

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5717714号  
(P5717714)

(45) 発行日 平成27年5月13日(2015.5.13)

(24) 登録日 平成27年3月27日(2015.3.27)

(51) Int.Cl. F I  
**GO2B 6/42 (2006.01)** GO2B 6/42  
**HO1S 5/022 (2006.01)** HO1S 5/022

請求項の数 6 (全 23 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2012-286085 (P2012-286085)                  (22) 出願日 平成24年12月27日(2012.12.27)                  (65) 公開番号 特開2014-126852 (P2014-126852A)                  (43) 公開日 平成26年7月7日(2014.7.7)                  審査請求日 平成26年5月14日(2014.5.14)</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                  (74) 代理人 110000338                  特許業務法人HARAKENZO WORLD PATENT &amp; 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</p>
---	--

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) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

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合波装置において、

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、

ことを特徴とする合波装置。

【請求項2】

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、

10

20

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ー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装置において、

上記ビーム束を構成する各レーザー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、  
ことを特徴とする合波装置。

【請求項3】

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ービームの交差点が、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】

光軸が単一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、

上記ビーム束を構成する各レーザー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を用いて、該レーザービームを集光する集光工程を更に含んでおり、

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、

ことを特徴とする合波方法。

【請求項5】

光軸が単一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、

上記ビーム束を構成する各レーザー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を用いて、該レーザービームを集光する集光工程を更に含んでおり、

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、

10

20

30

40

50

ことを特徴とする合波方法。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 3 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。

【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  
10 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 1 2 は、特許文献 1 に記載のマイクロ光学装置 1 0 の斜視図である。マイクロ光学装置 1 0 は、図 1 2 に示したように、基板 1 1、LD バー 1 2、円柱レンズ 1 3、第 1 の鏡  
20 列 1 4、及び第 2 の鏡列 1 5 を備えている。

【0004】

LD バー 1 2 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 軸正方向にレーザービームを出射する。各 LD 素子から z 軸正方向に出射されたレーザービームの光軸は、z x 面に平行な第 1 の平面内で x 軸に沿って並ぶ。

【0005】

なお、各 LD 素子から出射されたレーザービームの伝搬方向は、z 軸正方向を中心に ±x 方向に分散している。このため、マイクロ光学装置 1 0 においては、LD バー 1 2 の出射端面に対向するように配置された円柱レンズ 1 3 によって、各 LD 素子から出射されたレーザー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  
30 いる。

【0006】

第 1 の鏡列 1 4 は、LD バー 1 2 を構成する各 LD 素子に対向する鏡面 1 4 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ービームは、その LD 素子に対向する鏡面 1 4 a によって、y 軸正方向に反射される。また、第 2 の鏡列 1 5 は、第 1 の鏡列 1 4 を構成する各鏡面 1 4 a に対向する鏡面 1 5 a が一体化されたものである。各鏡面 1 4 a にて y 軸正方向に反射されたレーザービームは、その鏡面 1 4 a に対向する鏡面 1 5 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ービームを反  
40 射する鏡面 1 4 a , 1 5 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ービームを反射する鏡面 1 4 a , 1 5 b よりも z 軸負方向側に配置される。このため、各鏡面 1 5 a にて x 軸正方向に反射されたレーザービームの光軸は、z x 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 1 0 は、LD バー 1 2 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ービームからなる第 1 のビーム束を、第 2 の鏡列 1 5 を構成する各鏡面 1 5 a にて反射された x 軸方向に伝搬するレーザービームからなる第 2 のビーム束に変換する機能を有している。  
50

## 【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15a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】

10

## 【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。

20

## 【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。

## 【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。

30

## 【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。

40

## 【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。

## 【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

50

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。

【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。

10

【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】

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。

20

【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。

30

【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。

40

【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

50

ラーにより反射されたレーザー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ービームの交差点において、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。

【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ー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ー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ービームの光軸が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ービームを1点で交差させるため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軸が上記単一の平面と直交しないビーム束を生成するレーザー光源群であって、該レーザー光源群を構成する各レーザー光源の向きが、上記複数のレーザービームの光軸が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、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。

10

20

30

40

50

【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。

10

【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。

【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。

20

【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Siの構成を示す斜視図である。

30

【0038】

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、本実施形態においては、10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2連ミラー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、2連ミラー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。

40

【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FAC1~FAC10、S軸コリメートレンズSAC1~SAC10、及び2連ミラーM1~M10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

50

来のマイクロ光学装置10と同様、LDチップLD1~LD10から出射されたz軸正方向に伝搬するレーザービーム(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ービーム(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。

10

【0042】

LDモジュール1は、図1に示すように、LDチップLDiと、F軸コリメートレンズFACiと、S軸コリメートレンズSACiと、2連ミラーMi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LD1と、F軸コリメートレンズFAC1と、S軸コリメートレンズSAC1と、2連ミラーM1とからなる単位光学系S1を例示している。

【0043】

LDモジュール1を構成する各単位光学系Siは、図2に示すように、LDチップLDiと、F軸コリメートレンズFACiと、S軸コリメートレンズSACiと、2連ミラーMiとにより構成される。

20

【0044】

図2に示すように、LDチップLDiは、活性層がzx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LDiから出射されるレーザービームは、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。

【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LDiからz軸正方向に出射されたレーザービームの光軸は、zx面に平行な第1の平面内でx軸に沿って平行に並ぶことになる。

30

【0046】

図2に示すように、LDチップLDiから出射されるレーザービームの光路上には、F軸コリメートレンズFACiとS軸コリメートレンズSACiとが配置される。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ービームのF軸方向の広がり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SACiは、LDチップLDiから出射されたレーザービームのS軸方向の広がりをコリメートするためのものである。F軸コリメートレンズFACi及びS軸コリメートレンズSACiを透過したレーザービームは、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る。なお、LDチップLDiから出射されるレーザービームのS軸方向の広がりが十分に小さい場合、S軸コリメートレンズSACiは省略しても構わない。

40

【0047】

図2に示すように、LDチップLDiから出射されるレーザービームの光路上には、更に、2連ミラーMiが配置される。2連ミラーMiは、基板B上に載置された第1ミラーMi1と、第1ミラーMi1上に載置された第2ミラーMi2とにより構成される。第1ミラーMi1は、LDチップLDiから出射されたレーザービームを反射し、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Mi2は、第1ミラーMi1にて反射されたレーザービームを反射し、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。

50

## 【 0 0 4 8 】

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ービームを反射する 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ービームを反射する 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ービームの光軸は、 $z$   $x$  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。

## 【 0 0 4 9 】

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。

10

## 【 0 0 5 0 】

( 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 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。

## 【 0 0 5 1 】

20

( 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 LD 1 ~ LD 10 と光ファイバ OF との結合効率を効率化することができる。

## 【 0 0 5 2 】

( 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。

30

## 【 0 0 5 3 】

[ 2 連ミラーの構成 ]

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

## 【 0 0 5 4 】

第 1 ミラー  $M_{i 1}$  は、少なくとも下面 A 1 と、下面 A 1 と平行な上面 B 1 と、反射面 S 1 とを有する多面体状の構造物である。反射面 S 1 と下面 A 1 とが成す角は、図 3 に示すように  $45^\circ$  である。

40

## 【 0 0 5 5 】

第 1 ミラー  $M_{i 1}$  は、下面 A 1 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  $M_{i 1}$  の反射面 S 1 の法ベクトルと、基板 B の上面 (  $z$   $x$  面 ) の法ベクトルとの成す角が  $45^\circ$  になる。また、第 1 ミラー  $M_{i 1}$  の向きは、反射面 S 1 の法線が  $y$   $z$  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  $M_{i 1}$  の反射面 S 1 は、 $z$  軸負方向から入射したレーザービームを  $y$  軸正方向に反射する。

## 【 0 0 5 6 】

第 2 ミラー  $M_{i 2}$  は、少なくとも下面 A 2 と、反射面 S 2 とを有する多面体状の構造体である。反射面 S 2 と下面 A 2 との成す角は、図 3 に示すように  $45^\circ$  である。

## 【 0 0 5 7 】

50

第2ミラーM<sub>i2</sub>は、下面A<sub>2</sub>が第1ミラーM<sub>i1</sub>の上面B<sub>1</sub>に当接するように、第1ミラーM<sub>i1</sub>上に載置される。これにより、第2ミラーM<sub>i2</sub>の反射面S<sub>2</sub>の法ベクトルと、基板Bの上面(z<sub>x</sub>面)の法ベクトルとの成す角が135°になる。また、第2ミラーM<sub>i2</sub>の向きは、反射面S<sub>2</sub>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M<sub>i2</sub>の反射面S<sub>2</sub>は、y軸負方向から入射したレーザービームを略x軸負方向に反射する。

【0058】

この2連ミラーM<sub>i</sub>においては、第1ミラーM<sub>i1</sub>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M<sub>i2</sub>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M<sub>i</sub>によれば、第1ミラーM<sub>i1</sub>及び第2ミラーM<sub>i2</sub>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。

10

【0059】

LDモジュール1においては、2連ミラーM<sub>1</sub>~M<sub>10</sub>の各々が備える第1ミラーM<sub>i1</sub>の向きを、各出力ビームの光軸がz<sub>x</sub>面と平行になるように設定する。また、2連ミラーM<sub>1</sub>~M<sub>10</sub>の各々が備える第2ミラーM<sub>i2</sub>の向きを、F軸収束レンズFLにより集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M<sub>i2</sub>を第1ミラーM<sub>i1</sub>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S<sub>2</sub>の反射面S<sub>1</sub>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M<sub>i2</sub>を第1ミラーM<sub>i1</sub>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M<sub>i</sub>を他の2連ミラーM<sub>j</sub>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M<sub>i</sub>の他の2連ミラーM<sub>j</sub>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M<sub>i</sub>を他の2連ミラーM<sub>j</sub>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M<sub>12</sub>~M<sub>102</sub>を、一体化された第1ミラーM<sub>11</sub>~M<sub>101</sub>上に載置する構成を採用しても構わない。

20

【0061】

〔第2ミラーの向き〕

2連ミラーM<sub>1</sub>~M<sub>10</sub>の各々が備える第2ミラーM<sub>i2</sub>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M<sub>1</sub>~M<sub>10</sub>の各々が備える第2ミラーM<sub>i2</sub>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S<sub>2</sub>(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M<sub>i2</sub>を、y軸を回転軸として回転させたときの回転角を*θ*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。

30

【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M<sub>i2</sub>の回転角*θ*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。

40

【0063】

【表 1】

i	回転角 $\theta_i$
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

10

## 【0064】

なお、 $\theta_i = \theta_{i-1} \times (i-1)$  となるように各第2ミラー  $M_{i2}$  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、 $\theta_1$  は、予め定められた正の角（例えば  $1^\circ$ ）であり、最も  $x$  軸負方向側に配置された第2ミラー  $M_{12}$  の回転角  $\theta_1$  は、 $\theta_1 = \theta_1$  となる。また、 $\theta_{10}$  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  $M_{102}$  の回転角  $\theta_{10}$  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。

20

## 【0065】

ただし、このように各第2ミラー  $M_{i2}$  の向きを設定する場合、最大回転角  $\theta_{max}$  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、 $\theta_{max}$  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  $\theta_{max}$  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。

30

## 【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  $M_{12}$  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  $M_{12}$  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  $\theta_{11}$  とする。この  $\theta_{11}$  は、第2ミラー  $M_{12}$  の回転角  $\theta_1 =$  に一致する。

40

## 【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  $\theta_{11}$  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  $\theta_{max} = \theta_{11}$  に課せられる条件が明らかになる。以下、 $L_{13}$  と  $\theta_{11}$  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、 $L_{12}$ 、 $\theta_{14}$ 、 $\theta_{13}$  を図5に示すように定めると、 $L_{14} = L_{12} \tan(\theta_{14} - \theta_{13})$

50

であり、 $L_{12}'$  を図5に示すように定めると、 $L_{12} = T - (R - L_{12}')$  である。したがって、 $L_{13} = L_{11} - \{T - (R - L_{12}')\} \tan(\theta_{14} - \theta_{13})$  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、 $\theta_{13}$  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、 $\theta_{14}$  は、以下の(3)式で表される。

【0075】

【数3】

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

【0076】

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

【0077】

【数4】

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

【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  $\theta_{11}$  に課せられる条件は、以下の(5)式のようになる。

【0079】

【数5】

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

【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

10

20

30

40

50

について、以下、図6を参照して検証する。

【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 $0^\circ$ 、 $0.5^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ とした場合の結合効率を示している。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。

【0082】

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、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。

【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 $0^\circ$ 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、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 $0^\circ$ 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 $0^\circ$ 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。

【0084】

次に、出力ビーム束を構成する各出力ビームを一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 $0^\circ$ 、 $0.5^\circ$ 、 $1^\circ$ 、 $1.5^\circ$ とした場合の結合効率を示している。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。

【0086】

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。

【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 $0^\circ$ 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、最大回転角が $0^\circ$ の場合と最大回転角が $1^\circ$ 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

10

20

30

40

50

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 $0^\circ$ 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。

【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。

【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）に広がりながらz軸正方向に伝搬する。図9（a）は、図8のaa'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、LDチップLD1から出射されたレーザビームのビームスポットL1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。

【0091】

LD1から出射されたレーザビームは、F軸コリメートレンズFAC1に入射し、F軸方向に集光される。F軸コリメートレンズFAC1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bb'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、bb'断面におけるビームスポットL1は、aa'断面におけるビームスポットL1よりも、F軸方向のビーム径が小さくなっている。

【0092】

F軸コリメートレンズFAC1から出射されたレーザビームは、S軸コリメートレンズSAC1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SAC1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cc'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、cc'断面におけるビームスポットL1は、bb'断面におけるビームスポットL1よりも、F軸方向のビーム径が小さくなっている。

【0093】

S軸コリメートレンズSAC1～10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Mi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M1～M10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dd'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L1～L10は、zx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、dd'断面における各ビームスポットLiは、cc'断面における対応するビームスポットLiよりも、F軸方向のビーム径が小さくなっている。

【0094】

10

20

30

40

50

2連ミラーM1～M10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FLに入射し、F軸方向に収束される。F軸集束レンズFL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Liは、d-d'断面における対応するビームスポットLi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LiとビームスポットLi+1との光軸間隔は、d-d'断面におけるビームスポットLiとビームスポットLi+1との光軸間隔よりも狭くなっている。

【0095】

10

F軸集束レンズFLから出射された出力ビーム束は、S軸集光レンズSLに入射し、S軸方向に更に集光される。S軸集光レンズSL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OF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SLから出射された各出力ビームのビームスポットL1～L10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。

【0096】

20

以上のように、F軸コリメートレンズFACi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LDi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、各出力ビームの集光点を出力ビーム束の交差点に一致させている。

30

【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FACi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FACi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SACi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FACi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Mi1および第2ミラーMi2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。

40

【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

50

し、詳細な説明を省略する。

【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)。

10

【0103】

本実施形態においては、各LDチップLD<sub>i</sub>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<sub>i</sub>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<sub>i</sub>と、F軸コリメートレンズFAC<sub>i</sub>と、S軸コリメートレンズSAC<sub>i</sub>と、ミラーM<sub>i</sub>'とからなる光学系が単位光学系を構成している。

20

【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、z×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a-a'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。

30

【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<sub>i</sub>を載置する構成としてもよい。

40

【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<sub>i</sub>'は、LDチップLD<sub>i</sub>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<sub>i</sub>'はy軸方向の長さ、基板BからLDチップLD<sub>i</sub>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。

50

## 【0110】

そのため、ミラー $M_i'$ は、 $z$ 軸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 $45^\circ$ 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 $M_1' \sim M_{10}'$ 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。

10

## 【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 $M_1' \sim M_{10}'$ 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 $M_1' \sim M_{10}'$ 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 $M_1' \sim M_{10}'$ を用いることができる。

20

## 【0114】

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、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。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、また、光学調整を簡単化することができる。

## 【0115】

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。

30

## 【0116】

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。

## 【0117】

<第3の実施形態>

本発明の第3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。

40

## 【0118】

〔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11を参照して説明する。図11は、LDモジュール1''の構成を示す平面図である。

## 【0119】

本実施形態に係る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)。

50

## 【0120】

本実施形態においては、ミラーを使用せず、各LDチップLD<sub>i</sub>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。

## 【0121】

したがって、LDモジュール1"は、図11に示すように、N個のLDチップLD<sub>1</sub>～LD<sub>10</sub>の他に、N個のF軸コリメートレンズFAC<sub>1</sub>～FAC<sub>10</sub>と、N個のS軸コリメートレンズSAC<sub>1</sub>～SAC<sub>10</sub>と、N個の補助基板B<sub>1</sub>～M<sub>10</sub>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。

## 【0122】

また、図11に示すように、LDチップLD<sub>1</sub>～LD<sub>10</sub>、F軸コリメートレンズFAC<sub>1</sub>～FAC<sub>10</sub>、S軸コリメートレンズSAC<sub>1</sub>～SAC<sub>10</sub>は、補助基板B<sub>1</sub>～B<sub>10</sub>にそれぞれ載置される。すなわち、単位光学系S<sub>i</sub>は補助基板B<sub>i</sub>にそれぞれ載置される。この際、各LDチップLD<sub>i</sub>から略z軸正方向に伝搬する各出力ビームの光軸を、xy面に平行な面でy軸に沿って並ぶように、補助基板B<sub>i</sub>上に載置する単位光学系S<sub>i</sub>のx軸方向の位置を一定に揃える。

10

## 【0123】

補助基板B<sub>1</sub>～B<sub>10</sub>、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。

## 【0124】

なお、本実施形態においては、各LDチップLD<sub>i</sub>の傾斜角度の調整を容易にするために、単位光学系S'<sub>i</sub>(図2に示す単位光学系S<sub>i</sub>から2連ミラーM<sub>i</sub>を省いたもの)を基板B上に載置された補助基板B<sub>i</sub>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'<sub>i</sub>を、補助基板B<sub>i</sub>を介さず基板B上に載置する構成としてもよい。

20

## 【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<sub>i</sub>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<sub>i</sub>およびS軸コリメートレンズSAC<sub>i</sub>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<sub>i</sub>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。

30

## 【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<sub>i</sub>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<sub>i</sub>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。

## 【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<sub>i</sub>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。

40

## 【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

50

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。

【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】

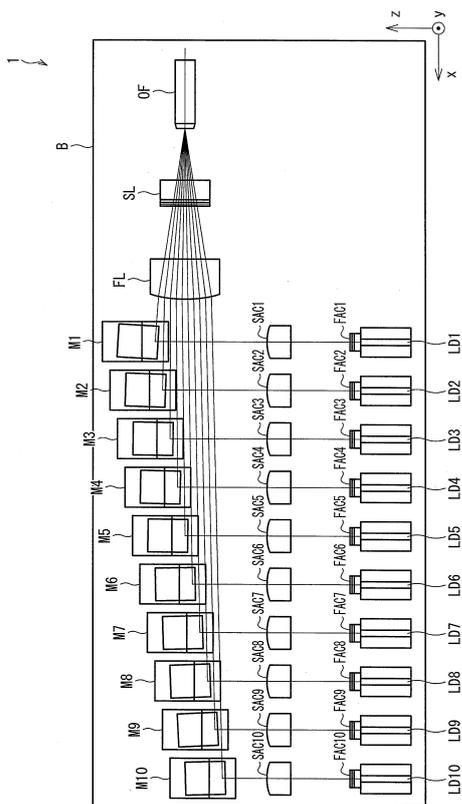
【0132】

- 1 LDモジュール
- LD1 ~ LD10 LDチップ
- FAC1 ~ FAC10 F軸コリメートレンズ
- SAC1 ~ SAC10 S軸コリメートレンズ
- M1 ~ M10 2連ミラー
- Mi1 第1ミラー
- S1 反射面(第1反射面)
- Mi2 第2ミラー
- S2 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
- OF 光学ファイバ

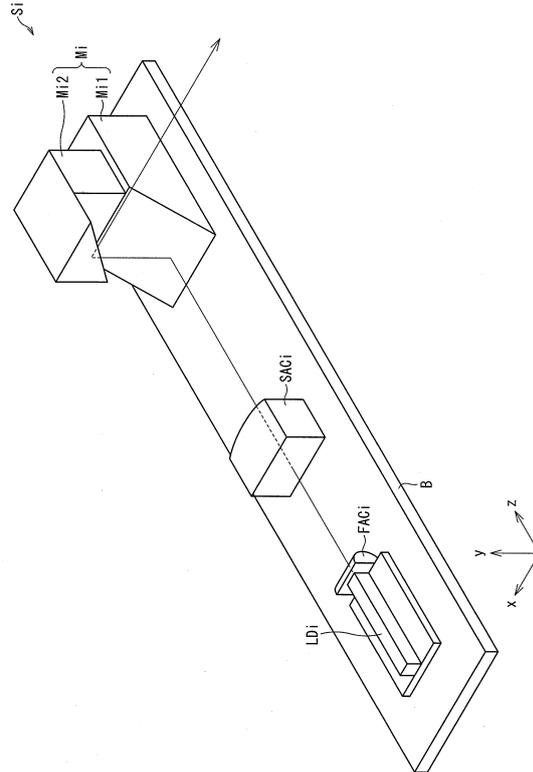
10

20

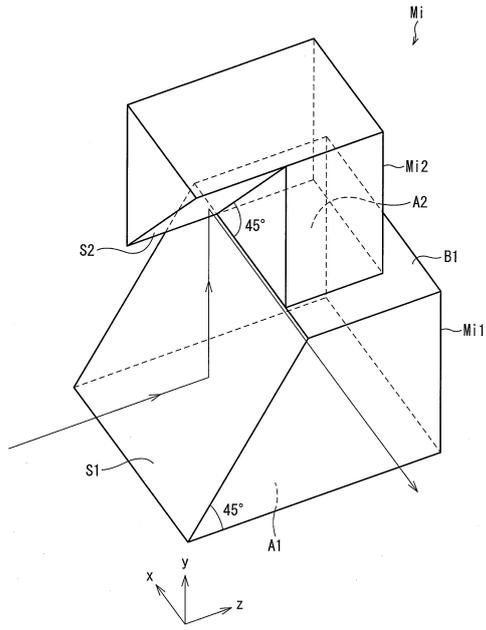
【図1】



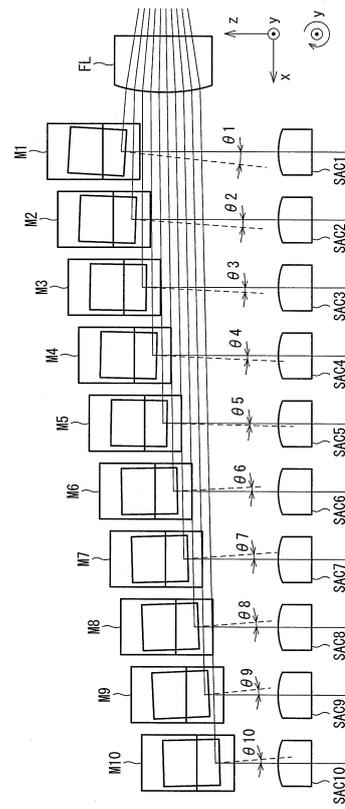
【図2】



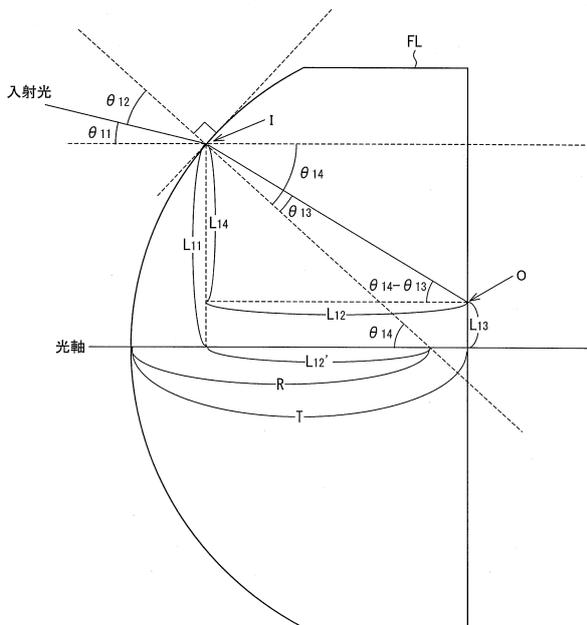
【図3】



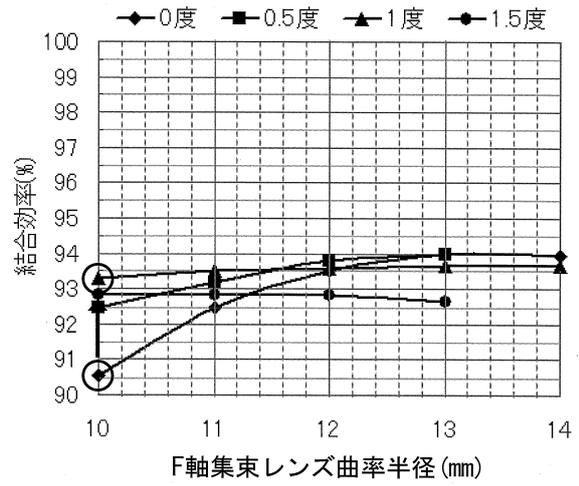
【図4】



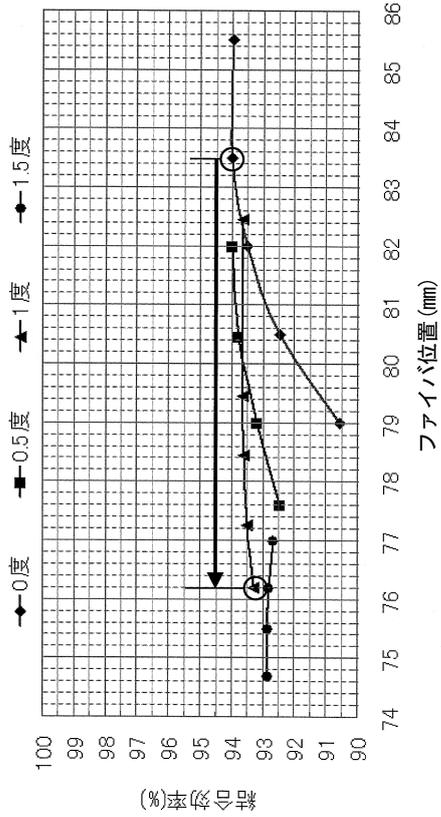
【図5】



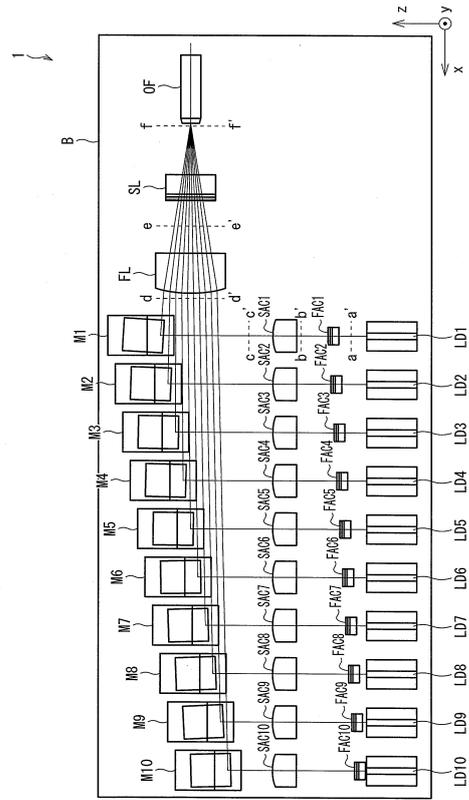
【図6】



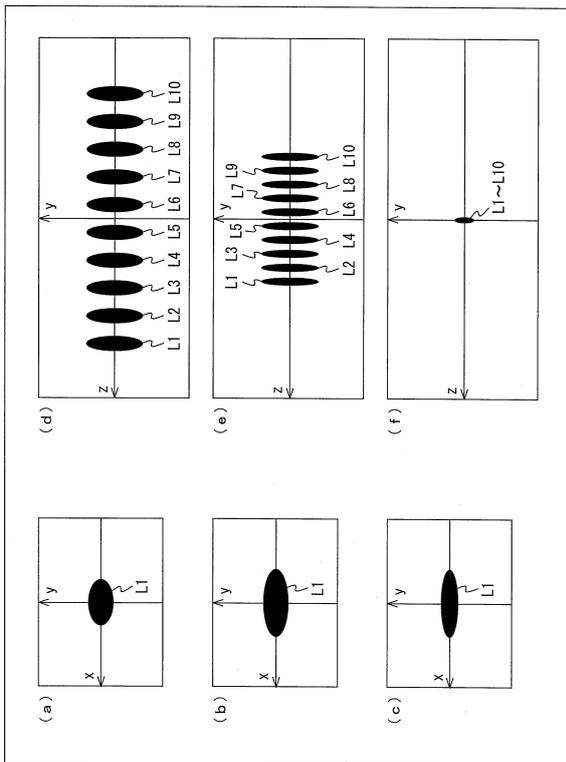
【図7】



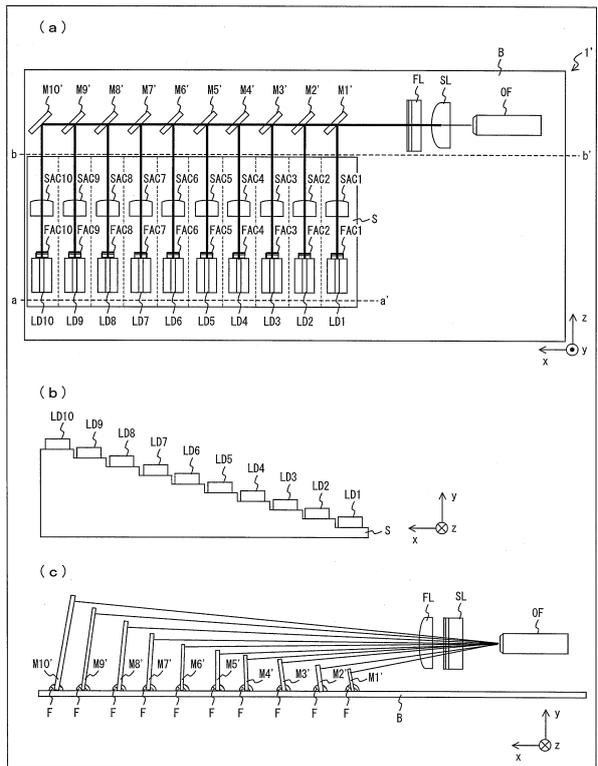
【図8】



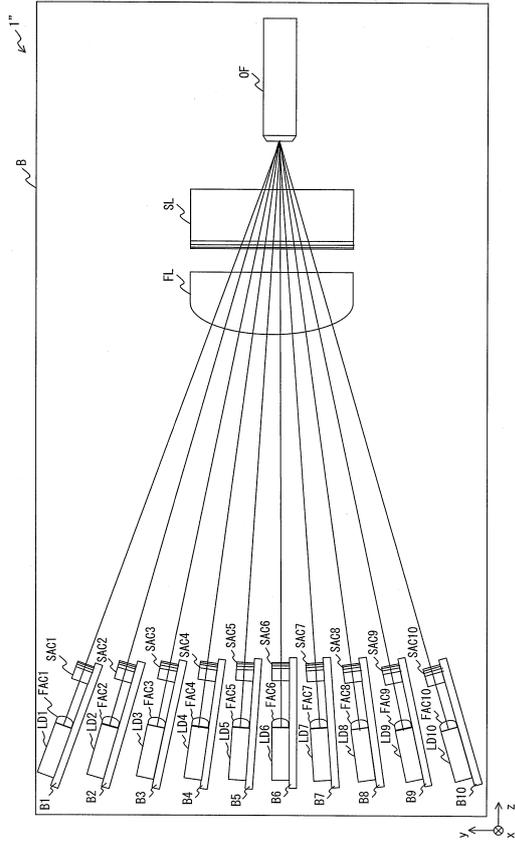
【図9】



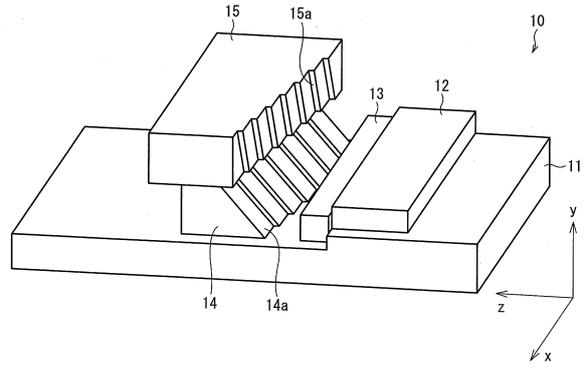
【図10】



【 1 1 】



【 1 2 】



---

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1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

審査官 奥村 政人

(56)参考文献 特開平07-199117(JP,A)

米国特許出願公開第2009/0245315(US,A1)

特開2004-258624(JP,A)

国際公開第02/050599(WO,A1)

米国特許第06124973(US,A)

国際公開第2012/004381(WO,A1)

特開2009-170881(JP,A)

特開2001-215443(JP,A)

特開2004-252428(JP,A)

特開平07-098402(JP,A)

特開2002-202442(JP,A)

特表2009-520353(JP,A)

米国特許第04826269(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/26 - 6/43

G02B 27/09 - 27/10

H01S 5/022