

(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2008-277582

(P2008-277582A)

(43) 公開日 平成20年11月13日(2008.11.13)

(51) Int.Cl.

H01S	3/06	(2006.01)
G02B	6/04	(2006.01)
G02B	6/287	(2006.01)

F 1

H01S	3/06
G02B	6/04
G02B	6/28

B
C
A

テーマコード(参考)

2 H 0 4 6
5 F 1 7 2

審査請求 有 請求項の数 9 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願2007-120271 (P2007-120271)

(22) 出願日

平成19年4月27日 (2007.4.27)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成19年1月18日 レーザー学会主催の「レーザー学会学術講演会第27回年次大会」に発表

(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

100064908

弁理士 志賀 正武

(74) 代理人

100108578

弁理士 高橋 詔男

(74) 代理人

100089037

弁理士 渡邊 隆

(74) 代理人

100101465

弁理士 青山 正和

(72) 発明者

谷川 庄二

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

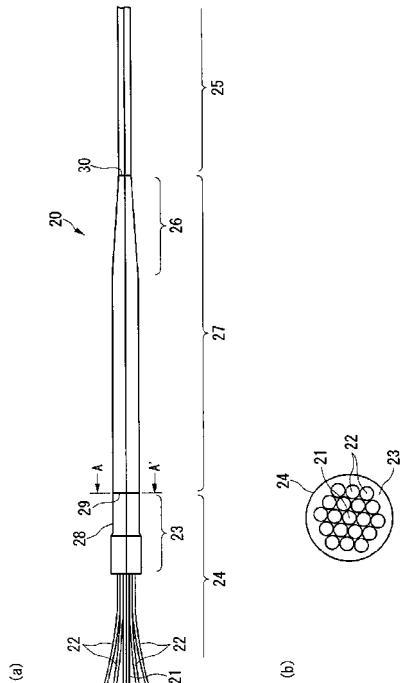
(54) 【発明の名称】光ポンピングデバイス用マルチコアファイバとその製造方法、光ポンピングデバイス、ファイバレーザ及びファイバ増幅器

(57) 【要約】

【課題】整列部材と光ファイバとを溶融一体化する際の光ファイバの変形が少なく、安価で高性能な光ポンピングデバイス用マルチコアファイバの提供。

【解決手段】整列部材に複数本の光ファイバを挿入し、加熱して一体化させてなることを特徴とする光ポンピングデバイス用マルチコアファイバにおいて、整列部材が、孔内に挿入される光ファイバの軟化温度よりも低い軟化温度を持つ材料で構成されたことを特徴とする光ポンピングデバイス用マルチコアファイバ。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

整列部材に複数本の光ファイバを挿入し、加熱して一体化させてなることを特徴とする光ポンピングデバイス用マルチコアファイバにおいて、

整列部材が、孔内に挿入される光ファイバの軟化温度よりも低い軟化温度を持つ材料で構成されたことを特徴とする光ポンピングデバイス用マルチコアファイバ。

【請求項 2】

整列部材が、フッ素を添加したシリカガラスで作られたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバ。

【請求項 3】

整列部材が多孔キャピラリであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバ。

【請求項 4】

整列部材に複数本の光ファイバを挿入し、熱的手段を用いて溶融一体化して、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバを得ることを特徴とする光ポンピングデバイス用マルチコアファイバの製造方法。

【請求項 5】

熱的手段が火炎トーチであることを特徴とする請求項 4 に記載の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバの製造方法。

【請求項 6】

熱的手段がレーザ加熱であることを特徴とする請求項 4 に記載の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバの製造方法。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバを用いたことを特徴とする光ポンピングデバイス。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の光ポンピングデバイスを用いたことを特徴とするファイバレーザ。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の光ポンピングデバイスを用いたことを特徴とするファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光増幅・光発振技術に関し、特に、励起光と信号光との結合デバイスである光ポンピングデバイスに関し、その構成部材であるマルチコアファイバとその製造方法、該マルチコアファイバを用いた光ポンピングデバイス、該光ポンピングデバイスを用いたファイバレーザ及びファイバ増幅器に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、光ポンピングデバイスとして、多孔キャピラリを用いたポンプコンバイナが提案されている（例えば、非特許文献 1 参照。）。

また、励起光と信号光との結合デバイスとしては、例えば、特許文献 1 ~ 7 に開示された技術が提案されている。

【非特許文献 1】田中、谷川、中居、酒井、姫野：「多孔キャピラリを用いた設計自由度の高いポンプコンバイナ」、2006 年信学総大、B-13-29

【特許文献 1】特開平 7-140346 号公報**【特許文献 2】特開平 6-67055 号公報****【特許文献 3】特開平 6-235841 号公報****【特許文献 4】米国特許第 5268979 号明細書****【特許文献 5】米国特許第 5339372 号明細書****【特許文献 6】米国特許第 7016573 号明細書**

10

20

30

40

50

【特許文献 7】米国特許第 5 1 2 9 0 2 1 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、前述した従来技術には、次のような問題があった。

非特許文献 1 に開示された多孔キャピラリ（整列部材）は、挿入する光ファイバの構成材料と同じく、実質的にほぼ純粋なシリカから作られたものであって、整列部材の軟化温度は考慮されていない。

挿入される光ファイバの軟化温度と整列部材の軟化温度とが同じか、もしくは整列部材の方が高い場合、加熱による溶融一体化時に、整列部材とほぼ同時、もしくは整列部材よりも早く光ファイバが軟らかくなることにより、

（A）挿入ファイバの断面形状の変形、

（B）挿入ファイバの曲がり、

が引き起こされる。それにより、

（1）励起光を導光するファイバの開口数（NA）が実質的に大きくなり、マルチコアファイバとプリッジファイバやその下流にあたるダブルクラッドファイバとの接続損失が大きくなる、

（2）挿入ファイバが、曲がった状態で溶融一体化されてしまうため、この曲がりを起因とする信号光や励起光の損失が発生する（もしくは大きくなる）、

という問題がある。したがって、非特許文献 1 に開示されたシリカ製の多孔キャピラリは、前記（1）、（2）の問題を有している。

【0004】

特許文献 1～5 に開示されたデバイスは、いずれも整列部材が多孔構造ではない。

【0005】

特許文献 6 に開示されたデバイスは、単孔のキャピラリに光ファイバを詰める方式であり、多孔構造の整列部材は開示されていない。また、特許文献 6 には、材料の軟化温度などに関して記載されていない。

【0006】

特許文献 7 に開示されたデバイスは、軟化温度を意識した設計にはなっていない。また、キャピラリ自体を延伸してカップリングさせる構造であり、別途プリッジファイバを延伸したものを介して希土類添加コアを有するダブルクラッドファイバと接続するタイプのマルチコアファイバではない。

【0007】

本発明は前記事情に鑑みてなされ、整列部材と光ファイバとを溶融一体化する際の光ファイバの変形が少なく、安価で高性能なマルチコアファイバの提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

前記目的を達成するため、本発明は、整列部材に複数本の光ファイバを挿入し、加熱して一体化させてなることを特徴とする光ポンピングデバイス用マルチコアファイバにおいて、整列部材が、孔内に挿入される光ファイバの軟化温度よりも低い軟化温度を持つ材料で構成されたことを特徴とする光ポンピングデバイス用マルチコアファイバを提供する。

【0009】

本発明の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバにおいて、整列部材が、フッ素を添加したシリカガラスで作られたものであることが好ましい。

【0010】

本発明の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバにおいて、整列部材が多孔キャピラリであることが好ましい。

【0011】

また本発明は、整列部材に複数本の光ファイバを挿入し、熱的手段を用いて溶融一体化して、前記本発明に係る光ポンピングデバイス用マルチコアファイバを得ることを特徴と

10

20

30

40

50

する光ポンピングデバイス用マルチコアファイバの製造方法を提供する。

【0012】

本発明の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバの製造方法において、熱的手段が火炎トーチであることが好ましい。

【0013】

本発明の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバの製造方法において、熱的手段がレーザ加熱であることが好ましい。

【0014】

また本発明は、前述した本発明に係る光ポンピングデバイス用マルチコアファイバを用いたことを特徴とする光ポンピングデバイスを提供する。

10

【0015】

また本発明は、前述した本発明に係る光ポンピングデバイスを用いたことを特徴とするファイバレーザを提供する。

【0016】

また本発明は、前述した本発明に係る光ポンピングデバイスを用いたことを特徴とするファイバ増幅器を提供する。

【発明の効果】

【0017】

本発明の光ポンピングデバイス用マルチコアファイバ（以下、マルチコアファイバと記す。）は、整列部材として光ファイバよりも軟化点の低い材料を用いたものなので、整列部材に光ファイバを挿入して両者を加熱し、溶融一体化する際に、整列部材が光ファイバよりも先に変形することで、光ファイバの変形が防止でき、その結果、

- 1) 光ファイバの非円発生を防ぐことにより励起光損失が低減できる、
2) 光ファイバの曲がりの発生を防ぐことにより信号光／励起光の損失が低減できる、
3) これらの効果により、マルチコアファイバの歩留まりが向上できる。

20

従って、本発明によれば安価で高性能なマルチコアファイバを提供できる。

【0018】

本発明のマルチコアファイバにおいて、フッ素添加シリカガラスで整列部材を作製することにより、軟化温度を大幅に低下させることができ、製造が容易になるので、フッ素添加シリカガラスは本発明において用いる整列部材の材料として特に好ましい。フッ素添加シリカガラス製の整列部材を用いることで、整列部材の製造が安価且つ高歩留まりで可能となる。

30

また、フッ素添加シリカガラス製の整列部材を用いることで、整列部材の部分が光ファイバを構成するシリカガラスよりも屈折率が低くなるので、マルチコアファイバの導波構造が最適化できる。

本発明のマルチコアファイバにおいて、整列部材として多孔キャピラリを用いることで、製造し易くなり、安価な整列部材を提供できる。

【0019】

本発明のマルチコアファイバの製造方法は、整列部材に複数本の光ファイバを挿入し、熱的手段を用いて溶融一体化してマルチコアファイバを得る方法であるので、安価で高性能なマルチコアファイバを製造することができる。

40

本発明の製造方法において、熱的手段として火炎トーチを用いる場合には、製造設備が簡単となる。また、局所加熱が可能となる。また、火炎を制御し易くなる。

本発明の製造方法において、熱的手段としてレーザ加熱を用いる場合には、局所加熱に優れ、制御性が高い。

【0020】

本発明の光ポンピングデバイスは、前述した通り、挿入損失の低い、安価なマルチコアファイバを使用するので、安価で高性能な光ポンピングデバイスを提供することができる。

本発明のファイバレーザは、前記の通り安価で高性能な光ポンピングデバイスを使用す

50

るので、安価で高性能なファイバレーザを提供することができる。

本発明のファイバレーザは、前記の通り安価で高性能な光ポンピングデバイスを使用するので、安価で高性能なファイバレーザを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

図1は、本発明に係る光ポンピングデバイスの一実施形態を示す図であり、図1(a)は光ポンピングデバイス20の側面図、(b)は(a)中のA-A'部断面図である。本実施形態の光ポンピングデバイス20は、入射ポートとして、信号光用光ファイバの先端部である信号ポート21及び励起光用光ファイバの先端部である複数本の励起ポート22を、これら光ファイバよりも軟化温度が低いガラスからなる多孔キャピラリ23に挿入し、空隙部分を収縮させて形成されたマルチコアファイバ24と、光ポンピング用の希土類添加コアを有するダブルクラッドファイバ25とを、テープ部26を有するダブルクラッドファイバからなるブリッジファイバ27を介して接続して構成されている。

10

【0022】

前記マルチコアファイバ24は、入射ポート(信号ポート21及び複数本の励起ポート22)が立体的に整列されるように配置された多数の細孔を有する光ファイバよりも軟化温度が低いガラスからなる整列部材である多孔キャピラリ23に信号ポート21と複数本の励起ポート22を挿入し、その一部を加熱することによって空隙部分を収縮させ、一体化した収縮部28を形成した構造になっている。

20

【0023】

図1(b)の例示において、円筒状をなす多孔キャピラリ23には、ポート挿入用の細孔が19本密集した状態で形成されている。そして、この多孔キャピラリ23の細孔には、中心に信号ポート21を挿入し、その周囲に1層目が6本、2層目が12本の計18本の励起ポート22を挿入し、収縮部28において多孔キャピラリ23と各入射ポートとが一体化された構造になっている。なお、図示していないが、各励起ポート22の他端側は、レーザダイオード(LD)などの励起光源の出射端に接続され、該励起光源からの特定波長の励起光をこの光ポンピングデバイス20に向けて伝播できるようになっている。

【0024】

前記多孔キャピラリ23は、シリカガラスにフッ素、リン、硼素、ゲルマニウム、アルミニウム、塩素からなる群から選択される1種又は2種以上の元素を添加(リン、硼素、ゲルマニウム及びアルミニウムは酸化物としてシリカガラス中に存在する)した材料から作製でき、その中でも特に、フッ素添加シリカガラスが好ましい。フッ素添加シリカガラスで整列部材を作製することにより、軟化温度を大幅に低下させることができ、製造が容易になる。フッ素添加シリカガラス製の多孔キャピラリ23を用いることで、製造が安価且つ高歩留まりで可能となる。また、フッ素添加シリカガラス製の多孔キャピラリ23を用いることで、多孔キャピラリ23の部分が光ファイバを構成するシリカガラスよりも屈折率が低くなるので、マルチコアファイバの導波構造が最適化できる。

30

【0025】

多孔キャピラリ23の孔数は任意であるが、実質的には3以上100以下である。

40

【0026】

この多孔キャピラリ23の孔内に挿入する光ファイバである信号ポート21と複数本の励起ポート22のうち、信号ポート21用の光ファイバは、コア径が4.5~30μm程度のものが好ましい。また、励起ポート22用の光ファイバは、コア径が50~110μmのものが好ましい。

【0027】

この多孔キャピラリ23の製造方法は、前記フッ素添加シリカガラス等の軟化点の低いガラス製の多孔キャピラリ23の孔内に複数本の光ファイバ(信号ポート21と複数本の励起ポート22)を挿入し、熱的手段を用いて溶融一体化する方法を用いることができる。この方法によって、安価で高性能なマルチコアファイバ24を製造することができる。

50

【0028】

前記熱的手段としては、酸水素バーナ、アセチレンバーナ等の火炎トーチ、電熱コイル、CO₂レーザ等のレーザ加熱を用いることができ、これらの中でも、火炎トーチ又はレーザ加熱が好ましい。

本発明の製造方法において、熱的手段として火炎トーチを用いる場合には、製造設備が簡単となる。また、局所加熱が可能となる。また、火炎を制御し易くなる。

本発明の製造方法において、熱的手段としてレーザ加熱を用いる場合には、局所加熱に優れ、制御性が高い。

【0029】

前記製造方法によって得られるマルチコアファイバ24の外径は、孔数（励起ポート22の挿入本数）にもよるが、通常は400～2000μm程度とされる。

10

【0030】

前記ブリッジファイバ27は、マルチコアファイバ24を伝播した光を光ポンピング用のダブルクラッドファイバ25に効率よく伝播できればよく、例えば、マルチコアファイバ24の先端面と同等の外径を有するダブルクラッドファイバなどが用いられる。このブリッジファイバ27に形成されたテーパ部26は、ブリッジファイバ27の一端側を加熱延伸してファイバ外径を漸次縮小することによって形成される。テーパ部26の端面外径は、これと接続するダブルクラッドファイバ25の外径と等しくすることが望ましい。

【0031】

マルチコアファイバ24とブリッジファイバ27との接続点29、ブリッジファイバ27とダブルクラッドファイバ25との接続点30は、長期の機械的信頼性を確保するため、それぞれ融着接続により接続している。これにより、接続部に反射防止膜等が不要になり、製造工数低減を図れるとともに、ハイパワー光に対する耐性を向上させることができる。さらに、経時変化の少ない安定した光学特性が得られる。各接続点29, 30の融着接続に用いる熱源としては、アーク放電、CO₂レーザ、酸水素炎等が挙げられる。

20

【0032】

本実施形態の光ポンピングデバイス20は、マルチコアファイバ24の複数の励起ポート22を通して励起光をブリッジファイバ27を介してダブルクラッドファイバ25に入射し、このダブルクラッドファイバ25のコアに添加された希土類元素イオンを励起させておき、信号ポート21から信号光が入射されるとダブルクラッドファイバ25において光ポンピングが起こり、ダブルクラッドファイバ25の図示しない他端（出射端）側から増幅された光が出射される。この光ポンピングデバイス20は、ファイバ増幅器（ファイバアンプ）やファイバレーザなどに適用でき、特に、多数本の励起ポート22からの励起光を効率よく光ポンピング用のダブルクラッドファイバ25に入射することができるので、高倍率の光増幅が可能なファイバ増幅器や高パワーファイバレーザを提供することができる。

30

【0033】

本実施形態の光ポンピングデバイス20は、入射ポート（信号ポート21及び複数本の励起ポート22）の先端部を多孔キャピラリ23によってまとめたマルチコアファイバ24と、光ポンピング用のダブルクラッドファイバ25とを、テーパ部26を有するブリッジファイバ27を介して接続したものなので、各入射ポートの立体的整列が容易になり、入射ポートを変形させずに接続できるため、信号光と励起光を効率よく光ポンピング用のダブルクラッドファイバ25に結合させることができる。

40

【0034】

本実施形態では、入射ポート（信号ポート21及び複数本の励起ポート22）を容易に一体化するために、多孔キャピラリ23を使用し、それぞれのポートとして光ファイバを多孔キャピラリ23の個別に開いた細孔に挿入した後、端部付近を加熱し、多孔キャピラリ23の細孔と各入射ポート間に存在する空隙の分だけ収縮させて一体化してマルチコアファイバ24を形成した。これにより、複数本の光ファイバを立体的に整列させることができた。さらに、光ファイバよりも軟化点の低い材料で多孔キャピラリ23を作製

50

しているので、多孔キャピラリ 23 に光ファイバを挿入して両者を加熱し、溶融一体化する際に、多孔キャピラリ 23 が光ファイバよりも先に変形するよりも先に変形することと、光ファイバの変形を防止でき、その結果、

- 1) 光ファイバの非円発生を防ぐことにより励起光損失が低減できる、
- 2) 光ファイバの曲がりの発生を防ぐことにより信号光 / 励起光の損失が低減できる、
- 3) これらの効果により、マルチコアファイバの歩留まりが向上できる。

従って、この多孔キャピラリ 23 を使用することにより、安価で高性能なマルチコアファイバを提供できる。

【0035】

このような多孔キャピラリ 23 を用いて入射ポートを一体化する構造を採用すれば、多孔キャピラリ 23 に形成する細孔の本数や配置を適宜設定することで、将来的な励起ポートの増加要求にも容易に対応でき、また収縮・一体化の際にも励起ポートの変形を抑えることができる。さらに、ブリッジファイバ 27 のプロファイル、例えば、クラッド外径、コア直径、テーパ部長さ、テーパ部外径、モードフィールド径、比屈折率差などを別途最適化できることから、励起ポート 22 の増加要求などにも比較的容易に対応可能である。

【0036】

さらに、多孔キャピラリを用いる利点を述べる。従来技術においては、励起ポートの取りうる配置は、励起ポート光ファイバの最密充填構造しか取り得ない。そのため、励起ポート数が 6 個以内の場合には励起光を効率よくクラッドポンピングファイバに注入できる。しかしながら、励起ポート数が 7 個を超えると、その最密充填構造が災いし、18 ポート構造と同等の構造にならざるを得ない。さらに、前述のように、18 ポート構造は励起ポートの変形が大きく、製造上の困難も伴う。

【0037】

一方、本発明による光ポンピングデバイス 20 は、多孔キャピラリ 23 を用いたマルチコアファイバ 24 を採用し、その多孔構造を適切に設計することにより、いかなるポート数の励起構造でも実現することができる。図 2 に、本発明に係る多孔キャピラリを用いたマルチコアファイバの励起ポート配置構造を例示する。図 2 中、符号 40A ~ 40F はマルチコアファイバ、41A ~ 41F は多孔キャピラリ、42 は信号ポート、43 は信号ポートコア、44 は信号ポートクラッド、45 は励起ポート、46 は励起ポートコア、47 は励起ポートクラッドである。また、図 2 の例示において、信号ポート 42 にはシングルモード光ファイバが用いられ、励起ポート 45 にはマルチモード光ファイバが用いられている。

【0038】

図 2 (a) に示すマルチコアファイバ 40A は、最密充填構造を持った 19 穴の多孔キャピラリ 41A を用い、中央の穴に信号ポート 42 が挿入され、その周囲の 1 層目 6 個と 2 層目 12 個の合計 18 個の穴に励起ポート 45 が挿入された励起ポート配置構造を有している。

【0039】

図 2 (b) に示すマルチコアファイバ 40B は、中央に 1 個、その周囲に少し離れて 8 個の穴が設けられた 9 穴の多孔キャピラリ 41B を用い、中央の穴に信号ポート 42 が挿入され、その周囲の 8 個の穴に励起ポート 45 が挿入された励起ポート配置構造を有している。

【0040】

図 2 (c) に示すマルチコアファイバ 40C は、中央に 1 個、その周囲に隣接して 1 層目 4 個、中央からやや離れて 2 層目 4 個の穴が設けられた 9 穴の多孔キャピラリ 41C を用い、中央の穴に信号ポート 42 が挿入され、その周囲の 1, 2 層 8 個の穴に励起ポート 45 が挿入された励起ポート配置構造を有している。

【0041】

図 2 (d) に示すマルチコアファイバ 40D は、中央に 1 個、その周囲に隣接して 1 層目 3 個、その外周に 2 層目 6 個の穴が設けられた 10 穴の多孔キャピラリ 41D を用い、

10

20

30

40

50

中央の穴に信号ポート42が挿入され、その周囲の1,2層9個の穴に励起ポート45が挿入された励起ポート配置構造を有している。

【0042】

図2(e)に示すマルチコアファイバ40Eは、中央に1個、その周囲に隣接して1層目6個、その外周に2層目6個の穴が設けられた13穴の多孔キャピラリ41Eを用い、中央の穴に信号ポート42が挿入され、その周囲の1,2層12個の穴に励起ポート45が挿入された励起ポート配置構造を有している。

【0043】

図2(f)に示すマルチコアファイバ40Fは、中央に1個、その周囲に隣接して1層目6個の穴が設けられた7穴の多孔キャピラリ41Fを用い、中央の穴に信号ポート42が挿入され、その周囲の1層6個の穴に励起ポート45が挿入された励起ポート配置構造を有している。

10

【0044】

図3は、他の配置構造を例示する図であり、本例では、中央に1個、その周囲に間隔をおいて1層9個の穴が設けられた10穴の多孔キャピラリ40Gを用い、中央の穴に信号ポート42が挿入され、その周囲の1層9個の穴に励起ポート45が挿入された励起ポート配置構造を有している。

【実施例】

【0045】

[試験1]

20

図2及び図3の励起ポート配置構造を有する実施例1～実施例12のマルチコアファイバを製造した。その詳細を表1に示す。

なお、表1中、 Δ は純粋石英ガラスの屈折率に対する多孔キャピラリ材料の非屈折率差を表す。

また励起光権円度は、マルチコアファイバ出射端面の光学顕微鏡測定により、各コアの非円度を測定することで得た。。

また励起光挿入損失は、本マルチコアファイバを用いて作製した光ポンピングデバイスの入射光量と出射光量を測定し、その比から得た。。

また信号光一体化前後損失増加は、一体化工程において信号ポートの透過光量の経時変化をモニタし、一体化前後の光量の変化から得た。

30

【0046】

【表1】

実施例	整列部材	材料(組成)	孔数	配置	挿入ファイバ (励起)	挿入ファイバ (信号)	加熱加工方法	流量/時間	外径	励起光 棒円度	励起光棒入射失 敗率	信号光一体化前 →曲がりが影響
1	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	19	図2(a)	105umコア 125umクラッド NA=0.15	6umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素500cc/min 水素80cc/min 加工時間 約1min	980um	最大10%	全ポート平均 0.25dB	0.8dB
2	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	19	図2(a)	105umコア 125umクラッド NA=0.15	4.5umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素500cc/min 水素80cc/min 加工時間 約1min	940um	最大11%	全ポート平均 0.18dB	0.4dB
3	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	19	図2(a)	105umコア 125umクラッド NA=0.15	6umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素500cc/min 水素80cc/min 加工時間 約1min	940um	最大4%	全ポート平均 0.22dB	0.6dB
4	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	10	図3	105umコア 125umクラッド NA=0.15	4.5umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素500cc/min 水素80cc/min 加工時間 約25秒	740um	最大6%	全ポート平均 0.10dB	1.1dB
5	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	10	図3	105umコア 125umクラッド NA=0.22	5umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素300cc/min 水素40cc/min 加工時間 約1min	680um	最大2%	全ポート平均 0.08dB	1.3dB
6	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	10	図3	105umコア 125umクラッド NA=0.15	6umコア 125umクラッド	CO2レーザ	約2分加熱	780um	最大8%	全ポート平均 0.15dB	0.3dB
7	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	9	図2(c)	105umコア 125umクラッド NA=0.15	4.5umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素300cc/min 水素40cc/min 加工時間 約1min	680um	最大7%	全ポート平均 0.11dB	0.8dB
8	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	9	図2(c)	105umコア 125umクラッド NA=0.15	6umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素300cc/min 水素40cc/min 加工時間 約1min	630um	最大4%	全ポート平均 0.12dB	0.4dB
9	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.3%程度	6	図2(f)	105umコア 125umクラッド NA=0.22	6umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素300cc/min 水素40cc/min 加工時間 約30秒	520um	最大4%	全ポート平均 0.20dB	0.3dB
10	多孔 キャビラリ	フッ素添加 光学△で-0.2%程度	10	図3	105umコア 125umクラッド NA=0.15	4.5umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素300cc/min 水素40cc/min 加工時間 約30秒	740um	最大8%	全ポート平均 0.24dB	0.9dB
11	多孔 キャビラリ	リーフフッ素添加 リーン:光学△で0.2%程度 フッ素:光学△で-0.3%程度	10	図3	105umコア 125umクラッド NA=0.15	4.5umコア 125umクラッド	CO2レーザ	約2分加熱	740um	最大7%	全ポート平均 0.30dB	0.7dB
12	多孔 キャビラリ	ゲルマーフッ素添加 フッ素:光学△で0.3%程度 フッ素:光学△で-0.5%程度	19	図2(a)	105umコア 125umクラッド NA=0.15	5umコア 125umクラッド	酸水素/バーナ	酸素200cc/min 水素15cc/min 加工時間 約1min	1040um	最大2%	全ポート平均 0.33dB	0.7dB

表1に示す通り、本発明に係る実施例1～実施例12のマルチコアファイバは、いずれの励起ポート配置構造でも、光ファイバの曲がり等の変形による影響を抑制でき、低損失で信号光と励起光を導光することができた。

【0048】

【試験2】

実施例2のマルチコアファイバの製造条件に基づいて、実施例2に記した通りフッ素添加シリカガラスを材料とした19穴の多孔キャピラリ（フッ素添加シリカキャピラリ）を用いた場合と、純粋シリカガラス製の19穴の純粋シリカキャピラリを用いた場合との、光ファイバ一体化前後の損失増加の度数分布を調べた。その結果を図4のヒストグラムに示す。

10

図4の結果から、フッ素添加シリカキャピラリを用いた場合は、純粋シリカキャピラリを用いた場合と比べ、損失増加度合が大幅に減っており、製品群として低損失化もしくは歩留まり向上が可能になることが実証された。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】本発明の光ポンピングデバイスの一実施形態を示し、(a)は光ポンピングデバイスの側面図、(b)は(a)中のA-A'部断面図である。

【図2】本発明のマルチコアファイバのファイバ配置例を例示する断面図である。

【図3】本発明のマルチコアファイバのファイバ配置例を例示する断面図である。

【図4】実施例の結果を示すヒストグラムである。

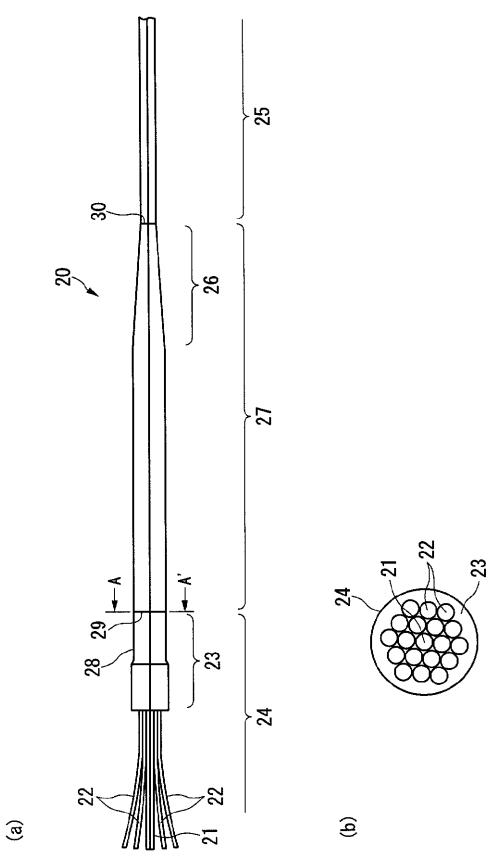
20

【符号の説明】

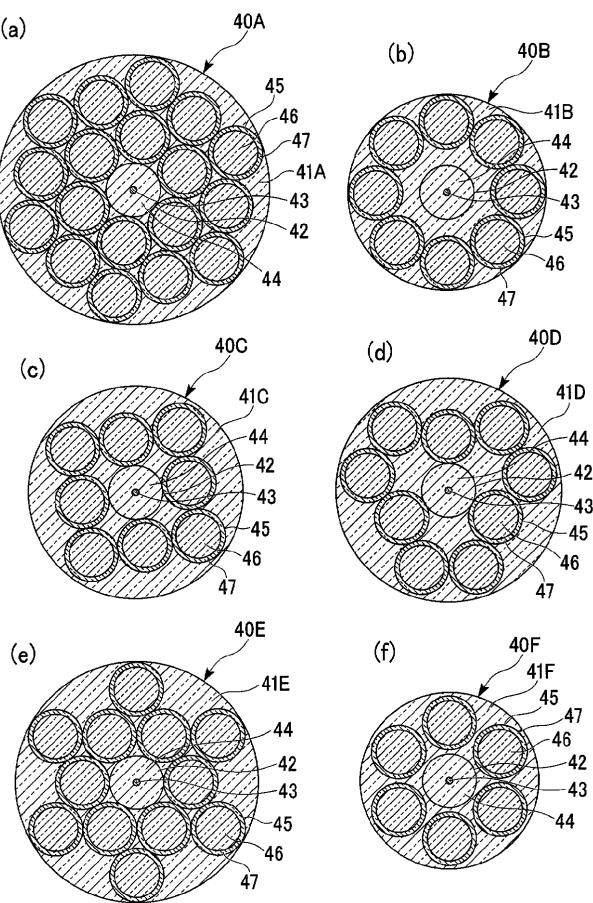
【0050】

20…光ポンピングデバイス、21…信号ポート、22…励起ポート、23…多孔キャピラリ、24…マルチコアファイバ、25…ダブルクラッドファイバ、26…テーパ部、27…ブリッジファイバ、28…収縮部、29, 30…接続点、40A, 40B, 40C, 40D, 40E, 40F, 40G…マルチコアファイバ、41A, 41B, 41C, 41D, 41E, 41F, 41G…多孔キャピラリ、42…信号ポート、43…信号ポートコア、44…信号ポートクラッド、45…励起ポート、46…励起ポートコア、47…励起ポートクラッド。

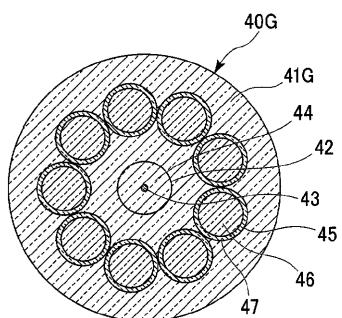
【図 1】



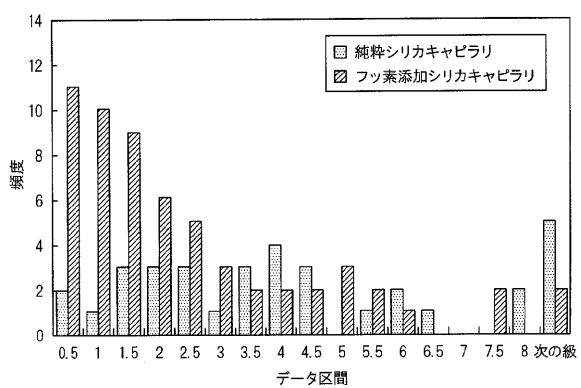
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 中居 道弘
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内
F ターム(参考) 2H046 AA39 AD22 AZ03
5F172 AE13 AE28 AM01 AM08