

(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2015-31739

(P2015-31739A)

(43) 公開日 平成27年2月16日(2015.2.16)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO2B 6/42 (2006.01)	GO2B 6/42	2H137
HO1S 5/022 (2006.01)	HO1S 5/022	5F173

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2013-159333 (P2013-159333)  
 (22) 出願日 平成25年7月31日 (2013.7.31)  
 (11) 特許番号 特許第5597288号 (P5597288)  
 (45) 特許公報発行日 平成26年10月1日 (2014.10.1)

(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 WORLD PATENT & TRADEMARK  
 (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  
 Fターム(参考) 2H137 AA13 AB06 AC04 BA01 BB02  
 BB17 BC02 BC12 BC51 CC01  
 5F173 MC01 MD62 MF03 MF23 MF28  
 MF39

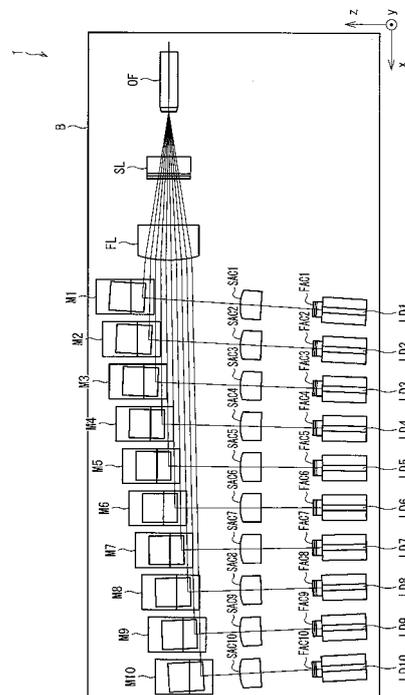
(54) 【発明の名称】 LDモジュール

(57) 【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



## 【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集束する集束レンズと

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、

前記複数のレーザビームの各々について、

当該レーザ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ビームの速軸と、当該レーザ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ビームと、当該ミラーから出射されるレーザビームとが、双方のレーザ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ビームの遅軸に対して平行な面であって、前記レーザビームの光軸に対して  $45^\circ$  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ビームの速軸に対して平行な面であって、前記レーザビームの光軸に対して  $45^\circ$  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】

前記複数のレーザダイオードは、

前記レーザダイオード列のより外側に配置されるにつれて、レーザ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、

10

20

30

40

50

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、複数のレーザビームを出射および合波する LD モジュールに関する。

10

【背景技術】

【0002】

従来、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を光ファイバに結合することにより、レーザ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】

20

【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。

30

【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集束する集束レンズと、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、当該ミラーへ入射し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、前記複数のレーザビームの各々について、当該レーザ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ビームの速軸と、当該レーザ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ビームの遅軸とが、互いに平行であることを特徴とする。

40

【0007】

50

上記LDモジュールによれば、複数のレーザ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ビームの速軸と、第2のミラーから出射された該レーザビームの遅軸とが、互いに平行であるため、該レーザ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、レーザビーム同士が干渉したり、レーザ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、レーザビームの結合効率の低下を抑制しつつ、LDモジュールの小型化を実現することができる。

10

## 【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ビームの速軸と、第2のミラーから出射されたレーザビームの遅軸とが、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 $\times \sin$ （ $\theta$ 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、複数のレーザビームの間隔を密にしまうと、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ビームの速軸と、第2のミラーから出射されたレーザビームの遅軸とが、互いに平行となる構成）を採用することにより、レーザビー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。

20

## 【0009】

また、上記LDモジュールによれば、複数のレーザ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。

30

## 【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ビームと、当該ミラーから出射されるレーザビームとが、双方のレーザ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。

40

## 【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ビームの遅軸に対して平行な面であって、前記レーザビームの光軸に対して $45^\circ$ 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ビームの速軸に対して平行な面であって、前記レーザビームの光軸に対して $45^\circ$ 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】

50

上記LDモジュールにおいて、前記複数のレーザダイオードは、前記レーザダイオード列のより外側に配置されるにつれて、レーザ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。

【0015】

上記の構成によれば、複数の半導体レーザダイオードから出射された複数のレーザビームは、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。

【0016】

上記LDモジュールにおいて、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。

【0017】

上記の構成によれば、上記交差点において、各レーザ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を更に高めることができる。

【0018】

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のミラーの上表面は、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のミラーの上表面の各々は、前記複数のミラーから出射された前記複数のレーザビームの速軸に対して平行であることが好ましい。

【0019】

上記の構成によれば、第2のミラーの下面と第1のミラーの上表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】

【0020】

本発明によれば、レーザ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】

【0021】

【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】

10

20

30

40

50

## 【 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ダイオードから複数のレーザビームを出射し、当該複数のレーザビームを、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本のレーザビームを光ファイバに結合する構成を例示している。

10

## 【 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。

20

## 【 0 0 2 6 】

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。

30

## 【 0 0 2 7 】

〔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Si（ $i = 1 \sim 10$ の整数）は、半導体レーザダイオードLDi（ $i = 1 \sim 10$ の整数）と、速軸コリメートレンズFACi（ $i = 1 \sim 10$ の整数）と、遅軸コリメートレンズSACi（ $i = 1 \sim 10$ の整数）と、ミラーMi（ $i = 1 \sim 10$ の整数）とを備えて構成されている。以下、図2を参照して、各单位工学系の具体的な構成について説明する。

40

## 【 0 0 2 8 】

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Siと同様の構成を有している。

## 【 0 0 2 9 】

図2に示すように、単位光学系Siにおいて、半導体レーザダイオードLDi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FACi、遅軸コリメー

50

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。

【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。

10

【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。

20

【0032】

ここで、図1に示すように、ミラー  $M_1 \sim M_{10}$  から出射される複数のレーザビームが互いに重なり合わないよう、ミラー  $M_1 \sim M_{10}$  の  $z$  軸方向の位置は、互いに異なっている。

【0033】

特に、ミラー  $M_1 \sim M_{10}$  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  $M_1, M_2, \dots, M_{10}$  の順に）、順次、半導体レーザ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  $M_1 \sim M_{10}$  へ伝搬する複数のレーザビームにおいては、速軸集束レンズ  $FL$  に近いレーザビームほど、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、半導体レーザダイオードからミラーまでの距離を、他のレーザビームよりも長くする必要があるのである。

30

【0034】

なお、上記シフト量は、複数のミラー  $M_1 \sim M_{10}$  に入射される複数のレーザビームの間隔よりも、小さくなっている。これにより、半導体レーザダイオード  $LD_1 \sim LD_{10}$  から出射された複数のレーザビームは、ミラー  $M_1 \sim M_{10}$  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  $M_i$  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  $M_i$  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  $M_1 \sim M_{10}$  のうちの1つについて、その構成を示しているが、ミラー  $M_1 \sim M_{10}$  は、いずれも図3に示すミラー  $M_i$  と同様の構成を有している。

40

【0036】

図3に示すように、ミラー  $M_i$  は、第1のミラー  $M_{i1}$  と、第2のミラー  $M_{i2}$  とを備えて構成されている。ミラー  $M_i$  は、第1のミラー  $M_{i1}$  の上面  $B_1$  と、第2のミラー  $M_{i2}$  の下面  $A_2$  とが互いに重なり合うように、第1のミラー  $M_{i1}$  と第2のミラー  $M_{i2}$  とが積み重ねられた構造を有している。第1のミラー  $M_{i1}$  は、その下面  $A_1$  が、 $xz$  平

50

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 M i 1 の上面 B 1 および第 2 のミラー M i 2 の下面 A 2 は、下面 A 1 に対して平行な面である。また、第 1 のミラー M i 1 と第 2 のミラー M i 2 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。

【 0 0 3 7 】

第 1 のミラー M i 1 は、第 1 の反射面 S 1 を有する。第 1 の反射面 S 1 は、半導体レーザーダイオード L D i から出射された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。このため、第 1 の反射面 S 1 は、上記レーザビームの遅軸に対して概ね平行な面であって、上記レーザビームの光軸に対して 45° の角度をなす（すなわち、下面 A 1 に対して 45° の角度をなす）ように構成されている。

10

【 0 0 3 8 】

ミラー M i は、上記レーザ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 S 1 が上記レーザ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 M i は、上記レーザビームに対し、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、上記レーザビームを所定の方向へ反射することができる。

【 0 0 3 9 】

第 2 のミラー M i 2 は、第 2 の反射面 S 2 を有する。第 2 の反射面 S 2 は、第 1 のミラー M i 1 によって反射された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。このため、第 2 の反射面 S 2 は、前記第 1 の反射面によって反射されたレーザ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。

20

【 0 0 4 0 】

ミラー M i 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ビームが入射されるようにレーザ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 S 1 がレーザ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ビームと、当該ミラーから出射されるレーザビームとが、y 軸正方向から見たときに直角をなすように、レーザビームを反射することができる。

30

【 0 0 4 1 】

特に、本実施形態の L D モジュール 1 において、ミラー M i の第 1 の反射面 S 1 は、レーザ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 S 1 とレーザビームの遅軸とが概ね平行でない構成と比べて、レーザ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。

【 0 0 4 2 】

同様に、本実施形態の L D モジュール 1 において、ミラー M i の第 2 の反射面 S 2 は、レーザ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 S 2 とレーザビームの速軸とが概ね平行でない構成と比べて、レーザ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。

40

【 0 0 4 3 】

本実施形態の L D モジュール 1 において、ミラー M 1 ~ M 10 のいずれも、上述したミラー M i と同一の構成を採用している。すなわち、L D モジュール 1 は、ミラー M 1 ~ M 10 の各々に対し、互いに同一の構成のミラー M i を用いることができるため、ミラー M 1 ~ M 10 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 L D モジュール 1 は、該 L D モジュール 1 に係るコストを削減することができ、該 L D モジュール 1 を安価で実現することができる。

【 0 0 4 4 】

なお、ミラー M i 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

50

1のミラーの上面の各々が、当該ミラー $M_i$ 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。

10

## 【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 $LD_1 \sim LD_{10}$ 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 $LD_1 \sim LD_{10}$ 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 $LD_i$ 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 $\theta_i$ ( $i = 1 \sim 10$ 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 $\theta_i$ を正の値で表し、 $x$ 軸正方向への傾きについては回転角 $\theta_i$ を負の値で表すこととする。

20

## 【0046】

本実施形態のLDモジュール1においては、ミラー $M_1 \sim M_{10}$ 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 $M_1 \sim M_{10}$ の各々は、第1の反射面 $S_1$ (図3参照)がレーザービームの速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 $M_1 \sim M_{10}$ 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)。

30

## 【0047】

すなわち、本実施形態のLDモジュール1において、ミラー $M_1 \sim M_{10}$ 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 $M_1 \sim M_{10}$ 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。

## 【0048】

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 $M_1 \sim M_{10}$ へ伝搬するように、半導体レーザーダイオード $LD_1 \sim LD_{10}$ の各々の出射方向が設定されている。この結果、ミラー $M_1 \sim M_{10}$ 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。

40

## 【0049】

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。

## 【0050】

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

50

において、「ビーム束」とは、複数のレーザ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、レーザビームの結合効率の低下を抑制することができる。

【0051】

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。

【0052】

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。

【0053】

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 $\theta_i$ を、以下のように設定することにより、複数のレーザビームを集束気味に速軸集束レンズFLへ伝搬させることができる。

【0054】

1 : 1.000°  
 2 : 0.666°  
 3 : 0.371°  
 4 : 0.109°  
 5 : -0.125°  
 6 : -0.335°  
 7 : -0.525°  
 8 : -0.698°  
 9 : -0.856°  
 10 : -1.000°

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 $\theta_i$ 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 $\theta_i$ 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。

【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) $\theta_i$ 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) $\theta_i'$ 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F

10

20

30

40

50

L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。

【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 $\theta$ の最大値(以下、「最大回転角」と示す。)を $0^\circ$ 、 $0.5^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ 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、最大回転角が $0^\circ$ 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。

10

【0060】

一方、最大回転角が $0^\circ$ 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、最大回転角が $0^\circ$ 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、最大回転角を $1^\circ$ 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、最大回転角を $0^\circ$ とした場合と比べて約3%も高い値を示している。これは、各レーザビームの光ファイバOFへの入射角が、最大回転角を $0^\circ$ 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

【0061】

図6は、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。ここで、ファイバ位置とは、半導体レーザダイオードLD1の中心を通るz軸に平行な直線から、光ファイバOF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OF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 $0^\circ$ 、 $0.5^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ とした場合の結合効率を示している。

30

【0062】

図6に示すように、最大回転角が $0^\circ$ 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OF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、各出力ビームが光ファイバOF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 $0^\circ$ 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OF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、最大回転角が $0^\circ$ 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 $1^\circ$ とした場合、結合効率の低下を1%未満に抑えながら、光ファイバOF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、各レーザビームの光ファイバOFへの入射角が、最大回転角を $0^\circ$ 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。

40

【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。

50

## 【 0 0 6 5 】

〔 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。

## 【 0 0 6 6 】

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 OF の入射端面の位置までに要する距離）を測定した。

## 【 0 0 6 7 】

本実施例の LD モジュールは、図 7 に示すように、半導体レーザダイオード LD 1 ~ LD 3、速軸コリメートレンズ FAC 1 ~ FAC 3、遅軸コリメートレンズ SAC 1 ~ SAC 3、ミラー M 1 ~ M 3、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本のレーザビームを光ファイバ OF 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。

10

## 【 0 0 6 8 】

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。

## 【 0 0 6 9 】

半導体レーザダイオード LD 1 の回転角 : - 1 °  
 半導体レーザダイオード LD 2 の回転角 : 0 °  
 半導体レーザダイオード LD 3 の回転角 : + 1 °  
 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

20

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。

## 【 0 0 7 0 】

〔 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 モジュールと同様である。

30

## 【 0 0 7 1 】

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。

## 【 0 0 7 2 】

半導体レーザダイオード LD 1 の回転角 : 0 °  
 半導体レーザダイオード LD 2 の回転角 : 0 °  
 半導体レーザダイオード LD 3 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。

40

## 【 0 0 7 3 】

〔 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

50

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（3μm）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に結合させることが可能となっている。

10

【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。

20

【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。

30

【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FACiの位置を、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、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FACiが半導体レーザダイオードLDi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FACiは、半導体レーザダイオードLDi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。

【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FACi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FACiのオフセット量 $i$ を、 $1 > 2 > \dots > 10$ 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。

40

【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FACi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

50

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。

【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】

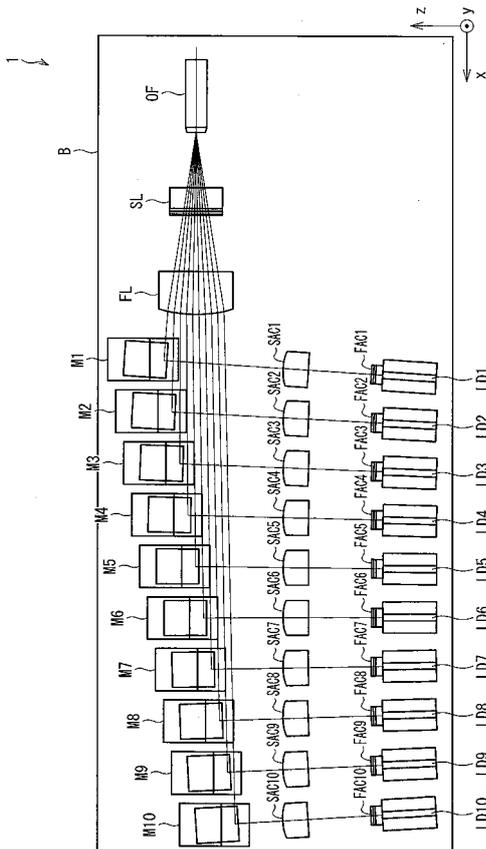
【0082】

- 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）
- 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
- Mi1                       第1のミラー
- S1                        反射面（第1の反射面）
- Mi2                       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
- OF                        光ファイバ

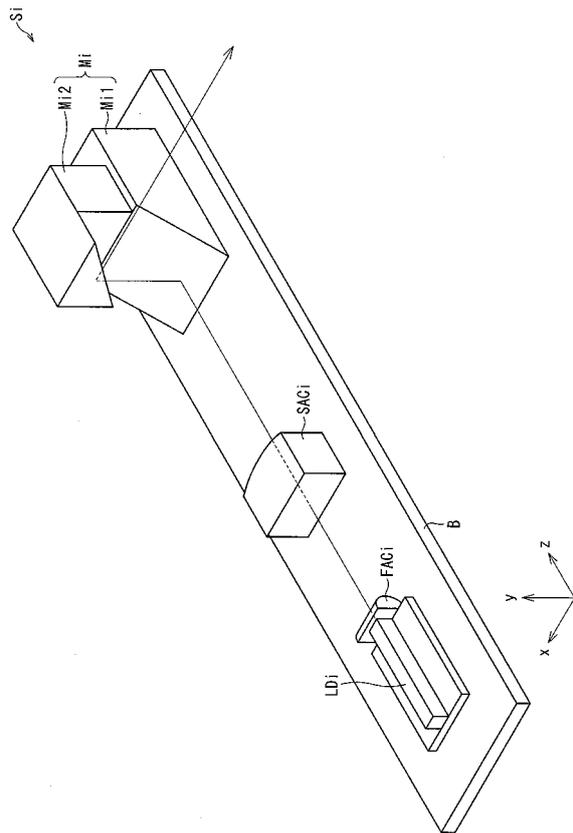
10

20

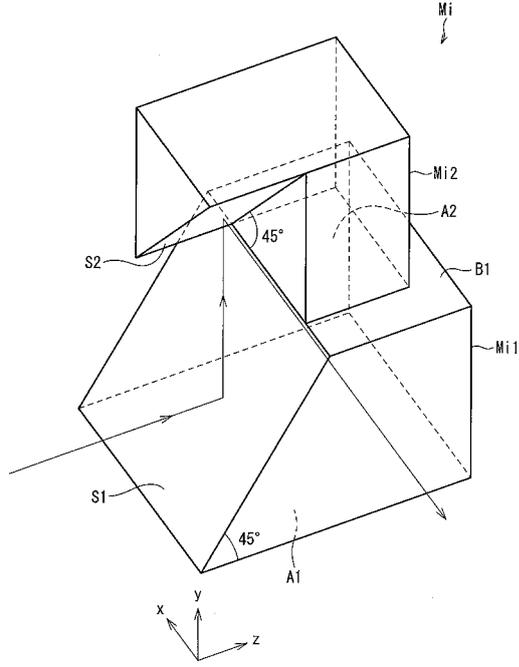
【図1】



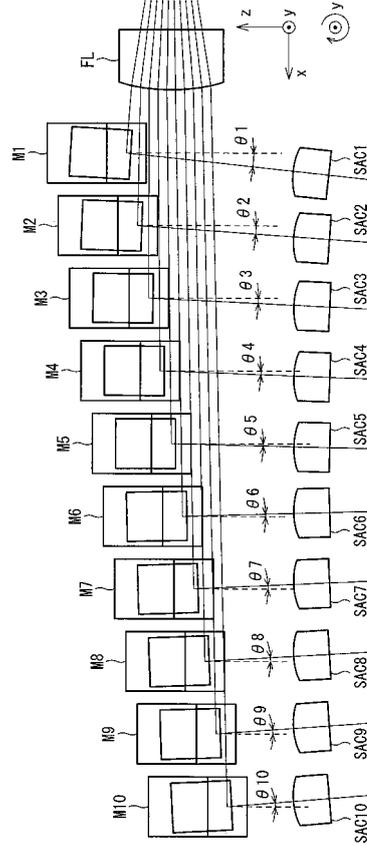
【図2】



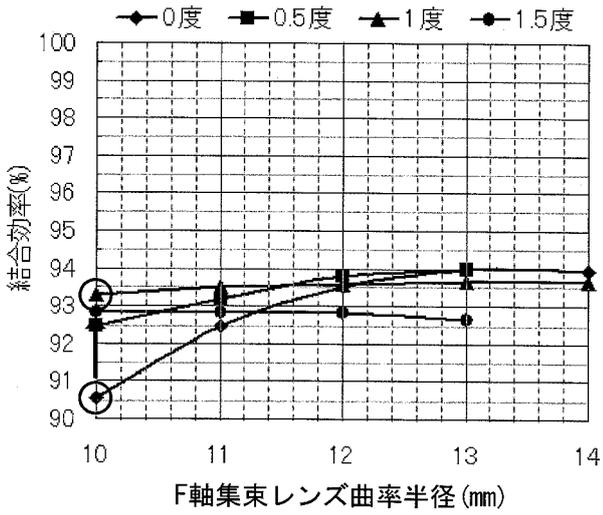
【 図 3 】



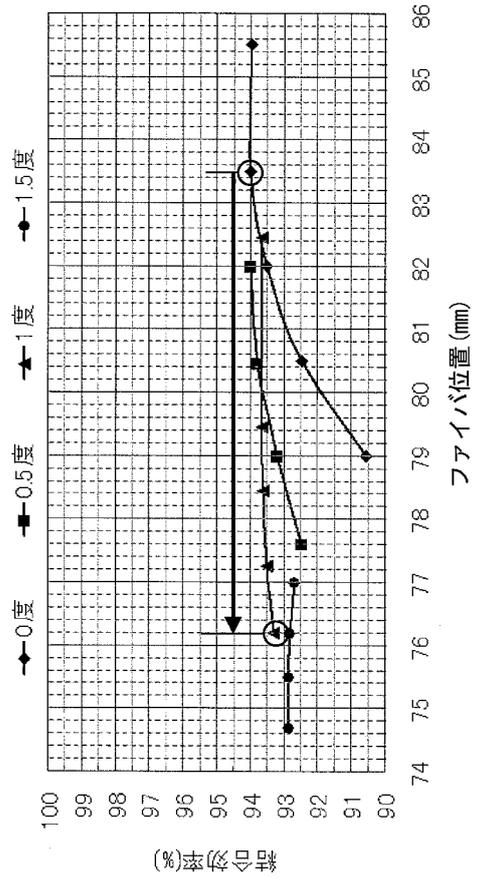
【 図 4 】



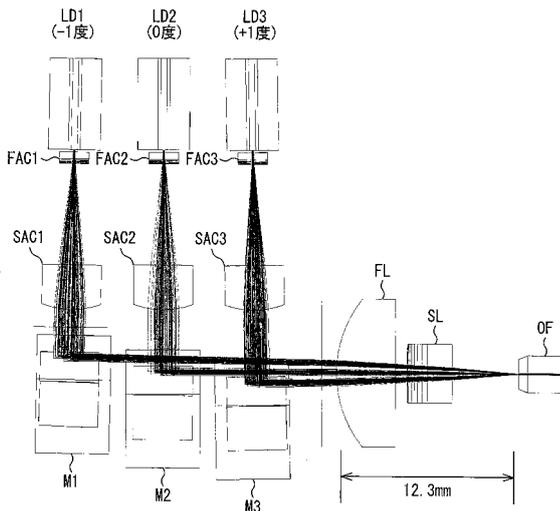
【 図 5 】



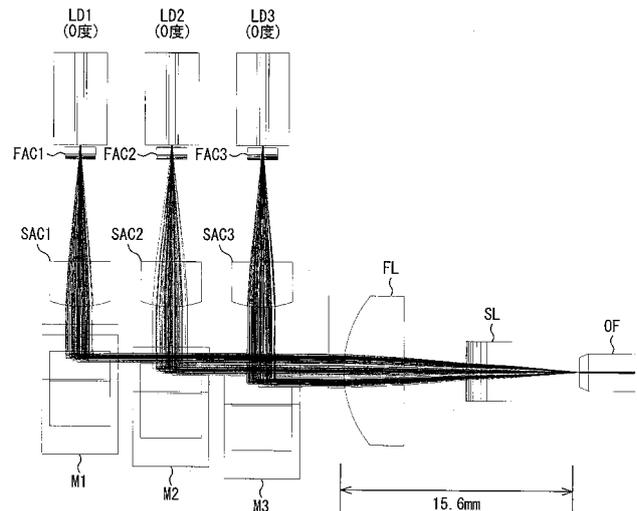
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



## 【 手続補正書 】

【 提出日 】平成26年7月11日(2014.7.11)

## 【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】全文

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 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 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  $45^\circ$  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  $45^\circ$  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。