

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6435290号
(P6435290)

(45) 発行日 平成30年12月5日(2018.12.5)

(24) 登録日 平成30年11月16日(2018.11.16)

| | | | | | | |
|-----------------------------|------|-------|---|--|--|--|
| (51) Int.Cl. | F I | | | | | |
| GO2B 6/04 (2006.01) | GO2B | 6/04 | A | | | |
| GO2B 6/287 (2006.01) | GO2B | 6/287 | | | | |
| GO2B 6/28 (2006.01) | GO2B | 6/28 | P | | | |
| GO2B 6/26 (2006.01) | GO2B | 6/26 | | | | |
| GO2B 6/42 (2006.01) | GO2B | 6/42 | | | | |

請求項の数 12 (全 20 頁) 最終頁に続く

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2016-112871 (P2016-112871) | (73) 特許権者 | 000005186 |
| (22) 出願日 | 平成28年6月6日(2016.6.6) | | 株式会社フジクラ |
| (65) 公開番号 | 特開2017-219626 (P2017-219626A) | | 東京都江東区木場1丁目5番1号 |
| (43) 公開日 | 平成29年12月14日(2017.12.14) | (74) 代理人 | 110000338 |
| 審査請求日 | 平成29年2月23日(2017.2.23) | | 特許業務法人HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK |
| 前置審査 | | (72) 発明者 | 藤田 智之 |
| | | | 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 | 山本 貴一 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学デバイス、レーザシステム及び光学デバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくとも1本の入射ファイバからなる入射ファイバ束と、
出射ファイバと、

入射端面、及び、当該入射端面よりも面積が狭い出射端面を有し、前記入射端面に前記入射ファイバ束が結合され、且つ、前記出射端面に前記出射ファイバが結合された縮径部と、を備えた光学デバイスであって、

前記入射端面を平面視した場合に、当該入射端面の中心と前記出射端面の中心とは、互いにずれており、且つ、前記出射ファイバと少なくとも一部重なっている領域の面積が最も大きくなる少なくとも1つの入射ファイバの中心と、前記出射端面の中心とは、互いにずれている、

ことを特徴とする光学デバイス。

【請求項2】

前記入射端面を平面視した場合に、前記出射ファイバと少なくとも一部重なっている複数の入射ファイバの各々の中心と、前記出射端面の中心とは、互いにずれている、ことを特徴とする請求項1に記載の光学デバイス。

【請求項3】

前記入射端面を平面視した場合に、前記入射ファイバの各々の中心と前記出射端面の中心とは、互いにずれている、

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の光学デバイス。

【請求項 4】

前記入射端面及び前記出射端面の各々は、互いに平行な平面からなり、
前記入射ファイバの各々と、前記出射ファイバとは、それぞれの光軸が前記入射端面及び前記出射端面の法線方向に沿うように配置されている、
ことを特徴とする請求項 1～3 の何れか 1 項に記載の光学デバイス。

【請求項 5】

前記縮径部の前記入射端面を平面視した場合に得られる、前記入射端面の中心と前記出射端面の中心との平面視距離 $Dof f$ 、前記入射端面の最大幅 Din 、及び、前記出射端面の最大幅 $Dout$ の各々は、式 (1) の関係式を満たす、
ことを特徴とする請求項 1～4 の何れか 1 項に記載の光学デバイス。

$$Din / 10 \quad Dof f \quad (Din - Dout) / 2 \quad (1)$$

【請求項 6】

前記少なくとも 1 本の入射ファイバと、前記縮径部の前記入射端面との間には、各入射ファイバに対応する $G I$ ファイバが挿入されており、

前記少なくとも 1 本の入射ファイバの各々は、各 $G I$ ファイバを介して前記入射端面に結合されている、

ことを特徴とする請求項 1～5 の何れか 1 項に記載の光学デバイス。

【請求項 7】

前記縮径部の、前記入射端面の形状及び前記出射端面の形状は、それぞれ、円形である、
ことを特徴とする請求項 1～6 の何れか 1 項に記載の光学デバイス。

【請求項 8】

前記入射ファイバ束は、複数の入射ファイバにより構成されている、
ことを特徴とする請求項 1～7 の何れか 1 項に記載の光学デバイス。

【請求項 9】

前記入射ファイバ束は、少なくとも 1 本の入射ファイバによって構成されており、
当該少なくとも 1 本の入射ファイバの各々が前記縮径部の前記入射端面に結合される領域は、可変である、

ことを特徴とする請求項 1～7 の何れか 1 項に記載の光学デバイス。

【請求項 10】

(1) 複数本の入射ファイバによって構成された入射ファイバ束と、(2) 出射ファイバと、(3) 入射端面、及び、当該入射端面よりも面積が狭い出射端面を有し、前記入射端面に前記入射ファイバ束が結合され、且つ、前記出射端面に前記出射ファイバが結合された縮径部と、を備えた光学デバイスであって、前記入射端面を平面視した場合に、当該入射端面の中心と前記出射端面の中心とは、互いにずれており、且つ、前記出射ファイバと少なくとも一部重なっている領域の面積が最も大きくなる少なくとも 1 つの入射ファイバの中心と、前記出射端面の中心とは、互いにずれている光学デバイスと、

それぞれが出射ファイバを有する複数台のレーザ装置であって、前記出射ファイバの各々が、それぞれ、前記光学デバイスの前記複数本の入射ファイバの何れかに接続されている複数台のレーザ装置と、を備えている、
ことを特徴とするレーザシステム。

【請求項 11】

(1) 1 本の入射ファイバによって構成された入射ファイバ束と、(2) 出射ファイバと、(3) 入射端面、及び、当該入射端面よりも面積が狭い出射端面を有し、前記入射端面に前記入射ファイバ束が結合され、且つ、前記出射端面に前記出射ファイバが結合された縮径部と、を備えた光学デバイスであって、前記入射端面を平面視した場合に、当該入射端面の中心と、前記出射端面の中心とは、互いにずれており、且つ、前記入射ファイバの中心と前記出射端面の中心とは、互いにずれている光学デバイスと、

出射ファイバを有し、当該出射ファイバが前記光学デバイスの前記入射ファイバに接続されている 1 台のレーザ装置と、を備えており、

10

20

30

40

50

前記入射ファイバが前記縮径部の前記入射端面に結合される領域は、可変である、ことを特徴とするレーザシステム。

【請求項 1 2】

(1) 少なくとも 1 本の入射ファイバからなる入射ファイバ束と、(2) 出射ファイバと、(3) 入射端面、及び、当該入射端面よりも面積が狭い出射端面を有し、前記入射端面に前記入射ファイバ束が結合され、且つ、前記出射端面に前記出射ファイバが結合された縮径部と、を備えた光学デバイスであって、前記入射端面を平面視した場合に、当該入射端面の中心と前記出射端面の中心とは、互いにずれており、且つ、前記出射ファイバと少なくとも一部重なっている領域の面積が最も大きくなる少なくとも 1 つの入射ファイバの中心と、前記出射端面の中心とは、互いにずれている光学デバイスの製造方法において

10

、光学ロッドを延伸しつつ、当該光学ロッドの一端における中心軸と他端における中心軸とのずれ具合を大きくしていく延伸工程と、

前記延伸工程において延伸された光学ロッドから、両端の太さが異なる区間を前記縮径部として切り出す切り出し工程と、を含む、ことを特徴とする光学デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、入射ファイバと出射ファイバと縮径部とを備えた光学デバイスに関する。また、そのような光学デバイスを備えたレーザシステム、及び、そのような光学デバイスの製造方法に関する。

20

【背景技術】

【0002】

複数台のレーザ装置の各々から出射されるレーザ光を 1 つの出射光にまとめる光学デバイス(コンバイナやカプラなどと呼ばれる)が知られている。例えば特許文献 1 には、入射ファイバを構成する複数の光ファイバ(特許文献 1 における「入力用光ファイバ」と、テーパ部を有する縮径部(特許文献 1 における「ブリッジファイバ」と、出射ファイバ(特許文献 1 における「出力用光ファイバ」と、を備えた光学デバイス(特許文献 1 における「光ファイバコンバイナ」)が記載されている。

30

【0003】

このような光学デバイスは、例えばレーザ加工機(レーザシステム)に好適に用いることができる。レーザ加工機は、複数台のレーザ装置の各々から出射されるレーザ光を、このような光学デバイスを用いて 1 つの出射光にまとめることによって、1 台のレーザ装置では得ることができない高出力な出射光を得ている。レーザ加工機は、このようにして得られた出射光を用いて高出力を要する加工用途、例えば、切断や溶接などに用いられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2013 - 190714 号公報(2013 年 9 月 26 日公開)

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、レーザ加工機に用いて高品質な加工を行うためには、加工用途に応じて出射光のスポット径を適切に選択することが好ましい。加工用途に応じて、出射光の好適なパワー密度が異なるためである。

【0006】

例えば、切断を行う場合には、出射光のパワー密度を上げ、狭い範囲に出射光を照射することが好ましい。したがって、スポット径の小さな出射光、すなわち、ビーム品質が高

50

い出射光を用いることが好ましい。ビーム品質が高い出射光を用いることによって、切断の精度を高めることができる。

【0007】

それに対して、溶接を行う場合には、出射光のパワー密度を下げ、広い範囲に出射光を照射することが好ましい。したがって、スポット径の大きな出射光、すなわち、ビーム品質が低い出射光を用いることが好ましい。ビーム品質が低い出射光を用いることによって、溶接の均一性を高めることができる。

【0008】

しかしながら、特許文献1に記載の光学デバイスにおいて、出射光のビーム品質を制御することは、次の理由により困難である。このような光学デバイスによって得られる出射光のビーム品質は、主に縮径部の形状及び縮径部に入射するレーザー光の発散角に依存している。したがって、入射ファイバ及び縮径部の構成を変更しない場合、光学デバイスの出射光のビーム品質は、不変である。すなわち、ビーム品質は、制御することができない、光学デバイスに固有の特性である。

10

【0009】

したがって、用途が異なる加工をレーザー加工機にて行う場合、各用途に適したビーム品質を有する出射光を出射可能なレーザー加工機を、それぞれ用意する必要があった。このことは、様々なコストが増大する要因となる。

【0010】

本発明は、前記の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、出射光のビーム品質を制御可能な光学デバイスを提供することである。また、そのような光学デバイスを備えたレーザーシステム、及び、そのような光学デバイスの製造方法を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る光学デバイスは、(1)少なくとも1本の入射ファイバからなる入射ファイバ束と、(2)出射ファイバと、(3)入射端面、及び、当該入射端面よりも面積が狭い出射端面を有し、前記入射端面に前記入射ファイバ束が結合され、且つ、前記出射端面に前記出射ファイバが結合された縮径部と、を備えた光学デバイスであって、前記入射端面を平面視した場合に、当該入射端面の中心と前記出射端面の中心とは、互いにずれている。

30

【0012】

上記のように構成された縮径部は、入射端面のうち出射端面の中心からのずれが小さな領域に結合された入射光を、ビーム品質を大きく低下させることなく出射端面まで導波する。また、縮径部は、入射端面のうち出射端面の中心からのずれが大きな領域に結合された光を、ビーム品質を大きく低下させながら出射端面まで導波する。このように、縮径部は、入射光が結合された入射端面の領域における、出射端面の中心からのずれの大小に応じて、ビーム品質が異なる出射光を出射ファイバに結合することができる。

【0013】

したがって、上記の構成によれば、入射端面のうち入射光を結合する領域を適宜選択することにより、光学デバイスが出射する出射光のビーム品質を制御することができる。

40

【0014】

また、本発明の一態様に係る光学デバイスにおいて、前記縮径部の前記入射端面を平面視した場合に得られる、前記入射端面の中心と前記出射端面の中心との平面視距離 D_{off} 、前記入射端面の最大幅 D_{in} 、及び、前記出射端面の最大幅 D_{out} の各々は、式(1)の関係式を満たすことが好ましい。

$$D_{in} / 10 \leq D_{off} \leq (D_{in} - D_{out}) / 2 \quad (1)$$

上記の構成によれば、縮径部から出射される出射光のビーム品質の制御可能な範囲を広げることができる。

【0015】

また、本発明の一態様に係る光学デバイスにおいて、前記少なくとも1本の入射ファイ

50

バと、前記縮径部の前記入射端面との間には、各入射ファイバに対応するG Iファイバが挿入されており、前記少なくとも1本の入射ファイバの各々は、各G Iファイバを介して前記入射端面に結合されていることが好ましい。

【0016】

上記の構成によれば、縮径部の入射端面に対して、発散角を抑制した光を結合させることができるため、縮径部と出射ファイバとの間の結合効率を高めることができ、光学デバイスの光損失を抑制することができる。

【0017】

また、入射端面にコリメート光が結合されることによって、縮径部が光を導波する過程において、縮径部の側面により光が反射される回数を抑制することができる。したがって、縮径部からの出射光のビーム品質の最高値を更に高めることができる。結果として、縮径部から出射される出射光のビーム品質の変更可能な範囲を更に広げることができる。

10

【0018】

また、本発明の一態様に係る光学デバイスにおいて、前記縮径部の、前記入射端面の形状及び前記出射端面の形状は、それぞれ、円形であることが好ましい。

【0019】

上記の構成によれば、既存の円柱状の光学部材、例えば光学ロッドを延伸することにより縮径部を製造することができる。したがって、縮径部を容易に入手可能な光学部材から製造可能であるため、光学デバイスの製造コストを抑制することができる。

【0020】

また、本発明の一態様に係る光学デバイスにおいて、前記入射ファイバ束は、複数の入射ファイバにより構成されていることが好ましい。

20

【0021】

上記の構成によれば、複数本の入射ファイバの各々は、それぞれ、縮径部の入射面のいずれかの領域に結合されている。したがって、縮径部の出射端面とのずれが小さな領域に結合された入射ファイバの光は、ビーム品質が高い光として出射端面から出射される。一方、上記ずれが大きな領域に結合された入射ファイバの光は、ビーム品質が低い光として出射端面から出射される。したがって、複数本の入射ファイバから入射ファイバを適宜選択することによって、所定のビーム品質の出射光を得ることができる。なお、複数本の入射ファイバから選択する入射ファイバの本数は、1本であってもよいし、複数本であつてもよい。

30

【0022】

また、上記光学デバイスにおいて、前記入射ファイバ束は、1本の入射ファイバによって構成されており、当該入射ファイバが前記縮径部の前記入射端面に結合される領域は、可変であることが好ましい。

【0023】

上記の構成によれば、入射端面に対して入射ファイバを結合させる領域を適宜選択することによって、所望のビーム品質を有する出射光を得ることができる。したがって、簡易な構成を用いて出射光のビーム品質を制御可能な光学デバイスを実現することができる。

【0024】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るレーザシステムは、(1)複数本の入射ファイバによって構成された入射ファイバ束と、(2)出射ファイバと、(3)入射端面、及び、当該入射端面よりも面積が狭い出射端面を有し、前記入射端面に前記入射ファイバ束が結合され、且つ、前記出射端面に前記出射ファイバが結合された縮径部と、を備えた光学デバイスであつて、前記入射端面を平面視した場合に、当該入射端面の中心と前記出射端面の中心とは、互いにずれている光学デバイスと、それぞれが出射ファイバを有する複数台のレーザ装置であつて、前記出射ファイバの各々が、それぞれ、前記光学デバイスの前記複数本の入射ファイバの何れかに接続されている複数台のレーザ装置と、を備えている。

40

【0025】

50

上記の構成によれば、複数本の入射ファイバから入射ファイバを適宜選択し、選択した入射ファイバに接続されたレーザ装置を発振させることによって、所望のビーム品質を有する出射光を得ることができる。したがって、レーザシステムが出射する出射光のビーム品質を制御することができる。

【0026】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るレーザシステムは、(1)1本の入射ファイバによって構成された入射ファイバ束と、(2)出射ファイバと、(3)入射端面、及び、当該入射端面よりも面積が狭い出射端面を有し、前記入射端面に前記入射ファイバ束が結合され、且つ、前記出射端面に前記出射ファイバが結合された縮径部と、を備えた光学デバイスであって、前記入射端面を平面視した場合に、当該入射端面の中心と、前記出射端面の中心とは、互いにずれている光学デバイスと、出射ファイバを有し、当該出射ファイバが前記光学デバイスの前記入射ファイバに接続されている1台のレーザ装置と、を備えており、前記入射ファイバが前記縮径部の前記入射端面に結合される領域は、可変である。

10

【0027】

上記の構成によれば、縮径部の入射端面に対して入射ファイバ束を構成する1本の入射ファイバを結合させる領域を適宜選択することによって、所望のビーム品質を有する出射光を得ることができる。したがって、レーザシステムが出射する出射光のビーム品質を制御することができる。

【0028】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る光学デバイスの製造方法は、(1)少なくとも1本の入射ファイバからなる入射ファイバ束と、(2)出射ファイバと、(3)入射端面、及び、当該入射端面よりも面積が狭い出射端面を有し、前記入射端面に前記入射ファイバ束が結合され、且つ、前記出射端面に前記出射ファイバが結合された縮径部と、を備えた光学デバイスの製造方法であって、光学ロッドを延伸しつつ、当該光学ロッドの一端における中心軸と他端における中心軸とのずれ具合を大きくしていく延伸工程と、前記延伸工程において延伸された光学ロッドから、両端の太さが異なる区間を前記縮径部として切り出す切り出し工程と、を含む。

20

【0029】

上記の製造方法によれば、入射端面及び出射端面を有し、当該入射端面を平面視した場合に、当該入射端面の中心と前記出射端面の中心とは、互いにずれている縮径部を製造することができる。したがって、出射光のビーム品質を制御可能な光学デバイスを製造することができる。

30

【発明の効果】

【0030】

本発明は、出射光のビーム品質を制御可能な光学デバイスを提供することができる。また、そのような光学デバイスを備えたレーザシステム、及び、そのような光学デバイスの製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】(a)は、本発明の第1の実施形態に係るコンバイナの斜視図である。(b)は、(a)に示したコンバイナが備えている縮径部の入射端面の平面図である。

40

【図2】(a)及び(b)は、図1の(a)に示したコンバイナが備えている縮径部の入射端面の平面図である。

【図3】図1の(a)に示したコンバイナの第1の変形例の斜視図である。

【図4】(a)及び(b)は、図1の(b)に示した縮径部の断面図である。

【図5】(a)は、図1の(a)に示したコンバイナの第2の変形例が備えている縮径部及び入射ファイバの平面図である。(b)は、図1の(a)に示したコンバイナの第3の変形例が備えている縮径部及び入射ファイバの平面図である。

【図6】(a)は、本発明の第2の実施形態に係るファイバレーザシステムの構成を示す

50

ブロック図である。(b)は、(a)に示したファイバレーザシステムの第1の変形例の構成を示すブロック図である。

【図7】(a)は、本発明の第3の実施形態に係る縮径部の製造方法を示すフローチャートである。(b)は、(a)に示した縮径部の製造方法が含む延伸工程の概要を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0032】

〔第1の実施形態〕

本発明の第1の実施形態に係るコンバイナ10について、図1及び図2を参照して説明する。図1の(a)は、コンバイナ10の斜視図である。図1の(b)は、コンバイナ10が備えている縮径部11の入射端面11aを平面視した場合に得られる平面図である。図1の(b)は、入射ファイバ束12を構成するフューモードファイバ(FMF)121~127を結合された状態の入射端面11aを示す。図2の(a)及び(b)は、入射端面11aを平面視した場合に得られる平面図であり、FMF121~127を省略した状態の入射端面11aを示す。

10

【0033】

(コンバイナ10の構成)

図1の(a)に示すように、コンバイナ10は、縮径部11と、入射ファイバ束12と、出射ファイバ13とを備えた光学デバイスである。

【0034】

縮径部11は、光学ガラスによって構成された光学部材であり、例えば石英ガラス製である。縮径部11は、入射端面11aが一方の底面を構成し、出射端面11bが他方の底面を構成する円柱状の光学部材である。出射端面11bの面積は、入射端面11aの面積と比較して狭い。入射端面11aには、入射ファイバ束12が結合されている。出射端面11bには、出射ファイバ13が結合されている。

20

【0035】

縮径部11は、入射端面11aを底面とする斜円錐を、この底面に平行な平面で切り、斜円錐の頂点を含む小さくなった斜円錐を取り除くことによって得られる。縮径部11のこの形状は、円錐台の中心軸(一方の底面の中心と他方の底面の中心とを結ぶ線分)を、底面の法線に対して傾けることによって得られる。

30

【0036】

入射ファイバ束12は、7本の入射ファイバであるFMF121~FMF127によって構成されている。また、出射ファイバ13は、1本のマルチモードファイバ(MMF)によって構成されている。FMF121~FMF127の各々、及び、出射ファイバ13は、例えば石英ガラス製である。

【0037】

図1の(b)に示すように、FMF121は、コア121aとクラッド121bとを備えている。同様に、FMF122~127の各々は、コア122a~127aとクラッド122b~127bとを備えている。FMF121~127は、FMF122を中心として、その周囲をFMF121及びFMF123~127が等方的に取り囲み、正六角形を成すように配置されている。本実施形態において、FMF121~127の各々の端面は、入射端面11aに対して融着されている。

40

【0038】

出射ファイバ13は、コア13aとクラッド13bとを備えている。コア13aの直径は、縮径部11の出射端面の直径Dout(図1の(c)参照)と等しくなるように構成されている。本実施形態において、出射ファイバ13のコア13aの端面は、出射端面11bに対して融着されている。

【0039】

なお、入射ファイバ束12を構成するFMF121~127の各々と、縮径部11の入射端面11aとは、互いに光学的に結合していればよい。したがって、FMF121~1

50

27の各々の端面と入射端面11aとは離間していてもよい。また、FMF121~127の各々の端面と、入射端面11aとを接続する場合の接続手段は、融着に限られない。例えば、コンバイナ10において用いる光の波長領域において良好な透過率を有する樹脂からなる接着剤を用いて、FMF121~127の各々の端面と、入射端面11aとを接着してもよい。出射ファイバ13と縮径部11の出射端面11bとの結合に関しても同様である。

【0040】

図2の(a)に示した破線は、入射端面11aに投影した出射端面11bを示す。入射端面11aを平面視した場合に、入射端面11aの中心C1と、出射端面11bの中心C2とは、互いにずれている。入射端面11aを平面視した場合に得られる、中心C1と中心C2との間の平面視距離をオフセット量Doff(請求の範囲に記載の平面視距離Doff)とする。オフセット量Doffは、中心C1と中心C2とのずれ具合を表す。オフセット量Doffが大きいほど、中心C1と中心C2とのずれ具合は大きい。

10

【0041】

図2の(b)に示すように、中心C1を含み、FMF122が接続される領域を領域P2と呼ぶ。また、領域P2の中心を中心CP2と呼ぶ。中心CP2は、入射端面11aに結合されたFMF122の中心に対応する。コンバイナ10において、中心C1と中心CP2とは、一致している。

【0042】

領域P2の周りには、領域P2を取り囲む6つの領域(領域P1及び領域P3~P7)が配置されている。領域P1及び領域P3~P7の各々の中心をそれぞれ中心CP1及びCP3~CP7と呼ぶ。領域P1は、FMF121が接続される領域である。中心CP1は、入射端面に結合されたFMF121の中心に対応する。同様に、領域P3~P7の各々は、それぞれ、FMF123~127が接続される領域であり、中心CP3~CP7の各々は、それぞれ、入射端面に結合されたFMF123~127の中心に対応する。領域P1及び領域P3~P7の各々は、領域P2の周りに等方的に、すなわち、中心CP1, CP3~CP7が正六角形の各頂点を成すように配置されている。換言すれば、FMF121~127の各々は、入射端面11a内において最密充填構造をとるように配置されている。

20

【0043】

図2の(a)に示すA-A'線は、中心C1と中心C2とを結ぶ直線である。各領域P1~P7において、入射端面11aを平面視した場合に得られる中心C2と中心CP1~CP7との平面視距離を距離Ddifとする。図2の(b)には、距離Ddifの例として、領域P1についての距離Ddifを図示している。距離Ddifは、縮径部11に対して入射光が結合する領域と縮径部11に対して出射光が結合する領域とのずれを表す。距離Ddifが大きいほど、入射光が結合する領域と出射光が結合する領域とのずれが大きいことを表す。

30

【0044】

コンバイナ10において、入射端面11aを平面視した場合に、中心C1と中心C2とはオフセット量Doffだけ離間しており、かつ、その離間している方向は、中心CP1に近づく方向(中心CP7から遠ざかる方向)である。そのため、距離Ddifの大小関係は、以下の通りとなる(図2の(b)参照)。なお、領域P1~P6における距離Ddifを区別する場合には、例えば距離Ddif(P1)というようにその領域を表す符号を追記する。

40

$Ddif(P1) < Ddif(P2) < Ddif(P4)$, $Ddif(P5) < Ddif(P6)$, $Ddif(P7) < Ddif(P3)$

なお、本実施形態において、縮径部11は、その径(円錐台の中心軸と交わり、且つ、図1に図示した座標系におけるy軸方向に沿った長さ)が円錐台の中心軸に沿って変化し続けるものとして説明した。しかし、縮径部11は、円錐台の中心軸に沿って径が変化し続ける区間(円錐台状区間)の前段及び後段の少なくとも何れか一方に、中心軸に沿って

50

径が変化しない区間（円柱状区間）を更に備えていてもよい。このような円柱状区間は、一方の端面を介して円錐台状区間に連なっている。円柱状区間の他方の端面は、縮径部 11 の入射端面 11 a 或いは出射端面 11 b をなす。

【0045】

（コンバイナ 10 の効果）

コンバイナ 10 の効果を説明するために、まず、光の開口数 NA 及び光のビーム品質について簡単に説明する。光の開口数 NA は、伝播する光の発散角（半角）を用いて、 $NA = \sin$ で表される。

【0046】

また、ビーム品質を表す指標としては、 BPP （ビームパラメータ積：Beam Parameter Products）が知られている。 BPP は、光を出射するコアの半径 R と、出射された光の発散角（半角）との積、 $BPP = R \times$ （ $mm \cdot mrad$ ）で表される。ここでは縮径部 11 の出射端面から出射される光を想定している。そのため、光を出射するコアは、出射端面 11 b であり、半径 R は、 $R = D_{out} / 2$ で一定である。

【0047】

以上のように、光の開口数及び光のビーム品質は、何れも光の発散角を用いて表される指標であり、互いに言い換えることができる。すなわち、小さい開口数を有する光は、ビーム品質の高い光であり、大きな開口数を有する光は、ビーム品質の低い光である。

【0048】

コンバイナ 10 において、縮径部 11 に入射した光の開口数 NA は、縮径部 11 を伝播する過程で増加する。換言すれば、縮径部 11 に入射した光のビーム品質は、縮径部 11 を伝播する過程で低下する。

【0049】

縮径部 11 を伝播することに起因するビーム品質の低下量は、距離 D_{dif} に応じて変化し、距離 D_{dif} が小さい領域に入射した光ほど小さく、距離 D_{dif} が大きい領域に入射した光ほど大きくなる。すなわち、ビーム品質の低下量は、（1）領域 P_1 に入射した光が最も小さく、（2）領域 P_2 、（3）領域 P_4 、 P_5 、（4）領域 P_6 、 P_7 、（5）領域 P_3 の順番で大きくなる。このビーム品質の低下量については、図 4 を参照して後述する。

【0050】

このように、縮径部 11 は、距離 D_{dif} の大小に応じて、ビーム品質の低下量が異なる出射光を出射ファイバ 13 に結合させることができる。したがって、コンバイナ 10 によれば、入射端面 11 a に接続された $FMF_{121} \sim FMF_{127}$ の何れかを適宜選択することにより、縮径部 11 の出射端面 11 b から出射される光のビーム品質を制御することができる。結果として、出射ファイバ 13 から出射される光のビーム品質を制御することができる。

【0051】

コンバイナ 10 から出射される出射光のビーム品質をより広い範囲内で制御するためには、ビーム品質の上限値を高めることができ、且つ、ビーム品質の下限値を低めることができるように縮径部 11 を構成すればよい。このためには、出射端面 11 b の中心 C_2 を領域 P_1 の中心 C_{P1} に近づけるように（領域 P_7 の中心 C_{P7} から遠ざけるように）、入射端面 11 a に対する出射端面 11 b の位置を定めればよい。

【0052】

上記の要請を満たすために、縮径部 11 において、オフセット量 D_{off} 、入射端面 11 a の最大幅 D_{in} 、及び、出射端面 11 b の最大幅 D_{out} の各々は、次の関係を満たすことが好ましい。

$$D_{in} / 10 \geq D_{off} \geq (D_{in} - D_{out}) / 2$$

本実施形態において入射端面 11 a 及び出射端面 11 b の各々は、円形である。したがって、最大幅 D_{in} 及び最大幅 D_{out} の各々は、それぞれ、入射端面 11 a の直径及び出射端面 11 b の直径と同義である。

10

20

30

40

50

【0053】

$D_{in}/10$ D_{off} の関係を満たすことによって、この関係式を満たさない場合と比較して、ビーム品質の高い光（コンバイナ10においてはF M F 1 2 1から入射された光）のビーム品質をより高く、且つ、ビーム品質の低い光（コンバイナ10においてはF M F 1 2 3から入射された光）のビーム品質をより低くすることができる。したがって、縮径部11から出射される光のビーム品質の制御可能な範囲を広げることができる。

【0054】

なお、 $D_{in}/10$ D_{off} の関係を満たすことは、縮径部11が出射する光のうち最もビーム品質が高い光の開口数 $N A_{max}$ が、縮径部11が出射する光のうち最もビーム品質が低い光の開口数 $N A_{min}$ の1.5倍以上となることを意味する。この点については、図4を参照して後述する。

10

【0055】

$D_{off} = (D_{in} - D_{out})/2$ の関係を満たす状態は、入射端面11aを平面視した場合に得られる平面図（図2の(a)参照）において、出射端面11bは、入射端面11aに真に包含されている状態である。すなわち、出射端面11bが入射端面11aの内部のみに存在している状態である。この構成によれば、オフセット量 D_{off} が過剰に大きくなりすぎ縮径部11から出射される光のビーム品質が低下することを抑制することができる。

【0056】

縮径部11において、底面を構成する入射端面11a及び出射端面11bは、何れも円形である。この構成によれば、既存の円柱状の光学部材、例えば光学ロッドを延伸することにより縮径部を製造することができる。したがって、縮径部を容易に入手可能な光学部材から製造可能であるため、光学デバイスの製造コストを抑制することができる。なお、コンバイナ10の製造方法については、図7を参照して後述する。

20

【0057】

上述したように、コンバイナ10において、入射ファイバ束12は、複数本のF M F 1 2 1 ~ 1 2 7 によって構成されている。複数本のF M F 1 2 1 ~ 1 2 7 の各々は、それぞれ、縮径部11の入射端面11a内の距離 D_{dif} が異なる領域（領域P1 ~ P7）に結合されている。F M F 1 2 1 は、距離 D_{dif} が小さな領域に結合されており、F M F 1 2 2 は、距離 D_{dif} が中程度の領域に結合されており、F M F 1 2 3 は、距離 D_{dif} が大きな領域に結合されている。また、F M F 1 2 4, 1 2 5, 1 2 6, 1 2 7 は、距離 D_{dif} がF M F 1 2 2 とF M F 1 2 3 との中間値になる領域に結合されている。

30

【0058】

したがって、F M F 1 2 1 ~ 1 2 7 から何れかのF M F を適宜選択し、選択したF M F から縮径部11に光を入射させることによって、所定のビーム品質の出射光を得ることができる。なお、F M F 1 2 1 ~ 1 2 7 から選択するF M F の本数は、1本であってもよいし、複数本であってもよい。複数のF M F を選択する場合には、出射する光が有するビーム品質の分布が広範囲に亘ることを防ぐために、互いに隣接するF M F（例えば3本のF M F を選択する場合、F M F 1 2 2, 1 2 4, 1 2 5 の3本、あるいは、F M F 1 2 3, 1 2 6, 1 2 7 の3本、など）を選択することが好ましい。距離 $D_{dif}(P2)$ と距離 $D_{dif}(P4)$, $D_{dif}(P5)$ とは、値が異なるもののその差が小さいためである。距離 $D_{dif}(P3)$ と距離 $D_{dif}(P6)$, $D_{dif}(7)$ とについても同様である。互いに差が小さな距離 D_{dif} を1つのグループとして選択することによって、ビーム品質の分布幅が狭く、かつ、1本のF M F を選択した場合と比較して出力が高い出射光を得ることができる。

40

【0059】

なお、本実施形態において、入射ファイバ束12がF M F により構成されて、出射ファイバ13がM M F により構成されているものとして説明した。しかし、入射ファイバ束12を構成する光ファイバは、F M F に限定されるものではなく、出射ファイバ13を構成する光ファイバは、M M F に限定されるものではない。

50

【0060】

また、本実施形態において入射ファイバ束12は、7本の入射ファイバ(FMF121~FMF127)により構成されているが、入射ファイバ束12を構成する入射ファイバの数は、任意である。例えば、入射ファイバ束12を構成する入射ファイバの数は、3本であってもよいし、19本であってもよい。

【0061】

(第1の変形例)

コンバイナ10の第1の変形例であるコンバイナ10Aについて、図3を参照して説明する。図3は、コンバイナ10Aの斜視図である。

【0062】

コンバイナ10Aは、入射ファイバ束12の代わりに入射ファイバ束12Aを備えている。コンバイナ10Aのそれ以外の構成は、コンバイナ10と同様である。

【0063】

本変形例において、入射ファイバ束12Aと縮径部11の間には、GI(Graded Index)ファイバが挿入されている。すなわち、入射ファイバ束12は、入射ファイバ束12Aの端部12Aaを構成するGIファイバを介して縮径部11に結合されている。

【0064】

図3に示すように、入射ファイバ束12Aは、7本のFMF121A~127Aにより構成されている。FMF121Aと、縮径部11の入射端面11aの間には、FMF121Aに対応するGIファイバ121aが挿入されている。すなわち、FMF121Aは、GIファイバ121gを介して縮径部11に結合されている。同様に、FMF122A~FMF127Aの各々と、入射端面11aの間には、FMF122A~FMF127Aの各々に対応するGIファイバ122g~127gが挿入されている。

【0065】

以下、GIファイバについて、GIファイバ121gを例にして説明する。GIファイバ122g~127gに関しても同様である。GIファイバ121gは、その中心軸において屈折率が最も高く、中心軸から遠ざかるにしたがって屈折率が低くなるように構成されている。このように構成されたGIファイバ121gは、入射された光の発散角を抑制することができ、発散角が小さな出射光を出射することができる。この発散角の抑制の度合いは、GIファイバ121gの長さに応じて周期的に変化する。本実施形態におけるGIファイバ121gの長さは、コリメート光を出射するための基準となる長さ(GIファイバ121gの周期の $(2n-1)/4$ 倍の長さ、 n は正の整数であり本実施形態では $n=1$)に定められている。したがって、本実施形態のGIファイバ121gは、コリメート光を出射することができる。

【0066】

その結果、コンバイナ10の場合と比較して、縮径部11は、発散角が小さな光を出射することができる。したがって、縮径部11と出射ファイバ13との間の結合効率を高めることができるため、コンバイナ10Aは、光損失を抑制することができる。

【0067】

さらに、縮径部11の入射端面11aにコリメート光が結合されることによって、縮径部11が光を導波する過程において、縮径部11の側面により光が反射される回数を抑制することができる。したがって、縮径部11から出射される光のビーム品質の最高値を更に高めることができる。具体的には、GIファイバ121gから入射端面11aに入射され、出射端面11bから出射される光のビーム品質を更に高めることができる。その結果として、縮径部11から出射される光のビーム品質の制御可能な範囲を更に広げることができる。

【0068】

なお、GIファイバ121g~127gの長さは、GIファイバ121gの周期の $(2n-1)/4$ 倍の長さ限定されるものではない。その長さは、入射された光と比較して発散角を抑制することができる長さ、すなわち、GIファイバの周期の $m/2$ 倍の長さ(

10

20

30

40

50

mは正の整数)以外の長さであればよい。

【0069】

(仮想ビーム径)

ここでは、図4を参照して、光のビーム品質に大きな影響を与える仮想ビーム径の概念について説明する。図4の(a)及び(b)は、縮径部11の断面図であって、図2に示したA-A'線に沿った平面(yz平面)における断面図である。また、 $D_{in}/10$ D_{off} の関係を満たすことと、上述したように開口数 NA_{max} と開口数 NA_{min} とが、 $1.5 \times NA_{min} \leq NA_{max}$ の関係を満たすことと同義であることを説明する。なお、開口数 NA_{max} は、コンパイナ10が射出する光の開口数NAの最大値であり、開口数 NA_{min} は、コンパイナ10が射出する光の開口数NAの最小値である。

10

【0070】

図4の(a)は、縮径部11の入射端面11aに対して、入射する光の上端と入射端面11aの上端とが一致する光L1を入射した状態を示す。図4の(b)は、入射端面11aに対して、入射する光の下端と入射端面11aの下端とが一致する光L2を入射した状態を示す。なお、光L1及び光L2の各々は、何れもコリメート光である。

【0071】

図4に図示した縮径部11の断面の形状は、入射端面11a及び出射端面11bを底辺とする台形である。その台形において、出射端面11bの中心C2に近い側の斜辺を斜辺11cと称する。また、中心C2から遠い側の斜辺を斜辺11dと称する。したがって、斜辺11cと出射端面11bの法線とのなす角 θ_1 は、斜辺11dと出射端面11bの法線とのなす角 θ_3 より小さい。

20

【0072】

光L1の仮想ビーム径 D_{min} は、図4の(a)に示すように、縮径部11の斜辺11cと仮想線11eとの距離によって与えられる。光L1の仮想ビーム径は、縮径部11において得られる仮想ビーム径のうち最小の仮想ビーム径である。なお、仮想線11eは、出射端面11bの下端を通り、出射端面11bの法線とのなす角 θ_2 が $\theta_2 = \theta_1$ となる線分である。

【0073】

光L2の仮想ビーム径 D_{max} は、図4の(b)に示すように、縮径部11の斜辺11dと仮想線11fによって与えられる。光L2の仮想ビーム径は、縮径部11において得られる仮想ビーム径のうち最大の仮想ビーム径である。なお、仮想線11fは、出射端面11bの上端を通り、出射端面11bの法線とのなす角 θ_4 が $\theta_4 = \theta_3$ となる線分である。

30

【0074】

仮想ビーム径に対する出射端面11bの直径 D_{out} の比で表される縮径率は、ビーム品質(例えばBPP)に大きな影響を与えるパラメータである。縮径率が大きいほど(仮想ビーム径が小さいほど)ビーム品質が高く、縮径率が小さいほど(仮想ビーム径が大きいほど)ビーム品質が低くなる。

【0075】

また、仮想ビーム径 D_{min} 、 D_{max} は、入射端面11aの直径 D_{in} 及びオフセット量 D_{off} を用いて次のように表される。

$$D_{min} = D_{in} - 2 \times D_{off}$$

$$D_{max} = D_{in} + 2 \times D_{off}$$

ここで、 $D_{off} = D_{in}/10$ を代入して、仮想ビーム径 D_{min} に対する仮想ビーム径 D_{max} の比を取ると、

$$D_{max}/D_{min} = 1.5$$

が得られる。したがって、 $D_{in}/10 \leq D_{off}$ の関係を満たすことは、

$$D_{max}/D_{min} \leq 1.5$$

の関係を満たすことと同義であり、

$$1.5 \times NA_{min} \leq NA_{max}$$

40

50

の関係を満たすことと同義である。

【 0 0 7 6 】

(第 2 の変形例)

コンバイナ 1 0 の第 2 の変形例である変換器 1 0 B について、図 5 の (a) を参照して説明する。また、コンバイナ 1 0 の第 3 の変形例であるコンバイナ 1 0 C について、図 5 の (b) を参照して説明する。図 5 の (a) は、変換器 1 0 B が備えている縮径部 1 1 及び入射ファイバ束 1 2 B の平面図である。図 5 の (b) は、コンバイナ 1 0 C が備えている縮径部 1 1 C 及び入射ファイバ束 1 2 C の平面図である。

【 0 0 7 7 】

変換器 1 0 B は、入射ファイバ束 1 2 の代わりに入射ファイバ束 1 2 B を備えている光学デバイスである。図 5 の (a) に示すように、入射ファイバ束 1 2 B は、コンバイナ 1 0 が備えている入射ファイバ束 1 2 と異なり、1 本の入射ファイバである F M F 1 2 1 によって構成されている。F M F 1 2 1 は、コア 1 2 1 a とクラッド 1 2 1 b とを備えている。

10

【 0 0 7 8 】

縮径部 1 1 の入射端面 1 1 a において、中心 C 1 を含む中央の領域を領域 P 2 と呼ぶ。また、領域 P 2 を中心として、その周囲を取り囲む 6 つの領域を、それぞれ、領域 P 1 及び領域 P 3 ~ P 7 と呼ぶ。領域 P 1 及び領域 P 3 ~ P 7 の各々は、領域 P 2 の周りに等角的に、正六角形を成すように定めている。

【 0 0 7 9 】

領域 P 1 は、コンバイナ 1 0 において F M F 1 2 1 が結合されていた領域に対応する。領域 P 2 ~ P 7 の各々は、それぞれ、コンバイナ 1 0 において F M F 1 2 2 ~ 1 2 7 が結合されていた領域に対応する。

20

【 0 0 8 0 】

変換器 1 0 B において、F M F 1 2 1 と、縮径部 1 1 の入射端面 1 1 a とを結合させる領域は、特定の領域に固定されておらず可変である。ユーザは、所望のビーム品質を有する出射光を得るために、領域 P 1 ~ P 7 の中から何れかの領域を選択して、F M F 1 2 1 を入射端面 1 1 a に結合させることができる。

【 0 0 8 1 】

このように、変換器 1 0 B は、複数本の F M F を用いることなく、すなわち、複数台のファイバレーザシステムを用いることなく、出射光のビーム品質を制御することができる。したがって、変換器 1 0 B は、コンバイナ 1 0 A と比較して、簡易な構成を用いて出射光のビーム品質を制御可能な光学デバイスを実現することができる。

30

【 0 0 8 2 】

なお、本変形例では、入射端面 1 1 a に領域 P 1 ~ P 7 が予め設けられており、何れかの領域に F M F 1 2 1 を結合させるものとして説明した。しかし、入射端面 1 1 a には F M F 1 2 1 を結合させる領域は、領域 P 1 ~ P 7 に限定されるものではない。ユーザは、入射端面 1 1 a に対して F M F 1 2 1 を結合させる領域を適宜定めることができる。

【 0 0 8 3 】

また、本変形例では、入射ファイバ束 1 2 B が 1 本の F M F 1 2 1 により構成されている。しかし、入射ファイバ束 1 2 B は、を構成する F M F の本数は、複数本であってもよい。入射ファイバ束 1 2 B を構成する F M F の本数は、入射ファイバ束 1 2 B を入射端面 1 1 C a に結合させる領域を可変にすることができる範囲内において、任意に定めることができる。

40

【 0 0 8 4 】

(第 3 の変形例)

コンバイナ 1 0 C は、縮径部 1 1 の代わりに縮径部 1 1 C を備えており、且つ、入射ファイバ束 1 2 の代わりに入射ファイバ束 1 2 C を備えている光学デバイスである。

【 0 0 8 5 】

図 5 の (b) に示すように、縮径部 1 1 C は、楕円形の入射端面 1 1 C a を備えている

50

。入射端面 11Ca の形状が異なる以外、縮径部 11C は、縮径部 11 と同様に構成されている。したがって、入射端面 11Ca を平面視した場合に、入射端面 11Ca の中心 C3 と出射端面 11Cb の中心 C4 とは、互いにずれている。

【0086】

縮径部 11C の入射端面 11Ca の形状に対応して、入射ファイバ束 12C は、3本の入射ファイバである FMF121 ~ FMF123 によって構成されている。FMF122 は、その中心と入射端面 11Ca の中心 C4 とが一致するように配置されている。また、FMF121 は、FMF122 の上側に配置されており、FMF123 は、FMF122 の下側に配置されている。

【0087】

このように、縮径部 11C の入射端面 11Ca の形状は、円形に限定されるものではない。

【0088】

〔第2の実施形態〕

本発明の第2の実施形態に係るファイバレーザシステム1について、図6の(a)を参照して説明する。図6の(a)は、ファイバレーザシステム1の構成を示すブロック図である。また、ファイバレーザシステム1の変形例であるファイバレーザシステム1Aについて、図6の(b)を参照して説明する。図6の(b)は、ファイバレーザシステム1Aの構成を示すブロック図である。

【0089】

(ファイバレーザシステム1)

図6の(a)に示すように、ファイバレーザシステム1(請求の範囲に記載のレーザシステム)は、第1の実施形態に記載したコンバイナ10と、7台のファイバレーザ装置50a~50gと、レーザヘッド60とを備えている。

【0090】

ファイバレーザ装置50a~50gの各々は、レーザ光を生成するための構成であり、レーザ装置の一態様である。本実施形態におけるレーザ装置は、ファイバレーザ装置に限定されるものではない。ファイバレーザ装置50a~50gの各々は、同様に構成されている。ここでは、ファイバレーザ装置50aを例に、その構成を説明する。ファイバレーザ装置50aにて生成されたレーザ光は、コンバイナ10に入力され、他のファイバレーザ装置50b~50gにて生成されたレーザ光と合波される。コンバイナ10において合波されたレーザ光は、レーザヘッド60を介して図示しないワークピース(加工対象物)に対して照射される。

【0091】

ファイバレーザ装置50aは、電流源(図示せず)、10個のレーザダイオードLD1~LD10、ポンプコンバイナ51、高反射ファイバブラッググレーティング(FBG)54、ダブルクラッドファイバ(DCF)52、低反射ファイバブラッググレーティング(FBG)55、及びデリバリファイバ53a(請求の範囲に記載の出射ファイバ)により構成することができる。なお、レーザダイオードの数は10個に限定されるものではなく、任意である。

【0092】

各レーザダイオードLD1~LD10は、ポンプ光を生成するための構成である。各レーザダイオードLD1~LD10は、ポンプコンバイナ51の入力ポートに接続されており、各レーザダイオードLD1~LD10にて生成されたポンプ光は、ポンプコンバイナ51に入力される。

【0093】

ポンプコンバイナ51は、レーザダイオードLD1~LD10の各々にて生成されたポンプ光を合波することによって、合成ポンプ光を得るための構成である。ポンプコンバイナ51の出力ポートは、高反射FBG54を介してDCF52に接続されている。ポンプコンバイナ51にて得られた合成ポンプ光は、高反射FBG54を透過した後、DCF5

10

20

30

40

50

2のインナークラッドに入力される。

【0094】

DCF52は、ポンプコンバイナ51にて合波されたポンプ光をレーザ光に変換するための構成である。DCF52のコアには、Yb等の希土類元素が添加されており、ポンプコンバイナ51にて得られた合成ポンプ光は、この希土類元素を反転分布状態に維持するために利用される。DCF52は、入力端に接続された高反射FBG54及び出力端に接続された低反射FBG55と共に共振器を構成している。DCF52のコアにおいては、反転分布状態に維持された希土類元素が誘導放出を繰り返すことにより、レーザ光が生成される。DCF52の出力端は、低反射FBG55を介してコンバイナ10の入射ファイバ束12を構成するFMF121に接続されている。DCF52にて生成されたレーザ光のうち、低反射FBG55を透過したレーザ光は、ファイバレーザ装置50aに接続されたデリバリファイバ53aに入力され、ひいては、FMF121に入力される。

10

【0095】

同様に、ファイバレーザ装置50b~50gの各々が備えているデリバリファイバ53b~53gの各々は、入射ファイバ束12を構成するFMF122~FMF127の各々に接続されている。

【0096】

コンバイナ10は、各ファイバレーザ装置50a~50gから入射されたレーザ光を1つに合波し出力光を生成する。コンバイナ10の出射ファイバ13から出射される出力光は、レーザヘッド60に入力される。

20

【0097】

レーザヘッド60は、出射ファイバ13から入力された出力光がワークピースにより反射され、出射ファイバ13に再入射することを防止するための構成である。レーザヘッド60は、例えば、ガラスブロックと、このガラスブロックを収容する筐体とにより構成される。レーザヘッド60から出射された出力光は、ワークピースに照射される。

【0098】

ビーム品質が高い出力光をワークピースに対して照射したい場合、例えば、ファイバレーザ装置50aを発振させればよい。ファイバレーザ装置50aを発振させることにより、FMF121にレーザ光が入射される。したがって、出射ファイバ13は、ビーム品質が高い出力光をレーザヘッド60に対して出力する。

30

【0099】

ビーム品質が中程度の出力光をワークピースに対して照射したい場合、例えば、ファイバレーザ装置50b, 50d, 50eの3つのファイバレーザ装置を発振させればよい。ファイバレーザ装置50b, 50d, 50eの各々を発振させることにより、FMF122, 124, 125の各々にレーザ光が入射される。したがって、出射ファイバ13は、ビーム品質が中程度の出力光をレーザヘッド60に対して出力する。

【0100】

ビーム品質が低い出力光をワークピースに対して照射したい場合、例えば、ファイバレーザ装置50c, 50f, 50gの3つのファイバレーザ装置を発振させればよい。ファイバレーザ装置50c, 50f, 50gの各々を発振させることにより、FMF123, 126, 127の各々にレーザ光が入射される。したがって、出射ファイバ13は、ビーム品質が低い出力光をレーザヘッド60に対して出力する。

40

【0101】

以上のように、ファイバレーザシステム1は、出射光のビーム品質を制御することができる。

【0102】

なお、一度に発振させるファイバレーザ装置の台数は、上述したような1台又は3台に限定されるものではない。この台数は、所望のビーム品質及び強度の出力光を得られるように適宜選択することができる。

【0103】

50

(ファイバレーザシステム 1 A)

ファイバレーザシステム 1 A (請求の範囲に記載のレーザシステム)は、図 6 の (b) に示すように、ファイバレーザシステム 1 が備えていたコンバイナ 1 0 を変換器 1 0 B (図 5 の (a)) に置換することによって得られる。したがって、変換器 1 0 B は、1 本の F M F 1 2 1 を備えている。それに対応して、ファイバレーザシステム 1 A は、1 台のファイバレーザ装置 5 0 a を備えている。

【 0 1 0 4 】

変換器 1 0 B を備えているファイバレーザシステム 1 A は、入射端面 1 1 a に対して F M F 1 2 1 を結合させる領域を適宜選択することによって、所望のビーム品質を有する出射光を得ることができる。したがって、ファイバレーザシステム 1 A は、ファイバレーザシステム 1 と比較して簡易な構成を用いて出射光のビーム品質を制御可能な光学デバイスを実現することができる。

10

【 0 1 0 5 】

〔第 3 の実施形態〕

本発明の第 3 の実施形態に係るコンバイナの製造方法について、図 7 を参照して説明する。ここでは、第 1 の実施形態に係るコンバイナ 1 0 を例にして説明する。図 7 の (a) は、コンバイナ 1 0 の製造方法、より詳しくは、コンバイナ 1 0 が備えている縮径部 1 1 の製造方法を示すフローチャートである。図 7 の (b) は、図 7 の (a) に示した縮径部 1 1 の製造方法が含む延伸工程の概要を示す平面図である。なお、図 7 の (b) においては、延伸工程 S 1 0 を実施する前の状態を 2 点鎖線により図示し、延伸工程 S 1 0 を実施した後の状態を実線により図示している。

20

【 0 1 0 6 】

図 7 の (a) に示すように、縮径部 1 1 の製造方法は、延伸工程 S 1 0 と切り出し工程 S 1 2 とを含んでいる。本製造方法は、縮径部 1 1 を製造するための原料として、例えば石英ガラス製の光学ロッド 2 0 を用いる。

【 0 1 0 7 】

延伸工程 S 1 0 を実施する前に、光学ロッド 2 0 を縮径部製造装置にセットする。このとき、光学ロッド 2 0 の両端部 2 0 a , 2 0 b の各々は、製造装置が備えている保持部 6 0 a , 6 0 b の各々に保持される。この状態において、光学ロッド 2 0 a の一方の端部 2 0 a の中心軸 C 5 と、光学ロッド 2 0 a の他方の端部 2 0 b の中心軸 C 6 とは、図 7 の (b) に示すように一致している。

30

【 0 1 0 8 】

延伸工程 S 1 0 は、光学ロッド 2 0 を延伸する工程である。本実施形態において、光学ロッド 2 0 を延伸するために、熔融延伸法を用いる。延伸工程 S 1 0 は、光学ロッド 2 0 をしつつ、中心軸 C 5 と中心軸 C 6 とのずれ具合を大きくする。すなわち、図 7 の (b) に示す矢印 A 1 0 のように、光学ロッド 2 0 の端部 2 0 b を端部 2 0 a から遠ざける方向に延伸しつつ、端部 2 0 b を端部 2 0 a より上方に引き上げる。

【 0 1 0 9 】

延伸工程 S 1 0 により、光学ロッド 2 0 の延伸された部分の直径は、端部 2 0 a から端部 2 0 b に近づくにしたがって、(1) 徐々に細くなっていき、(2) 極小値を経て、(3) 徐々に太くなっていく。

40

【 0 1 1 0 】

切り出し工程 S 1 2 は、延伸工程 S 1 0 において延伸された光学ロッド 2 0 から、両端の太さが異なる区間を選択し、縮径部 1 1 として切り出す工程である。図 7 の (b) に示すように、B - B ' 線で示す位置、及び、C - C ' 線で示す位置において光学ロッド 2 0 を切断することにより、一方の端部の面積が他方の端部の面積よりも広い光学部材、具体的には、中心軸が底面の法線に対して傾いた円錐台状の光学部材を得ることができる。

【 0 1 1 1 】

この円錐台状の光学部材の両端面を光学研磨することによって、入射端面 1 1 a と、入射端面 1 1 a よりも面積が狭い出射端面 1 1 b とを有する縮径部 1 1 を得ることができる

50

。

【0112】

本製造方法を用いることにより、第1の実施形態に記載したコンバイナ10を製造することができる。

【0113】

本発明は上述した各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り、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて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。

【符号の説明】

【0114】

1, 1A ファイバレーザシステム(レーザシステム)

10, 10A, 10C コンバイナ(光学デバイス)

10B 変換器(光学デバイス)

11, 11C 縮径部

11a, 11Ca 入射端面

11b, 11Cb 出射端面

12, 12A 入射ファイバ束

12Aa 端部

121~127 フューモードファイバ(入射ファイバ)

121a~127a コア

121b~127b クラッド

121g~127g GIファイバ

13 出射ファイバ

13a コア

13b クラッド

50a~50g ファイバレーザ装置

53a~53g 出射ファイバ

LD1~LD10 レーザダイオード

C1~C4 中心

C5, C6 中心軸

20 光学ロッド

20a, 20b 端部

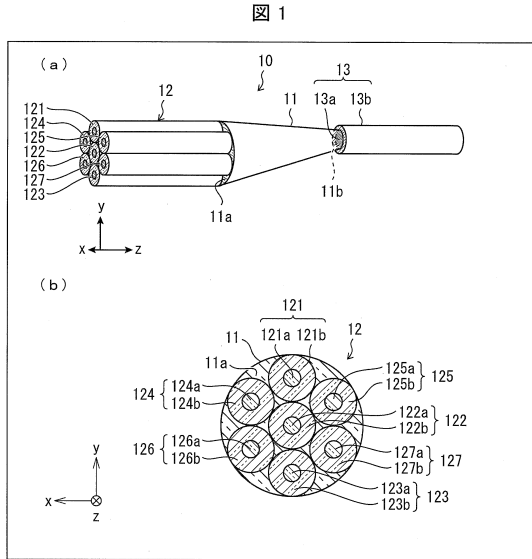
60a, 60b 保持部

10

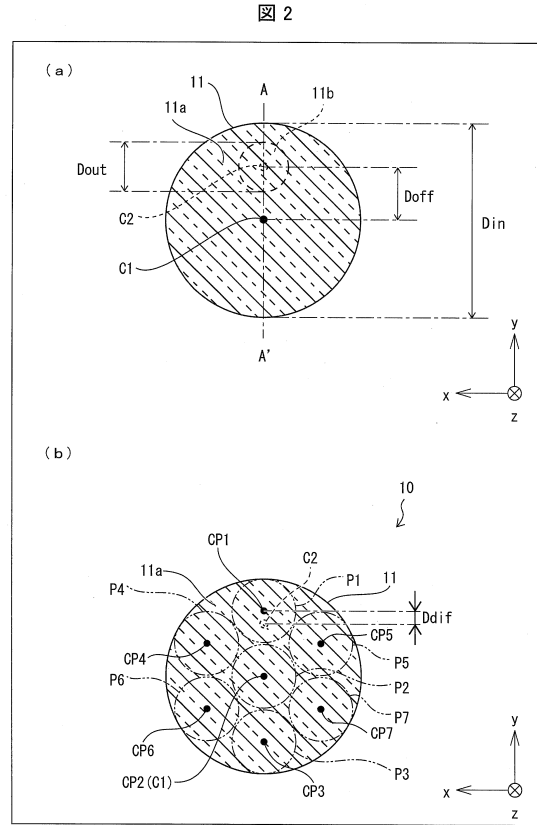
20

30

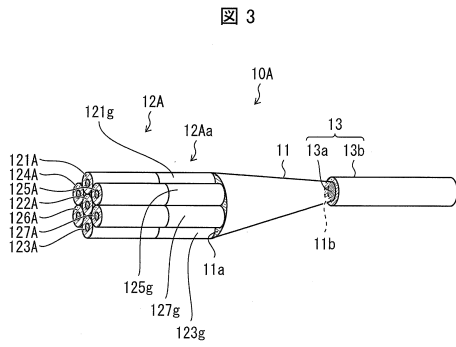
【 図 1 】



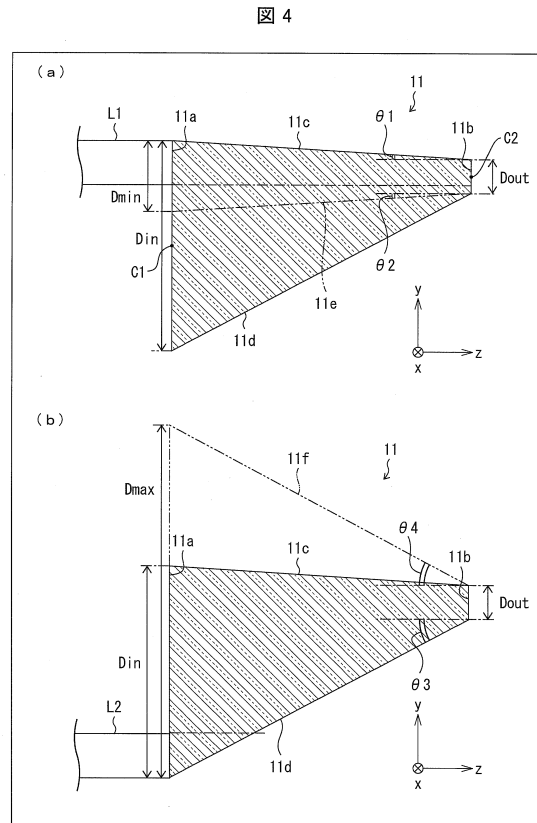
【 図 2 】



【 図 3 】

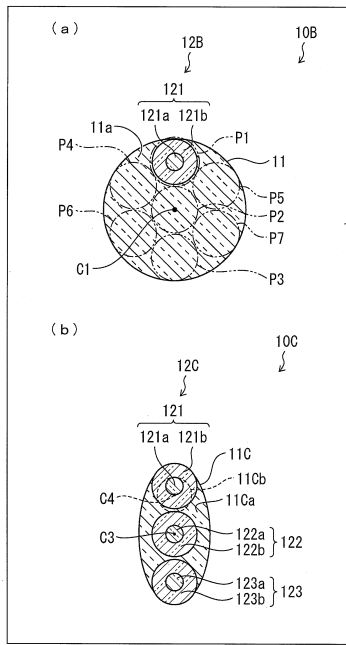


【 図 4 】



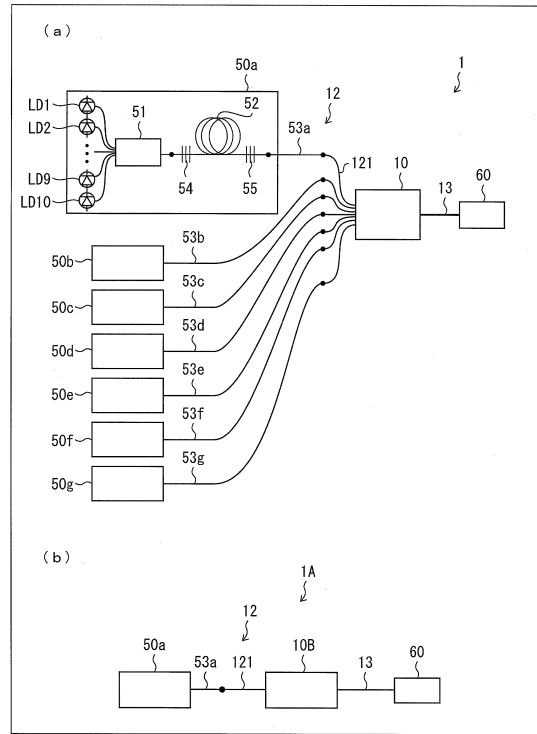
【 図 5 】

図 5



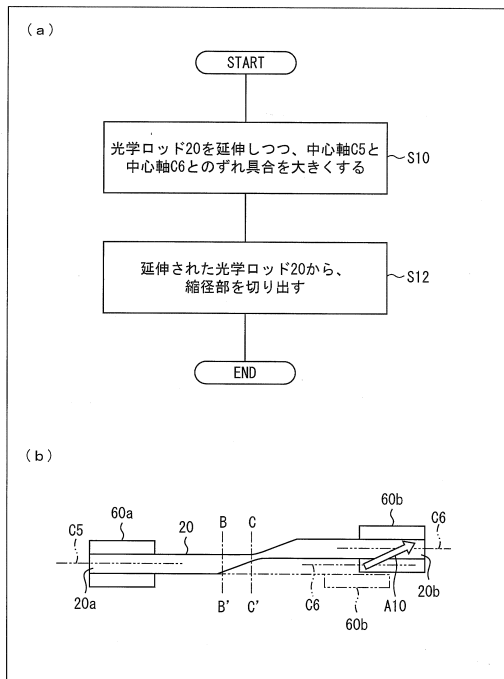
【 図 6 】

図 6



【 図 7 】

図 7



フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I
H 0 1 S 3/067 (2006.01) H 0 1 S 3/067

(56) 参考文献 特開平 0 3 - 0 2 7 0 0 6 (J P , A)
特開 2 0 1 3 - 1 4 2 7 9 2 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 8 0 9 1 4 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 2 3 2 6 3 6 (J P , A)
特開平 0 2 - 0 5 8 0 0 6 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 5 7 5 4 0 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 0 9 / 0 1 1 0 0 0 8 (U S , A 1)

(58) 調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 2 B 6 / 0 4
G 0 2 B 6 / 2 6
G 0 2 B 6 / 2 8
G 0 2 B 6 / 2 8 7
G 0 2 B 6 / 4 2
H 0 1 S 3 / 0 6 7