐体の側壁に対して固定されており、筐体の側壁は、底板Bに対して固定されている。したがって、レーザモジュール1において、光ファイバOFは、底板Bに対して間接的に固定されている。なお、レーザモジュール1において、光ファイバOFを固定する態様は特に限定されるものではない。例えば、光ファイバOFは、底板Bに対して直接固定されていてもよい。なお、図1において、レーザモジュール1の筐体の側壁と、筐体の側壁に光ファイバOFを固定するための固定部材の図示は、省略している。

10

【0031】

(底板B)

底板Bは、互いに対向し且つ互いに平行な一对の主面と、4つの側面とにより構成されている。以下において、底板Bの互いに対向する一对の主面のうち、図1に図示した座標系においてz軸正方向側の主面を載置面Sと呼ぶ。載置面Sは、少なくとも7個のサブ載置面SS_iを含む。各サブ載置面SS_iは、図示した座標系におけるxy平面に沿った平面(本実施形態では平行な平面)であり、光ファイバOFの入射端面CO_Iに近づくにしたがって、その高さが階段状に低くなるように構成されている。換言すれば、底板Bは、入射端面CO_Iから最も遠くに位置するサブ載置面SS₁の高さが最高となり、入射端面CO_Iに近づくにしたがって、サブ載置面SS_iの高さが段々と低くなり、入射端面CO_Iの最も近くに位置するサブ載置面SS₇の高さが最低となるように構成されている。

20

【0032】

サブ載置面SS₁~SS₆の各々の形状は、平面視した場合に、それぞれ、長辺がy軸方向に沿い(本実施形態では平行であり)、短辺がx軸方向に沿う(本実施形態では平行である)長方形である。サブ載置面SS₇の形状は、サブ載置面SS₁~SS₆の各々の形状と同様に、長辺がy軸方向に沿い(本実施形態では平行であり)、短辺がx軸方向に沿う(本実施形態では平行である)長方形である。しかし、サブ載置面SS₇は、その短辺の長さが、サブ載置面SS₁~SS₆の各々の短辺よりも長い。なお、サブ載置面SS₇の短辺の長さは、集光レンズFLを配置するx軸方向における位置(具体的には軸外楕円ミラーM₇からの距離)、及び、集光レンズFLの焦点距離に応じて、適宜定めることができる。場合によって、レーザモジュール1は、サブ載置面SS₇のx軸方向に沿った辺の長さがサブ載置面SS₇のy軸方向に沿った辺の長さを上回る構成を採用してもよい。ただし、レーザモジュール1をよりコンパクトに構成するという観点では、サブ載置面SS₇のx軸方向に沿った辺の長さがサブ載置面SS₇のy軸方向に沿った辺の長さを下回る構成が好ましい。

30

【0033】

各サブ載置面SS_iの上には、それぞれ、板状部材P_iが固定されている。図1に示すように、レーザモジュール1において、サブ載置面SS₁~SS₆の各々は、それぞれの多くの部分(本実施形態においては全部)が板状部材P₁~P₆により覆われており、サブ載置面SS₇は、その一部が板状部材P₇により覆われている。板状部材P_iは、互いに対応するレーザダイオードLD_iとF軸コリメ-トレンズFL_iと軸外楕円ミラーM_iとを固定するサブマウントとして機能する。

40

【0034】

(板状部材P_i)

板状部材P_iは、互いに対向し且つ互いに平行な一对の主面と、4つの側面とにより構成されている。板状部材P_iの互いに対向する一对の主面のうち、図1に図示した座標系においてz軸正方向側の主面を板状部材P_iの上面と呼ぶ。本実施形態では、板状部材P_iの上面の形状及びサイズは、サブ載置面SS₁~SS₆の形状及びサイズに等しい。すなわち、板状部材P_iの上面の形状は、平面視した場合に、それぞれ、長辺がy軸方向に

50

沿い（本実施形態では平行であり）、短辺が x 軸方向に沿う（本実施形態では平行である）長方形である。ただし、板状部材 P_i の載置面の形状及びサイズは、これに限定されない。

【0035】

板状部材 P_i の上面には、レーザダイオード LD_i が1つずつ固定されている。各レーザダイオード LD_i は、その出射端面から光ファイバOFを構成するコアCOの入射端面 CO_I までの光路の長さである光路長 LO_i の長い順に、 $i = 1, 2, \dots, 6, 7$ と順位付けされている。すなわち、レーザダイオード LD_1 は、入射端面 CO_I から最も離れた位置に固定され、光路長 LO_1 が最も長い。また、レーザダイオード LD_7 は、入射端面 CO_I の最も近い位置に載置され、光路長 LO_7 が最も短い。

10

【0036】

板状部材 P_i の載置面には、レーザダイオード LD_i に加えて、レーザダイオード LD_i に対応するF軸コリメートレンズ FL_i 及び軸外楕円ミラー M_i が更に載置されている。（1）1つの板状部材 P_i に載置されたレーザダイオード LD_i 、F軸コリメートレンズ FL_i 及び軸外楕円ミラー M_i と、（2）集光レンズ FL と、（3）光ファイバOFとは、レーザ光 LB_i と光ファイバOF内を伝搬するレーザ光とを結合する単位光学系であって、 i が1～7である場合の単位光学系を構成する。

【0037】

（レーザダイオード LD_i ）

レーザダイオード LD_i は、レーザ光 LB_i を出力する光源である。レーザ光 LB_i は、レーザ光 $LB_1 \sim LB_7$ の各々を一般化した場合の呼称である。本実施形態においては、図示した座標系において、活性層が xy 平面と平行になるように、かつ、出射端面が zx 平面と平行になるように配置されたレーザダイオードを、レーザダイオード LD_i として用いる。レーザダイオード LD_i からは、進行方向が y 軸正方向に一致し、F軸（ファスト軸） FA_i が z 軸と平行であり、S軸（スロー軸） SA_i が x 軸と平行であるレーザ光 LB_i が出力される。すなわち、レーザ光 LB_i のうち拡がり角が 0° であるレーザ光 LB_i の進行方法は、 y 軸正方向に一致している。

20

【0038】

なお、上述したように、各レーザダイオード LD_i は、何れも活性層が xy 平面と平行になるように、且つ、出射端面が zx 平面と平行になるように配置されている。そのため、各レーザ光 LB_i のF軸 FA_i は、互いに平行であり、各レーザ光 LB_i のS軸 SA_i は、互いに平行である。そこで、以下では、 i に応じてF軸 FA_i を区別せず、単に、F軸 FA と記載する（図1参照）。同様に、S軸 SA_i を単にS軸 SA と記載する。

30

【0039】

これらの各レーザダイオード LD_i は、それぞれ、上述したように高さが互いに異なるサブ載置面 SS_i に固定された板状部材 P_i の上面に載置されている。また、これらのレーザダイオード $LD_1 \sim LD_7$ は、各レーザダイオード LD_i の出射端面が特定の zx 平面と平行な平面上（すなわち板状部材 P_i の上面）に位置するように配置されている。したがって、各レーザ光 LB_i の主光線の光軸は、サブ載置面 SS_i 及び板状部材 P_i の上面に沿っている（本実施形態においては平行である）。なお、本明細書において、レーザ光 LB_i の主光線とは、レーザ光 LB_i のニアフィールドパターンにおいて長軸と短軸とが交差する点である光源中心から出射され、且つ、拡がり角が 0° である方向（すなわち y 軸方向）に伝搬する光線のことを指す。

40

【0040】

各レーザ光 LB_i の光路の途中には、F軸コリメートレンズ FL_i が配置されている。本実施形態において、F軸コリメートレンズ $FL_1 \sim FL_7$ は、同一の構成を有する。本実施形態においては、図1に図示した座標系において、平坦面（入射面）が y 軸負方向を向き、湾曲面（出射面）が y 軸正方向を向くように配置された平凸シリンドリカルレンズを、F軸コリメートレンズ FL_i として利用する。本実施形態において、F軸コリメートレンズ FL_i は、レーザダイオード LD_i の出射端面に対して、その平坦面（入射面）が

50

対向するように、且つ、レーザダイオード LD_i の出射端面に対して、その平坦面（入射面）が近接するように配置されている。F軸コリメートレンズ FL_i は、 yz 平面に平行な断面の y 軸正方向側の外縁が円弧を描くように配置されており、レーザ光 LB_i の F 軸方向の広がりをコリメートする。

【0041】

（軸外楕円ミラー M_i ）

F軸コリメートレンズ FL_i を透過したレーザ光 LB_i の光路上には、軸外楕円ミラー M_i が配置されている。軸外楕円ミラー M_i は、レーザ光 LB_i を反射することによってレーザダイオード LD_i からコア CO の入射端面 CO_I までの光路を折り曲げる反射面 RS_i を有する。

10

【0042】

軸外楕円ミラー M_i の反射面 RS_i により反射されたレーザ光 LB_i の光路上には、集光レンズ FL が配置されている。集光レンズ FL は、各反射面 RS_i により反射されたレーザ光 LB_i である各出射光をコア CO の入射端面 CO_I の近傍に集光し、コア CO に導く。すなわち、各レーザ光 LB_i は、コア CO の入射端面 CO_I の近傍において、コアの内部を伝搬するモードと結合する。

【0043】

軸外楕円ミラー M_i は、その反射面 RS_i を規定する楕円の第1焦点から発せられた光を、当該楕円の第2焦点に結像させることができる。したがって、レーザモジュール1は、図4に示す従来のレーザモジュール101が備えていたF軸コリメートレンズ FL_i 及びS軸コリメートレンズ SL_i のうち、少なくともS軸コリメートレンズ SL_i を省略することができる。換言すれば、レーザモジュール1は、従来のレーザモジュール101と比較して、レンズ群の数を減らすことができる。

20

【0044】

各反射面 RS_i の形状は、F軸 FA_i に沿った方向（図2に図示した座標系における z 軸正方向）から平面視した場合に、楕円 E_i の輪郭の一部により規定されている。換言すれば、 xy 平面に沿った平面による断面における各反射面 RS_i の曲率は、楕円 E_i の輪郭の一部により規定されている。以下において、楕円 E_i が有する2つの焦点を第1焦点 FP_{1i} 及び第2焦点 FP_{2i} と称する。

【0045】

なお、本実施形態のレーザモジュール1においては、F軸コリメートレンズ FL_i によりF軸方向 FA に関してコリメートされたレーザ光 LB_i が入射光として反射面 RS_i に入射し、反射面 RS_i により反射されたレーザ光 LB_i である反射光は、集光レンズ FL によって入射端面 CO_I に向かって集光される。したがって、本実施形態において、反射面 RS_i の法線を含み且つ z 軸と平行な平面による断面における各反射面 RS_i は、直線により構成されており曲率をもたない。別の言い方をすれば、反射面 RS_i の法線は、常に xy 平面に沿っている（本実施形態では平行である）。

30

【0046】

（好ましい構成）

各軸外楕円ミラー M_i は、それぞれの第2焦点 FP_{2i} がコア CO の入射端面 CO_I の近傍に位置するように配置されている。より好ましくは、各軸外楕円ミラー M_i は、それぞれの第2焦点 FP_{2i} が入射端面 CO_I の中心の近傍に位置するように配置されている。図2に示したレーザモジュール1は、このより好ましい構成を採用している。したがって、図2の平面図においては、 i に応じて第2焦点 FP_{2i} を区別せず、単に第2焦点 FP_2 と記載している。

40

【0047】

また、各レーザダイオード LD_i は、該レーザダイオード LD_i の出射端面の近傍に、対応する楕円 E_1 の第1焦点 FP_{1i} が位置するように配置されている。より好ましくは、各レーザダイオード LD_i は、そのレーザ光 LB_i のニアフィールドパターン（レーザダイオード LD_i の出射端面におけるレーザ光 LB_i のフィールドパターン）におけるF

50

軸FAとS軸SAとの交点と、対応する楕円 E_1 の第1焦点 FP_{1i} とが一致するように配置されている。図2に示したレーザモジュール1は、このより好ましい構成を採用している。

【0048】

上記の構成によれば、各軸外楕円ミラー M_i の第1焦点 FP_{1i} の近傍から出射された各レーザ光 LB_i は、そのS軸 SA_i に沿った方向において各軸外楕円ミラー M_i の第2焦点 FP_{2i} に結像される。すなわち、各レーザ光 LB_i は、コアCOの入射端面 CO_I の近傍において、コアの内部を伝搬するモードと結合する。このように、レーザモジュール1は、従来のレーザモジュール101が備えていたレンズ群の数を減らしつつ、各レーザダイオード LD_i により出射されたレーザ光を確実にコアに入射させることができる。

10

【0049】

レーザモジュール1において、各レーザダイオード LD_i により出射されたそれぞれのレーザ光 LB_i のうち、各レーザダイオード LD_i の光源中心から出射された光線をレーザ光 LB_i の主光線とする。本実施形態のレーザモジュール1において、図2に示すように、各軸外楕円ミラー M_i は、反射面 RS_i に入射する主光線と、反射面 RS_i から出射する主光線とのなす角（すなわち上記主光線に対する軸外し角）が直角、すなわち 90° となるように構成されている。

【0050】

上記の構成によれば、軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置するときに定めるべき設計パラメータの数を減らすことができる。また、軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置する位置が明確になる。そのため、レーザモジュール1の設計を容易にすることができる。

20

【0051】

なお、レーザモジュール1において、上記主光線に対する軸外し角は、直角に限定されるものではなく、任意に定めることができる。しかし、レーザ光 LB_i のファーストパターンにおける対称性を高めるという観点では、上記主光線に対する軸外し角は、(1) 90° であることが最も好ましく、(2) 90° を中心に $\pm 0.5^\circ$ の範囲内に含まれていることがより好ましい。請求の範囲に記載の略直角とは、 90° を中心に $\pm 0.5^\circ$ の範囲内に含まれる角度のことを指す。

【0052】

また、本実施形態のレーザモジュール1においては、上記主光線に対する軸外し角が、各レーザ光 LB_i において等しくなるように軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFが配置されている。この構成によれば、上記主光線に対する軸外し角が、各レーザ光 LB_i において等しくない場合と比べて軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置するときの作業がより一層容易になる。ただし、本発明の一態様において、上記主光線に対する軸外し角は、略直角になっていれば好ましいが、各レーザ光 LB_i において異なってもよい。

30

【0053】

レーザモジュール1において、各反射面 RS_i において上記主光線を反射する点を反射点 RP_i とする。そのうえで、本実施形態のレーザモジュール1の各单位光学系においては、図3に示すように、(1)第1焦点 FP_{1i} と反射点 RP_i と間の距離である第1距離 D_{1i} の各々は、何れも等しく、(2)反射点 RP_i と第2焦点 FP_{2i} と間の距離である第2距離 D_{2i} の各々は、 i が大きくなるにしたがって短くなり、且つ、(3)第1焦点 FP_{1i} と第2焦点 FP_{2i} と間の距離である焦点間距離 D_{12i} の各々は、 i が大きくなるにしたがって短くなるように構成されている。

40

【0054】

各レーザダイオード LD_i の出射端面から光ファイバOFを構成するコアCOの入射端面 CO_I までの光路の長さである光路長 LO_i は、第1距離 D_{1i} と第2距離 D_{2i} との和により得られる。レーザモジュール1において、各光路長 LO_i は、 i が大きくなるにしたがって短くなるので、第1距離 D_{1i} の各々を何れも等しく設定した場合、第2距離

50

D_{2i} の各々は、 i が大きくなるにしたがって短くなる。また、上述したように、上記主光線に対する軸外し角は、何れも等しくなるように（本実施形態では 90° となるように）構成されているため、焦点間距離 D_{12i} の各々は、 i が大きくなるにしたがって短くなる。

【0055】

上記の構成によれば、軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置するときに定めるべき設計パラメータの数を更に減らすことができる。また、軸外楕円ミラー M_i 、レーザダイオード LD_i 、及び光ファイバOFを配置する位置が更に明確になる。そのため、レーザモジュール1の設計を更に容易にすることができる。

【0056】

また、上述したように、本実施形態のレーザモジュール1は、 n 個の板状部材 P_i と n 個のサブ載置面 SS_i を含む載置面 S を有する底板 B とを備え、載置面 S は、各サブ載置面 SS_i の高さが上記光ファイバに近づくにしたがって階段状に低くなるように構成されている。

【0057】

各サブ載置面 SS_i の高さが異なっており、その各サブ載置面 SS_i の上に、板状部材 P_i が固定されているため、各軸外楕円ミラー M_i により折り曲げられた各光路は、互いに交差することなくコアCOの入射端面 CO_I に至ることができる。

【0058】

そのうえで、上記のように構成された本レーザモジュールは、その製造方法において、予めレーザダイオード LD_i と軸外楕円ミラー M_i とを板状部材 P_i 上の所定の位置に固定しておき、板状部材 P_i とコアCOの入射端面 CO_I との相対位置を調整しながら、板状部材 P_i をサブ載置面 SS_i に固定する固定工程を採用することができる。この固定工程によれば、レーザダイオード LD_i の位置と軸外楕円ミラー M_i の位置とを別個に位置を調整しながら基板に固定する工程を採用しなくても、基板に対するレーザダイオード LD_i の位置、及び、軸外楕円ミラー M_i の位置の各々を定めることができる。したがって、レーザモジュール1は、板状部材 P_i を備えていないレーザモジュール101と比較して、レーザダイオード LD_i 及び軸外楕円ミラー M_i の位置調整が容易になる。

【0059】

また、上述したように、本実施形態のレーザモジュール1は、各サブ載置面 SS_i の形状として長方形を採用し、且つ、板状部材 P_i の上面の形状としてサブ載置面 $SS_1 \sim SS_6$ の上面の形状と合同な長方形を採用している。そのうえで、図1に示すように、板状部材 P_i の x 軸負方向側の長辺が、サブ載置面 SS_i とサブ載置面 SS_{i+1} との間に位置する yz 平面に沿った（本実施形態においては平行な）側壁に接するように、各板状部材 P_i は、各サブ載置面 SS_i に固定されている。この yz 平面に沿った側壁は、サブ載置面 SS_i の x 軸負方向側の長辺とサブ載置面 SS_{i+1} の x 軸正方向側の長辺とを接続する壁である。なお、底板 B の形状を階段と見做した場合に、各サブ載置面 SS_i は踏み板の上面（踏み面）に対応し、上述した yz 平面に沿った側壁は、蹴込み板の表面に対応する。

【0060】

この構成によれば、上述した固定工程の途中において、板状部材 P_i とコアCOの入射端面 CO_I との相対位置を調整するときに、板状部材 P_i を動かし得る方向が y 軸に沿った方向に規制される。したがって、レーザモジュール1は、レーザダイオード LD_i 及び軸外楕円ミラー M_i の位置調整が更に容易になる。

【0061】

また、上述したように、本実施形態のレーザモジュール1は、 n 個のF軸コリメートレンズ FL_i と、集光レンズ FL とを備えている。

【0062】

この構成によれば、各レーザ光 LB_i は、そのF軸 FA に沿った方向の成分であるF軸成分が、F軸コリメートレンズ FL_i 及び集光レンズを介して、コアCOの入射端面 CO

10

20

30

40

50

I の近傍に結像される。すなわち、各レーザ光 $L B_i$ において、 S 軸 $S A$ に沿った方向の成分である S 軸成分及び F 軸成分の双方は、入射端面 $C O_I$ の近傍において、コア $C O$ の内部を伝搬するモードと結合する。したがって、レーザモジュール 1 は、そのレンズ群の数を減らしつつ、レーザダイオード $L D_i$ と光ファイバとの間におけるレーザ光 $L B_i$ の結合効率を高めることができる。

【0063】

(変形例)

【0064】

なお、本実施形態では、各レーザダイオード $L D_i$ の近傍であって、各レーザダイオード $L D_i$ の後段に各 F 軸コリメートレンズ $F L_i$ が配置されているレーザモジュール 1 について説明した。しかし、本発明の変形例に係るレーザモジュール 1 では、各 F 軸コリメートレンズ $F L_i$ を省略してもよい。

10

【0065】

各 F 軸コリメートレンズ $F L_i$ を省略する場合には、集光レンズ $F L$ を備えている構成と、集光レンズ $F L$ も併せて省略する構成とが考えられる。以下では、各 F 軸コリメートレンズ $F L_i$ を省略し、且つ、集光レンズ $F L$ を備えている構成を第 1 の変形例のレーザモジュール 1 とし、各 F 軸コリメートレンズ $F L_i$ 及び集光レンズ $F L$ を省略した構成を第 2 の変形例のレーザモジュール 1 とする。

【0066】

図 1 ~ 図 3 に図示したレーザモジュール 1 が備えている各軸外楕円ミラー M_i は、反射面 $R S_i$ の法線を含み且つ z 軸と平行な平面による断面における各反射面 $R S_i$ は、直線により構成されており曲率をもたないように構成されていた。

20

【0067】

これに対して、第 1 の変形例のレーザモジュール 1 が備えている各軸外楕円ミラー M_i において、反射面 $R S_i$ の法線を含み且つ z 軸と平行な平面による断面における各反射面 $R S_i$ の曲率は、各レーザダイオード $L D_i$ により出射された各レーザ光 $L B_i$ の F 軸 $F A$ 方向の広がりをコリメートするように定められていけばよい。

【0068】

また、第 2 の変形例のレーザモジュール 1 が備えている各軸外楕円ミラー M_i において、反射面 $R S_i$ の法線を含み且つ z 軸と平行な平面による断面における各反射面 $R S_i$ の形状は、各レーザ光 $L B_i$ の F 軸 $F A$ 方向に着目して、各レーザダイオード $L D_i$ により出射された各レーザ光 $L B_i$ を、該軸外楕円ミラー M_i に対応する楕円 E_i の第 2 焦点 $F P_{2i}$ (換言すればコア $C O$ の入射端面 $C O_I$) において結像させるように構成されていけばよい。

30

【0069】

なお、各レーザ光 $L B_i$ における F 軸 $F A$ 方向の広がりは、 S 軸方向の広がりと比較して大きい。そのため、第 1 の変形例及び第 2 の変形例のレーザモジュール 1 における第 1 距離 D_{1i} は、図 1 ~ 図 3 に図示したレーザモジュール 1 における第 1 距離 D_{1i} よりも短いことが好ましい。第 1 距離 D_{1i} を短く設定することによって、各反射点 $R P_i$ における各レーザ光 $L B_i$ のファーストフィールドパターンを各反射面 $R S_i$ の範囲内に収めることができる。

40

【0070】

また、第 1 の変形例のレーザモジュール 1 と第 2 の変形例のレーザモジュール 1 とを比較した場合、反射面 $R S_i$ の法線を含み且つ z 軸と平行な平面による断面における各反射面 $R S_i$ の曲率は、第 2 の変形例のレーザモジュール 1 の方が大きくなる。これは、第 1 の変形例のレーザモジュール 1 における反射面 $R S_i$ は、各レーザ光 $L B_i$ の F 軸 $F A$ 方向の広がりをコリメートするように定められているのに対し、第 i の変形例のレーザモジュール 1 における反射面 $R S_i$ は、各レーザ光 $L B_i$ の F 軸 $F A$ 方向に着目して、各レーザダイオード $L D_i$ により出射された各レーザ光 $L B_i$ を第 2 焦点 $F P_{2i}$ に集光するように定められているためである。

50

【 0 0 7 1 】

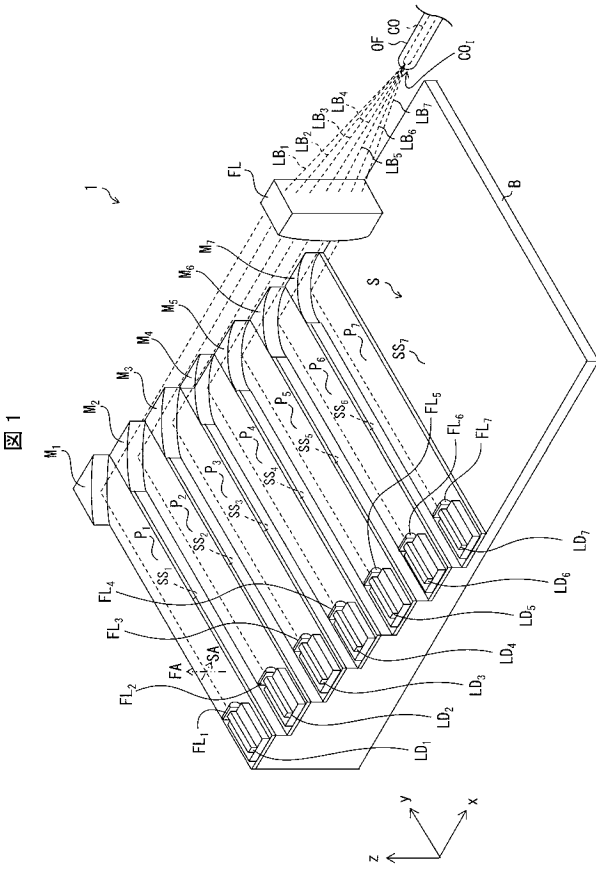
第 1 の変形例のレーザモジュール 1 によれば、図 4 に示したレーザモジュール 1 0 1 と比較して、レーザ光 $L B_i$ の結合効率を犠牲にすることなく、各 S 軸コリメートレンズ $S L_i$ 及び各 F 軸コリメートレンズ $F L_i$ を省略することができる。また、第 2 の変形例のレーザモジュール 1 によれば、図 4 に示したレーザモジュール 1 0 1 と比較して、レーザ光 $L B_i$ の結合効率を犠牲にすることなく、各 S 軸コリメートレンズ $S L_i$ 、各 F 軸コリメートレンズ $F L_i$ 、及び集光レンズ $F L$ を省略することができる。

【 符号の説明 】

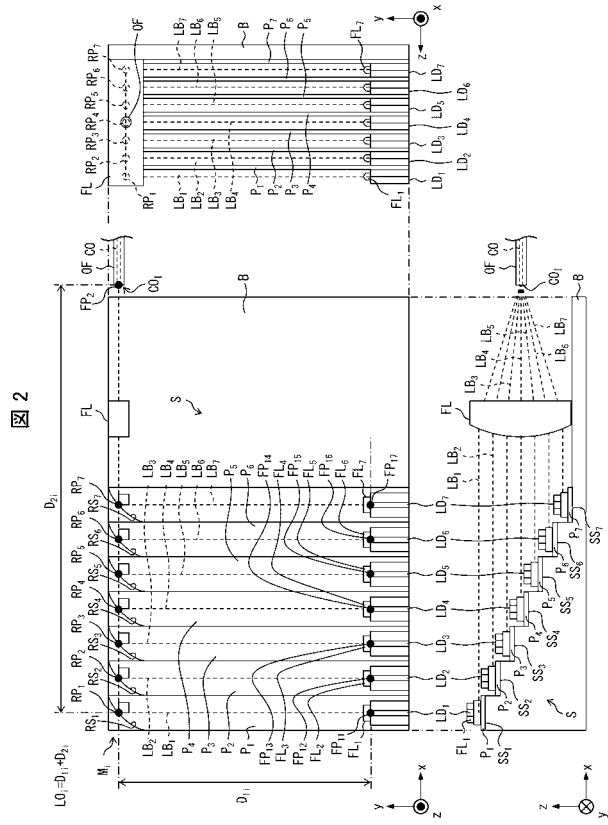
【 0 0 7 2 】

OF	光ファイバ	10
CO	コア	
CO_I	入射端面	
LO_i	光路長	
LD_i	レーザダイオード	
M_i	軸外楕円ミラー	
FA_i, FA	F 軸	
SA_i, SA	S 軸	
FP_{1i}	第 1 焦点	
FP_{2i}, FP_2	第 2 焦点	
RS_i	反射面	20
D_{1i}	第 1 距離	
D_{2i}	第 2 距離	
D_{12i}	焦点間距離	
P_i	板状部材	
B	底板 (基板)	
S	載置面	
SS_i	サブ載置面	
FL_i	F 軸コリメートレンズ	
FL	集光レンズ	30

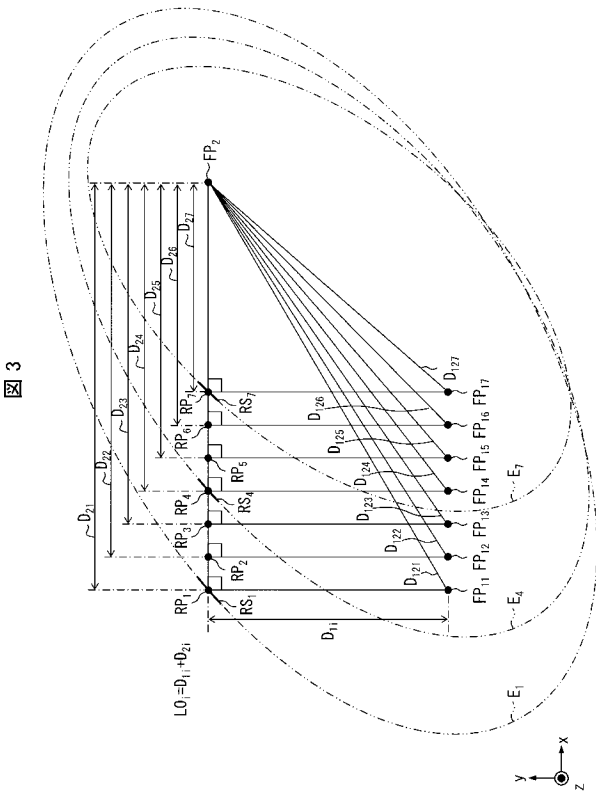
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】

