

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5945733号
(P5945733)

(45) 発行日 平成28年7月5日 (2016.7.5)

(24) 登録日 平成28年6月10日 (2016.6.10)

(51) Int.Cl.

F I

GO 2 B 6/255 (2006.01)

GO 2 B 6/287 (2006.01)

GO 2 B 6/04 (2006.01)

GO 2 B 6/255

GO 2 B 6/287

GO 2 B 6/04

B

請求項の数 5 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2013-233732 (P2013-233732)	(73) 特許権者	314012076
(22) 出願日	平成25年11月12日 (2013.11.12)		パナソニックIPマネジメント株式会社
(65) 公開番号	特開2015-94840 (P2015-94840A)		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(43) 公開日	平成27年5月18日 (2015.5.18)	(74) 代理人	100120156
審査請求日	平成27年1月22日 (2015.1.22)		弁理士 藤井 兼太郎
		(74) 代理人	100106116
			弁理士 鎌田 健司
		(74) 代理人	100170494
			弁理士 前田 浩夫
		(72) 発明者	長安 同慶
			大阪府豊中市稲津町三丁目1番1号 パナソニック溶接システム株式会社内
		審査官	河原 正
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コンバイナ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

それぞれが、第1の出射端と、第1の入射端と、第1のコアと、前記第1のコアを囲む第1のクラッドと、を有する複数のシングルモードファイバと、

第2の出射端と、第2の入射端とを有するマルチモードファイバと、を備え、

前記第1の出射端と前記第2の入射端とが接続部において接続され、

前記第1のコアは、第1の直径R1および第1の屈折率n1であり、

前記第1のクラッドは、第2の直径R2および第2の屈折率n2であり、

前記第1の直径に対する前記第2の直径の比率をS(=R2/R1)とし、

前記第1の入射端に、波長λの光が入射され、

前記複数のシングルモードファイバのそれぞれは、前記第1の出射端側に、前記第1の出射端側に近づくにつれて前記第1のコアの直径および前記第1のクラッドの直径が減少するテーパ領域を有し、

前記テーパ領域には、前記第1のコアの半径r(z)が以下の数1を満たす基準点が存在し、

【数 1】

$$\sqrt{\frac{2}{\ln S} \left\{ 1 + \frac{0.26}{\ln S} \right\}^{-\frac{1}{2}}} = \frac{2\pi r(z)}{\lambda} \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (\text{数 1})$$

前記基準点と前記第1の出射端との距離は、前記第1の出射端における前記第1のクラッドの直径の80倍以下であるコンバイナ。

【請求項 2】

第 1 の開口径を有する第 1 の開口端と、前記第 1 の開口端と反対側に位置する第 2 の開口径を有する第 2 の開口端とを有するキャピラリをさらに備え、

前記接続部は、前記第 2 の開口端に位置している請求項 1 に記載のコンバイナ。

【請求項 3】

前記第 1 の出射端における前記第 1 のクラッドの直径は $25 \mu\text{m}$ 以下であり、前記基準点と前記第 1 の出射端との距離は、 2.00 mm 以下である請求項 1 または 2 に記載のコンバイナ。

【請求項 4】

前記基準点と前記第 1 の出射端との距離は、 1.80 mm 以下である請求項 3 に記載のコンバイナ。

【請求項 5】

第 1 のコアと、前記第 1 のコアを囲む第 1 のクラッドと、を有する複数のシングルモードファイバを、両端が開口した筒状のキャピラリに挿入する挿入工程と、

前記キャピラリの中央部と前記キャピラリの内部に位置する前記複数のシングルモードファイバとを延伸する延伸工程と、

前記キャピラリおよび前記複数のシングルモードファイバを第 1 の出射端で切断する切断工程と、

前記第 1 の出射端にマルチモードファイバの第 2 の入射端を接続する接続工程と、を備え、

前記第 1 のコアは、第 1 の直径 R_1 および第 1 の屈折率 n_1 であり、

前記第 1 のクラッドは、第 2 の直径 R_2 および第 2 の屈折率 n_2 であり、

前記第 1 の直径に対する前記第 2 の直径の比率を $S (= R_2 / R_1)$ とし、

前記第 1 の入射端に、波長 λ の光が入射され、

前記複数のシングルモードファイバのそれぞれは、前記第 1 の出射端側に、前記第 1 の出射端側に近づくにつれて前記第 1 のコアの直径および前記第 1 のクラッドの直径が減少するテーパ領域を有し、

前記テーパ領域には、前記第 1 のコアの半径 $r(z)$ が以下の数 1 を満たす基準点が存在し、

【数 2】

$$\sqrt{\frac{2}{\ln S} \left\{ 1 + \frac{0.26}{\ln S} \right\}^{-\frac{1}{2}}} = \frac{2\pi r(z)}{\lambda} \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (\text{数 1})$$

前記切断工程では、前記基準点と前記第 1 の出射端との距離が、前記第 1 の出射端における前記第 1 のクラッドの直径の 80 倍以下になるように前記第 1 の出射端で切断するコンバイナの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は複数のレーザー光を加算するコンバイナ及びその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、ファイバレーザ加工機の光源であるファイバレーザ発振器は、高出力化、高ビーム品質化を要求されている。そのため、複数のファイバを結合することで複数のレーザー光を加算し、レーザーを高出力化するコンバイナが提案されている。

【0003】

従来のファイバレーザ発振器のコンバイナについて説明する。

【0004】

図 6 に示すように、従来のファイバレーザ発振器のコンバイナ 101 は、複数のシングルモードファイバ 102 を 1 つのマルチモードファイバ 103 に結合させている。複数のシングルモードファイバ 102 はキャピラリ 104 内部で束ねられており、それぞれのシ

10

20

30

40

50

シングルモードファイバ 102 は、直径が減少するように先端が細くなっている。すなわち、シングルモードファイバ 102 の先端はテーパ形状をしている。このように、シングルモードファイバ 102 の先端を細くすることで、複数のシングルモードファイバ 102 を 1 つのマルチモードファイバ 103 に接続できる。複数のシングルモードファイバ 102 のそれぞれにレーザを入射し、複数のレーザを結合させることで、マルチモードファイバ 103 から高出力のレーザを出射することができる。（例えば特許文献 1、特許文献 2、特許文献 3、非特許文献 1 参照。）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

10

【特許文献 1】米国特許第 8160415 号明細書

【特許文献 2】特表 2012-524302 号公報

【特許文献 3】特開 2009-145888 号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】Propagation of ultrashort light pulses in tapered fibers and photonic crystal fibers

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0007】

従来のコンバイナでは、複数のシングルモードファイバが 1 つのマルチモードファイバに接続できるように、シングルモードファイバの先端の直径を、マルチモードファイバの直径に合わせるように細くするものであった。すなわち、複数のシングルモードファイバの束が、1 つのマルチモードファイバの入射端に収まるように、シングルモードファイバの本数および直径だけを管理していた。しかし、シングルモードファイバの先端の直径を小さくするためのテーパ形状については、これまでは特に注目されていなかった。そして、本願発明者は、シングルモードファイバのテーパ形状によって、マルチモードファイバから出力されるレーザの安定性、効率、出力、品質が低下するという課題を新たに見出した。

30

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するために、本発明のコンバイナは、それぞれが、第 1 の出射端と、第 1 の入射端と、第 1 のコアと、第 1 のコアを囲む第 1 のクラッドと、を有する複数のシングルモードファイバを有する。第 2 の出射端と、第 2 の入射端とを有するマルチモードファイバを有する。第 1 の出射端と第 2 の入射端とが接続部において接続されている。第 1 のコアは、第 1 の直径 R_1 および第 1 の屈折率 n_1 であり、第 1 のクラッドは、第 2 の直径 R_2 および第 2 の屈折率 n_2 である。第 1 の直径に対する前記第 2 の直径の比率を S ($= R_2 / R_1$) とする。第 1 の入射端に、波長 λ の光が入射される。複数のシングルモードファイバのそれぞれは、第 1 の出射端側に、第 1 の出射端側に近づくにつれて第 1 のコアの直径および第 1 のクラッドの直径が減少するテーパ領域を有する。テーパ領域には、第 1 のコアの半径 $r(z)$ が以下の数 1 を満たす基準点が存在する。

40

【0009】

【数 1】

$$\sqrt{\frac{2}{\ln S}} \left\{ 1 + \frac{0.26}{\ln S} \right\}^{-\frac{1}{2}} = \frac{2\pi r(z)}{\lambda} \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (\text{数 1})$$

【0010】

基準点と第 1 の出射端との距離は、第 1 の出射端における第 1 のクラッドの直径の 80 倍以下である。

【0011】

50

本発明のコンバイナの製造方法は、挿入工程と、延伸工程と、切断工程と、接続工程とを有する。挿入工程は、第1のコアと、第1のコアを囲む第1のクラッドと、を有する複数のシングルモードファイバを、両端が開口した筒状のキャピラリに挿入する工程である。延伸工程は、キャピラリの中央部とキャピラリの内部に位置する複数のシングルモードファイバとを延伸する工程である。切断工程は、キャピラリおよび複数のシングルモードファイバを第1の出射端で切断する工程である。接続工程は、第1の出射端にマルチモードファイバの第2の入射端を接続する工程である。第1のコアは、第1の直径R1および第1の屈折率n1であり、第1のクラッドは、第2の直径R2および第2の屈折率n2である。第1の直径に対する前記第2の直径の比率をS(=R2/R1)とする。第1の入射端に、波長λの光が入射される。複数のシングルモードファイバのそれぞれは、第1の出射端側に、第1の出射端側に近づくにつれて第1のコアの直径および第1のクラッドの直径が減少するテーパ領域を有する。テーパ領域には、第1のコアの半径r(z)が以下の数1を満たす基準点が存在する。

【0012】

【数2】

$$\sqrt{\frac{2}{\ln S} \left\{ 1 + \frac{0.26}{\ln S} \right\}^{-\frac{1}{2}}} = \frac{2\pi r(z)}{\lambda} \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (\text{数1})$$

【0013】

切断工程では、基準点と第1の出射端との距離が、第1の出射端における第1のクラッドの直径の80倍以下になるように第1の出射端で切断する。

【発明の効果】

【0014】

以上のように、本発明のコンバイナは、シングルモードファイバのテーパ形状を規定することにより、安定し、効率よく、高出力で、高品質なレーザを出力できる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、本実施の形態のコンバイナの概念図であり、(a)はコンバイナの全体図、(b)は(a)のIb-Ib線における断面図、(c)は(a)のIc-Ic線における断面図、(d)は(a)のId-Id線における断面図である。

【図2】図2は、本実施の形態のコンバイナにおけるシングルモードファイバの出射端付近の拡大図であり、(a)はシングルモードファイバの出射端付近の全体図、(b)は(a)のIIb-IIb線における断面図、(c)は(a)のIIc-IIc線における断面図である。

【図3】図3は、シングルモードファイバの出射端から出力されるレーザの測定結果を示す図である。

【図4】図4は、本実施の形態のコンバイナの製造方法を示すフローチャート図である。

【図5】図5の(a)~(c)は、本実施の形態のコンバイナの製造方法を示す工程図である。

【図6】図6は、従来のコンバイナを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

(実施の形態)

図1(a)は、本実施の形態におけるコンバイナの全体図である。図1(b)は、図1(a)のIb-Ib線における断面図である。図1(c)は、図1(a)のIc-Ic線における断面図である。図1(d)は、図1(a)のId-Id線における断面図である。

【0017】

図1(a)に示すように、本実施の形態のコンバイナは、複数のシングルモードファイバ1と、マルチモードファイバ2と、キャピラリ3とを有する。

【0018】

シングルモードファイバ１は、レーザが入射される入射端（第１の入射端、図示せず）と、内部を伝播したレーザが出射される出射端（第１の出射端）とを有する。シングルモードファイバ１の入射端には、レーザ発振器（図示せず）から出射されたレーザが入射される。

【００１９】

また、図１（ｂ）に示すように、シングルモードファイバ１はシングルクラッド構造の石英ガラスファイバであり、中心のコア１１（第１のコア）と、コア１１の周囲に形成されたクラッド１２（第１のクラッド）と、ファイバ被覆とを有する。シングルモードファイバ１のファイバ被覆は、キャピラリ３内部およびキャピラリ３近傍では除去されている。コア１１の屈折率 n_1 （第１の屈折率）は、クラッド１２の屈折率 n_2 （第２の屈折率）よりも高く、これにより、シングルモードファイバ１を伝播するレーザをコア１１に閉じ込める効果を有する。本実施の形態では、例えば、コア１１の屈折率 n_1 は１．４８１、コア１１の直径 R_1 は８．２ μm 、クラッド１２の屈折率 n_2 は１．４７５、クラッド１２の直径 R_2 は１２５ μm である。第１の直径に対する前記第２の直径の比率を S （＝ R_2/R_1 ）とする。なお、図１（ｂ）では、理解を容易にするために、コア１１の直径 R_1 は実際よりも大きく描かれている。

【００２０】

マルチモードファイバ２は、レーザが入射される入射端（第２の入射端）と、内部を伝播したレーザが出射される出射端（第２の出射端、図示せず）とを有する。マルチモードファイバ２の入射端は、複数のシングルモードファイバ１の出射端に接続され、複数のシングルモードファイバ１からのレーザが入射される。複数のシングルモードファイバ１の出射端とマルチモードファイバ２の入射端とは接続部において融着されており、光学的に接続されて、コンバイナを構成する。

【００２１】

図１（ｄ）に示すように、マルチモードファイバ２は、シングルクラッド構造の石英ガラスファイバであり、中心のコア２１（第２のコア）と、コア２１の周囲に形成されたクラッド２２（第２のクラッド）と、ファイバ被覆とを有する。マルチモードファイバ２のファイバ被覆は、マルチモードファイバ２の入射端近傍では除去されている。コア２１の屈折率 n_3 （第３の屈折率）は、クラッド２２の屈折率 n_4 （第４の屈折率）よりも高く、これにより、マルチモードファイバ２を伝播するレーザをコア２１に閉じ込める効果を有する。本実施の形態では、例えば、コア２１の直径は１２５ μm 、クラッド２２の直径は１４０ μm 、開口数（ NA ）は０．２２である。開口数 NA とは、 $\sqrt{(n_3^2 - n_4^2)}$ で表される。

【００２２】

キャピラリ３は、入射開口端３１と、出射開口端３２とを有し、入射開口端３１の径は出射開口端３２の径よりも大きい筒形状である。キャピラリ３は石英でできており、キャピラリ３の屈折率はシングルモードファイバ１のクラッド１２の屈折率 n_2 と等しい。本実施の形態では、キャピラリ３の屈折率は１．４７５、入射開口端３１の内径は７００ μm 、入射開口端３１の外径は８００ μm である。キャピラリ３の出射開口端３２は、シングルモードファイバ１の出射端と面一である。

【００２３】

図１（ｂ）は、図１（ａ）のⅠｂ－Ⅰｂ線の断面図である。キャピラリ３の入射開口端３１付近では、ファイバ被覆が除去された１９本のシングルモードファイバ１がキャピラリ３の内径に挿入されている。本実施の形態では、キャピラリ３の内径が７００ μm であり、シングルモードファイバ１のクラッド１２の直径が１２５ μm である。１９本のシングルモードファイバ１を密に束ねると、キャピラリ３の内径の直径方向では、図１（ｂ）に示すように、５本のシングルモードファイバ１が並び、直径の和は６２５ μm である。キャピラリ３の内径が７００ μm であるから、１９本のシングルモードファイバ１に余裕を持って挿入できる。

【００２４】

図 1 (c) は、図 1 (a) の I c - I c 線の断面図である。図 1 (c) に示すように、キャピラリ 3 の出射開口端 3 2 付近では、キャピラリ 3 の入射開口端 3 1 付近に比べて、19 本のシングルモードファイバ 1 の直径とキャピラリ 3 の直径が縮小されている。すなわち、シングルモードファイバ 1 は、出射端付近（キャピラリ 3 の内部）において、テーパ形状で細くなっている。このテーパ形状については、後で詳細に説明する。

【 0 0 2 5 】

図 1 (d) は、図 1 (a) の I d - I d 線の断面図である。図 1 (d) に示すように、ファイバ被覆が除去されたマルチモードファイバ 2 だけが存在している。

【 0 0 2 6 】

次に、図 2 および図 3 を用いて、シングルモードファイバ 1 の出射端の構造およびシングルモードファイバ 1 の出射端から出力されるレーザについて説明する。図 2 は、1 本のシングルモードファイバ 1 の出射端付近の拡大図である。図 3 は、シングルモードファイバ 1 の出射端から出力されるレーザの測定結果を示す図である。図 3 は、中心ポートにのみシングルモード光を入射した場合の近視野像である。

【 0 0 2 7 】

図 2 (a) に示すように、シングルモードファイバ 1 は、コア 1 1 の直径とクラッド 1 2 の直径とは、同じ割合で小さくなっている。シングルモードファイバ 1 に入射する光の波長を λ 、クラッド 1 2 の直径をコア 1 1 の直径で除した値を S （第 1 の直径に対する前記第 2 の直径の比率）とし、シングルモードファイバ 1 のコア 1 1 の半径を $r(z)$ 、コア 1 1 の屈折率 n_1 、クラッド 1 2 の屈折率 n_2 とする。コア 1 1 の半径 $r(z)$ は、シングルモードファイバ 1 に沿い、出射端側を正とする Z 軸を定めると、 z の関数であらわされる。

【 0 0 2 8 】

本実施の形態では、前述したように、 $S = 15.2 (125 \mu\text{m} / 8.2 \mu\text{m})$ 、 $n_1 = 1.475$ 、 $n_2 = 1.481$ とし、シングルモードファイバ 1 に入射する光の波長を $\lambda = 1064 \text{ nm}$ とし、以下の数 1 を計算すると、コア 1 1 の半径 $r(z)$ は $1.04 \mu\text{m}$ となる。

【 0 0 2 9 】

【 数 3 】

$$\sqrt{\frac{2}{\ln S} \left\{ 1 + \frac{0.26}{\ln S} \right\}^{-\frac{1}{2}}} = \frac{2\pi r(z)}{\lambda} \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (\text{数 1})$$

【 0 0 3 0 】

コア 1 1 の半径が $1.04 \mu\text{m}$ の箇所を、図 2 に示す基準点 O とし、この基準点 O を Z 軸の原点とする。すなわち、 $r(0) = 1.04 \mu\text{m}$ である。図 2 (b) は、図 2 (a) の I I b - I I b 線における断面図、言い換えると、基準点 O ($z = 0$) における断面図である。この基準点 O では、コア 1 1 の半径が $1.04 \mu\text{m}$ なので、コア 1 1 の直径は $2.08 \mu\text{m}$ 、クラッド 1 2 の直径は、 $31.6 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 3 1 】

また、シングルモードファイバ 1 の出射端は、コア 2 1 の直径が $125 \mu\text{m}$ であるマルチモードファイバ 2 の入射端に接続される。図 1 (c) に示すように、キャピラリ 3 の内径の直径方向では 5 本のシングルモードファイバ 1 が並ぶので、1 本のシングルモードファイバ 1 のクラッド 1 2 の直径は $25 \mu\text{m}$ 以下にしなければならない。図 2 (c) は、図 2 (a) の I I c - I I c 線における断面図、言い換えると、シングルモードファイバ 1 の出射端 ($z = z_L$) における断面図である。

【 0 0 3 2 】

次に、19 本のシングルモードファイバ 1 の中心の 1 本のみレーザを入射し、基準点 O から出射端までの距離 z_L (mm) とし、シングルモードファイバ 1 から出射されるレーザの像を確認した。 $z_L = 1.42$ 、 $z_L = 1.81$ 、 $z_L = 2.00$ 、 $z_L = 2.36$ 、 $z_L = 2.51$ 、 $z_L = 2.85$ 、 $z_L = 3.82$ 、 $z_L = 4.28$ の場合の結果を図 3 に示す。

10

20

30

40

50

【0033】

図3に示すように、 $z_L = 2.00$ 以下では、レーザを入射した中心のシングルモードファイバ1から、隣接するファイバへの顕著なレーザの漏れは確認されなかった。しかし、 $z_L = 2.36$ 以上になると、レーザを入射した中心のシングルモードファイバ1から隣接するファイバへのレーザの漏れが確認された。すなわち、シングルモードファイバ1の出射端の直径が同じであっても、基準点Oから出射端までの距離 z_L が所定の値よりも大きくなるにつれて、シングルモードファイバ1からのレーザの漏れが顕著になっていくことがわかる。

【0034】

レーザの漏れの原理とそれによる弊害について、以下に説明する。

10

【0035】

シングルモードファイバ1に入射されたレーザは、コア11に閉じ込められて出射端に向かって伝播する。コア11内のレーザは z 軸方向に伝播するが、テーパ部においては、コア11の直径は徐々に小さくなっている。基準点Oを通過してからは、特にコア11の閉じ込め効果が小さくなり、レーザはコア11からクラッド12への漏れ出しが顕著になり始める。基準点Oからシングルモードファイバ1の出射端までの距離が長いと、漏れ出すレーザの量も多くなる。

【0036】

さらに、シングルモードファイバ1のコア11からのレーザの漏れ出しについて、詳細に説明する。基準点Oを通過したレーザは、拡がるようにコア11から漏れ出し始める。そして、コア11から漏れ出したレーザが隣接するシングルモードファイバ1に達すると、図3に示すように、レーザが入射されていない、隣接するシングルモードファイバ1からも出射される。すなわち、本実施の形態の場合では、クラッド12の直径が $25\mu\text{m}$ であるため、レーザは、基準点Oから 2.00mm 進むと、幅 $25\mu\text{m}$ に拡がっていることがわかる。すなわち、基準点Oを通過したレーザの拡がりの全角 θ は、 $\tan\theta = 0.0125$ であることが分かる。言い換えると、漏れ出したレーザ光は、基準点Oから、出射端のクラッド12の直径の約80倍の距離だけ進むと、隣接するシングルモードファイバ1へ漏れることになる。このレーザの漏れが、外周に位置するシングルモードファイバ1で発生すると、キャピラリ3に漏れ出すことになる。これにより、マルチモードファイバ2へのレーザの入射が不安定になり、出力や品質が低下するのである。

20

30

【0037】

以上のことから、シングルモードファイバ1のテーパ部の構造は、クラッド12の直径が $31.6\mu\text{m}$ である基準点Oから、クラッド12の直径が $25\mu\text{m}$ 以下である出射端までの距離 z_L が 2.00mm 以下であることが望ましい。言い換えると、基準点Oからシングルモードファイバ1の出射端までの距離 z_L は、出射端のクラッド12の直径の80倍以下であることが望ましい。また、基準点Oからシングルモードファイバ1の出射端までの距離 z_L は 1.80mm 以下であることがさらに好ましい。

【0038】

次に、本実施の形態のコンバイナの製造方法について、説明する。

【0039】

図4は、本実施の形態のコンバイナの製造方法を示すフローチャート図であり、図5は、本実施の形態のコンバイナの製造方法を示す工程図である。

40

【0040】

まず、図4のステップ1において、シングルモードファイバ1およびマルチモードファイバ2の仕様から、コンバイナの形状を求める。具体的には、シングルモードファイバ1のコア11の直径、コア11の屈折率 n_1 、クラッド12の直径、クラッドの屈折率 n_2 から、前述の数1により、基準点Oおよび基準点Oでのクラッド12の直径を求める。また、マルチモードファイバ2のコア21の直径から、マルチモードファイバ1の出射端におけるクラッド12の直径を求める。そして、これらから、基準点Oからシングルモードファイバ1の出射端までの距離を決定し、コンバイナの形状を求める。

50

【 0 0 4 1 】

次に、図 4 のステップ 2 において、複数のシングルモードファイバ 1 をキャピラリ 3 に挿入する（挿入工程）。図 5（a）は、ステップ 2 におけるシングルモードファイバ 1 とキャピラリ 3 の状態を示す工程図である。

【 0 0 4 2 】

次に、図 4 のステップ 3 において、キャピラリ 3 の両端をホールドする。

【 0 0 4 3 】

次に、図 4 のステップ 4 において、キャピラリ 3 およびキャピラリ 3 内部のシングルモードファイバ 1 を加熱し、キャピラリ 3 とシングルモードファイバ 1 の直径を縮めるようにキャピラリ 3 の両端を外側に引っ張る（延伸工程）。図 5（b）は、ステップ 4 におけるシングルモードファイバ 1 とキャピラリ 3 の状態を示す工程図である。

10

【 0 0 4 4 】

ステップ 5 において、ステップ 4 の延伸工程におけるキャピラリ 3 の形状をモニターする。コンバイナがステップ 1 で求めた形状のテーパを有するように、ステップ 4 の延伸工程を行い、所望のテーパになると、延伸工程を終了する。

【 0 0 4 5 】

次に、ステップ 6 において、コンバイナがステップ 1 で求めた形状になるように、不要な部分を切断する（切断工程）。これにより、シングルモードファイバ 1 の出射端とキャピラリ 3 が完成する。図 5（c）は、ステップ 6 におけるシングルモードファイバ 1 とキャピラリ 3 の状態を示す工程図である。

20

【 0 0 4 6 】

最後に、ステップ 7 において、マルチモードファイバ 2 の入射端をシングルモードファイバ 1 の出射端に接続し、図 1 に示すコンバイナが完成する。

【 0 0 4 7 】

以上のように、テーパ部形状をモニターしながら縮径したテーパ部を製造することにより、レーザ光源を接続することなく、より安定して効率よく高出力、高ビーム品質レーザ光を実現できるコンバイナを提供することができる。また、テーパ形状に基づき、入力ファイバ束から出射するレーザ光を推定することが可能になり、歩留まり良くコンバイナを製造することが可能になる。さらに、キャピラリ外径をテーパ部の傾き計測に用いることにより、容易にテーパ部の傾きを計測できる。

30

【産業上の利用可能性】

【 0 0 4 8 】

本発明のコンバイナ及びその製造方法は、より安定して効率よく高出力、高ビーム品質レーザ光を実現できるコンバイナを提供することができ、レーザ光を加算するコンバイナ及びその製造などに有用である。

【符号の説明】

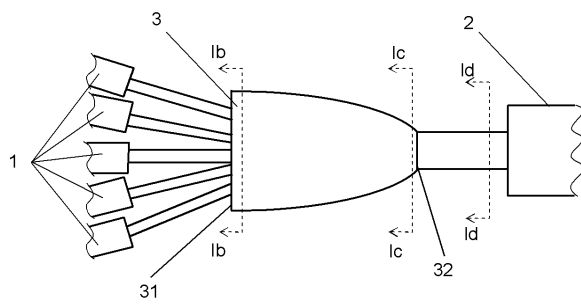
【 0 0 4 9 】

- 1, 102 シングルモードファイバ
- 2, 103 マルチモードファイバ
- 3, 104 キャピラリ
- 11, 21 コア
- 12, 22 クラッド
- 31 入射開口端
- 32 出射開口端
- 101 コンバイナ

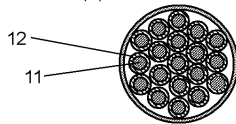
40

【図 1】

(a)



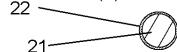
(b)



(c)

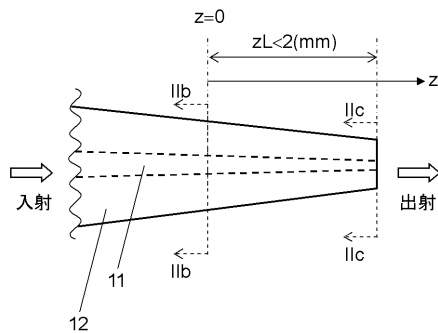


(d)



【図 2】

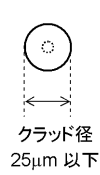
(a)



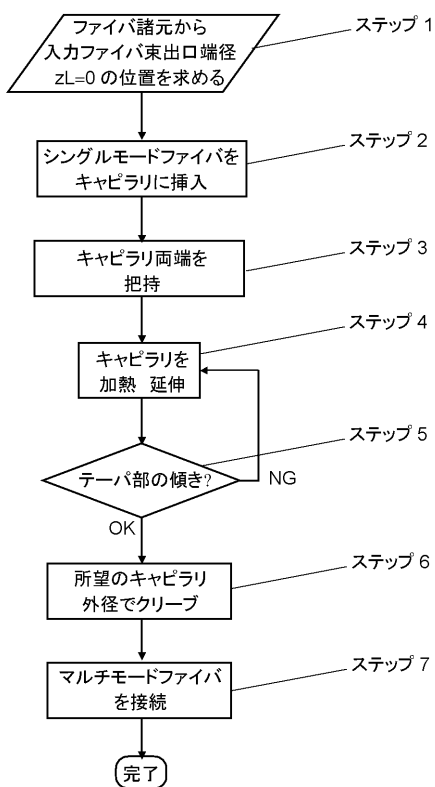
(b)



(c)

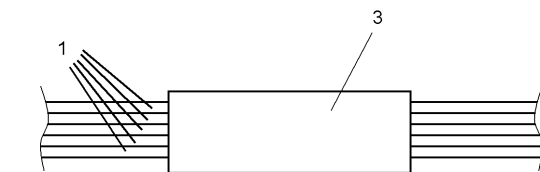


【図 4】

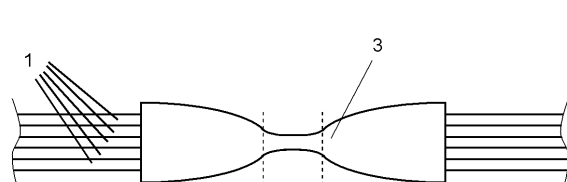


【図 5】

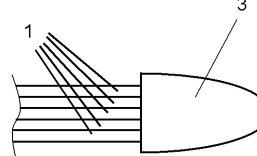
(a)



(b)

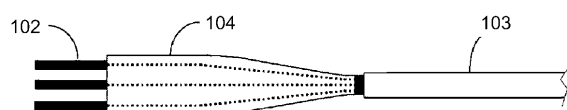


(c)

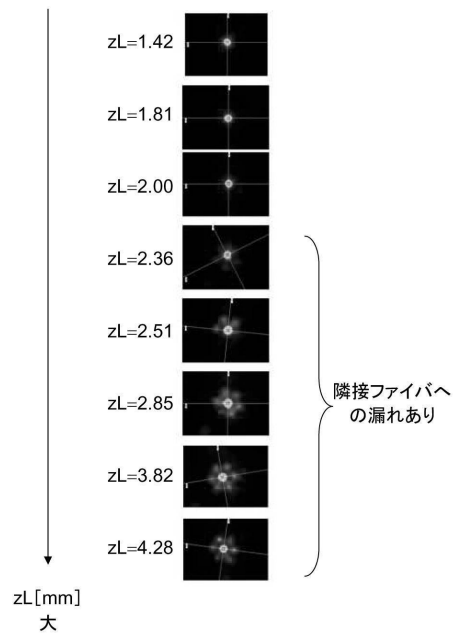


【図 6】

101



【図 3】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0111118(US,A1)
特開2009-145888(JP,A)
特開2011-186267(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0281948(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
G02B 6/00-6/54