

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第5597288号
(P5597288)

(45) 発行日 平成26年10月1日(2014.10.1)

(24) 登録日 平成26年8月15日(2014.8.15)

(51) Int. Cl. F I
GO 2 B 6/42 (2006.01) GO 2 B 6/42
HO 1 S 5/022 (2006.01) HO 1 S 5/022

請求項の数 6 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-159333 (P2013-159333)</p> <p>(22) 出願日 平成25年7月31日 (2013.7.31)</p> <p>審査請求日 平成26年4月23日 (2014.4.23)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005186 株式会社フジクラ 東京都江東区木場1丁目5番1号</p> <p>(74) 代理人 110000338 特許業務法人HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK</p> <p>(72) 発明者 阪本 真一 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</p> <p>審査官 河原 正</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 LDモジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザダイオード列をなす複数のレーザダイオードと、
前記複数のレーザダイオードから出射された複数のレーザビームの各々の光路上に配置された複数の速軸コリメートレンズと、
 前記複数のレーザダイオードから出射された前記複数のレーザビームの各々を、当該レーザビームの遅軸方向に反射する複数のミラーと、
前記複数のミラーによって反射された前記複数のレーザビームを、当該複数のレーザビームが交差するように集束する速軸集束レンズと、
 を備え、
 前記複数のレーザダイオードは、
 互いに隣接するレーザビーム同士の間隔が徐々に広がるように、前記複数のレーザビームを前記複数のミラーに向けて出射し、
 前記複数のミラーは、
 互いに隣接するレーザビーム同士の間隔が徐々に狭まるように、前記複数のレーザビームを前記速軸集束レンズに向けて反射し、
 前記複数のミラーの各々は、
 当該ミラーへ入射されてきたレーザビームを速軸方向に反射する第1のミラーと、前記第1のミラーから反射されてきたレーザビームを遅軸方向に反射する第2のミラーと、を備えて構成されており、

前記複数のレーザービームの各々について、

当該レーザービームが対応する前記第1のミラーへ入射する時の当該レーザービームの速軸と、当該レーザービームが対応する前記第2のミラーから出射された時の当該レーザービームの遅軸とが、互いに平行である

ことを特徴とするLDモジュール。

【請求項2】

前記複数のミラーの各々は、

当該ミラーに入射されるレーザービームと、当該ミラーから出射されるレーザービームとが、双方のレーザービームに対して垂直な方向から見たときに、直角をなすように構成されている

ことを特徴とする請求項1に記載のLDモジュール。

【請求項3】

前記第1のミラーは、

当該ミラーに入射されてくるレーザービームの遅軸に対して平行な面であって、前記レーザービームの光軸に対して45°の角度をなす第1の反射面を有し、

前記第2のミラーは、

前記第1の反射面によって反射されたレーザービームの速軸に対して平行な面であって、前記レーザービームの光軸に対して45°の角度をなす第2の反射面を有する

を備えることを特徴とする請求項2に記載のLDモジュール。

【請求項4】

前記複数のレーザーダイオードは、

前記レーザーダイオード列のより外側に配置されるにつれて、レーザービームの出射方向がより外側となるように、各々の出射方向が設定されている

ことを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載のLDモジュール。

【請求項5】

前記複数の速軸コリメートレンズの各々は、

対応するレーザービームの速軸方向のビーム広がりコリメートする位置を基準として、該レーザービームの伝播方向にオフセットされており、該オフセットの量が、該レーザービームの速軸方向のビーム径を、前記速軸集束レンズによって集束された複数のレーザービームの交差点において最小化するように設定されている、

ことを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載のLDモジュール。

【請求項6】

前記第2のミラーの下面および前記第1のミラーの上面は、互いに接着されており、

前記第2のミラーの下面および前記第1のミラーの上面の各々は、前記複数のミラーから出射された前記複数のレーザービームの速軸に対して平行である

ことを特徴とする請求項1から5のいずれか一項に記載のLDモジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数のレーザービームを出射および合波するLDモジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、複数のレーザーダイオードから出射された複数のレーザービームを光ファイバに結合することにより、レーザービームを高出力化および高輝度化することが可能な、LDモジュールが広く用いられている。例えば、下記特許文献1には、互いに平行な複数のレーザービームを、プリズムによって反射させることにより伝搬方向を変換した後、集束レンズによって集束し、光ファイバに入射するマイクロ光学装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

20

30

40

50

【特許文献1】特開2004-252428号公報（公開日：2004年9月9日）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

LDモジュールの小型化を図るためには、速軸集束レンズの曲率半径を小さくすることによって、速軸集束レンズの焦点距離を短くすればよい。これにより、光ファイバの入射端面を速軸集束レンズに近づけることができるからである。しかしながら、速軸集束レンズの曲率半径を小さくすると、速軸集束レンズを透過したレーザービームの光ファイバへの入射角が大きくなり、その結果、レーザービームの結合効率が低下するという問題が生じる。速軸集束レンズを透過したレーザービームのうち、入射角が光ファイバの受光角を超えるレーザービームは、光ファイバのコアに閉じ込められることなく、損失となるからである。

10

【0005】

本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、レーザービームの結合効率を低下させることなく、LDモジュールの小型化を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明に係るLDモジュールは、レーザーダイオード列をなす複数のレーザーダイオードと、前記複数のレーザーダイオードから出射された複数のレーザービームの各々を、当該レーザービームの遅軸方向に反射する複数のミラーと、前記複数のミラーによって反射された前記複数のレーザービームを集束する集束レンズと、を備え、前記複数のレーザーダイオードは、互いに隣接するレーザービーム同士の間隔が徐々に広がるように、前記複数のレーザービームを前記複数のミラーに向けて出射し、前記複数のミラーは、互いに隣接するレーザービーム同士の間隔が徐々に狭まるように、前記複数のレーザービームを前記集束レンズに向けて反射し、前記複数のミラーの各々は、当該ミラーへ入射されてきたレーザービームを速軸方向に反射する第1のミラーと、前記第1のミラーから反射されてきたレーザービームを遅軸方向に反射する第2のミラーと、を備えて構成されており、前記複数のレーザービームの各々について、当該レーザービームが対応する前記第1のミラーへ入射する時の当該レーザービームの速軸と、当該レーザービームが対応する前記第2のミラーから出射された時の当該レーザービームの遅軸とが、互いに平行であることを特徴とする。

20

【0007】

上記LDモジュールによれば、複数のレーザービームの各々について、第1のミラーに入射される該レーザービームの速軸と、第2のミラーから出射された該レーザービームの遅軸とが、互いに平行であるため、該レーザービームに後述する捻じれを生じさせることなく、該レーザービームを第2のミラーから出射させることができる。すなわち、上記LDモジュールによれば、複数のミラーから出射された複数のレーザービームは、いずれも捻じれが生じることなく、互いに遅軸が平行な状態で整列する。このため、上記LDモジュールによれば、レーザービーム同士が干渉したり、レーザービームの一部が隣接するミラーによって遮られたり、一部のレーザービームが集束されない、等の不具合を防止しつつ、複数のレーザービームの間隔が密となるように複数のミラーを密に配置することができる。よって、上記LDモジュールによれば、レーザービームの結合効率の低下を抑制しつつ、LDモジュールの

30

40

【0008】

例えば、上記構成以外の構成（すなわち、第1のミラーに入射されるレーザービームの速軸と、第2のミラーから出射されたレーザービームの遅軸とが、互いに平行とならない構成）を採用した場合、レーザービームの捻じれが生じることにより、第2のミラーから出射されたレーザービームのビーム幅は、〔第1のミラーに入射される速軸方向のビーム幅 $\times \sin$ （ θ は、第2のミラーによる出射方向の補正角度）〕となり、この場合、複数のレーザービームの間隔を密にしてしまうと、上述の不具合が生じる虞がある。そこで、上記構成（すなわち、第1のミラーに入射されるレーザービームの速軸と、第2のミラーから出射されたレーザービームの遅軸とが、互いに平行となる構成）を採用することにより、レーザービ-

50

ムの捻じれが生じないため、第2のミラーから出射されたレーザービームのビーム幅を、第1のミラーに入射される速軸方向のビーム幅と略同一とすることができる。このため、複数のレーザービームの間隔を密にした場合でも、上述の不具合が生じる虞がない。

【0009】

また、上記LDモジュールによれば、複数のレーザービームを集束気味に集束レンズへ伝搬する構成を採用しているため、速軸集束レンズの曲率半径を小さくしなくとも、複数のレーザービームを互いに平行な状態で集束レンズへ伝搬する構成と比べて、複数のレーザービームの焦点を、集束レンズに近い位置に形成することができる。したがって、上記LDモジュールによれば、速軸集束レンズの曲率半径を小さくしなくとも、光ファイバの入射端面をより集束レンズに近い位置とすることができ、よって、レーザービームの結合効率を低下させることなく、LDモジュールの小型化を実現することができる。

10

【0010】

上記LDモジュールにおいて、前記複数のミラーの各々は、当該ミラーに入射されるレーザービームと、当該ミラーから出射されるレーザービームとが、双方のレーザービームに対して垂直な方向から見たときに、直角をなすように構成されていることが好ましい。

【0011】

上記の構成によれば、各ミラーを比較的単純な構成とすることができるため、上記不具合の発生を抑制することができる。特に、複数の反射面を組み合わせる構成されたミラーを用いる場合には、上記構成を採用することにより、上記不具合の抑制効果がより顕著なものとなる。

20

【0012】

上記LDモジュールにおいて、前記第1のミラーは、当該ミラーに入射されてくるレーザービームの速軸に対して平行な面であって、前記レーザービームの光軸に対して45°の角度をなす第1の反射面を有し、前記第2のミラーは、前記第1の反射面によって反射されたレーザービームの速軸に対して平行な面であって、前記レーザービームの光軸に対して45°の角度をなす第2の反射面を有することが好ましい。

【0013】

上記の構成によれば、上記第1のミラーおよび上記第2のミラーの反射による、ビームの捻じれをより生じ難くすることができる。

【0014】

上記LDモジュールにおいて、前記複数のレーザーダイオードは、前記レーザーダイオード列のより外側に配置されるにつれて、レーザービームの出射方向がより外側となるように、各々の出射方向が設定されていることが好ましい。

30

【0015】

上記の構成によれば、複数の半導体レーザーダイオードから出射された複数のレーザービームは、その中央(ビーム束の中心)から外側に広がりつつ伝搬するものとなり、反対に、複数のミラーから出射された複数のレーザービームは、その中央(ビーム束の中心)に集束しつつ伝搬するものとなる。このようなレーザービームを光ファイバに入射することで、レーザービームの結合効率をより高めることができる。

【0016】

上記LDモジュールにおいて、前記複数のレーザーダイオードから出射された前記複数のレーザービームの各々の光路上に配置された複数の速軸コリメートレンズをさらに備えており、前記複数の速軸コリメートレンズの各々は、対応するレーザービームの速軸方向のビーム広がりをコリメートする位置を基準として、該レーザービームの伝播方向にオフセットされており、該オフセットの量が、該レーザービームの速軸方向のビーム径を、前記集束レンズによって集束された複数のレーザービームの交差点において最小化するように設定されている、ことが好ましい。

40

【0017】

上記の構成によれば、上記交差点において、各レーザービームのビーム径が最小化されるので、上記複数のレーザービームからなるビーム束を光ファイバに入射させる際の結合効率

50

を更に高めることができる。

【 0 0 1 8 】

上記LDモジュールにおいて、前記第2のミラーの下面および前記第1のミラーの上
面は、互いに接着されており、前記第2のミラーの下面および前記第1のミラーの上
面の各々は、前記複数のミラーから出射された前記複数のレーザービームの速軸
に対して平行であることが好ましい。

【 0 0 1 9 】

上記の構成によれば、第2のミラーの下面と第1のミラーの上面との間に形成される
接着剤層の厚みが均一であれば、これらの接着剤層が収縮又は膨張した場合でも、出力ビ
ームの伝播方向が傾いたり出力ビームの光軸の配置が崩れたりするといった事態の発生を回
避することができる。

【 発 明 の 効 果 】

【 0 0 2 0 】

本発明によれば、レーザービームの結合効率を低下させることなく、LDモジュールの小
型化を実現することができる。

【 図 面 の 簡 単 な 説 明 】

【 0 0 2 1 】

【 図 1 】 本実施形態に係るLDモジュールの構成を示す上面図である。

【 図 2 】 本実施形態に係るLDモジュールが備える単位光学系の構成を示す斜視図である

。

【 図 3 】 本実施形態に係るLDモジュールが備えるミラーの構成を示す斜視図である。

【 図 4 】 本実施形態に係るLDモジュールにおける、半導体レーザーダイオードの各々の出
射方向を示す平面図である。

【 図 5 】 速軸集束レンズFLの曲率半径と、ビーム束が光ファイバOFの入射端面に入射
する際の結合効率との関係を示すグラフである。

【 図 6 】 ファイバ位置と、ビーム束が光ファイバOFの入射端面に入射する際の結合効率
との関係を示すグラフである。

【 図 7 】 本実施形態の実施例におけるLDモジュールの概略構成を示す。

【 図 8 】 本実施形態の比較例におけるLDモジュールの概略構成を示す。

【 発 明 を 実 施 す る た め の 形 態 】

【 0 0 2 2 】

以下、添付の図面を参照して、本発明の一実施形態に係るLDモジュールについて説明
する。

【 0 0 2 3 】

〔 LDモジュールの構成 〕

まず、図1を参照して、本実施形態に係るLDモジュール1の構成について説明する。
図1は、本実施形態に係るLDモジュール1の構成を示す上面図である。図1に示すLD
モジュール1は、複数の半導体レーザーダイオードから複数のレーザービームを出射し、当該
複数のレーザービームを、より高い結合効率で光ファイバに結合するものである。特に、図
1では、10本のレーザービームを光ファイバに結合する構成を例示している。

【 0 0 2 4 】

このため、LDモジュール1は、図1に示すように、半導体レーザーダイオードLD1～
LD10、速軸コリメートレンズFAC1～FAC10、遅軸コリメートレンズSAC1
～SAC10、ミラーM1～M10、速軸集束レンズFL、および、遅軸集光レンズSL
を備えて構成されている。

【 0 0 2 5 】

(半 導 体 レ ー ザ ダ イ オ ー ド)

半導体レーザーダイオードLD1～LD10は、各々が独立したチップ上に形成されてい
る。半導体レーザーダイオードLD1～LD10は、サブマウントBの表面上において、図
中x軸方向に沿って、概ね等間隔で並んだ状態に配置されている。すなわち、半導体レー

10

20

30

40

50

ザダイオードLD1～LD10は、サブマウントBの表面上において、半導体レーザダイオード列をなしている。

【0026】

半導体レーザダイオードLD1～LD10の各々は、活性層がxz平面と平行になるように、かつ、出射端面が概ねz軸正方向を向くように、サブマウントBの表面上に配置されている。これにより、半導体レーザダイオードLD1～LD10から出射された複数のレーザビームは、各々が、サブマウントBの表面上の空間において、xz平面に対して平行に、且つ、概ねz軸正方向に向かって、伝搬することとなる。特に、図1に示すように、半導体レーザダイオードLD1～LD10は、x軸に沿って並べられているため、上記複数のレーザビームは、概ね、等間隔且つ互いに平行なレーザビーム列を形成した状態で、z軸正方向に向かって伝搬することとなる。上記において、レーザビームの伝搬方向を「概ねz軸正方向」としているのは、後述するように、各半導体レーザダイオードの出射方向を、z軸正方向に対し、僅かにx軸方向（遅軸方向）に傾けているためである。

10

【0027】

〔単位光学系の構成〕

LDモジュール1は、レーザビーム毎の、複数の単位工学系を備えて構成されている。すなわち、図1に示す例では、LDモジュール1は、10本のレーザビームを出射する構成としたことに応じて、10個の単位工学系を備えて構成されている。各単位光学系 S_i ($i=1\sim 10$ の整数)は、半導体レーザダイオードLD i ($i=1\sim 10$ の整数)と、速軸コリメートレンズFAC i ($i=1\sim 10$ の整数)と、遅軸コリメートレンズSAC i ($i=1\sim 10$ の整数)と、ミラーM i ($i=1\sim 10$ の整数)とを備えて構成されている。以下、図2を参照して、各単位工学系の具体的な構成について説明する。

20

【0028】

図2は、本実施形態に係るLDモジュール1が備える単位光学系の構成を示す斜視図である。図2では、LDモジュール1が備える複数の単位工学系のうちの1つについて、その構成を示しているが、上記複数の単位工学系は、いずれも図2に示す単位工学系 S_i と同様の構成を有している。

【0029】

図2に示すように、単位光学系 S_i において、半導体レーザダイオードLD i から出射されたレーザビームの光路上には、順に、速軸コリメートレンズFAC i 、遅軸コリメートレンズSAC i 、および、ミラーM i が、直線状に並べて配置されている。単位光学系 S_i を構成する各部材は、何れも、直接、又は、不図示のマウントを介してサブマウントBの表面上に設置される。

30

【0030】

速軸コリメートレンズFAC i は、半導体レーザダイオードLD i から出射されたレーザビームの速軸方向の広がりをコリメートするためのものである。遅軸コリメートレンズSAC i は、半導体レーザダイオードLD i から出射されたレーザビームの遅軸方向の広がりをコリメートするためのものである。速軸コリメートレンズFAC i および遅軸コリメートレンズSAC i を透過したレーザビームは、伝搬方向がz軸正方向に収斂されたコリメートビームとなり、ミラーM i へ伝搬する。なお、半導体レーザダイオードLD i から出射されるレーザビームの遅軸方向の広がりが十分に小さい場合、遅軸コリメートレンズSAC i を省略しても構わない。

40

【0031】

ミラーM i は、半導体レーザダイオードLD i から出射されたレーザビームを速軸集束レンズFLへ導くために、上記レーザビームの伝搬方向を、概ねz軸正方向から概ねx軸負方向に変換するためのものである。ミラーM i には、従来から知られている各種ミラーを用いることができる。本実施形態では、ミラーM i として、上記レーザビームの伝搬方向をz軸正方向からy軸正方向へ変換する第1のミラー（いわゆる「跳ね上げミラー」）と、上記レーザビームの伝搬方向をy軸正方向からx軸負方向へ変換する第2のミラー（いわゆる「折り返しミラー」）とを備えて構成されたものを用いている。

50

【0032】

ここで、図1に示すように、ミラーM1～M10から出射される複数のレーザービームが互いに重なり合わないよう、ミラーM1～M10のz軸方向の位置は、互いに異なっている。

【0033】

特に、ミラーM1～M10のz軸方向の位置は、速軸集束レンズFLから離間するにつれて(すなわち、ミラーM1, M2, …, M10の順に)、順次、半導体レーザーダイオードに近づく方向(z軸負方向)に所定量ずつシフトしている。これは、図1に示すように、ミラーM1～M10へ伝搬する複数のレーザービームにおいては、速軸集束レンズFLに近いレーザービームほど、より速軸集束レンズFL側に傾いているためである。より速軸集束レンズFL側に傾いているレーザービームを、ミラーによって反射し、速軸集束レンズFLに伝搬させるためには、半導体レーザーダイオードからミラーまでの距離を、他のレーザービームよりも長くする必要があるためである。

10

【0034】

なお、上記シフト量は、複数のミラーM1～M10に入射される複数のレーザービームの間隔よりも、小さくなっている。これにより、半導体レーザーダイオードLD1～LD10から出射された複数のレーザービームは、ミラーM1～M10によってその間隔がより狭められた状態で、速軸集束レンズFLに向けて伝搬することとなる。

【0035】

〔ミラーの構成〕

次に、図3を参照して、本実施形態のLDモジュール1が備えるミラーMiの構成について説明する。図3は、本実施形態に係るLDモジュール1が備えるミラーMiの構成を示す斜視図である。図3では、LDモジュール1が備えるミラーM1～M10のうちの一つについて、その構成を示しているが、ミラーM1～M10は、いずれも図3に示すミラーMiと同様の構成を有している。

20

【0036】

図3に示すように、ミラーMiは、第1のミラーMi1と、第2のミラーMi2とを備えて構成されている。ミラーMiは、第1のミラーMi1の上面B1と、第2のミラーMi2の下面A2とが互いに重なり合うように、第1のミラーMi1と第2のミラーMi2とが積み重ねられた構造を有している。第1のミラーMi1は、その下面A1が、xz平面に対して平行となるように、サブマウントBの表面上に対し、直接的または間接的に設置される。なお、第1のミラーMi1の上面B1および第2のミラーMi2の下面A2は、下面A1に対して平行な面である。また、第1のミラーMi1と第2のミラーMi2は、互いに別体化されているものであってもよく、互いに一体化されたものであってもよい。

30

【0037】

第1のミラーMi1は、第1の反射面S1を有する。第1の反射面S1は、半導体レーザーダイオードLDiから出射されたレーザービームの伝搬方向を、z軸正方向からy軸正方向へ変換する。このため、第1の反射面S1は、上記レーザービームの遅軸に対して概ね平行な面であって、上記レーザービームの光軸に対して45°の角度をなす(すなわち、下面A1に対して45°の角度をなす)ように構成されている。

40

【0038】

ミラーMiは、上記レーザービームに対する向きが調整可能な場合、上記第1の反射面S1が上記レーザービームの遅軸に対して概ね平行な面となるように、その向きが調整されることが好ましい。これにより、ミラーMiは、上記レーザービームに対し、意図しない回転を生じさせたり、意図しない方向への反射を生じさせたりすることなく、上記レーザービームを所定の方向へ反射することができる。

【0039】

第2のミラーMi2は、第2の反射面S2を有する。第2の反射面S2は、第1のミラーMi1によって反射されたレーザービームの伝搬方向を、y軸正方向からx軸負方向へ変

50

換する。このため、第2の反射面S2は、前記第1の反射面によって反射されたレーザービームの速軸に対して概ね平行な面であって、上記レーザービームの光軸に対して45°の角度をなすように構成されている。

【0040】

ミラーMiは、上記のとおり2つの反射面を組み合わせた比較的簡単な構成により、予め定められた入射角でレーザービームが入射されるようにレーザービームに対する向きが設定された場合（上記第1の反射面S1がレーザービームの遅軸に対して平行な面となる場合）において、当該ミラーに入射されるレーザービームと、当該ミラーから出射されるレーザービームとが、y軸正方向から見たときに直角をなすように、レーザービームを反射することができる。

10

【0041】

特に、本実施形態のLDモジュール1において、ミラーMiの第1の反射面S1は、レーザービームの遅軸に対して概ね平行となるため、第1の反射面S1とレーザービームの遅軸とが概ね平行でない構成と比べて、レーザービームの意図しない回転や、意図しない方向への反射等といった不具合が生じ難くなっている。

【0042】

同様に、本実施形態のLDモジュール1において、ミラーMiの第2の反射面S2は、レーザービームの速軸に対して概ね平行となるため、第2の反射面S2とレーザービームの速軸とが概ね平行でない構成と比べて、レーザービームの意図しない回転や、意図しない方向への反射等といった不具合が生じ難くなっている。

20

【0043】

本実施形態のLDモジュール1において、ミラーM1～M10のいずれも、上述したミラーMiと同一の構成を採用している。すなわち、LDモジュール1は、ミラーM1～M10の各々に対し、互いに同一の構成のミラーMiを用いることができるため、ミラーM1～M10において、互いに異なる構成を用いたり、互いに異なる調整を行ったりする必要はない。よって、本実施形態のLDモジュール1は、該LDモジュール1に係るコストを削減することができ、該LDモジュール1を安価で実現することができる。

【0044】

なお、ミラーMiにおいて、第2のミラーの下面および前記第1のミラーの上面は、接着剤によって互いに接着されていることが好ましく、特に、第2のミラーの下面および第1のミラーの上面の各々が、当該ミラーMiから出射されたレーザービームの速軸（すなわち、xz平面）に対して平行であることが好ましい。具体的には、第2のミラーの下面と第1のミラーの上面との間に接着剤を塗布した後、当該接着剤の硬化が完了するまでの間、第2のミラーの下面および第1のミラーの上面の各々が、複数のミラーから出射された複数のレーザービームの速軸に対して平行になる状態を保つことが好ましい。これにより、第2のミラーの下面と第1のミラーの上面との間の接着剤層の厚みを均一化することができる。この接着剤層の厚みが均一であれば、この接着剤層が収縮又は膨張した場合でも、出力ビームの伝播方向が傾いたり出力ビームの光軸の配置が崩れたりするといった事態の発生を回避することができる。なお、この接着剤層に生じ得る収縮又は膨張としては、接着剤を硬化する際に生じ得る硬化収縮や、接着剤を硬化した後に生じ得る熱膨張、熱収縮、膨潤などが想定される。

30

40

【0045】

〔レーザービームの出射方向〕

次に、図4を参照して、半導体レーザーダイオードLD1～LD10の各々の出射方向について説明する。図4は、本実施形態に係るLDモジュール1における、半導体レーザーダイオードLD1～LD10の各々の出射方向を示す平面図である。なお、以下の説明においては、半導体レーザーダイオードLDiの出射方向のz軸に対する傾きを、y軸を回転軸とする回転角 θ_i （ $i = 1 \sim 10$ の整数）によって表す。但し、x軸負方向への傾きについては回転角 θ_i を正の値で表し、x軸正方向への傾きについては回転角 θ_i を負の値で表すこととする。

50

【 0 0 4 6 】

本実施形態のLDモジュール1においては、ミラーM1～M10の各々は、予め定められた入射角であって、互いに同一の入射角でレーザービームが入射されるように、レーザービームに対する向きが設定されている。具体的には、ミラーM1～M10の各々は、第1の反射面S1（図3参照）がレーザービームの遅軸に対して概ね平行な面となるように、レーザービームに対する向きが設定されている。さらに、ミラーM1～M10の各々は、上記のとおり向きが設定された状態において、当該ミラーに入射されるレーザービームと、当該ミラーから出射されるレーザービームとが、y軸正方向から見たときに直角をなすように構成されている（図3参照）。

【 0 0 4 7 】

すなわち、本実施形態のLDモジュール1において、ミラーM1～M10から出射される複数のレーザービームの各々の出射方向は、各ミラーの調整によって決定付けられるのではなく、ミラーM1～M10へ入射される複数のレーザービームの各々の伝搬方向によって決定付けられる。

【 0 0 4 8 】

特に、本実施形態のLDモジュール1は、複数のレーザービームを集束気味にFLへ伝搬させる構成を採用している。これを実現するため、本実施形態のLDモジュール1は、図1および図4に示すように、複数のレーザービームが拡散気味にミラーM1～M10へ伝搬するように、半導体レーザーダイオードLD1～LD10の各々の出射方向が設定されている。この結果、ミラーM1～M10から出射された複数のレーザービームは、集束気味に速軸集束レンズFLへ伝搬し、従来技術と比べてより速軸集束レンズFLに近い位置で集束することとなる。

【 0 0 4 9 】

これにより、本実施形態のLDモジュール1は、速軸集束レンズFLの曲率半径を小さくしなくとも、光ファイバOFの入射端面をより速軸集束レンズFLに近い位置とすることができ、よって、レーザービームの結合効率を低下させることなく、LDモジュールの小型化を実現することができる。

【 0 0 5 0 】

また、本実施形態のLDモジュール1は、互いに平行な複数のレーザービームを速軸集束レンズFLに入射させる構成と比べて、速軸集束レンズFLに入射されるビーム束（本書において、「ビーム束」とは、複数のレーザービームによって形成される光束のことを意味する。）の最大幅を小さくすることができる。これにより、速軸集束レンズFLの収差の影響を軽減し、よって、レーザービームの結合効率の低下を抑制することができる。

【 0 0 5 1 】

さらに、本実施形態のLDモジュール1は、速軸集束レンズFLの曲率半径を小さくすることによって速軸集束レンズFLの焦点距離を短くする構成と比べて、速軸集束レンズから出射された各レーザービームの、光ファイバOFに対する入射角が小さくなる。このため、結合効率の低下を招来することなく、光ファイバOFの入射端面をより速軸集束レンズFLに近い位置とすることができる。

【 0 0 5 2 】

特に、本実施形態のLDモジュール1は、ミラーの調整を行わなくとも、複数のレーザービームを集束気味に速軸集束レンズFLへ伝搬させることができるため、上記ミラーの調整による生じ得る各種不具合の発生を防止することができる。よって、本実施形態のLDモジュール1は、レーザービームの結合効率を低下させることなく、LDモジュールの小型化を実現することができる。

【 0 0 5 3 】

例えば、本実施形態（図4）のLDモジュール1において、ミラーM1～M10の各々の回転角 θ_i を、以下のように設定することにより、複数のレーザービームを集束気味に速軸集束レンズFLへ伝搬させることができる。

【 0 0 5 4 】

1 : 1 . 0 0 0 °
 2 : 0 . 6 6 6 °
 3 : 0 . 3 7 1 °
 4 : 0 . 1 0 9 °
 5 : - 0 . 1 2 5 °
 6 : - 0 . 3 3 5 °
 7 : - 0 . 5 2 5 °
 8 : - 0 . 6 9 8 °
 9 : - 0 . 8 5 6 °
 10 : - 1 . 0 0 0 °

10

この例では、半導体レーザダイオードLD1～LD10は、レーザダイオード列のより中央側に配置されたものについては、回転角 θ_i の絶対値がより小さくなるように、すなわち、レーザダイオード列のより外側に配置されたものについては、回転角 θ_i の絶対値がより大きくなるように（すなわち、出射方向がより外側を向くように）、各々の出射方向が設定されている。

【0055】

これにより、図4に示すように、半導体レーザダイオードLD1～LD10から出射された複数のレーザビームは、その中央から外側に広がりつつ伝搬するものとなる。反対に、図1および図4に示すように、ミラーM1～M10から出射された複数のレーザビームは、その中央に集束しつつ伝搬するものとなる。このようなレーザビームを光ファイバに入射することで、レーザビームの結合効率をより高めることができる。

20

【0056】

なお、本実施形態のLDモジュール1においては、ミラーMiに入射されるレーザビームとミラーMiから出射されるレーザビームとが直角をなすため、ミラーMiに入射されるレーザビームの、z軸に対して広がる方向の傾き（遅軸方向の傾き） θ_i と、ミラーMiから出射されるレーザビームの、x軸に対して集束する方向の傾き（速軸方向の傾き） θ_i' とが、同角度となる。

【0057】

〔効果の検証〕

以下、図5および図6を参照して、複数のレーザビームを集束気味に速軸集束レンズFLへ伝搬させる構成を採用することにより、得られる効果について説明する。

30

【0058】

図5は、速軸集束レンズFLの曲率半径と、ビーム束が光ファイバOFの入射端面に入射する際の結合効率との関係を示すグラフである。図5に示すグラフにおいて、横軸は、速軸集束レンズFLの曲率半径（単位はmm）を表し、縦軸は、ビーム束を光ファイバOFに入射させる際の結合効率（単位は%）を表す。図5においては、上記回転角 θ_i の最大値（以下、「最大回転角」と示す。）を0°、0.5°、1°、1.5°とした場合の結合効率を示している。

【0059】

図5に示すように、最大回転角 θ_i が0°の場合、すなわち、複数のレーザビームが平行に並ぶ場合、速軸集束レンズFLの曲率半径を小さくしていくと、ビーム束の光ファイバOFへの結合効率が低下していく。このような結合効率の低下が生じる原因としては、各レーザビームの光ファイバOFへの入射角が大きくなり、光ファイバOFの受光角を超える成分が増えることが挙げられる。

40

【0060】

一方、最大回転角 θ_i が0°よりも大きい場合、すなわち、複数のレーザビームが一点で交差する場合も、速軸集束レンズFLの曲率半径を小さくしていくと、ビーム束の光ファイバOFへの結合効率が低下していく。しかしながら、最大回転角 θ_i が0°である場合と比べて、結合効率の低下の度合いは小さくなっている。特に、最大回転角 θ_i を1°とした場合、速軸集束レンズFLの曲率半径が10mmのときの結合効率は、最大回転角 θ_i を0

50

。とした場合と比べて約3%も高い値を示している。これは、各レーザービームの光ファイバO/Fへの入射角が、最大回転角を 0° とした場合と比べて小さくなっているためであると考えられる。

【0061】

図6は、ファイバ位置と、ビーム束が光ファイバO/Fの入射端面に入射する際の結合効率との関係を示すグラフである。ここで、ファイバ位置とは、半導体レーザーダイオードLD1の中心を通るz軸に平行な直線から、光ファイバO/Fの入射端面までの距離のことを指す。図6に示すグラフにおいて、横軸は、ファイバ位置(単位はmm)を表し、縦軸は、出力ビーム束を光ファイバO/Fに入射させる際の結合効率(単位は%)を表す。図6においても、最大回転角を 0° 、 0.5° 、 1° 、 1.5° とした場合の結合効率を示している。

10

【0062】

図6に示すように、最大回転角が 0° の場合、すなわち、各出力ビームの光軸が平行に並ぶ場合、光ファイバO/Fの入射端面を速軸集束レンズFLに近づけていくと、ビーム束の光ファイバO/Fへの結合効率が低下していく。このような結合効率の低下が生じる原因としては、各出力ビームが光ファイバO/Fの入射端面に入射する際の入射角が大きくなり、ファイバの受光角を超える成分が増えることが挙げられる。

【0063】

一方、最大回転角が 0° よりも大きい場合、すなわち、各出力ビームの光軸が一点で交差する場合も、光ファイバO/Fの入射端面を速軸集束レンズFLに近づけていくと、出力ビーム束の光ファイバO/Fへの結合効率が低下していく。しかしながら、最大回転角が 0° の場合と比べて、結合効率の低下の度合いは小さくなっている。特に、最大回転角を 1° として場合、結合効率の低下を1%未満に抑えながら、光ファイバO/Fの入射端面を速軸集束レンズFLの出射面に7mmも近づけ得ることが分かる。これは、各レーザービームの光ファイバO/Fへの入射角が、最大回転角を 0° とした場合と比べて小さくなっているためであると考えられる。

20

【実施例】

【0064】

以下、図7および図8を参照して、本実施形態に係るLDモジュール1の実施例および比較例について説明する。

30

【0065】

〔実施例〕

図7は、本実施形態の実施例におけるLDモジュールの概略構成を示す。

【0066】

本実施例では、図7に示すLDモジュールを用いて、複数のレーザービームを集束させるまでに必要な距離(すなわち、光ファイバO/Fの入射端面の位置までに要する距離)を測定した。

【0067】

本実施例のLDモジュールは、図7に示すように、半導体レーザーダイオードLD1~LD3、速軸コリメートレンズFAC1~FAC3、遅軸コリメートレンズSAC1~SAC3、ミラーM1~M3、速軸集束レンズFL、および、遅軸集光レンズSLを備えて構成されている。すなわち、本実施例(図7)のLDモジュールは、3本のレーザービームを光ファイバO/Fに結合する構成とした点で、本実施形態(図1)のLDモジュール1と異なる。

40

【0068】

図7に示すLDモジュールでは、各構成部材のパラメータを以下のとおり設定した。

【0069】

半導体レーザーダイオードLD1の回転角 : -1°
 半導体レーザーダイオードLD2の回転角 : 0°
 半導体レーザーダイオードLD3の回転角 : $+1^\circ$

50

速軸集束レンズFLの曲率半径 : 6.9 mm

遅軸集光レンズSLの曲率半径 : 3.5 mm

すなわち、本実施例のLDモジュールでは、本実施形態(図1)のLDモジュール1と同様に、複数のレーザビームが拡散気味に複数のミラーへ伝搬し、複数のレーザビームが集束気味に速軸集束レンズFLへ伝搬する構成を用いた。

【0070】

〔比較例〕

図8は、本実施形態の比較例におけるLDモジュールの概略構成を示す。図8に示すLDモジュールは、各半導体レーザダイオードの回転角が、上記実施例(図7)のLDモジュールと異なる。その他の点については、上記実施例(図7)のLDモジュールと同様

10

である。

【0071】

図8に示すLDモジュールでは、各構成部材のパラメータを以下のとおり設定した。

【0072】

半導体レーザダイオードLD1の回転角 : 0°

半導体レーザダイオードLD2の回転角 : 0°

半導体レーザダイオードLD3の回転角 : 0°

速軸集束レンズFLの曲率半径 : 6.9 mm

遅軸集光レンズSLの曲率半径 : 3.5 mm

すなわち、本実施例のLDモジュールでは、本実施形態(図1)のLDモジュール1と異なり、複数のレーザビームが互いに平行に複数のミラーへ伝搬し、複数のレーザビームが互いに平行に速軸集束レンズFLへ伝搬する構成を用いた。

20

【0073】

〔実施結果〕

上記実施例を実施した結果、図7に示すLDモジュールでは、速軸集束レンズFLの入射面から、光ファイバOFの入射端面まで、12.3 mmの距離を要することが分かった。一方、上記比較例を実施した結果、図8に示すLDモジュールでは、速軸集束レンズFLの入射面から、光ファイバOFの入射端面まで、15.6 mmの距離を要することが分かった。すなわち、複数のレーザビームを集束気味に速軸集束レンズFLへ伝搬させることにより、速軸集束レンズFLの入射面から、光ファイバOFの入射端面までの距離を大

30

幅に短縮できることが分かった。

【0074】

なお、上記実施例のLDモジュールにおいては、速軸コリメートレンズFACiの位置を、半導体レーザダイオードLDiの出射端面から、z軸正方向(すなわち、半導体レーザダイオードLDiから出射されたレーザ光の伝播方向)に、僅かに(3 μm)オフセットする構成が採用されている。これにより、速軸コリメートレンズFACiから出射されたレーザビームは、速軸方向のビーム径を徐々に小さくしながら、光ファイバOFの入射端面に向かって伝搬することとなる。これにより、本実施例のLDモジュール1は、光ファイバOFの入射端面において、レーザビームを集光させることができ、よって、各半導体レーザダイオードLDiから出射されるレーザビームを更に効率よく光ファイバOFに

40

結合させることが可能となっている。

【0075】

〔付記事項〕

本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能である。すなわち、請求項に示した範囲で適宜変更した技術的手段を組み合わせ得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【0076】

(単位光学系(レーザビーム)の数について)

本実施形態のLDモジュール1は、10本のレーザビームを結合すべく、10個の単位光学系を備えているが、これに限らない。すなわち、LDモジュール1は、9個以下の単

50

位光学系を備えたものとして実施してもよく、11個以上の単位光学系を備えたものとして実施してもよい。

【0077】

(各構成部材の設置場所について)

本実施形態のLDモジュール1は、図1に示すように、各構成部材が1枚のサブマウントBの表面上に設けられているが、これに限らない。例えば、上記各構成部材の一部が、サブマウントBの外部に設けられている構成とすることもできる。例えば、速軸集束レンズFLと遅軸集光レンズSLとが、サブマウントBの外部(例えば、第2のサブマウント等)に設けられている構成や、遅軸集光レンズSLが、サブマウントBの外部に設けられている構成とすることもできる。

10

【0078】

本実施形態に係るLDモジュール1において、速軸コリメートレンズFAC_iの位置を、z軸正方向(すなわち、半導体レーザダイオードLD_iから出射されたレーザ光の伝播方向)に、基準位置からオフセットする構成を採用してもよい。ここで、基準位置とは、速軸コリメートレンズFAC_iが半導体レーザダイオードLD_iから出射されたレーザ光の速軸方向のビーム広がりを平行化(コリメート)する作用を発揮する位置のことを指す。基準位置からレーザ光の伝播方向にオフセットされた速軸コリメートレンズFAC_iは、半導体レーザダイオードLD_iから出射されたレーザ光を集光する作用、すなわち、ビーム径を次第に小さくする作用を発揮することになる。

20

【0079】

特に、本実施形態に係るLDモジュール1において、各速軸コリメートレンズFAC_iのオフセット量を個別に設定することにより、各出力ビームのビーム径を出力ビーム束の交差点において最少化させることが好ましい。例えば、各速軸コリメートレンズFAC_iのオフセット量 δ_i を、 $\delta_1 > \delta_2 > \dots > \delta_{10}$ となるように設定することにより、各出力ビームのビーム径を上記交差点において最少化させることが好ましい。

【0080】

従来のLDモジュールでは、各出力ビームのビーム径を最適化するため、該ビーム径を調整するためのさらなるレンズを用いていた。一方、上述のとおり、本実施形態のLDモジュール1は、各速軸コリメートレンズFAC_iのオフセット量を調整することにより、各出力ビームのビーム径を最適化するため、ビーム径を調整するためのさらなるレンズを設ける必要はない。よって、本実施形態のLDモジュール1は、該LDモジュール1に係るコストを削減することができ、該LDモジュール1を安価で実現することができる。

30

【産業上の利用可能性】

【0081】

本発明は、LDモジュールに好適に利用することができる。特に、半導体レーザダイオードを光源とするLDモジュールに好適に利用することができる。

【符号の説明】

【0082】

1	LDモジュール	
LD1 ~ LD10	半導体レーザダイオード(レーザダイオード)	40
FAC1 ~ FAC10	速軸コリメートレンズ	
SAC1 ~ SAC10	遅軸コリメートレンズ	
M1 ~ M10	ミラー	
M _i 1	第1のミラー	
S1	反射面(第1の反射面)	
M _i 2	第2のミラー	
S2	反射面(第2の反射面)	
B	サブマウント(基板)	
FL	速軸集束レンズ(集束レンズ)	
SL	遅軸集光レンズ	50

OF 光ファイバ

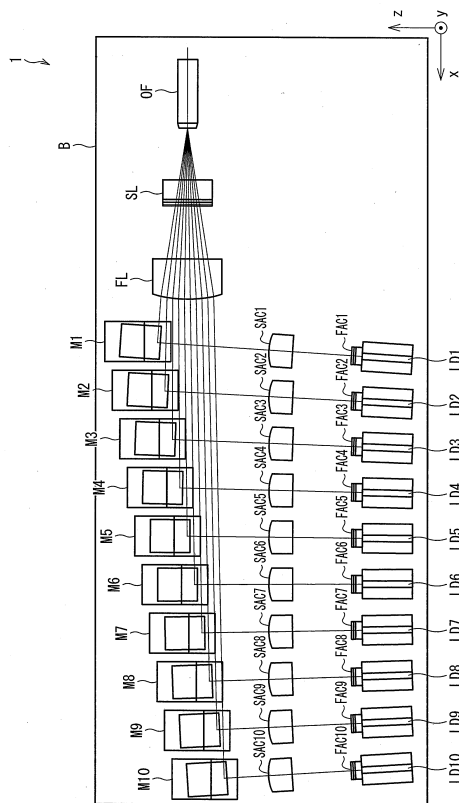
【要約】

【課題】レーザービームの結合効率を低下させることなく、LDモジュールの小型化を実現すること。

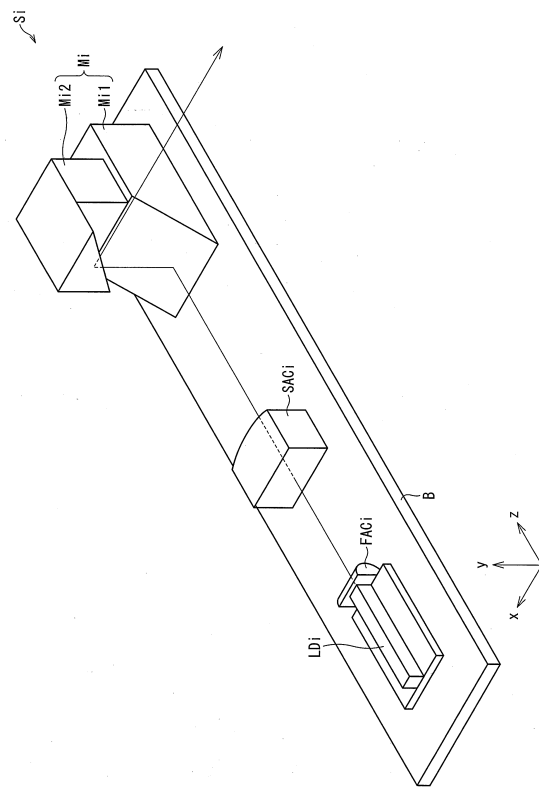
【解決手段】複数の半導体レーザーダイオードLD1~LD10は、互いに隣接するレーザービーム同士の間隔が徐々に広がるように、複数のレーザービームを複数のミラーM1~M10に向けて出射し、複数のミラーM1~M10は、互いに隣接するレーザービーム同士の間隔が徐々に狭まるように、複数のレーザービームを速軸集束レンズFLに向けて反射する。

【選択図】図1

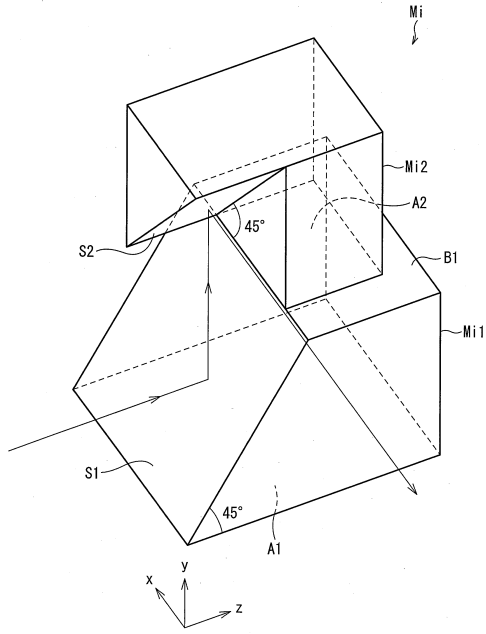
【図1】



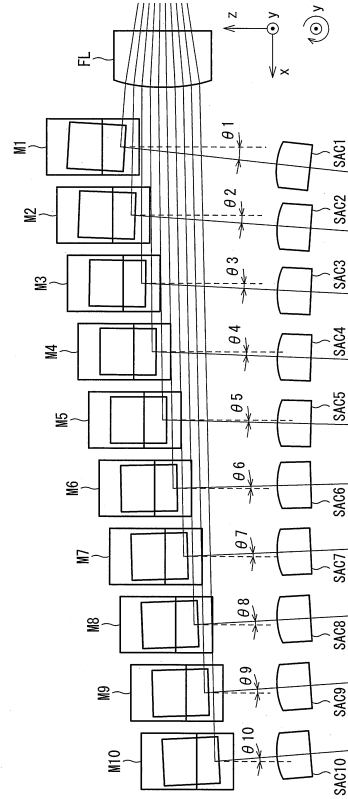
【図2】



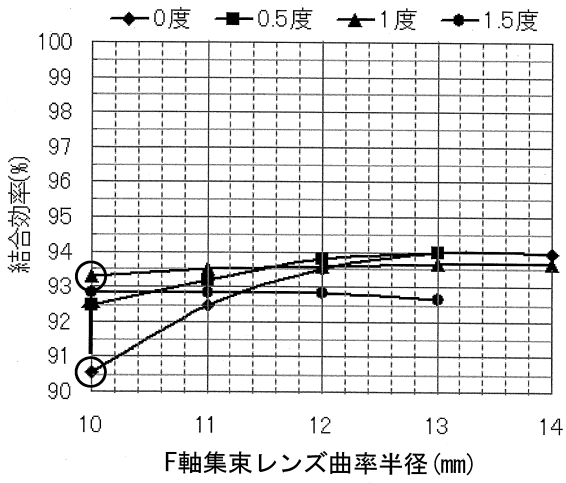
【図3】



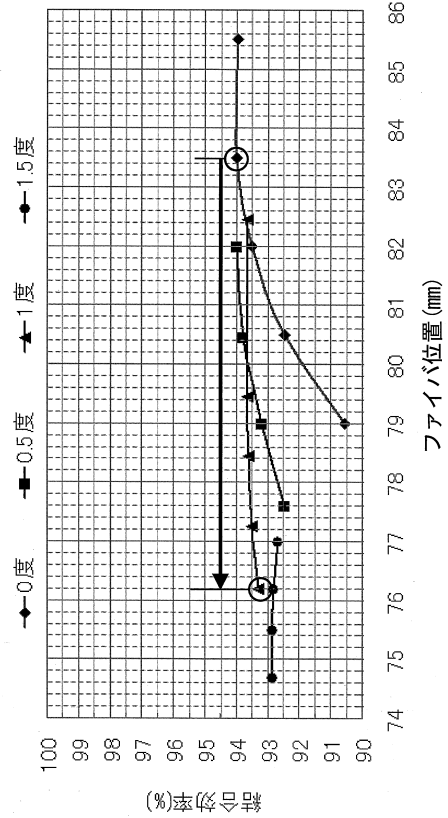
【図4】



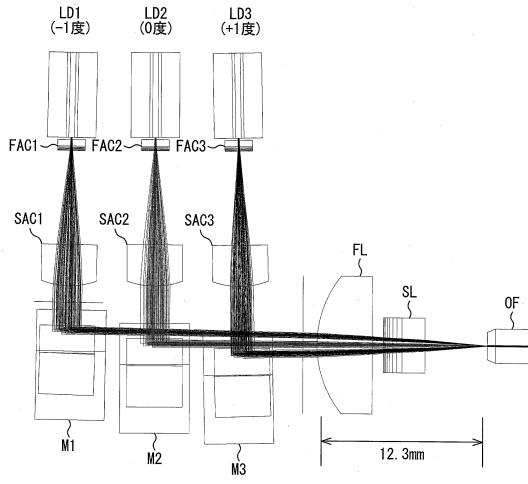
【図5】



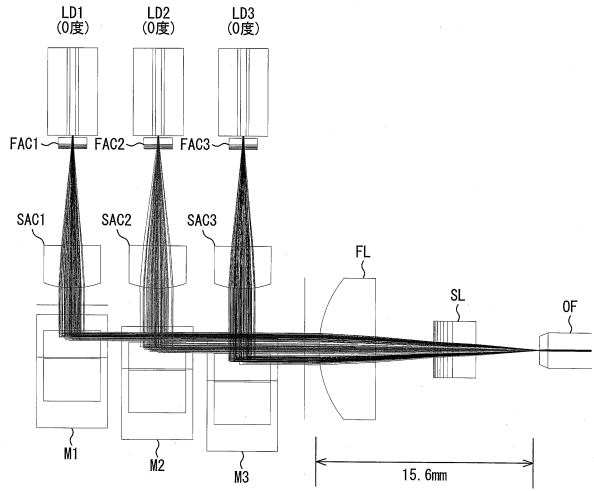
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-252428(JP,A)
特開2004-258624(JP,A)
特開2003-309309(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/26 - 6/43
H01S 5/00 - 5/50
G02B 27/09 - 27/10