

(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2015-148810

(P2015-148810A)

(43) 公開日 平成27年8月20日 (2015. 8. 20)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
GO2B	6/42	(2006.01)	GO2B 6/42	2H137
GO2B	6/28	(2006.01)	GO2B 6/28	N 5F173
HO1S	5/022	(2006.01)	HO1S 5/022	

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2015-54018 (P2015-54018)
 (22) 出願日 平成27年3月17日 (2015. 3. 17)
 (62) 分割の表示 特願2012-286085 (P2012-286085) の分割
 原出願日 平成24年12月27日 (2012. 12. 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 WORLD PATENT & TRADEMARK
 (72) 発明者 葛西 洋平
 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
 (72) 発明者 中谷 晋
 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

最終頁に続く

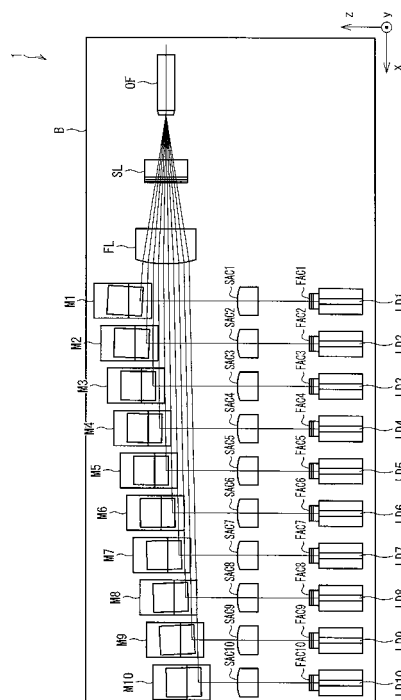
(54) 【発明の名称】 合波装置、合波方法、及び、LDモジュール

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 LDモジュールの小型化を実現することができる合波装置を提供する。

【解決手段】 合波装置は、F軸方向が揃った複数のレーザービームからなるビーム束を出力する出力部と、出力部から出力されたビーム束をF軸方向に収束するF軸集束レンズFLと、を備えており、出力部から出力されたビーム束を構成する各レーザービームの光軸がF軸集束レンズFLによらずとも1点で交差する、ことを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光軸が第 1 の平面に含まれる複数のレーザビームからなるビーム束であって、各レーザビームの F 軸が上記第 1 の平面と直交しないビーム束を出力する出力部と、上記出力部から出力されたビーム束を集束する集束レンズと、を備えており、

上記出力部から出力されたビーム束であって、上記集束レンズにより集束される前のビーム束を構成する各レーザビームの光軸の延長が 1 点で交差し、上記集束レンズにより集束された後のビーム束を構成する各レーザビームが交差する交差点が、上記集束レンズの焦点よりも上記集束レンズに近い位置に形成される合波装置において、

上記出力部は、

光軸が第 2 の平面に含まれる複数のレーザビームからなるビーム束を生成する LD チップ群と、

上記 LD チップ群により生成されたビーム束を構成する各レーザビームを反射するミラーからなるミラー群であって、各ミラーにより反射された各レーザビームの光軸の延長が 1 点で交差するように各ミラーの反射面の向きが調整されたミラー群と、を備えており、

上記ミラー群を構成する各ミラーにより反射されたレーザビームは、その光軸が上記第 1 の平面に含まれ、その F 軸が上記第 1 の平面と直交しない、ことを特徴とする合波装置。

【請求項 2】

上記ミラー群を構成する各ミラーの反射面が、該ミラーにより反射されたレーザビームのビーム径を上記交差点において最小化するように、凹面化されている、ことを特徴とする請求項 1 に記載の合波装置。

【請求項 3】

上記ミラー群を構成する各ミラーは、特定の平面上に載置された第 1 ミラーと、該第 1 ミラー上に載置された第 2 ミラーとにより構成された 2 連ミラーであり、

上記第 1 ミラーは、上記 LD チップ群により生成されたレーザビームを反射する第 1 反射面であって、その法線と上記特定の平面の法線との成す角が 45° となる第 1 反射面を有しており、

上記第 2 ミラーは、上記第 1 反射面にて反射されたレーザビームを反射する第 2 反射面であって、その法線と上記特定の平面の法線との成す角が 135° となる第 2 反射面を有しており、

上記ミラー群を構成する各 2 連ミラーの上記第 2 ミラーにより反射されたレーザビームの光軸の延長が 1 点で交差するように、各 2 連ミラーの上記第 2 ミラーの向きが調整されている、

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の合波装置。

【請求項 4】

上記ミラー群を構成する各ミラーは、特定の平面上に立設された板状ミラーであり、

上記板状ミラーは、上記 LD チップ群により生成されたレーザビームを反射する反射面を有しており、

上記ミラー群を構成する各板状ミラーにより反射されたレーザビームの光軸の延長が 1 点で交差するように、各板状ミラーの傾きが調整されている、

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の合波装置。

【請求項 5】

上記交差点が、上記集束レンズの外部に形成される、ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れか 1 項に記載の合波装置。

【請求項 6】

上記ビーム束を構成する各レーザビームの、上記 LD チップ群から上記ミラー群までの光路上に配置された F 軸コリメートレンズであって、該レーザビームの F 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

10

20

30

40

50

た F 軸コリメートレンズを更に備えており、

各レーザービームの光路上に配置された上記 F 軸コリメートレンズのオフセットの量が、該レーザービームの F 軸方向のビーム径を上記交差点において最小化するように個別に設定されている、

ことを特徴とする請求項 1 ~ 5 の何れか 1 項に記載の合波装置。

【請求項 7】

上記ビーム束を構成する各レーザービームの、上記 LD チップ群から上記ミラー群までの光路上に配置された F 軸コリメートレンズであって、該レーザービームの F 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た F 軸コリメートレンズと、

10

上記ビーム束を構成する各レーザービームの、上記 F 軸コリメートレンズから上記ミラー群までの光路上に配置された S 軸コリメートレンズと、を更に備えており、

各レーザービームの光路上に配置された上記 F 軸コリメートレンズのオフセットの量が一律に設定されており、各レーザービームの光路上に配置された上記 S 軸コリメートレンズのビーム出射側端面から上記交差点までの光路長が、該レーザービームの F 軸方向のビーム径を上記ビーム束のビーム交差点において最小化するように個別に設定されている、ことを特徴とする請求項 1 ~ 5 の何れか 1 項に記載の合波装置。

【請求項 8】

光軸が第 1 の平面に含まれる複数のレーザービームからなるビーム束であって、各レーザービームの F 軸が上記第 1 の平面と直交しないビーム束を出力する出力工程と、上記出力工程にて出力されたビーム束を集束レンズにより集束する集束工程と、を含んでおり、

20

上記出力工程にて出力されたビーム束であって、上記集束工程にて集束される前のビーム束を構成する各レーザービームの光軸の延長が 1 点で交差し、上記集束工程にて集束された後のビーム束を構成する各レーザービームが交差する交差点が、上記集束レンズの焦点よりも上記集束レンズに近い位置に形成される合波方法において、

上記出力工程は、

光軸が第 2 の平面に含まれる複数のレーザービームからなるビーム束を LD チップ群を用いて生成する生成工程と、

上記生成工程にて生成されたビーム束を構成する各レーザービームをミラー群を用いて反射する反射工程と、を含んでおり、

30

上記ミラー群は、各ミラーにより反射されたレーザービームの光軸の延長が 1 点で交差するように各ミラーの反射面の向きが調整されたミラーからなり、

上記ミラー群を構成する各ミラーにより反射されたレーザービームは、その光軸が上記第 1 の平面に含まれ、その F 軸が上記第 1 の平面と直交しない、

ことを特徴とする合波方法。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 7 の何れか 1 項に記載の合波装置と、

上記出力部から出力された後、上記集束レンズにより集束されたビーム束を構成する各レーザービームの交差点に入射端面が配置された光ファイバと、を備えている、

ことを特徴とする LD モジュール。

40

【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合波する合波装置及び合波方法に関する。また、そのような合波装置を備えた LD モジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

LD (Laser Diode) 素子 (半導体レーザー素子) から出射されたレーザービームを光ファイバに結合するために、LD モジュールが広く用いられている。このような LD モジュールにおいて、複数の LD 素子の各々から出射されたレーザービームを光ファイバに導く導光

50

装置として、特許文献 1 に記載のマイクロ光学装置が知られている。

【0003】

図 12 は、特許文献 1 に記載のマイクロ光学装置 10 の斜視図である。マイクロ光学装置 10 は、図 12 に示したように、基板 11、LD パー 12、円柱レンズ 13、第 1 の鏡列 14、及び第 2 の鏡列 15 を備えている。

【0004】

LD パー 12 は、x 軸に沿って並んだ複数の LD 素子を備えており、各 LD 素子から z 軸正方向にレーザビームを出射する。各 LD 素子から z 軸正方向に出射されたレーザビームの光軸は、zx 面に平行な第 1 の平面内で x 軸に沿って並ぶ。

【0005】

なお、各 LD 素子から出射されたレーザビームの伝搬方向は、z 軸正方向を中心に $\pm x$ 方向に分散している。このため、マイクロ光学装置 10 においては、LD パー 12 の出射端面に対向するように配置された円柱レンズ 13 によって、各 LD 素子から出射されたレーザビームをコリメートする（伝搬方向を z 軸正方向に収斂させる）構成が採用されている。

【0006】

第 1 の鏡列 14 は、LD パー 12 を構成する各 LD 素子に対向する鏡面 14 a が一体化されたものである。各 LD 素子から z 軸正方向に出射されたレーザビームは、その LD 素子に対向する鏡面 14 a によって、y 軸正方向に反射される。また、第 2 の鏡列 15 は、第 1 の鏡列 14 を構成する各鏡面 14 a に対向する鏡面 15 a が一体化されたものである。各鏡面 14 a にて y 軸正方向に反射されたレーザビームは、その鏡面 14 a に対向する鏡面 15 a によって、x 軸正方向に反射される。

【0007】

なお、x 軸正方向側から数えて $i + 1$ 番目の LD 素子から出射されたレーザビームを反射する鏡面 14 a、15 a は、x 軸正方向側から数えて i 番目の LD 素子から出射されたレーザビームを反射する鏡面 14 a、15 b よりも z 軸負方向側に配置される。このため、各鏡面 15 a にて x 軸正方向に反射されたレーザビームの光軸は、zx 平面と平行な第 2 の平面であって、上述した第 1 の平面よりも y 軸正方向側に位置する第 2 の平面内で z 軸に沿って並ぶ。

【0008】

このように、マイクロ光学装置 10 は、LD パー 12 を構成する各 LD 素子から出射された z 軸正方向に伝搬するレーザビームからなる第 1 のビーム束を、第 2 の鏡列 15 を構成する各鏡面 15 a にて反射された x 軸方向に伝搬するレーザビームからなる第 2 のビーム束に変換する機能を有している。

【0009】

マイクロ光学装置 10 を備えた LD モジュールにおいて、マイクロ光学装置 10 から出力される第 2 のビーム束（以下、「出力ビーム束」と記載）は、F 軸集束レンズによって集束される。そして、F 軸集束レンズにより集束された出力ビーム束は、その出力ビーム束を構成するレーザビームの交差点、すなわち、F 軸集束レンズの焦点に配置された入射端面から光ファイバに入射する。なお、出力ビーム束を構成するレーザビーム、すなわち、第 2 の鏡列 15 を構成する各鏡面 15 a にて反射されたレーザビームの光軸は互いに平行である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【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】

【0011】

LD モジュールの小型化を図るためには、F 軸集束レンズの曲率半径を小さくすること

10

20

30

40

50

によって、F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F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、F軸集束レンズの曲率半径を小さくすると、F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、結合効率が低下するという問題を生じる。F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。

【0012】

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、結合効率を犠牲することなく、LDモジュールの小型化を実現することにある。また、そのために必要な合波装置を実現することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決するために、本発明に係る合波装置は、光軸が単一の平面に含まれる複数のレーザビームからなるビーム束であって、各レーザビームのF軸が上記単一の平面と直交しないビーム束を出力する出力部と、上記出力部から出力されたビーム束を集束する集束レンズと、を備えており、上記出力部から出力されたビーム束であって、上記集束レンズにより集束される前のビーム束を構成する各レーザビームの光軸の延長が1点で交差し、上記集束レンズにより集束された後のビーム束を構成する各レーザビームが交差する交差点が、上記集束レンズの焦点よりも上記集束レンズに近い位置に形成される、ことを特徴とする。

20

【0014】

上記の構成によれば、集束レンズにより集束された後のビーム束を、該ビーム束を構成するレーザビームが交差する交差点に入射端面が配置された光ファイバに入射させる際に、以下の効果を奏する。

【0015】

すなわち、集束レンズにより集束される前のビーム束を構成する各レーザビームの光軸が平行な場合と比べて、集束レンズにより集束された後のビーム束を構成する各レーザビームが光ファイバに入射する際の入射角を小さくすることができる。これにより、集束レンズにより集束される前のビーム束を構成する各レーザビームの光軸が平行な場合と比べて、光ファイバとの結合効率を高くすることができる。

30

【0016】

別の見方をすると、集束レンズにより集束された後のビーム束を構成する各レーザビームが光ファイバに入射する際の入射角を大きくすることなく、すなわち、光ファイバとの結合効率を低下させることなく、集束レンズの曲率半径を小さくすることができる。これにより、集束レンズにより集束される前のビーム束を構成する各レーザビームの光軸が平行な場合と比べて、光ファイバの入射端面の位置が集束レンズに近づけることが可能になる。このため、LDモジュールに上記合波装置を搭載する(LDモジュールに搭載された合波装置に上記の構成を採用する)ことによって、当該LDモジュールの小型化を実現することができる。

40

【0017】

また、上記の構成によれば、集束レンズにより集束される前のビーム束を構成する各レーザビームの光軸が互いに平行な場合と比べて、集束レンズにより集束された後のビーム束を構成する各レーザビームを集束レンズの中心付近に入射させることができる。このため、LDモジュールに上記合波装置を搭載することによって、光ファイバとの結合効率が上記F軸集束レンズの収差の影響によって低下することを防止できる。

【0018】

本発明に係る合波装置においては、上記出力部から出力された後、上記集束レンズにより集束された後のビーム束を構成する各レーザビームの交差点が、上記集束レンズの外部に形成される、ことが好ましい。

【0019】

50

上記の構成によれば、例えば、光ファイバの入射端面を上記交差点に配置することができる。したがって、LDモジュールに上記合波装置を搭載することによって、当該LDモジュールの小型化及び高品質化を実現することができる。

【0020】

本発明に係る合波装置は、上記ビーム束を構成する各レーザビームの光路上に配置されたF軸コリメートレンズであって、該レーザビームのF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、該レーザビームの伝播方向にオフセットされたF軸コリメートレンズを更に備えており、各レーザビームの光路上に配置されたF軸コリメートレンズのオフセットの量が、該レーザビームのF軸方向のビーム径を上記交差点において最小化するように個別に設定されている、ことが好ましい。

10

【0021】

また、本発明に係る合波装置は、上記ビーム束を構成する各レーザビームの光路上に配置されたF軸コリメートレンズであって、該レーザビームのF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、該レーザビームの伝播方向にオフセットされたF軸コリメートレンズを更に備えており、各レーザビームの光路上に配置されたF軸コリメートレンズのオフセットの量が一律に設定されており、各レーザビームの光路上に配置されたS軸コリメートレンズのビーム出射側端面から上記交差点までの光路長が、該レーザビームのF軸方向のビーム径を上記ビーム束のビーム交差点において最小化するように個別に設定されている、ことが好ましい。

20

【0022】

上記の構成によれば、上記ビーム束を構成する各レーザビームの交差点において、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。

【0023】

本発明に係る合波装置において、上記出力部は、光軸が単一の平面に含まれる複数のレーザビームからなるビーム束を生成するレーザ光源群と、上記レーザ光源群により生成されたビーム束を構成する各レーザビームを反射するミラーであって、各ミラーにより反射されたレーザビームの光軸が1点で交差するように反射面の向きが調整されたミラーからなるミラー群と、により構成されている、ことが好ましい。

30

【0024】

上記の構成によれば、簡単な構成の合波装置を実現することができる。

【0025】

本発明に係る合波装置においては、上記ミラー群を構成する各ミラーの反射面が、該ミラーにより反射されたレーザビームのビーム径を上記ビーム束のビーム交差点において最小化するように、凹面化されている、ことが好ましい。

【0026】

上記の構成によれば、上記ビーム束を構成する各レーザビームの交差点において、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。

40

【0027】

本発明に係る合波装置において、上記ミラー群を構成する各ミラーは、特定の平面上に載置された第1ミラーと、該第1ミラー上に載置された第2ミラーとにより構成された2連ミラーであって、上記第1ミラーは、上記光源群により生成されたレーザビームを反射する第1反射面であって、その法線と上記特定の平面の法線との成す角が45°となる第1反射面を有しており、上記第2ミラーは、上記第1反射面にて反射されたレーザビームを反射する第2反射面であって、その法線と上記特定の平面の法線との成す角が135°となる第2反射面を有しており、上記第2ミラーにより反射されたレーザビームの光軸が1点で交差するように上記第2の反射面の向きが調整されている、ことが好ましい。

【0028】

上記の構成によれば、上記ビーム束を構成する各レーザビームを1点で交差させるため

50

の調整が容易な合波装置であって、コンパクトな合波装置を実現することができる。

【0029】

本発明に係る合波装置において、上記出力部は、光軸が単一の平面に含まれる複数のレーザビームからなるビーム束であって、各レーザビームのF軸が上記単一の平面と直交しないビーム束を生成するレーザ光源群であって、該レーザ光源群を構成する各レーザ光源の向きが、上記複数のレーザビームの光軸が1点で交差するように設定されている、ことが好ましい。

【0030】

上記の構成によれば、更に簡単な構成の合波装置を実現することができる。

【0031】

上記課題を解決するために、本発明に係る合波方法は、光軸が単一の平面に含まれる複数のレーザビームからなるビーム束であって、各レーザビームのF軸が上記単一の平面と直交しないビーム束を出力する出力工程と、上記出力工程にて出力されたビーム束を集束レンズにより集束する集束工程と、を含んでおり、上記出力工程にて出力されたビーム束であって、上記集束工程にて集束される前のビーム束を構成する各レーザビームの光軸の延長が1点で交差し、上記集束工程にて集束された後のビーム束を構成する各レーザビームが交差する交差点が、上記集束レンズの焦点よりも上記集束レンズに近い位置に形成される、ことを特徴とする。

【0032】

上記の構成によれば、上記合波装置と同様の効果を奏する。

【0033】

なお、上記の合波装置と共に、上記F軸集束レンズにより集束されたビーム束を構成する各レーザビームの交差点に入射端面が配置された光ファイバとを備えたLDモジュールも本発明の範疇に含まれる。

【発明の効果】

【0034】

本発明によれば、LDモジュールに上記合波装置を搭載することによって、当該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】

【0035】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るLDモジュールの構成を示す平面図である。

【図2】図1に示す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】図1に示すLDモジュールが備える2連ミラーの構成を示す斜視図である。

【図4】図3に示す2連ミラーが備える第2ミラーの微小回転により各出力ビームの伝搬方向を微小回転させる際の、第2ミラーの回転角度について説明するための図である。

【図5】図4に示す出力ビームの伝搬方向の微小回転を実施する際に、各出力ビームがF軸集束レンズよりもx軸正方向側の一点において交差するための条件について説明するための図である。

【図6】第2ミラーの回転角度を変化させた場合の、F軸集束レンズの曲率半径に対する光ファイバへの出力ビーム束の結合効率を示すグラフである。

【図7】第2ミラーの回転角度を変化させた場合の、光ファイバを設置する位置に対する光ファイバへの出力ビーム束の結合効率を示すグラフである。

【図8】図1に示すLDモジュールの変形例を示す平面図である。

【図9】図8に示すLDモジュールを用いる際の各出力ビームの形状の変化を示す図である。(a)は、図8のaa'断面における出力ビームの形状を示す図である。(b)は、図8のbb'断面における出力ビームの形状を示す図である。(c)は、図8のcc'断面における出力ビームの形状を示す図である。(d)は、図8のdd'断面における出力ビーム束の形状を示す図である。(e)は、図8のee'断面における出力ビーム束の形状を示す図である。(f)は、図8のff'断面における出力ビーム束の形状を示す図である。

10

20

30

40

50

【図10】(a)は、本発明の第2の実施形態に係るLDモジュールの構成を示す平面図である。(b)は、(a)に示すLDモジュールの aa' 断面を示す断面図である。(c)は、(a)に示すLDモジュールの bb' 断面を示す断面図である。

【図11】本発明の第3の実施形態に係るLDモジュールの構成を示す平面図である。

【図12】従来のマイクロ光学装置の構成を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

<第1の実施形態>

本発明の第1の実施形態に係るLDモジュールについて、図面に基づいて説明すれば以下の通りである。

【0037】

〔LDモジュール1の構成〕

本実施形態に係るLDモジュール1の構成について、図1及び図2を参照して説明する。図1は、LDモジュール1の構成を示す平面図である。図2は、LDモジュール1を構成する単位光学系 S_i の構成を示す斜視図である。

【0038】

LDモジュール1は、 N 個のLDチップ $LD_1 \sim LD_{10}$ から出射されたレーザビームを光ファイバOFに結合するためのものである。なお、本実施形態においては、10個のLDチップ $LD_1 \sim LD_{10}$ から出射されたレーザビームを光ファイバOFに結合するLDモジュールを開示するが、本発明は $N = 10$ の場合に限定されない(N は2以上の任意の自然数であり得る)。

【0039】

LDモジュール1は、図1に示すように、10個のLDチップ $LD_1 \sim LD_{10}$ の他に、10個のF軸コリメートレンズ $FAC_1 \sim FAC_{10}$ と、10個のS軸コリメートレンズ $SAC_1 \sim SAC_{10}$ と、10個の2連ミラー $M_1 \sim M_{10}$ と、基板Bと、F軸集束レンズFLと、S軸集光レンズSLとを備えている。LDチップ $LD_1 \sim LD_{10}$ 、F軸コリメートレンズ $FAC_1 \sim FAC_{10}$ 、S軸コリメートレンズ $SAC_1 \sim SAC_{10}$ 、2連ミラー $M_1 \sim M_{10}$ 、F軸集束レンズFL、及びS軸集光レンズSLは、何れも、直接、又は、不図示のマウントを介して基板B上に載置される。

【0040】

LDモジュール1においては、基板B、F軸コリメートレンズ $FAC_1 \sim FAC_{10}$ 、S軸コリメートレンズ $SAC_1 \sim SAC_{10}$ 、及び2連ミラー $M_1 \sim M_{10}$ が、従来のマイクロ光学装置10(図12参照)に相当する導光装置を構成する。この導光装置は、従来のマイクロ光学装置10と同様、LDチップ $LD_1 \sim LD_{10}$ から出射されたz軸正方向に伝搬するレーザビーム(以下、「入力ビーム」とも記載する)からなる入力ビーム束を、略x軸負方向に伝搬するレーザビーム(以下、「出力ビーム」とも記載する)からなる出力ビーム束に変換する機能を有する。

【0041】

この出力ビーム束の光路上には、F軸集束レンズFLとS軸集光レンズSLとが配置される。F軸集束レンズFLは、出力ビーム束を構成する各出力ビームを、F軸方向のビーム間隔が光ファイバOFの入射端面において最小になる(好ましくは0になる)ように屈折させる。また、F軸収束レンズFLは、出力ビーム束を構成する各出力ビームを、F軸方向のビーム径が光ファイバOFの入射端面において最小になるように集光する。一方、S軸集光レンズSLは、出力ビーム束を構成する各出力ビームを、S軸方向のビーム径が光ファイバOFの入射端面において最小になるように集光する。

【0042】

LDモジュール1は、図1に示すように、LDチップ LD_i と、F軸コリメートレンズ FAC_i と、S軸コリメートレンズ SAC_i と、2連ミラー M_i とからなる光学系を単位として構成されている。図1においては、LDチップ LD_1 と、F軸コリメートレンズ FAC_1 と、S軸コリメートレンズ SAC_1 と、2連ミラー M_1 とからなる単位光学系 S_1

10

20

30

40

50

を例示している。

【0043】

LDモジュール1を構成する各单位光学系 S_i は、図2に示すように、LDチップLD i と、F軸コリメートレンズFAC i と、S軸コリメートレンズSAC i と、2連ミラーM i とにより構成される。

【0044】

図2に示すように、LDチップLD i は、活性層が z - x 平面と平行になるように、かつ、出射端面が z 軸正方向を向くように、基板B上に載置される。このため、LDチップLD i から出射されるレーザビームは、伝搬方向が z 軸正方向、F軸が y 軸と平行、S軸が x 軸と平行になる。

10

【0045】

なお、図1に示したように、 N 個のLDチップLD1~LD10は、 x 軸に沿って並べられる。このため、各LDチップLD i から z 軸正方向に出射されたレーザビームの光軸は、 z - x 面に平行な第1の平面内で x 軸に沿って平行に並ぶことになる。

【0046】

図2に示すように、LDチップLD i から出射されるレーザビームの光路上には、F軸コリメートレンズFAC i とS軸コリメートレンズSAC i とが配置される。F軸コリメートレンズFAC i は、LDチップLD i から出射されたレーザビームのF軸方向の広がりをコリメートするためのものであり、S軸コリメートレンズSAC i は、LDチップLD i から出射されたレーザビームのS軸方向の広がりをコリメートするためのものである。

20

【0047】

図2に示すように、LDチップLD i から出射されるレーザビームの光路上には、更に、2連ミラーM i が配置される。2連ミラーM i は、基板B上に載置された第1ミラーM i 1と、第1ミラーM i 1上に載置された第2ミラーM i 2とにより構成される。第1ミラーM i 1は、LDチップLD i から出射されたレーザビームを反射し、その伝搬方向を z 軸正方向から y 軸正方向に変換するためのものであり、「跳ね上げミラー」と呼ばれることもある。また、第2ミラーM i 2は、第1ミラーM i 1にて反射されたレーザビームを反射し、その伝搬方向を y 軸正方向から略 x 軸負方向に変換するためのものであり、「折り返しミラー」と呼ばれることもある。

30

【0048】

なお、図1に示したように、 x 軸負方向側から数えて $i+1$ 番目のLDチップLD $i+1$ から出射されたレーザビームを反射する2連ミラーM $i+1$ は、 x 軸負方向側から数えて i 番目のLDチップLD i から出射されたレーザビームを反射する2連ミラーM i よりも z 軸負方向側に配置される。このため、各2連ミラーM i にて略 x 軸負方向に反射されたレーザビームの光軸は、 z - x 面と平行な第2の平面であって、上述した第1の平面よりも y 軸正方向側に位置する第2の平面内に並ぶことになる。

40

【0049】

LDモジュール1において注目すべき点は、各2連ミラーM i により反射された出力ビームであって、F軸収束レンズFLにより集束される前の出力ビームの光軸の延長が1点で交わる点である。これにより、LDモジュール1は、少なくとも以下の効果を奏する。

【0050】

(1)隣接する出力ビームの光軸間隔が一定である場合(すなわち、各出力ビームの光軸が平行に並ぶ場合)と比べて、F軸集束レンズFLからビーム交差点までの距離を短くすることができる。換言すれば、ビーム交差点をF軸集束レンズFLの焦点(隣接する出力ビームの光軸間隔が一定である場合のビーム交差点)よりも手前に形成することができる。これにより、隣接する出力ビームの光軸間隔が一定である場合と比べて、光ファイバ

50

OFの入射端面をF軸集束レンズFLに近づけることができる。その結果、LDモジュール1を小型化することができる。

【0051】

(2)隣接する出力ビームの光軸間隔が一定である場合と比べて、F軸集束レンズFLと各出力ビームとの光軸間隔を小さくすることができる。これにより、F軸集束レンズFLの収差によって、出力ビーム束の集束が阻害されたり、各出力ビームの収斂が阻害されたりすることを回避することができる。その結果、LDモジュール1におけるLDチップLD1~LD10と光ファイバOFとの結合効率を高効率化することができる。

【0052】

(3)隣接する出力ビームの光軸間隔が一定である場合と比べて、F軸集束レンズFLにより集束された出力ビーム束を構成する各出力ビームが光ファイバOFに入射する際の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、より曲率半径の小さいF軸収束レンズFLを使用することが可能になる。これにより、LDモジュール1のサイズを小型化することができる。

【0053】

〔2連ミラーの構成〕

LDモジュール1が備える2連ミラーMiの構成ついて、図3を参照して説明する。図3は、2連ミラーMiの構成を示す斜視図である。2連ミラーMiは、図3に示すように、第1ミラーMi1と、第2ミラーMi2とにより構成される。

【0054】

第1ミラーMi1は、少なくとも下面A1と、下面A1と平行な上面B1と、反射面S1とを有する多面体状の構造物である。反射面S1と下面A1とが成す角は、図3に示すように45°である。

【0055】

第1ミラーMi1は、下面A1が基板Bの上面に当接するように、基板B上に載置される(図2参照)。これにより、第1ミラーMi1の反射面S1の法ベクトルと、基板Bの上面(zx面)の法ベクトルとの成す角が45°になる。また、第1ミラーMi1の向きは、反射面S1の法線がyz面と平行になるように決められる。これにより、第1ミラーMi1の反射面S1は、z軸負方向から入射したレーザビームをy軸正方向に反射する。

【0056】

第2ミラーMi2は、少なくとも下面A2と、反射面S2とを有する多面体状の構造体である。反射面S2と下面A2との成す角は、図3に示すように45°である。

【0057】

第2ミラーMi2は、下面A2が第1ミラーMi1の上面B1に当接するように、第1ミラーMi1上に載置される。これにより、第2ミラーMi2の反射面S2の法ベクトルと、基板Bの上面(zx面)の法ベクトルとの成す角が135°になる。また、第2ミラーMi2の向きは、反射面S2の法線がxy面と略平行になるように決められる。これにより、第2ミラーMi2の反射面S2は、y軸負方向から入射したレーザビームを略x軸負方向に反射する。

【0058】

この2連ミラーMiにおいては、第1ミラーMi1の向きを、y軸を回転軸として微小回転させると、対応する出力ビームの伝搬方向が、z軸を回転軸として微小回転する。また、第2ミラーMi2の向きを、y軸を回転軸として微小回転させると、対応する出力ビームの伝搬方向が、y軸を回転軸として微小回転する。したがって、この2連ミラーMiによれば、第1ミラーMi1及び第2ミラーMi2の向きを適宜設定することによって、対応する出力ビームを所望の方向に伝搬させることができる。

【0059】

LDモジュール1においては、2連ミラーM1~M10の各々が備える第1ミラーMi1の向きを、各出力ビームの光軸がzx面と平行になるように設定する。また、2連ミラーM1~M10の各々が備える第2ミラーMi2の向きを、F軸収束レンズFLにより集

10

20

30

40

50

束される前の各出力ビームの光軸の延長が1点で交差するように設定する。

【0060】

なお、本実施形態においては、第2ミラーMi2を第1ミラーi1上に載置する構成について説明したが、本発明はこれに限定されない。すなわち、反射面S2の反射面S1に対する相対位置が本実施形態のものと変わらなければ、第2ミラーMi2を第1ミラーMi1と一体化する構成を採用してもよい。また、本実施形態においては、2連ミラーMiを他の2連ミラーMjから分離する構成について説明したが、本発明はこれに限定されない。すなわち、2連ミラーMiの他の2連ミラーMjに対する相対位置が本実施形態のものと変わらなければ、2連ミラーMiを他の2連ミラーMjと一体化する構成を採用してもよい。また、図12に示すマイクロ光学装置10のように、一体化された第2ミラーM12~M102を、一体化された第1ミラーM11~M101上に載置する構成を採用しても構わない。

10

【0061】

〔第2ミラーの向き〕

2連ミラーM1~M10の各々が備える第2ミラーMi2の向きについて、図4を参照して説明する。図4は、2連ミラーM1~M10の各々が備える第2ミラーMi2の向きを示す平面図である。なお、以下の説明においては、反射面S2(図3参照)の法線がyz面と平行になるように向きが定められた第2ミラーMi2を、y軸を回転軸として回転させたときの回転角を θ_i とする。この際、y軸正方向から見て時計回りの回転を正方向の回転とする。

20

【0062】

本実施形態においては、各入力ビームの光軸が等間隔で平行に並んでいる。このため、各第2ミラーMi2の回転角 θ_i を下表のように設定することによって、各出力ビームの光軸が1点で交差させている。

【0063】

【表1】

i	回転角 θ_i
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

30

40

【0064】

なお、 $\theta_i = \theta_1 \times (i - 1)$ となるように各第2ミラーMi2の向きを設定することによって、各出力ビームの光軸を1点で交差させる構成を採用してもよい。ここで、 θ_1 は、予め定められた正の角(例えば 1°)であり、最もx軸負方向側に配置された第2ミラーM12の回転角 θ_1 は、 $\theta_1 = \theta_1$ となる。また、 θ_{10} は、 $\theta_{10} = 2 / (N - 1) = 2 / 9$ により与えられる正の角であり、最もx軸正方向側にある第2ミラーM102の回転角 θ_{10} は、 $\theta_{10} = -$ となる。ただし、この場合、各入力ビームの光軸は、不等間隔となる。

【0065】

50

ただし、このように各第2ミラーM₁₂の向きを設定する場合、最大回転角 θ_{11} の値を大きくし過ぎるとビーム交差点がF軸集束レンズFLの内部に形成されてしまう。そうすると、光ファイバOFの入射端面上にビーム交差点を形成することが不可能になるので、 θ_{11} の値はこの点を考慮して決定することが好ましい。

【0066】

ビーム交差点をF軸集束レンズFLの外部に形成するために最大回転角 θ_{11} に課せられる条件について、図5を参照して説明する。図5は、F軸集束レンズFLの断面を示す断面図である。

【0067】

F軸集束レンズFLは、屈折率が n 、曲率半径が R 、厚みが T の円柱レンズ（平凸シリンドリカルレンズ）であるものとする。また、第2ミラーM₁₂により反射された出力ビームは、F軸集束レンズFLの入射面（凸面）上の点I（以下、「入射点I」とも記載）からF軸集束レンズFL内に入射し、F軸集束レンズFLの出射面（平面）上の点O（以下、「出射点O」とも記載）からF軸集束レンズFL外に出射するものとする。また、入射点IとF軸集束レンズFLの光軸との距離を L_{11} とし、第2ミラーM₁₂により反射された出力ビームとF軸集束レンズFLの光軸とが成す角を θ_{11} とする。この θ_{11} は、第2ミラーM₁₂の回転角 $\theta_1 = \theta_{11}$ に一致する。

【0068】

ビーム交差点がF軸集束レンズFLの外部に形成されるための条件は、出射点OとF軸集束レンズFLの光軸との距離 L_{13} が正になることである。したがって、 L_{13} と θ_{11} との関係を明らかにすれば、ビーム交差点をF軸集束レンズFLの外部に形成するために最大回転角 θ_{11} に課せられる条件が明らかになる。以下、 L_{13} と θ_{11} との関係を明らかにする。

【0069】

L_{14} を図5に示すように定めると、 $L_{13} = L_{11} - L_{14}$ である。また、 L_{12} 、 θ_{14} 、 θ_{13} を図5に示すように定めると、 $L_{14} = L_{12} \tan(\theta_{14} - \theta_{13})$ であり、 L_{12}' を図5に示すように定めると、 $L_{12} = T - (R - L_{12}') \sin \theta_{12}'$ である。したがって、 $L_{13} = L_{11} - \{T - (R - L_{12}') \sin \theta_{12}'\} \tan(\theta_{14} - \theta_{13})$ となる。

【0070】

さらに、 L_{12}' は、以下の(1)式で表される。

【0071】

【数1】

$$L_{12}' = \frac{L_{11}}{\tan \theta_{14}} \quad \dots (1)$$

【0072】

また、 θ_{13} は、スネルの法則により、以下の(2)式で表される。ここで、 n_0 は、空気の屈折率である。

【0073】

【数2】

$$\theta_{13} = \sin^{-1} \left[\frac{n_0}{n} \sin \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{L_{11}}{R} \right) - \theta_{11} \right\} \right] \quad \dots (2)$$

【0074】

また、 θ_{14} は、以下の(3)式で表される。

【0075】

10

20

30

40

【数 3】

$$\theta_{14} = \sin^{-1}\left(\frac{L_{11}}{R}\right) \quad \dots (3)$$

【0076】

したがって、 L_{13} と $\theta_{11} =$ との関係は、以下の(4)式により与えられる。

【0077】

【数 4】

$$L_{13} = L_{11} - \left\{ T - R + \frac{L_{11}}{\sin^{-1}\left(\frac{L_{11}}{R}\right)} \right\} \left(\sin^{-1}\left(\frac{L_{11}}{R}\right) - \sin^{-1}\left[\frac{n_0}{n} \sin\left\{ \sin^{-1}\left(\frac{L_{11}}{R}\right) - \theta_{11} \right\} \right] \right) \quad \dots (4) \quad 10$$

【0078】

すなわち、ビーム交差点をF軸集束レンズFLの外部に形成するために最大回転角 θ_{11} に課せられる条件は、以下の(5)式ようになる。

【0079】

【数 5】

$$L_{11} - \left\{ T - R + \frac{L_{11}}{\sin^{-1}\left(\frac{L_{11}}{R}\right)} \right\} \left(\sin^{-1}\left(\frac{L_{11}}{R}\right) - \sin^{-1}\left[\frac{n_0}{n} \sin\left\{ \sin^{-1}\left(\frac{L_{11}}{R}\right) - \theta_{11} \right\} \right] \right) > 0 \quad \dots (5) \quad 20$$

【0080】

〔効果の検証〕

出力ビーム束を構成する各出力ビームの光軸が平行に並ぶ構成であっても、F軸集束レンズFLの曲率半径を小さくすれば、ビーム交差点をF軸集束レンズFLに近づけることができる。しかしながら、この場合、出力ビーム束が光ファイバOFに入射する際の結合効率が低下する。これに対して、出力ビーム束を構成する各出力ビームの光軸を1点で交差させる構成を採用すれば、このような結合効率の低下を抑制することができる。この点について、以下、図6を参照して検証する。 30

【0081】

図6は、F軸集束レンズFLの曲率半径と、出力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に示すグラフにおいて、横軸は、F軸集束レンズFLの曲率半径(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においては、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。なお、図6に示す結合効率は、光ファイバOFの入射端面の位置を、ビーム交差点に配置したときに得られる結合効率である。 40

【0082】

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、F軸集束レンズFLの曲率半径を小さくしていくと、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。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。 40

【0083】

最大回転角が正の角度である場合、すなわち、各出力ビームの光軸が一点で交差する場合も、F軸集束レンズFLの曲率半径を小さくしていくと、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° 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° とした場合 50

、F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° 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、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。

【0084】

次に、出力ビーム束を構成する各出力ビームを1点で交差させる構成を採用することによって、大幅な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F軸集束レンズFLに近づけ得ることを、図7を参照して検証する。

【0085】

図7は、ファイバ位置と、出力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、LDチップ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7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7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。なお、図7に示す結合効率は、F軸収束レンズFLの曲率半径を、ビーム交差点が光ファイバOFの入射端面に形成されるように設定したときに得られる結合効率である。

10

【0086】

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OFの入射端面をF軸集束レンズFLの出射面に近づけていくと、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。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。

20

【0087】

最大回転角が正の角度である場合、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F軸集束レンズFLの出射面に近づけていくと、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° 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、最大回転角が 0° の場合と最大回転角が 1° の場合とを比較すると、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F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、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。

30

【0088】

〔変形例〕

本実施形態に係るLDモジュール1の幾つかの変形例について、図8から図9を参照して説明する。図8は、LDモジュール1の変形例を示す平面図である。図9は、図8に示すLDモジュール1を用いる際の各出力ビームの形状の変化を示す図である。

【0089】

本変形例に係るLDモジュール1においては、図8に示すように、F軸コリメートレンズFACiの位置を、z軸正方向(すなわち、LDチップ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が採用されている。ここで、基準位置とは、F軸コリメートレンズFACiがLDチップLDiから出射されたレーザ光のF軸方向のビーム広がり平行化(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F軸コリメートレンズFACiは、LDチップ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。

40

【0090】

LDチップLDiから出射されたレーザビームは、F軸コリメートレンズFACiに入射するまでの間、F軸方向(y軸と平行な方向)及びS軸方向(x軸と平行な方向)に広

50

がりながら z 軸正方向に伝搬する。図 9 (a) は、図 8 の a a ' 断面におけるレーザビームの形状を示す図である。図 9 (a) に示すように、L D チップ L D 1 から出射されたレーザビームのビームスポット L 1 は、F 軸および S 軸方向に広がりをもったビームスポットである。

【 0 0 9 1 】

L D 1 から出射されたレーザビームは、F 軸コリメートレンズ F A C 1 に入射し、F 軸方向に集光される。F 軸コリメートレンズ F A C 1 から出射されたレーザビームは、F 軸方向のビーム径を次第に小さくしながら、z 軸正方向に伝搬する。図 9 (b) は、図 8 の b b ' 断面におけるレーザビームの形状を示す図である。図 9 (b) に示すように、b b ' 断面におけるビームスポット L 1 は、a a ' 断面におけるビームスポット L 1 よりも、F 軸方向のビーム径が小さくなっている。

10

【 0 0 9 2 】

F 軸コリメートレンズ F A C 1 から出射されたレーザビームは、S 軸コリメートレンズ S A C 1 に入射し、S 軸方向にコリメートされる。S 軸コリメートレンズ S A C 1 から出射されたレーザビームは、F 軸方向のビーム径を次第に小さくしながら、z 軸正方向に伝搬する。図 9 (c) は、図 8 の c c ' 断面における出力ビームの形状を示す図である。図 9 (c) に示すように、c c ' 断面におけるビームスポット L 1 は、b b ' 断面におけるビームスポット L 1 よりも、F 軸方向のビーム径が小さくなっている。

【 0 0 9 3 】

S 軸コリメートレンズ S A C 1 ~ 1 0 の各々から出射されたレーザビームは、対応する 2 連ミラー M i に入射し、伝搬方向を略 x 軸方向に変換され、F 軸方向を略 z 軸方向に変換され、S 軸方向を略 y 軸方向に変換される。2 連ミラー M 1 ~ M 1 0 の各々から出射されたレーザビーム (出力ビーム) からなる出力ビーム束は、各出力ビームの F 軸方向のビーム径を次第に小さくすると共に、各出力ビームの光軸間隔を次第に狭めながら、x 軸負方向に伝播する。図 9 (d) は、図 8 の d d ' 断面における出力ビーム束を示す図である。図 9 (d) に示すように、出力ビーム束を構成する各出力ビームのビームスポット L 1 ~ L 1 0 は、z x 面と平行な平面内に並んでいる。また、図 9 (d) に示すように、d d ' 断面における各ビームスポット L i は、c c ' 断面における対応するビームスポット L i よりも、F 軸方向のビーム径が小さくなっている。

20

【 0 0 9 4 】

2 連ミラー M 1 ~ M 1 0 の各々から出射された出力ビームからなる出力ビーム束は、F 軸集束レンズ F L に入射し、F 軸方向に収束される。F 軸集束レンズ F L から出射された出力ビーム束は、各出力ビームの F 軸方向のビーム径を次第に小さくすると共に、各出力ビームの光軸間隔を次第に狭めながら、x 軸負方向に伝播する。図 9 (e) は、図 8 の e e ' 断面における出力ビーム束を示す図である。図 9 (e) に示すように、e e ' 断面における各ビームスポット L i は、d d ' 断面における対応するビームスポット L i よりも、F 軸方向のビーム径が小さくなっている。また、e e ' 断面におけるビームスポット L i とビームスポット L i + 1 との光軸間隔は、d d ' 断面におけるビームスポット L i とビームスポット L i + 1 との光軸間隔よりも狭くなっている。

30

【 0 0 9 5 】

F 軸集束レンズ F L から出射された出力ビーム束は、S 軸集光レンズ S L に入射し、S 軸方向に更に集光される。S 軸集光レンズ S L から出射された出力ビーム束は、各出力ビームの F 軸方向及び S 軸方向のビーム径を次第に小さくすると共に、各出力ビームの光軸間隔を次第に狭めながら、x 軸負方向に伝播する。図 9 (f) は、図 8 の f f ' 断面 (光ファイバ O F の入射端面の近傍の断面) における出力ビーム束を示す図である。図 9 (f) に示すように、S 軸集光レンズ S L から出射された各出力ビームのビームスポット L 1 ~ L 1 0 は、f f ' 断面において互いに重なり合っている。すなわち、各出力ビームの集光点 (F 軸方向のビーム径が最小になる点) と、ビーム交差点 (各出力ビームが交差する交差点) とが一致している。

40

【 0 0 9 6 】

50

以上のように、F軸コリメートレンズFAC_iによって、各出力ビームをF軸方向に集光させることにより、各出力ビームの集光点と、ビーム交差点とを一致させることができる。これにより、各LDチップLD_iから出射される出力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できる。したがって、本実施形態に係るLDモジュール1において、出力ビーム束の光ファイバOFへの結合効率を向上させることができる。

【0097】

なお、本変形例においては、図8に示すように、各F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、各出力ビームの集光点を出力ビーム束の交差点に一致させている。具体的には、各F軸コリメートレンズFAC_i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、各出力ビームの集光点を出力ビーム束の交差点に一致させている。

10

【0098】

ただし、全ての出力ビームの集光点をビーム交差点と一致させるための構成は、これに限定されない。例えば、各F軸コリメートレンズFAC_iのオフセット量を一律に設定したうえで、F軸コリメートレンズFAC_iを透過したレーザビームの集光点が出力ビーム束の交差点と一致するように、各S軸コリメートレンズSAC_iの出射側端面からビーム交差点（光ファイバOFの入射端面）までの距離を個別に設定してもよい。

【0099】

なお、本変形例においては、各出力ビームを集光するためにF軸コリメートレンズFAC_iを用いる構成を採用しているが、これに限定されるものではない。本変形例においては、各出力ビームの集光点と、各出力ビームが交差する交差点とを一致させることができればよく、例えば、第1ミラーM₁および第2ミラーM₂の何れか一方を凹面ミラーに変更し、この凹面ミラーによって各出力ビームを集光する構成としてもよい。この場合には、各凹面ミラーの曲率を個別に設定するか、又は、各凹面ミラーからビーム交差点（光ファイバOFの入射端面）までの光路長が一定になるように各凹面ミラーを配置すればよい。

20

【0100】

< 第2の実施形態 >

本発明の第2の実施形態に係るLDモジュール1'について、図面に基づいて説明すれば以下の通りである。なお、上述した第1の実施形態と共通する各部材には同じ符号を付し、詳細な説明を省略する。

30

【0101】

〔LDモジュール1'の構成〕

本実施形態に係るLDモジュール1'の構成について、図10を参照して説明する。図10は、LDモジュール1'の構成を示す平面図である。

【0102】

本実施形態に係るLDモジュール1'は、N個のLDチップLD₁～LD₁₀から出射されたレーザビームを光ファイバOFに結合するためのものである。なお、本実施形態に係るLDモジュール1'においても、N=10の場合に限定されない（Nは2以上の任意の自然数であり得る）。

40

【0103】

本実施形態においては、各LDチップLD_iを載置する位置を、y軸方向に互いに異ならせ、なおかつ、各LDチップLD_iから出射された各出力ビームを、各ミラーM₁'～M₁₀'によって反射させる構成が採用されている。

【0104】

LDモジュール1'は、図10(a)に示すように、10個のLDチップLD₁～LD₁₀の他に、10個のF軸コリメートレンズFAC₁～FAC₁₀と、10個のS軸コリメートレンズSAC₁～SAC₁₀と、10個のミラーM₁'～M₁₀'と、基板Bと、F軸集束レンズFLと、S軸集光レンズSLとを備えている。LDモジュール1'においては、LDチップLD_iと、F軸コリメートレンズFAC_iと、S軸コリメートレンズS

50

AC_iと、ミラーM_i'とからなる光学系が単位光学系を構成している。

【0105】

また、図10(a)に示すように、LDチップLD₁~LD₁₀、F軸コリメートレンズFAC₁~FAC₁₀、S軸コリメートレンズSAC₁~SAC₁₀は、zx面に平行な複数の平面であって、高さ(y軸方向の位置)の異なる複数の平面を有する階段状マウントSの各平面上にそれぞれ載置される。なお、ここで重要なことは、LDモジュール1'を構成する各光学素子の位置関係であり、各光学素子を階段状マウントSに載置するかどうかは、適宜変更することが可能である。

【0106】

図10(b)は、図10(a)に示すLDモジュール1'のaa'断面をz軸負方向から見た断面図である。図10(b)に示すように、階段状マウントSにおいて、x軸負方向側から数えてi+1番目の平面は、隣接するi番目の平面よりもx軸正方向側であって、i番目の平面よりもy軸正方向側の平面である。したがって、階段状マウントSの各平面の段差は、x軸正方向側に進むにつれて、y軸正方向側に進む(高くなる)ように構成されている。

【0107】

なお、本実施形態においては、N個の単位光学系を載置するために、N個の段差の異なる平面を有する階段状マウントSを用いる構成について説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、単位光学系S₁を基板B上に載置し、N-1個の段差の異なる平面を有する階段状マウントS'の各平面に単位光学系S₂~S₁₀を載置する構成としてもよい。また、基板B上に、N個の段差の異なる平面を設け、各平面に単位光学系S_iを載置する構成としてもよい。

【0108】

階段状マウントS、ミラーM₁'~M₁₀'、F軸集束レンズFL、及びS軸集光レンズSLは、何れも、直接、又は、不図示のマウントを介して基板B上に載置される。

【0109】

ミラーM_i'は、LDチップLD_iから出射されz軸負方向から入射した各出力ビームの伝搬方向を、略x軸負方向に変換する。そのため、各ミラーM_i'はy軸方向の長さが、基板BからLDチップLD_iから出射された出力ビームと平行な平面までの距離よりも長いミラーを用いる。

【0110】

そのため、ミラーM_i'は、zx面と平行な面であってLDチップLD_iから出射された出力ビームと平行な平面上において、ミラーM_i'に入射する出力ビームの光軸と、ミラーM_i'の反射面との成す角が45°になるように配置される。また、LDチップLD_iからミラーM_i'までのz軸方向の距離は一定である。したがって、LDチップLD_iからz軸正方向に出射された各出力ビームの光軸は、xy面に平行な平面内でy軸に沿って並ぶことになる。

【0111】

図10(c)に示すように、本実施形態においては、各ミラーM_i'をy軸に対して微小に傾斜させて配置する。各ミラーM_i'は傾斜角度を維持するために、固定具F(例えば接着剤などであってもよい)により基板B上に固定される。また、ミラーM₁'~M₁₀'のy軸に対する傾斜角度を、各出力ビームの光軸がF軸集束レンズFLによらずとも1点で交差するように設定する。

【0112】

第1の実施形態と同様に、各ミラーM_i'によって反射された各出力ビームは、F軸集束レンズFL、S軸集光レンズSLを透過した後、光ファイバOFの入射端面において結合される。

【0113】

なお、本実施形態においては、y軸方向の長さが互いに異なるミラーM₁'~M₁₀'を用いる場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、ミラーM₁

10

20

30

40

50

’ ~ M 1 0 ’ を y 軸方向の長さが互いに異なるサブマウント上に載置することにより、同じサイズのミラー M 1 ’ ~ M 1 0 ’ を用いることができる。

【 0 1 1 4 】

本実施形態においては、上記のような構成を採用することにより、各 L D チップ L D i から出射される出力ビームの光路上に配置するミラーを 1 枚のみにすることができる。したがって、L D チップ L D i から出射し、光ファイバ O F の入射端面に伝搬するまでの光路長を短縮することができる。また、部材をひとつ減らすことができるので、コストを安くすることができる。また、光学調整を簡単化することができる。

【 0 1 1 5 】

なお、本実施形態の変形例として、第 1 の実施形態に係る L D モジュール 1 の変形例と同様に、L D チップ L D i から出射される出力ビームを集光させながら光ファイバ O F に結合させる構成としてもよい。

10

【 0 1 1 6 】

上記の場合には、各出力ビームの集光点と、各出力ビームが交差する交差点とを一致させることができる。したがって、本実施形態に係る L D モジュール 1 ’ において、出力ビーム束の光ファイバ O F への結合効率を向上させることができる。

【 0 1 1 7 】

< 第 3 の実施形態 >

本発明の第 3 の実施形態に係る L D モジュール 1 ” について、図面に基づいて説明すれば以下の通りである。なお、上述した第 1 の実施形態と共通する各部材には同じ符号を付し、詳細な説明を省略する。

20

【 0 1 1 8 】

〔 L D モジュール 1 ” の構成 〕

本実施形態に係る L D モジュール 1 ” の構成について、図 1 1 を参照して説明する。図 1 1 は、L D モジュール 1 ” の構成を示す平面図である。

【 0 1 1 9 】

本実施形態に係る L D モジュール 1 ” は、N 個の L D チップ L D 1 ~ L D 1 0 から出射されたレーザビームを光ファイバ O F に結合するためのものである。なお、本実施形態に係る L D モジュール 1 ” においても、N = 1 0 の場合に限定されない (N は 2 以上の任意の自然数であり得る) 。

30

【 0 1 2 0 】

本実施形態においては、ミラーを使用せず、各 L D チップ L D i を、z 軸に対して互いに異なる傾斜角度で傾斜させるように、y 軸方向に積層する構成が採用されている。

【 0 1 2 1 】

したがって、L D モジュール 1 ” は、図 1 1 に示すように、N 個の L D チップ L D 1 ~ L D 1 0 の他に、N 個の F 軸コリメートレンズ F A C 1 ~ F A C 1 0 と、N 個の S 軸コリメートレンズ S A C 1 ~ S A C 1 0 と、N 個の補助基板 B 1 ~ M 1 0 と、基板 B と、F 軸集束レンズ F L と、S 軸集光レンズ S L とを備えている。

【 0 1 2 2 】

また、図 1 1 に示すように、L D チップ L D 1 ~ L 1 0、F 軸コリメートレンズ F A C 1 ~ F A C 1 0、S 軸コリメートレンズ S A C 1 ~ S A C 1 0 は、補助基板 B 1 ~ B 1 0 にそれぞれ載置される。すなわち、単位光学系 S i は補助基板 B i にそれぞれ載置される。この際、各 L D チップ L D i から略 z 軸正方向に伝搬する各出力ビームの光軸を、x y 面に平行な面内で y 軸に沿って並ぶように、補助基板 B i 上に載置する単位光学系 S i の x 軸方向の位置を一定に揃える。

40

【 0 1 2 3 】

補助基板 B 1 ~ B 1 0、F 軸集束レンズ F L、及び S 軸集光レンズ S L は、何れも、直接、又は、不図示のマウントを介して基板 B 上に載置される。

【 0 1 2 4 】

なお、本実施形態においては、各 L D チップ L D i の傾斜角度の調整を容易にするため

50

に、単位光学系 S'_{i} (図2に示す単位光学系 S_i から2連ミラー M_i を省いたもの) を基板 B 上に載置された補助基板 B_i に載置する構成を採用しているが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、単位光学系 S'_{i} を、補助基板 B_i を介さず基板 B 上に載置する構成としてもよい。

【0125】

本実施形態においては、ミラーを使用しないため、各LDチップ LD_i から出射された各出力ビームは、F軸コリメートレンズ FAC_i およびS軸コリメートレンズ SAC_i と透過し、F軸集束レンズ FL に入射する。この際、補助基板 B_i のz軸に対する傾斜角度を、各出力ビームの光軸がF軸集束レンズ FL によらずとも1点で交差するように設定する。

10

【0126】

第1の実施形態と同様に、F軸集束レンズ FL に入射した各出力ビームは、S軸集光レンズ SL を透過した後、光ファイバ OF の入射端面において結合される。

【0127】

本実施形態においては、上記のような構成を採用することにより、各LDチップ LD_i から出射される出力ビームの光路上にミラーを配置する必要がない。そのため、LDチップ LD_i から出射し、光ファイバ OF の入射端面に伝搬するまでの光路長を短縮することができるという効果を奏する。したがって、本実施形態に係るLDモジュール1"の筐体を小型化することができる。

20

【0128】

なお、本実施形態の変形例として、第1の実施形態に係るLDモジュール1の変形例と同様に、LDチップ LD_i から出射される出力ビームを集光させながら光ファイバ OF に結合させる構成としてもよい。

【0129】

上記の場合には、各出力ビームの集光点と、各出力ビームが交差する交差点とを一致させることができる。したがって、本実施形態に係るLDモジュール1"において、出力ビーム束の光ファイバ OF への結合効率を向上させることができる。

【0130】

〔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。

30

【産業上の利用可能性】

【0131】

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、LDチップを光源とする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】

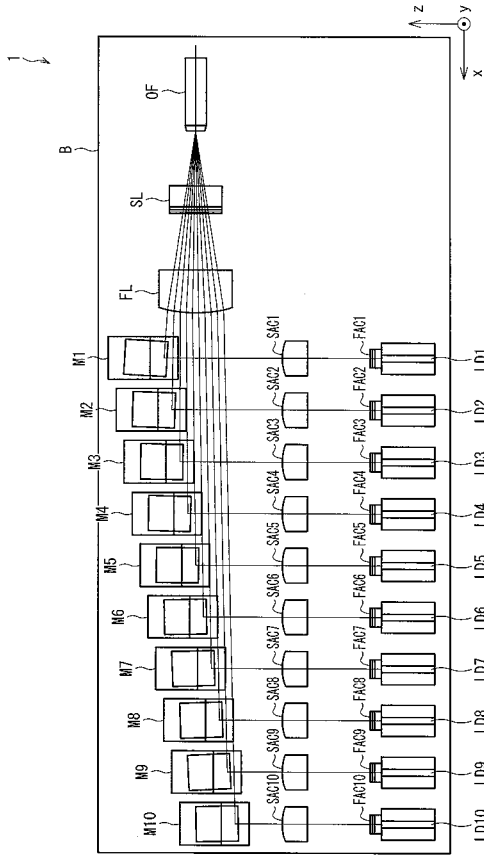
【0132】

1	LDモジュール
$LD_1 \sim LD_{10}$	LDチップ
$FAC_1 \sim FAC_{10}$	F軸コリメートレンズ
$SAC_1 \sim SAC_{10}$	S軸コリメートレンズ
$M_1 \sim M_{10}$	2連ミラー
M_{i1}	第1ミラー
S_1	反射面(第1反射面)
M_{i2}	第2ミラー
S_2	反射面(第2反射面)
B	基板
FL	F軸集束レンズ
SL	S軸集光レンズ

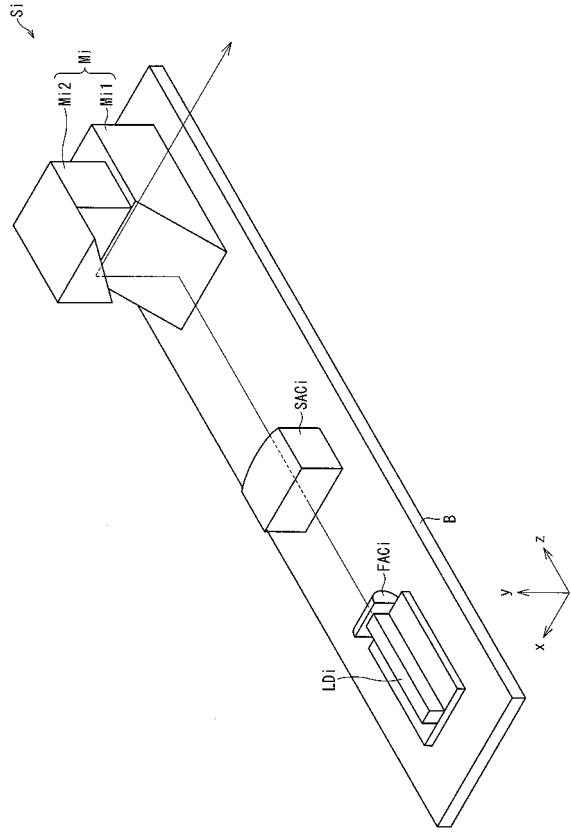
40

50

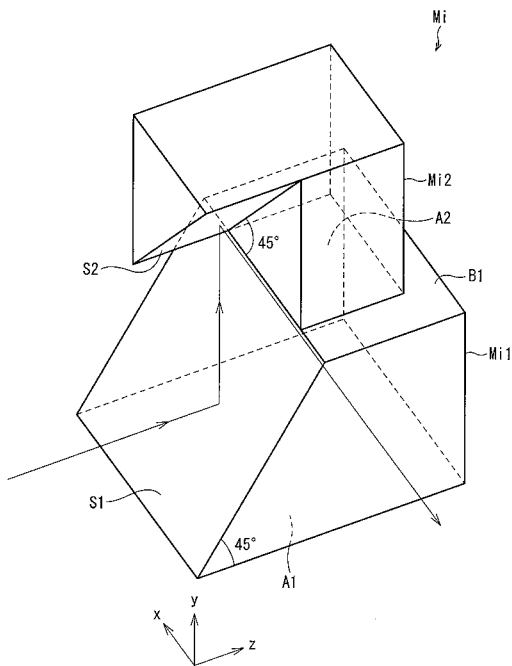
【図 1】



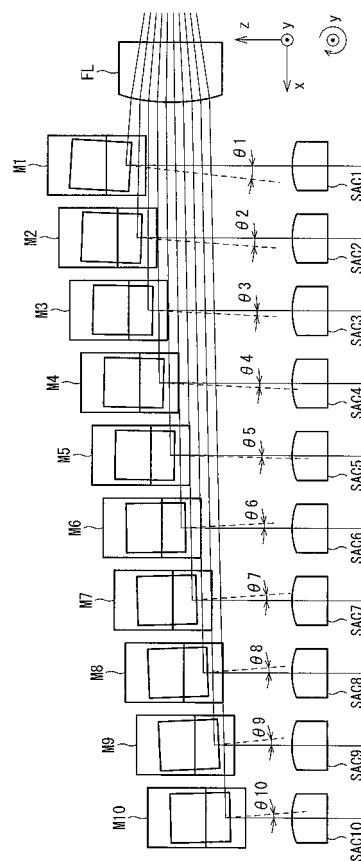
【図 2】



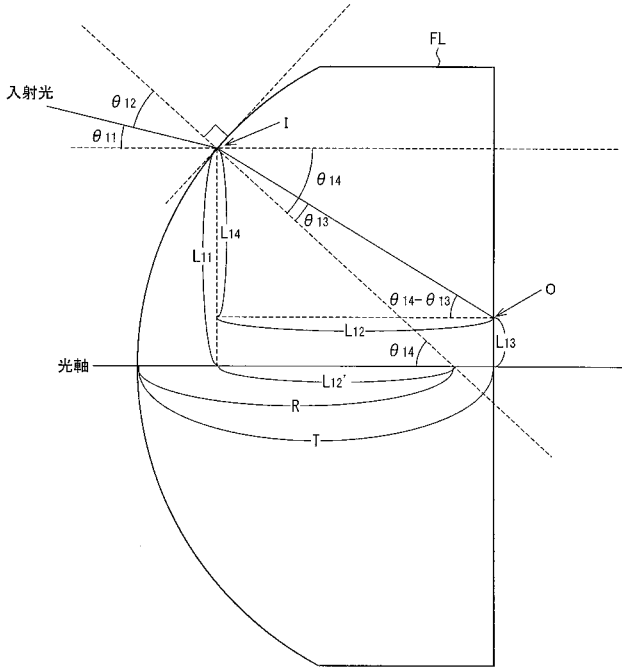
【図 3】



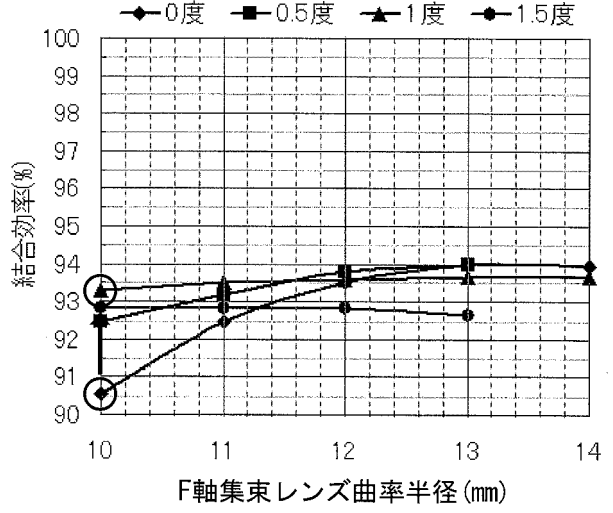
【図 4】



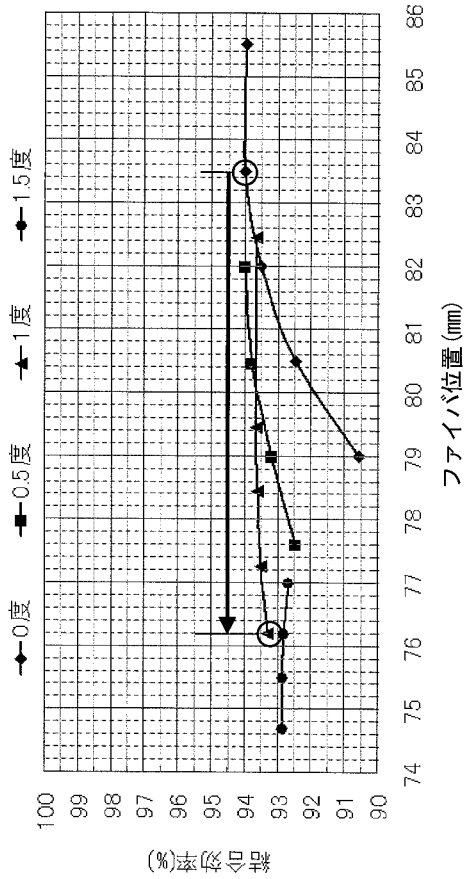
【 図 5 】



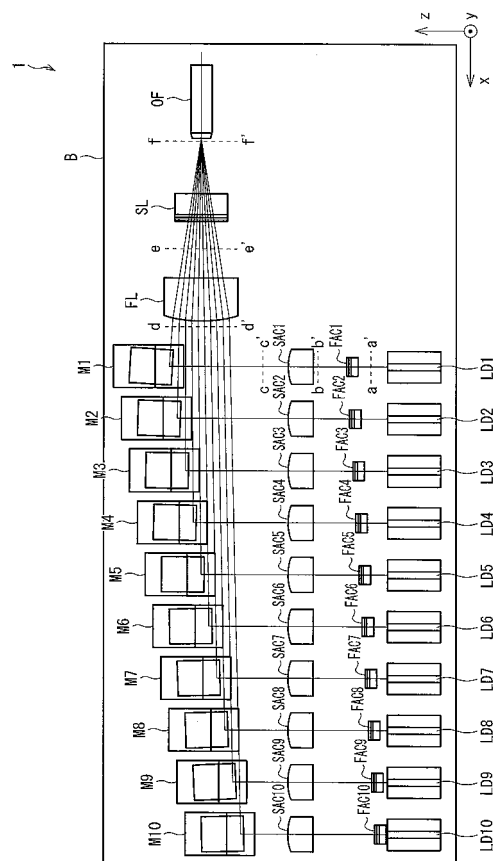
【 図 6 】



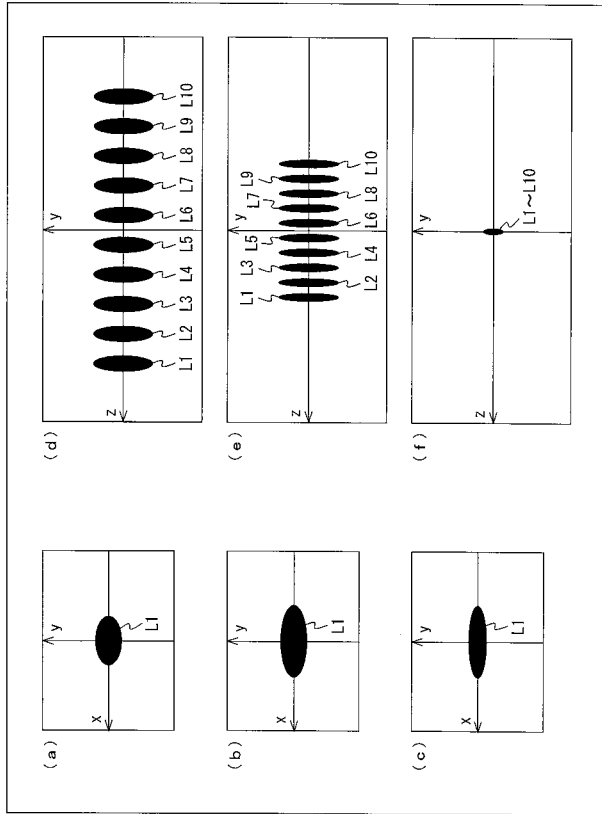
【 図 7 】



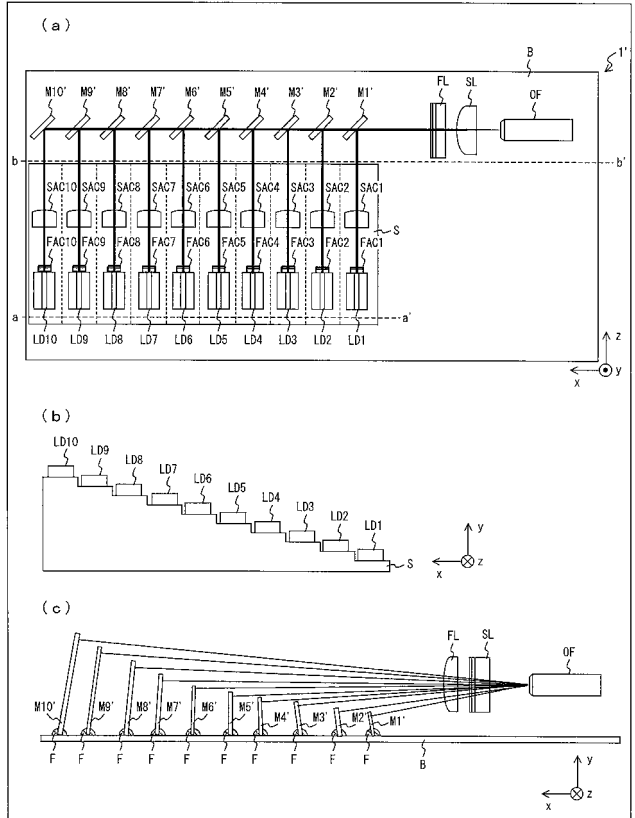
【 図 8 】



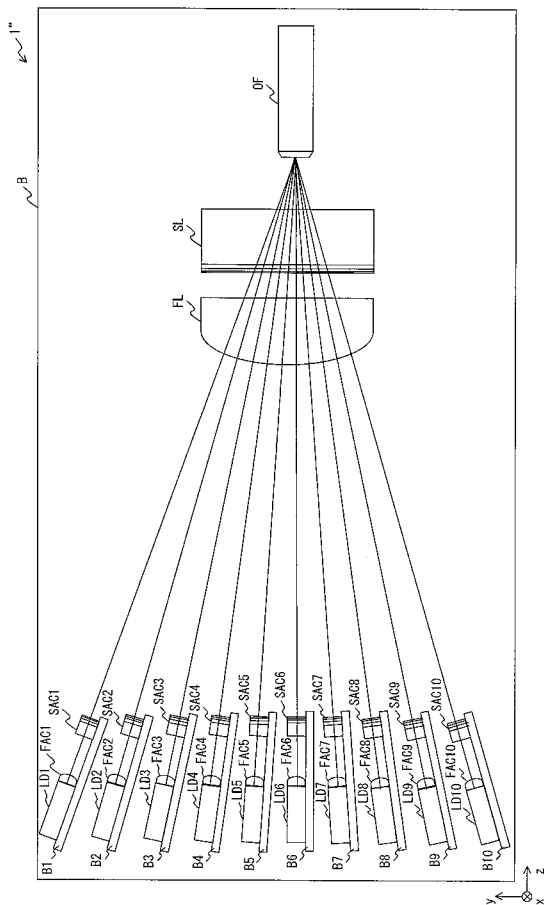
【 図 9 】



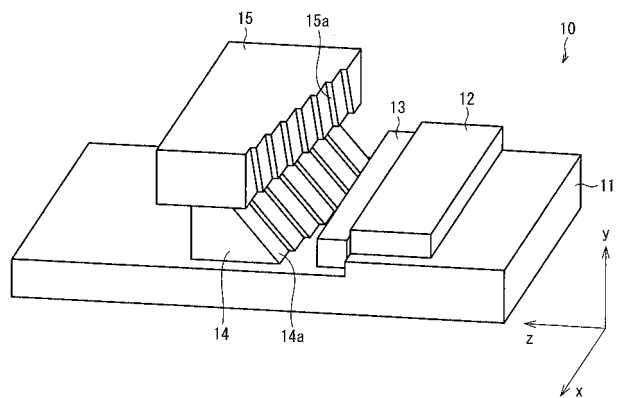
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



フロントページの続き

(72)発明者 阪本 真一

千葉県佐倉市六崎1 4 4 0 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 BA01 BB02 BB17 BB25 BC05 BC12 BC51

5F173 MB02 MC01 MD64 ME24 ME44 ME75 ME85 MF03 MF28 MF39