(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 9 月 4 日(04.09.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/132989 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/26 (2006.01) *G02B 6/255* (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01) *H01S 3/10* (2006.01)
G02B 6/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/054652

(22) 国際出願日: 2014 年 2 月 26 日(26.02.2014)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
61/769,375 2013 年 2 月 26 日(26.02.2013) US

(71) 出願人: 古河電気工業株式会社 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内２丁目２番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 渡辺 健吾 (WATANABE, Kengo); 〒1008322 東京都千代田区丸の内２丁目２番３号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 齋藤 恒聡 (SAITO, Tsunetoshi); 〒1008322 東京都千代田区丸の内２丁目２番３号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 土田 幸寛 (TSUCHIDA, Yukihiro); 〒1008322 東京都千代田区丸の内２丁目２番３号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 前田 幸一 (MAEDA, Koichi); 〒1008322 東京都千代田区丸の内２丁目２番３号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 今村 勝徳 (IMAMURA, Katsunori); 〒1008322 東京都千代田区丸の内２丁目２番３号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 井上 誠一 (INOUE, Seiichi); 〒1600005 東京都新宿区愛住町２２ 第３山田ビル７Ｆ Tokyo (JP).

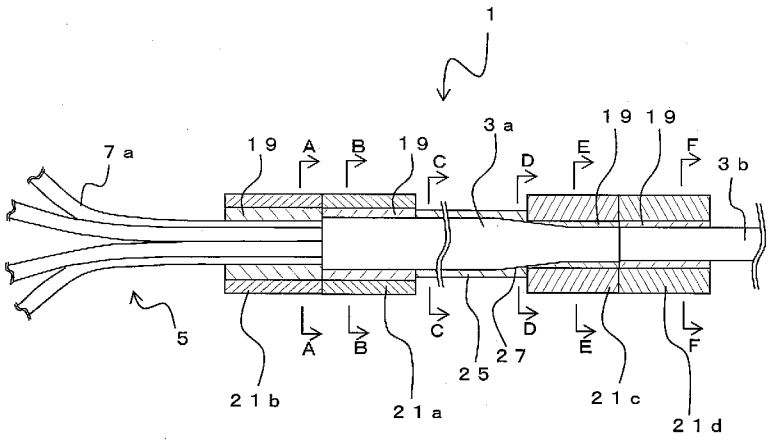
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) **Title**: CONNECTION STRUCTURE FOR MULTI-CORE FIBER AND OPTICAL-FIBER-BUNDLE STRUCTURE, CONNECTION STRUCTURE FOR MULTI-CORE FIBERS, METHOD FOR EXCITING RARE-EARTH-DOPED MULTI-CORE FIBERS, AND MULTI-CORE-OPTICAL-FIBER AMPLIFIER

(54) 発明の名称 : マルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造、マルチコアファイバ同士の接続構造、希土類添加マルチコアファイバの励起方法およびマルチコア光ファイバアンプ



(57) **Abstract**: An optical-fiber-bundle structure (5) is connected to one end of a multi-core fiber (3a). The multi-core fiber has a tapered section (27) formed therein. The outside diameter of the multi-core fiber and the core pitch thereof decrease in the tapered section. It is possible for the multi-core fiber to have an increasing core pitch on the connection-side thereof which connects to the optical-fiber-bundle structure; hence, it is possible to use an easy-to-use large-diameter core wire as the optical-fiber core wire (7a) to be provided in the optical-fiber-bundle structure. When connecting another multi-core fiber (3b) to the other end of the multi-core fiber, it is possible to match the outer diameters thereof; hence, when fusing and connecting to one another, it is unlikely for a positional shift of the cores to occur.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/132989 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

光ファイババンドル構造５は、マルチコアファイバ３ａの一方の端部と接続される。前記マルチコアファイバは、テーパ部２７が形成される。前記テーパ部では、前記マルチコアファイバの外径及びコアピッチが小さくなる。前記マルチコアファイバは、前記光ファイババンドル構造との接続部側において、コアピッチを大きくすることができるため、前記光ファイババンドル構造が具備する光ファイバ心線７ａには、外径の大きい、取扱い性に優れるものを用いることができる。また、前記マルチコアファイバの他方の端部に、他のマルチコアファイバ３ｂが接続される際に、その両者の外径を一致させることができるため、融着接続時にコアの位置ずれが起こりにくい。

明　細　書

発明の名称 ：

マルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造、マルチコアファイバ同士の接続構造、希土類添加マルチコアファイバの励起方法およびマルチコア光ファイバアンプ

技術分野

[0001] 本発明は、複数のコアを有するマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造および、マルチコアファイバ同士の接続構造に関するものである。

背景技術

[0002] 近年の光通信におけるトラフィックの急増により、現状で用いられているシングルコアの光ファイバにおいて伝送容量の限界が近づいている。そこで、さらに通信容量を拡大する手段として、一本のファイバに複数のコアが形成されたマルチコアファイバが提案されている。マルチコアファイバを用いることで、光ファイバの敷設コストを抑え、伝送容量の拡大が可能となる。

[0003] マルチコアファイバを伝送路として用いる場合、マルチコアファイバの各コアをシングルコアファイバに分離するファンアウトが必要である。このようなマルチコアファイバとシングルコアファイバとを接続する方法として、光ファイバを最密配置させてバンドル構造を形成し、マルチコアファイバと接続する方法がある（特許文献１）。

[0004] また、複数のシングルコアファイバをバンドル化した状態で延伸加工して、一体化し、マルチコアファイバと接続する方法がある（特許文献２）。

[0005] また、マルチコアファイバの一端を拡径して、マルチコアファイバのコアに光を導入する方法がある（特許文献３）。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：ＷＯ２０１２１２１３２０Ａ１

特許文献2：特許第３４１５４４９号

特許文献3：特開２００１－１４５５６２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 特許文献１のような、マルチコアファイバのコアピッチと同等のクラッド径を有するシングルコアファイバをバンドルする方法は、光ファイババンドル構造の製作が容易であるため、実用性が高い。特に、長距離伝送用のマルチコアファイバは、クロストークの劣化を防ぐため、コアピッチを大きくとる必要がある。この場合、マルチコアファイバのコアピッチに応じた径のシングルコアファイバを用いることができる。

[0008] 一方、局内などの短距離伝送用マルチコアファイバは、コアピッチを小さくすることが可能である。このため、容積や取扱い性（曲げ許容半径）の点から、できるだけ細径化することが望ましい。また、光増幅器として用いられる希土類添加マルチコアファイバ（例えばエルビウムドープマルチコアファイバ）も、短い距離で使用される。特に、クラッド励起型の希土類添加マルチコアファイバは、励起効率の点からも、クラッド径およびコアピッチを小さくすることが望ましい。希土類添加マルチコアファイバのクラッド径を大きくすると、クラッド領域の励起光に光密度が低下し、励起効率が下がるためである。

[0009] このように、マルチコアファイバのコアピッチが狭くなると（例えば５０μｍ以下）、これに対応したシングルコアファイバも細径化する必要がある。しかし、このような細径光ファイバは、剛性が低いため取扱い性が悪い。また、クラッド厚が薄くなるため、コアへの光の閉じ込めが弱くなり、伝送損失が大きくなる。さらに、クラッド厚が薄くなることで、外力に対してマイクロベンドロスが発生しやすくなる。このように、光ファイババンドル構造を構成するシングルコアファイバの細径化には限界がある。

[0010] しかし、特許文献２のように、複数の光ファイバをバンドル化して熱溶融加熱することで細径化する方法では、バンドル構造の外形が変形するため、

コアの変形やコア位置の不均一を生じる恐れがある。このため、マルチコアファイバとの接続損失が大きくなる恐れがある。

[0011] また、特許文献３記載の方法は、線引き条件を変えるなどして、コアピッチが広い部分を作る方法であるが、この方法では、線引き後に、任意の場所で切断および接続を行うことができないという問題がある。

[0012] 本発明は、このような問題に鑑みてなされたもので、伝送損失の小さいマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続方法等を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0013] 前述した目的を達成するため、第１の発明は、マルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造であって、前記光ファイババンドル構造は、所定のピッチで配置される複数の信号光用光ファイバを具備し、前記マルチコアファイバは、前記光ファイババンドル構造との接続部側の一方の端部において前記信号光用光ファイバと光接続されるコアと、コアよりも屈折率が低く、コアを覆うクラッドと、を具備し、前記マルチコアファイバは、外径が変化するテーパ部を有するテーパファイバであり、前記マルチコアファイバの前記一方の端部の外径およびコアのピッチが、前記マルチコアファイバの前記光ファイババンドル構造との接続部とは逆側の他方の端部の外径およびコアのピッチよりも広いことを特徴とするマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造である。

[0014] 前記マルチコアファイバは、さらに他のマルチコアファイバと接続され、前記他のマルチコアファイバのコアが、前記マルチコアファイバのコアと光接続されてもよい。

[0015] 前記マルチコアファイバの前記他方の端部が、前記他のマルチコアファイバの対向する端部の外径と略一致し、前記マルチコアファイバの前記他方の端部または前記他のマルチコアファイバの対向する端部の少なくとも一方が、エッチングによって、コアのピッチが変動せずに外径のみが縮径されてもよい。

[0016] 前記光ファイババンドル構造は、さらに励起光用光ファイバを具備し、前記他のマルチコアファイバが希土類添加マルチコアファイバであってもよい。この場合、前記励起光用光ファイバはマルチモードファイバであって、前記励起光用光ファイバのコアは前記マルチコアファイバの前記一方の端部の前記クラッドに接続されてもよい。

[0017] 前記励起光用光ファイバが、前記光ファイババンドル構造の中心に配置され、前記信号光用光ファイバが、前記励起光用光ファイバの外周に配置されてもよい。

[0018] 前記励起光用光ファイバの径が、前記信号光用光ファイバの径よりも大きくてもよい。

[0019] 第１の発明によれば、マルチコアファイバが、外径およびコアピッチが変化するテーパファイバであるため、光ファイババンドル構造との接続部側において、コアピッチを大きくすることができる。このため、マルチコアファイバと接続する信号光用光ファイバの外径を大きくすることができる。このため、信号光用光ファイバの取扱い性にも優れ、光伝送損失も抑制することができる。

[0020] また、さらに他のマルチコアファイバを接続することで、ピッチ変換用のマルチコアファイバによって、所望のマルチコアファイバと光ファイババンドル構造とを光接続することができる。

[0021] また、ピッチ変換用マルチコアファイバと他のマルチコアファイバとの接続部において、外径を一致させることで、融着時にコアの位置ずれなどが起こりにくい。この際、ピッチ変換用マルチコアファイバと他のマルチコアファイバとの少なくとも一方の端部をエッチングによって縮径することで、両者の外径を容易に一致させることができる。

[0022] また、光ファイババンドル構造に励起光用光ファイバが含まれ、他のマルチコアファイバが希土類添加マルチコアファイバであれば、光ファイババンドル構造と希土類添加マルチコアファイバとを、ピッチ変換用マルチコアファイバによって接続することができる。この際、光ファイババンドル構造の

各ファイバ径を過剰に細径化することなく、また、希土類添加マルチコアファイバを過剰に大径化する必要がない。

[0023] また、励起光用光ファイバを光ファイババンドル構造の中心に配置することで、希土類添加マルチコアファイバの中心に励起光を導入することができる。この際、励起光用光ファイバの外径を、信号光用光ファイバの外径よりも大きくすることで、より大きな励起光用光ファイバを用いることができ、大出力の励起光を希土類添加マルチコアファイバに導入することができる。

[0024] 第２の発明は、マルチコアファイバ同士の接続構造であって、複数のコアを有する第１マルチコアファイバと、前記第１マルチコアファイバとは外径の異なり、前記第１マルチコアファイバのコアと光接続される複数のコアを有する第２マルチコアファイバとが、接続されており、前記第１マルチコアファイバまたは前記第２マルチコアファイバの少なくとも一方が、外径の変化する外径変化部を有し、前記第１マルチコアファイバの接続側端部と前記第２マルチコアファイバの接続部端部における外径がほぼ一致することを特徴とするマルチコアファイバ同士の接続構造である。

[0025] 前記外径変化部は、マルチコアファイバを延伸することによって形成され、外径とともに、断面におけるコアのピッチが変動する部位を含んでもよい。

[0026] 前記外径変化部は、マルチコアファイバをエッチングすることによって形成され、断面におけるコアのピッチが変化せず、外径のみ変化する部位を含んでもよい。

[0027] 第２の発明によれば、外径の異なるマルチコアファイバ同士を効率よく接続することができる。

[0028] この際、少なくとも一方のマルチコアファイバを延伸することで外径変化部を形成することで、コアピッチを変化させることができる。また、エッチングによって外径変化部が形成されれば、コアピッチは変わらずに、外径のみを変化させることができる。

[0029] 第３の発明は、マルチコアファイバの励起方法であって、所定のピッチで

配置される複数の信号光用光ファイバと、励起光用光ファイバと、を具備する光ファイババンドル構造と、前記光ファイババンドル構造との接続部側の一方の端部において前記信号光用光ファイバと光接続されるコアと、コアよりも屈折率が低く、コアを覆うクラッドと、を具備するマルチコアファイバと、前記マルチコアファイバの前記光ファイババンドル構造との接続部とは逆側にある他方の端部において前記マルチコアファイバのコアと光接続されるコアと、コアよりも屈折率が低く、コアを覆うクラッドと、を具備する希土類添加マルチコアファイバと、を接続し、前記マルチコアファイバは、外径が変化するテーパ部を有するテーパファイバであり、前記マルチコアファイバの前記一方の端部の外径およびコアのピッチが、前記他方の端部の外径およびコアのピッチよりも広く、前記励起光用光ファイバはマルチモードファイバであって、前記励起光用光ファイバのコアを前記マルチコアファイバの前記一方の端部のクラッドに接続することを特徴とするマルチコアファイバの励起方法である。

[0030] 第４の発明は、マルチコアアンプであって、所定のピッチで配置される複数の信号光用光ファイバと、励起光用光ファイバと、を具備する光ファイババンドル構造と、前記光ファイババンドル構造との接続部側の一方の端部において前記信号光用光ファイバと光接続されるコアと、コアよりも屈折率が低く、コアを覆うクラッドと、を具備するマルチコアファイバと、前記マルチコアファイバの前記光ファイババンドル構造との接続部とは逆側にある他方の端部において前記マルチコアファイバのコアと光接続されるコアと、コアよりも屈折率が低く、コアを覆うクラッドと、を具備する希土類添加マルチコアファイバと、を具備し、前記マルチコアファイバは、外径が変化するテーパ部を有するテーパファイバであり、前記マルチコアファイバの前記一方の端部の外径およびコアのピッチが、前記他方の端部の外径およびコアのピッチよりも広く、前記励起光用光ファイバはマルチモードファイバであって、前記励起光用光ファイバのコアが前記マルチコアファイバの前記一方の端部のクラッドに接続されることを特徴とするマルチコアアンプである。

[0031] 第３、第４の発明によれば、効率よくマルチコアファイバ中の信号光を増幅することができる。

発明の効果

[0032] 本発明によれば、伝送損失の小さいマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続方法等を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]光ファイバ接続構造１を示す図。

[図2]光ファイバ接続構造１を示す断面図であり、図２（ａ）は図１のＡ－Ａ線断面図、図２（ｂ）は図１のＢ－Ｂ線断面図。

[図3]光ファイバ接続構造１を示す断面図であり、図３（ａ）は図１のＣ－Ｃ線断面図、図３（ｂ）は図１のＤ－Ｄ線断面図。

[図4]光ファイバ接続構造１を示す断面図であり、図４（ａ）は図１のＥ－Ｅ線断面図、図４（ｂ）は図１のＦ－Ｆ線断面図。

[図5]図５（ａ）～図５（ｃ）は、テーパ部の形成工程を示す図。

[図6]図６（ａ）～図６（ｃ）は、テーパ部とキャピラリ２１ｃとの接続工程を示す図。

[図7]光ファイバ接続構造１ａを示す図。

[図8]光ファイバ接続構造１ａを示す断面図であり、図８（ａ）は図７のＧ－Ｇ線断面図、図８（ｂ）は図７のＨ－Ｈ線断面図。

[図9]光ファイバ接続構造１ｂを示す図。

[図10]光ファイバ接続構造１ｃを示す図。

[図11]光ファイバ接続構造１ｃを示す断面図であり、図１１（ａ）は図１０のＩ－Ｉ線断面図、図１１（ｂ）は図１０のＪ－Ｊ線断面図。

[図12]光ファイバ接続構造１ｃを示す断面図であり、図１２（ａ）は図１０のＭ－Ｍ線断面図、図１２（ｂ）は図１０のＮ－Ｎ線断面図。

[図13]光ファイバ接続構造１ｄを示す図。

[図14]光ファイバ接続構造１ｄを示す断面図であり、図１４（ａ）は図１３のＯ－Ｏ線断面図、図１４（ｂ）は図１３のＰ－Ｐ線断面図。

[図15]光ファイバ接続構造１ｄを示す断面図であり、図１５（ａ）は図１３のＱ－Ｑ線断面図、図１５（ｂ）は図１３のＲ－Ｒ線断面図。

[図16]光ファイバ接続構造１ｄを示す断面図であり、図１６（ａ）は図１３のＳ－Ｓ線断面図、図１６（ｂ）は図１３のＴ－Ｔ線断面図。

[図17]図１７（ａ）バンドル構造５ｃを示す断面図、図１７（ｂ）はバンドル構造５ｄを示す断面図。

発明を実施するための形態

[0034] （第１実施形態）

以下、光ファイバ接続構造１について説明する。図１は、光ファイバ接続構造１を示す図であり、図２（ａ）は、図１のＡ－Ａ線断面図、図２（ｂ）は図１のＢ－Ｂ線断面図、図３（ａ）は図１のＣ－Ｃ線断面図、図３（ｂ）は図１のＤ－Ｄ線断面図、図４（ａ）は図１のＥ－Ｅ線断面図、図４（ｂ）は図１のＦ－Ｆ線断面図である。

[0035] 光ファイバ接続構造１は、バンドル構造５と、マルチコアファイバ３ａ、３ｂの接続構造である。なお、マルチコアファイバ３ａ、３ｂおよび光ファイバ心線７ａは例えば石英ガラス製である。

[0036] バンドル構造５は、光ファイバ心線７ａが束ねられて構成される。光ファイバ心線７ａは、信号光用光ファイバである。光ファイバ心線７ａは、長距離伝送にも適したシングルモード光ファイバであることが望ましく、この場合、信号光は、例えば１５５０ｎｍ帯のシングルモードである。

[0037] 図２（ａ）に示すように、バンドル構造５は、複数の光ファイバ心線７ａが最密配置で集合される。すなわち、中央に１本の光ファイバ心線７ａが配置され、その周囲に６本の光ファイバ心線７ａが配置される。したがって、それぞれの光ファイバ心線７ａのコア１５ａは全て等間隔で配置される。この後、特に記載がなければ、それぞれの光ファイバ心線７ａはバンドル構造５端面から他端側のバンドル構造５の外部に至るまで、外径は一定であるとする。なお、光ファイバ心線７ａはフッ酸等を用いた化学エッチングや、溶融延伸等で、外径を調整した後にバンドル化してもよい。

[0038] なお、図示した例では、光ファイバ心線７ａが７本の例を示すが、本発明はこれに限られない。光ファイバ心線７ａの本数は、６本以上であって最密配置できればよい。例えば、中心の光ファイバ心線７ａの外径を、外周側の光ファイバ心線７ａの外径よりも大きくしてもよい。この場合には、中心の光ファイバが外周の全ての光ファイバと接触し、隣り合う外周の光ファイバ同士が隙間なく接触するように配置されればよい。このように最密のバンドル構造とすることによって、マルチコアファイバ３ａの複数のコアと光接続することが容易になる。

[0039] 光ファイバ心線７ａは、キャピラリ２１ｂ内に配置される。光ファイバ心線７ａ同士およびキャピラリ２１ｂは樹脂１９によって接着される。キャピラリ２１ｂは、樹脂１９を構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。樹脂１９は、光ファイバ心線７ａのクラッド１７ａを構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。

[0040] バンドル構造５は、マルチコアファイバ３ａの一方の端部と接続される。マルチコアファイバ３ａの端面とバンドル構造５の端面は互いに研磨されて対向して配置される。この際、それぞれのコア１５ａとコア２２ａとが光接続する位置で対向する。なお、マルチコアファイバ３ａとバンドル構造５は、接着または融着によって接続される。また、キャピラリ２１ａ、２１ｂが接合される。マルチコアファイバ３ａは、例えばシングルモードファイバであり、一部に外径変化部であるテーパ部２７が形成される。

[0041] 図２（ｂ）に示すように、マルチコアファイバ３ａのバンドル構造５との接続部側の端部（一方の端部）は、キャピラリ２１ａに挿入され、樹脂１９によって固定される。キャピラリ２１ａは、樹脂１９を構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。樹脂１９は、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａを構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。

[0042] また、クラッド２３ａの外径は、バンドル構造５を構成する光ファイバ心線７ａの外接円と略同一か、やや大きい。マルチコアファイバ３ａのコア２

２ａは、バンドル構造５（光ファイバ心線７ａ）のコア１５ａと対応する位置とピッチで配置され、コア１５ａとコア２２ａとが光接続する。すなわち、全部で７つのコア２２ａは、マルチコアファイバ３ａの中心と、その周囲に正六角形の各頂点位置に配置される。この場合、中心のコア２２ａと周囲の６つのコア２２ａとは全て一定の間隔となる。また、６つのコア２２ａにおいて、隣り合う互いのコア２２ａ同士の間隔も同一となる。

[0043] 例えば、マルチコアファイバ３ａのコア２２ａのコアピッチは５０μｍであり、この場合、バンドル構造５を構成する光ファイバ心線７ａのクラッド径が５０μｍとなる。

[0044] 図３（ａ）に示すように、キャピラリ２１ａから露出する部位のマルチコアファイバ３ａは、外周部に樹脂被覆層２５が設けられる。樹脂被覆層２５を構成する樹脂は、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａを構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。

[0045] 図３（ａ）において、コア２２ａのピッチをＰ１とし、クラッド２３ａの外径をＤ１とする。なお、Ｐ１は、光ファイバ心線７ａの外径とほぼ一致する。

[0046] 図３（ｂ）に示すように、テーパ部２７では、マルチコアファイバ３ａの外径およびコアピッチが小さくなる。すなわち、マルチコアファイバ３ａのバンドル構造５との接続部側とは逆側の端部近傍（他方の端部）において、マルチコアファイバ３ａは縮径される。したがって、テーパ部２７におけるコアピッチＰ２は、Ｐ１よりも小さく、クラッド径Ｄ２は、Ｄ１よりも小さい。なお、テーパ部２７では、樹脂被覆層２５の厚みが厚くなるため、樹脂被覆層２５を含む全体の外径はほぼ一定である。

[0047] 図４（ａ）に示すように、マルチコアファイバ３ａの他方の端部は、キャピラリ２１ｃに挿入されて、樹脂１９によって固定される。キャピラリ２１ｃは、樹脂１９を構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。樹脂１９は、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａを構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。マルチコアファイバ３

ａの他方の端部におけるコアピッチＰ３は、Ｐ２よりもさらに小さくなり、外径Ｄ３もＤ２よりもさらに小さくなる。

[0048] なお、図示した例では、テーパ部２７の途中でキャピラリ２１ｃに挿入される例を示すが、テーパ部２７全体がキャピラリ２１ｃに挿入されてもよく、テーパ部２７よりも先端側（縮径側）のみがキャピラリ２１ｃに挿入されてもよい。また、図示した例では、キャピラリ２１ｃの内径は、マルチコアファイバ３ａの最大外径部（Ｄ１）と最小外径部（Ｄ３）（テーパ部２７の両側のそれぞれの外径）の間に設定されるが、Ｄ１よりも大きくしてもよい。

[0049] マルチコアファイバ３ａは、他のマルチコアファイバ３ｂと、例えば融着接続される。マルチコアファイバ３ｂは、例えばシングルモードファイバである。図４（ｂ）に示すように、マルチコアファイバ３ｂのマルチコアファイバ３ａとの接続部側の端部は、キャピラリ２１ｄに挿入され、樹脂１９によって固定される。キャピラリ２１ｄは、樹脂１９を構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。樹脂１９は、マルチコアファイバ３ｂのクラッド２３ｂを構成する材質の屈折率よりも低い屈折率を有する材質からなる。

[0050] マルチコアファイバ３ａの他方の端部のコアピッチＰ３は、マルチコアファイバ３ｂのコアピッチＰ４と同一である。例えば、コアピッチＰ４は、５０μｍ以下である。Ｐ４が４５μｍの場合には、例えば、マルチコアファイバ３ａの一方の端部のコアピッチが５０μｍであり、他方の端部のコアピッチを４５μｍとすることができる。

[0051] クラッド２３ｂの外径（Ｄ４）は、クラッド２３ａの外径（Ｄ３）と略同一か、クラッド２３ａの外径（Ｄ３）よりもわずかに大きい。すなわち、Ｄ３≦Ｄ４である。また、マルチコアファイバ３ｂのコア２２ｂは、マルチコアファイバ３ａのコア２２ａと対応する位置に配置される。したがって、コア２２ａとコア２２ｂとが光接続する。

[0052] このように、テーパファイバであるマルチコアファイバ３ａを用いること

で、コアピッチを変換することができる。すなわち、マルチコアファイバ３ａをピッチ変換マルチコアファイバとして使用することができる。このため、バンドル構造５におけるコアピッチおよび外径を、マルチコアファイバ３ｂのコアピッチおよび外径より大きくすることができる。

[0053] 次に、テーパファイバの製造方法について説明する。図５（ａ）に示すように、外周に樹脂被覆層２５を有するマルチコアファイバ３ａを用いる。まず、図５（ｂ）に示すように、マルチコアファイバの３ａの端部から、所定範囲の樹脂被覆層２５を剥離する。次に、図５（ｃ）に示すように、樹脂被覆層２５を剥離した部位を溶融加熱して延伸加工する。このようにすることで、テーパ部２７が形成される。

[0054] 次に、図６（ａ）に示すように、テーパ部２７を含み、マルチコアファイバ３ａの外周を樹脂で被覆し、樹脂被覆層２５を再度形成する。以上により、テーパファイバが形成される。さらに、図６（ｂ）に示すように、マルチコアファイバ３ａの端部からテーパ部２７の途中までの範囲の樹脂被覆層２５を剥離する。この状態で、図６（ｃ）に示すように、マルチコアファイバ３ａの樹脂被覆層２５を剥離した端部をキャピラリ２１ｃに挿入して樹脂１９によって固定する。さらに、キャピラリ２１ｃの端面を研磨することで、マルチコアファイバ３ｂとの接続が可能となる。

[0055] 以上説明したように、本実施の形態によれば、コアピッチが相対的に広いバンドル構造５と、コアピッチが相対的に狭いマルチコアファイバ３ｂとを容易に接続することができる。

[0056] なお、マルチコアファイバ３ａは、一方の端部と他方の端部とで、モードフィールド径が異なる。この場合でも、マルチコアファイバ３ａの一方の端部のモードフィールド径と、光ファイバ心線７ａのモードフィールド径を略一致させることが望ましい。また、マルチコアファイバ３ａの他方の端部とマルチコアファイバ３ｂの端部のモードフィールド径を略一致させることが望ましい。このようにすることで、各接続部におけるモードフィールド径のミスマッチによる伝送損失の増加を解消することができる。

[0057] なお、本実施形態では、マルチコアファイバ３ｂとバンドル構造５とを、マルチコアファイバ３ａを介して接続したが、マルチコアファイバ３ａとマルチコアファイバ３ｂとを一体としてもよい。すなわち、バンドル構造５と、コアピッチの変化するマルチコアファイバとが接続されることで、本発明の課題を達成することができる。

[0058] （第２実施形態）

次に、第２の実施形態について説明する。図７は、光ファイバ接続構造１ａを示す図であり、図８（ａ）は、図７のＧ－Ｇ線断面図、図８（ｂ）は図７のＨ－Ｈ線断面図である。なお、以下の実施の形態において、光ファイバ接続構造１と同一の機能を奏する構成については、図１～図６と同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0059] 光ファイバ接続構造１ａは、光ファイバ接続構造１とほぼ同様の構成であるが、マルチコアファイバ３ａの先端部に外径変化部である縮径部２９が形成される点で異なる。縮径部２９は、ふっ酸などによる化学エッチングによって形成することができる。

[0060] マルチコアファイバ３ａは、テーパ部２７によって、コアピッチおよびクラッド径が変化する。図８（ａ）に示すように、縮径後のコアピッチをＰ５、クラッド径をＤ５とする。また、図８（ｂ）に示すように、縮径部２９のコアピッチをＰ６、クラッド径をＤ６とする。この場合、コアピッチＰ５とＰ６は一致するが、クラッド径Ｄ６は、クラッド径Ｄ５よりも小さくなる。すなわち、縮径部２９は、コアピッチが変化せず、外径のみが小さくなる。

[0061] ここで、マルチコアファイバ３ａの端部のクラッド径はマルチコアファイバ３ｂのクラッド径よりも小さくすることが望ましい。例えば、Ｄ５＞Ｄ６の場合には、マルチコアファイバ３ａの端部の外径のみを縮径して、Ｄ５≦Ｄ６とする。なお、マルチコアファイバ３ａの端部のクラッド径とマルチコアファイバ３ｂのクラッド径が一致すると、融着時にコアの位置ずれなどが生じにくい。すなわち、縮径部２９によって、マルチコアファイバ３ａの端部のクラッド径を、マルチコアファイバ３ｂのクラッド径と合わせることが

できる。

[0062] なお、図９に示す光ファイバ接続構造１ｂのように、マルチコアファイバ３ｂの端部に縮径部２９を形成してもよい。また、図示は省略するが、マルチコアファイバ３ａ、３ｂの両方の端部に縮径部２９を形成してもよい。このように、縮径部２９を用いることで、外径の異なるマルチコアファイバ同士を容易に接続することができる。例えば、コアピッチを一致させるために、延伸加工によってテーパ部２７を形成し、コアピッチが一致した状態で、クラッド径の大きな側のマルチコアファイバの端部にエッチングによって縮径部２９を形成すればよい。

[0063] このように、第２の実施形態によれば、外径の異なるマルチコアファイバ同士を容易に接続することができる。この際、外径を一致させることで、融着時のコアの変形や軸ずれなどが生じにくい。なお、図示した例では、バンドル構造５とマルチコアファイバ３ａ、３ｂを接続しているが、縮径部２９、テーパ部２７を用いることで、バンドル構造５を有さないマルチコアファイバ同士の接続にも有効である。

[0064] （第３実施形態）

次に、第３の実施形態について説明する。図１０は、光ファイバ接続構造１ｃを示す図であり、図１１（ａ）は、図１０のＩ－Ｉ線断面図、図１１（ｂ）は図１０のＪ－Ｊ線断面図、図１２（ａ）は図１０のＭ－Ｍ線断面図、図１２（ｂ）は図１０のＮ－Ｎ線断面図である。

[0065] 光ファイバ接続構造１ｃは、光ファイバ接続構造１とほぼ同様の構成であるが、バンドル構造５ａが用いられる点で異なる。バンドル構造５ａは、光ファイバ心線７ａに加えてさらに光ファイバ心線７ｂがバンドルされる。光ファイバ心線７ｂは、励起光導入用光ファイバである。この後、特に記載がなければ、それぞれの光ファイバ心線７ｂはバンドル構造５端面から他端側のバンドル構造５の外部に至るまで、外径は一定であるとする。

[0066] 光ファイバ心線７ｂには、励起光用の光源８が接続される。光源８は、例えば波長９８０ｎｍのマルチモード励起光発光素子である。なお、光ファイ

バ心線７ｂはシングルモード光ファイバであってもよく、マルチモード光ファイバであってもよいが、マルチモード光ファイバの方が、コア径を大きくすることができ、高パワーであるためより望ましい。この場合、励起光は、例えば波長９８０ｎｍ帯のマルチモード光である。

[0067] バンドル構造５ａでは、光ファイバ心線７ａが最密配置され、さらにその外周に光ファイバ心線７ｂが配置される。光ファイバ心線７ｂの外径は、光ファイバ心線７ａの外径よりも大きい。光ファイバ心線７ｂは、コア１５ｂ、クラッド１７ｂからなる。光ファイバ心線７ｂのコア１５ｂの径は、光ファイバ心線７ａのコア１５ａの径よりも大きい。このようにすることで、より大きなパワーの光を導入することができる。

[0068] バンドル構造５ａは、マルチコアファイバ３ａの一方の端部と融着接続される。マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａの外径は、バンドル構造５ａを構成する光ファイバ心線７ａ、７ｂの外接円と略同一か、やや大きい。光ファイバ心線７ｂのコア１５ｂは、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａの位置に対応する。すなわち、図１１（ｂ）に示すように、クラッド２３ａに、励起光導入部３１が位置する。

[0069] なお、マルチコアファイバ３ａのコアピッチが５０μｍであり、クラッド厚（最外コアからクラッド表面までの距離）が７５μｍの場合には、光ファイバ心線７ｂの外径を６２μｍまで大きくすることができる。さらに、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａに光ファイバ心線７ｂのコア１５ｂが包含するようにすれば、光ファイバ心線７ｂの外径を７３μｍまで大きくすることができる。

[0070] また、光ファイバ心線７ｂとして、テーパファイバを用いることもできる。例えば、テーパ加工前の光ファイバ心線７ｂとして、コア径が１０５μｍ、クラッド径が１２５μｍのステップインデックス型のマルチモード光ファイバを用い、溶融延伸加工等によって、マルチコアファイバ３ａとの接続部の外径をマルチコアファイバ３ａに対応させてもよい。

[0071] なお、励起光は樹脂１９によってクラッド２３ａに閉じ込められる。キャ

ピラリ２１ａから露出する部位のマルチコアファイバ３ａは、外周部に樹脂被覆層２５が設けられるため、励起光はクラッド２３ａに閉じ込められる。

[0072] 図１２（ａ）は、マルチコアファイバ３ａの端部であり、図１２（ｂ）はマルチコアファイバ３ｂの端部である。本実施形態では、マルチコアファイバ３ｂは、希土類添加マルチコアファイバである。希土類添加マルチコアファイバは、例えばエルビウム添加マルチコアファイバ（ＥＤＦ）である。

[0073] マルチコアファイバ３ａ、３ｂのクラッド２３ａ、２３ｂは光接続される。したがって、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａに導入された励起光は、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａを伝搬して、マルチコアファイバ３ｂのクラッド２３ｂに導入される。マルチコアファイバ３ｂに励起光を導入することで、マルチコアファイバ３ｂの例えばエルビウムなどの希土類元素が添加されたコア２２ｂに含まれる希土類を励起し、コア２２ｂ内の信号光を増幅することができる。すなわち、励起光によってコア２２ｂにおけるエルビウムイオンのエネルギー準位を励起状態とすることができる。この状態で信号光をコア２２ｂに導入することで、励起状態のエルビウムイオンは誘導放出を起こし、信号光の強度が増幅される。

[0074] なお、本実施形態においても、マルチコアファイバ３ａ、３ｂのいずれかの端部に縮径部２９を形成してもよい。

[0075] 以上説明したように、第３の実施の形態によれば、マルチコアファイバ３ｂによって光増幅を行うことができる。この際、マルチコアファイバ３ｂのクラッド径を小さくすることができるため、励起効率が良好である。このように、本実施の形態によれば、効率の良いマルチコア光ファイバアンプを構成することができる。

[0076] また、マルチコアファイバ３ｂと接続されるバンドル構造５ａは、マルチコアファイバ３ｂのコアピッチよりコアピッチを広くすることができる。このため、光ファイバ心線７ａの外径をマルチコアファイバ３ｂのコアピッチよりも大きくすることができる。このため、取扱い性に優れ、光伝送損失の小さな光ファイバ接続構造を得ることができる。

[0077] （第４実施形態）

次に、第４の実施形態について説明する。図１３は、光ファイバ接続構造１ｄを示す図であり、図１４（ａ）は、図１３のＯ－Ｏ線断面図、図１４（ｂ）は図１３のＰ－Ｐ線断面図、図１５（ａ）は図１３のＱ－Ｑ線断面図、図１５（ｂ）は図１３のＲ－Ｒ線断面図、図１６（ａ）は図１３のＳ－Ｓ線断面図、図１６（ｂ）は図１３のＴ－Ｔ線断面図である。

[0078] 光ファイバ接続構造１ｄは、光ファイバ接続構造１ｃとほぼ同様の構成であるが、バンドル構造５ｂが用いられる点で異なる。図１４（ａ）に示すように、バンドル構造５ｂは、光ファイバ心線７ｂが中心に配置される。光ファイバ心線７ｂは、図示を省略した光源８と接続される。また、光ファイバ心線７ｂのクラッド径は、光ファイバ心線７ａのクラッド径よりも大きい。光ファイバ心線７ａは、光ファイバ心線７ｂの外周に最密に配置される。

[0079] 図視した例では、光ファイバ心線７ｂの外周に、１０本の光ファイバ心線７ａが最密に配置される。なお、本発明では、図１４（ａ）に示すように、光ファイバ心線７ａが、所定の間隔で互いに接触するように配置される状態を最密配置とする。

[0080] バンドル構造５ｂは、マルチコアファイバ３ａの一方の端部と融着接続される。図１４（ｂ）に示すように、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａの外径は、バンドル構造５ｂを構成する光ファイバ心線７ａの外接円と略同一か、やや大きい。光ファイバ心線７ｂのコア１５ｂは、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａの略中央に位置に対応する。すなわち、クラッド２３ａの略中央に、励起光導入部３１が位置する。クラッド２３ａに導入された、励起光は樹脂１９によってクラッド２３ａに閉じ込められる。

[0081] 図１５（ａ）、図１５（ｂ）に示すように、キャピラリ２１ａから露出するマルチコアファイバ３ａの外周には、樹脂被覆層２５が設けられる。このため、キャピラリ２１ａから露出する部位のマルチコアファイバ３ａは、外周部に樹脂被覆層２５が設けられるため、励起光はクラッド２３ａに閉じ込められて伝送される。

[0082] 図１６（ａ）は、マルチコアファイバ３ａの端部であり、図１６（ｂ）はマルチコアファイバ３ｂの端部である。本実施形態でも、マルチコアファイバ３ｂは、希土類添加マルチコアファイバである。

[0083] マルチコアファイバ３ａ、３ｂのクラッド２３ａ、２３ｂは光接続される。したがって、マルチコアファイバ３ａのクラッド２３ａに導入された励起光は、マルチコアファイバ３ｂのクラッド２３ｂに導入される。したがって、信号光をコア２２ｂに導入することで、励起状態のエルビウムイオンは誘導放出を起こし、信号光の強度が増幅される。

[0084] なお、本実施形態においても、マルチコアファイバ３ａ、３ｂのいずれかの端部に縮径部２９を形成してもよい。

[0085] 第４の実施の形態によれば、第３の実施の形態と同様に効果を得ることができる。また、励起光がクラッド２３ａの略中央に導入されるため、各コア２２ｂに対して、ほぼ均等に励起光を導入することができる。

[0086] なお、光ファイバ心線７ｂを中心に配置したバンドル構造としては、図１７（ａ）に示すようなバンドル構造５ｃであってもよい。バンドル構造５ｃは、光ファイバ心線７ａ、７ｂが、略同一の径である。したがって、中心の励起光導入用ファイバの外周に、６本の信号光導入用ファイバが配置される。

[0087] また、図１７（ｂ）に示すような、バンドル構造５ｄとしてもよい。バンドル構造５ｄは、光ファイバ心線７ｂの外周に、８本の光ファイバ心線７ａが最密に配置される。このように、本発明では、光ファイバ心線７ｂの外径は、光ファイバ心線７ａの径以上であればよく、光ファイバ心線７ａが、隙間なく最密に配置されればよい。

[0088] 以上、添付図を参照しながら、本発明の実施の形態を説明したが、本発明の技術的範囲は、前述した実施の形態に左右されない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

符号の説明

[0089] １、１ａ、１ｂ、１ｃ、１ｄ……光ファイバ接続構造

３ａ、３ｂ……マルチコアファイバ

５、５ａ、５ｂ、５ｃ、５ｄ……光ファイババンドル構造

７ａ、７ｂ……光ファイバ心線

８……光源

１５ａ、１５ｂ……コア

１７ａ、１７ｂ……クラッド

１９……樹脂

２１ａ、２１ｂ、２１ｃ、２１ｄ……キャピラリ

２２ａ、２２ｂ……コア

２３ａ、２３ｂ……クラッド

２５……樹脂被覆膜

２７……テーパ部

２９……縮径部

３１……励起光導入部

請求の範囲

[請求項1] マルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造であって、

前記光ファイババンドル構造は、所定のピッチで配置される複数の信号光用光ファイバを具備し、

前記マルチコアファイバは、前記光ファイババンドル構造との接続部側の一方の端部において前記信号光用光ファイバと光接続されるコアと、コアよりも屈折率が低く、コアを覆うクラッドと、を具備し、

前記マルチコアファイバは、外径が変化するテーパ部を有するテーパファイバであり、前記マルチコアファイバの前記一方の端部の外径およびコアのピッチが、前記マルチコアファイバの前記光ファイババンドル構造との接続部とは逆側にある他方の端部の外径およびコアのピッチよりも広いことを特徴とするマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造。

[請求項2] 前記マルチコアファイバは、さらに他のマルチコアファイバと接続され、

前記他のマルチコアファイバのコアが、前記マルチコアファイバのコアと光接続することを特徴とする請求項１記載のマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造。

[請求項3] 前記マルチコアファイバの前記他方の端部が、前記他のマルチコアファイバの対向する端部の外径と略一致し、

前記マルチコアファイバの前記他方の端部または前記他のマルチコアファイバの対向する端部の少なくとも一方が、エッチングによって、コアのピッチが変動せずに外径のみが縮径されていることを特徴とする請求項２記載のマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造。

[請求項4] 前記光ファイババンドル構造は、さらに励起光用光ファイバを具備し、

前記他のマルチコアファイバが希土類添加マルチコアファイバであることを特徴とする請求項２記載のマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造。

[請求項5] 前記励起光用光ファイバはマルチモードファイバであって、前記励起光用光ファイバのコアは前記マルチコアファイバの前記一方の端部の前記クラッドに接続されていることを特徴とする請求項４記載のマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造。

[請求項6] 前記励起光用光ファイバが、前記光ファイババンドル構造の中心に配置され、前記信号光用光ファイバが、前記励起光用光ファイバの外周に配置されることを特徴とする請求項４または請求項５記載のマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造。

[請求項7] 前記励起光用光ファイバの径が、前記信号光用光ファイバの径よりも大きいことを特徴とする請求項６記載のマルチコアファイバと光ファイババンドル構造との接続構造。

[請求項8] マルチコアファイバ同士の接続構造であって、

複数のコアを有する第１マルチコアファイバと、

前記第１マルチコアファイバとは外径の異なり、前記第１マルチコアファイバのコアと光接続される複数のコアを有する第２マルチコアファイバとが、接続されており、

前記第１マルチコアファイバまたは前記第２マルチコアファイバの少なくとも一方が、外径の変化する外径変化部を有し、

前記第１マルチコアファイバの接続側端部と前記第２マルチコアファイバの接続部端部における外径がほぼ一致することを特徴とするマルチコアファイバ同士の接続構造。

[請求項9] 前記外径変化部は、マルチコアファイバを延伸することによって形成され、外径とともに、断面におけるコアのピッチが変動する部位を含むことを特徴とする請求項８記載のマルチコアファイバ同士の接続構造。

[請求項10] 前記外径変化部は、マルチコアファイバをエッチングすることによって形成され、断面におけるコアのピッチが変化せず、外径のみ変化する部位を含むことを特徴とする請求項８記載のマルチコアファイバ同士の接続構造。

[請求項11] 希土類添加マルチコアファイバの励起方法であって、

所定のピッチで配置される複数の信号光用光ファイバと、励起光用光ファイバと、を具備する光ファイババンドル構造と、

前記光ファイババンドル構造との接続部側の一方の端部において前記信号光用光ファイバと光接続されるコアと、コアよりも屈折率が低く、コアを覆うクラッドと、を具備するマルチコアファイバと、

前記マルチコアファイバの前記光ファイババンドル構造との接続部とは逆側にある他方の端部において前記マルチコアファイバのコアおよびクラッドとそれぞれ光接続される希土類が添加されたコアおよびクラッドを具備する希土類添加マルチコアファイバと、

を接続し、

前記マルチコアファイバは、外径が変化するテーパ部を有するテーパファイバであり、前記マルチコアファイバの前記一方の端部の外径およびコアのピッチが、前記他方の端部の外径およびコアのピッチよりも広く、

前記励起光用光ファイバはマルチモードファイバであって、前記励起光用光ファイバのコアを前記マルチコアファイバの前記一方の端部のクラッドに接続し、

前記励起光用光ファイバに励起光を導入し、

前記励起光は、前記マルチコアファイバのクラッドを伝搬して、前記希土類添加マルチコアファイバのクラッドに導入され、前記希土類添加マルチコアファイバのコアに含まれる希土類を励起することを特徴とする希土類添加マルチコアファイバの励起方法。

[請求項12] マルチコア光ファイバアンプであって、

所定のピッチで配置される複数の信号光用光ファイバと、励起光用光ファイバと、を具備する光ファイババンドル構造と、

前記光ファイババンドル構造との接続部側の一方の端部において前記信号光用光ファイバと光接続されるコアと、コアよりも屈折率が低く、コアを覆うクラッドと、を具備するマルチコアファイバと、

前記マルチコアファイバの前記光ファイババンドル構造との接続部とは逆側にある他方の端部において前記マルチコアファイバのコアおよびクラッドとそれぞれ光接続される、希土類が添加されたコアおよびクラッドを具備する希土類添加マルチコアファイバと、

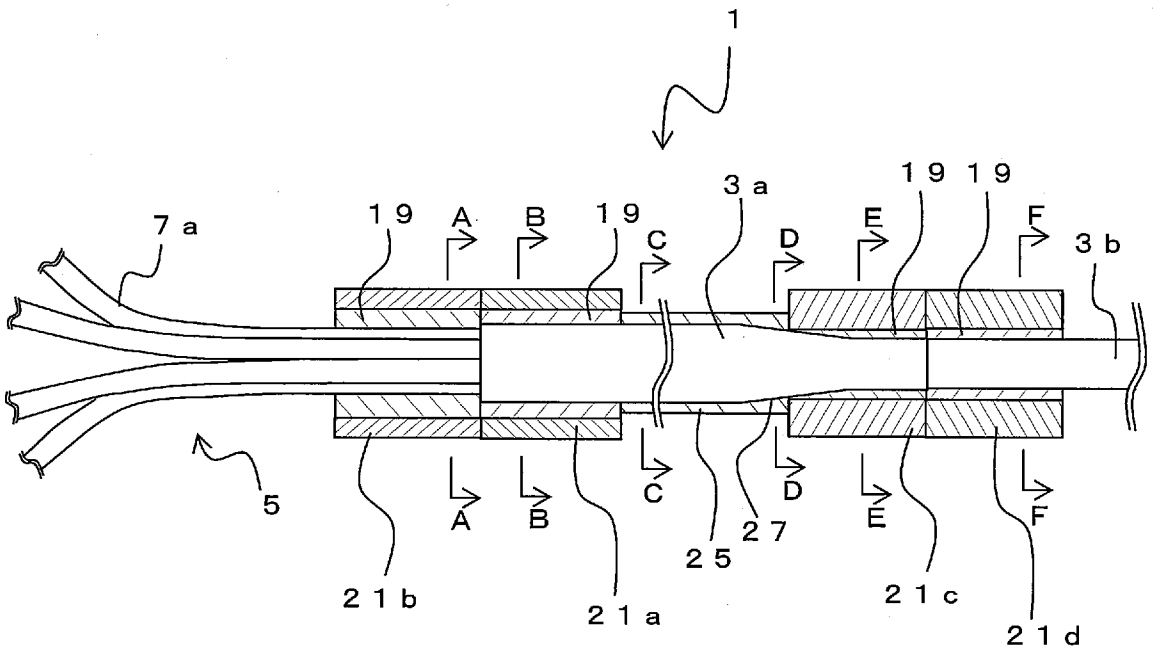
前記励起光用光ファイバのコアに励起光を導入する光源と、

を具備し、

前記マルチコアファイバは、外径が変化するテーパ部を有するテーパファイバであり、前記マルチコアファイバの前記一方の端部の外径およびコアのピッチが、前記他方の端部の外径およびコアのピッチよりも広く、

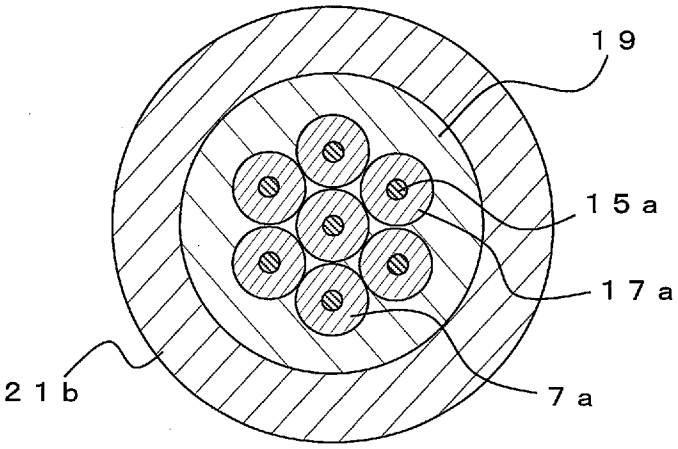
前記励起光用光ファイバはマルチモードファイバであって、前記励起光用光ファイバのコアが前記マルチコアファイバの前記一方の端部のクラッドに接続されることを特徴とするマルチコア光ファイバアンプ。

[図1]

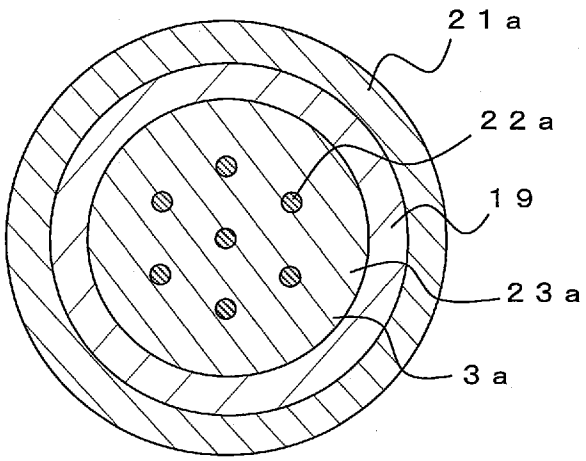


[図2]

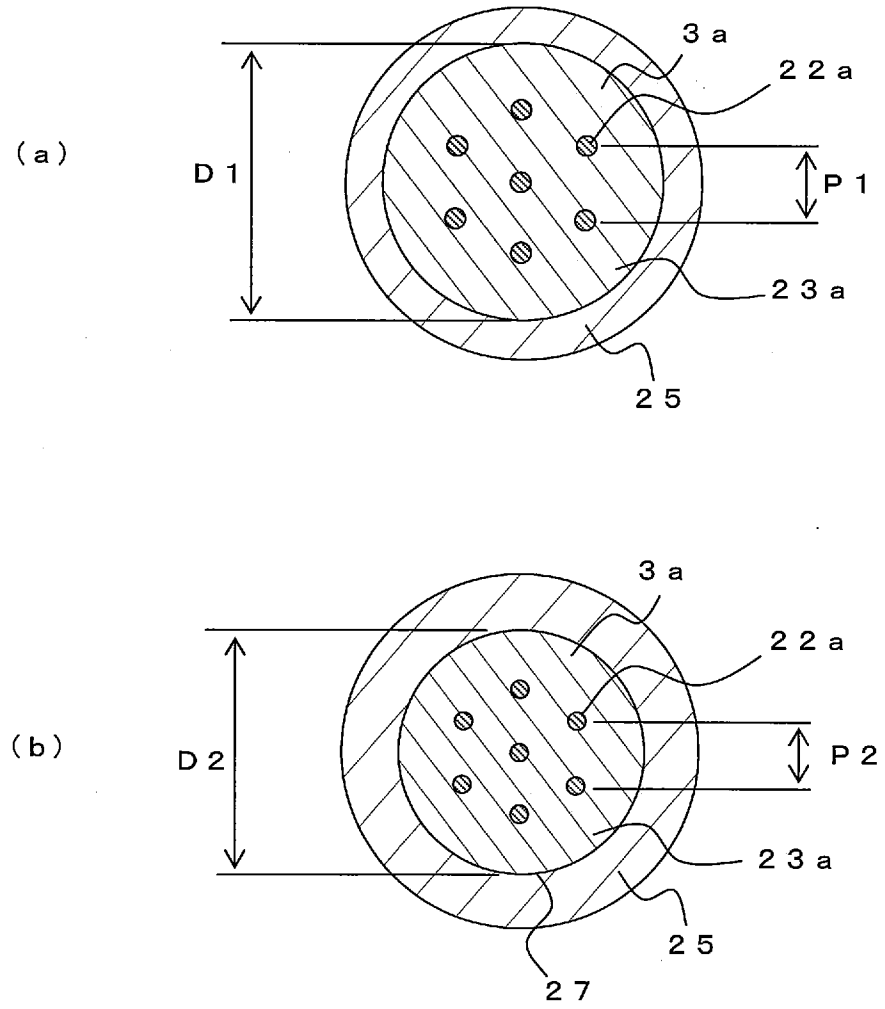
(a)



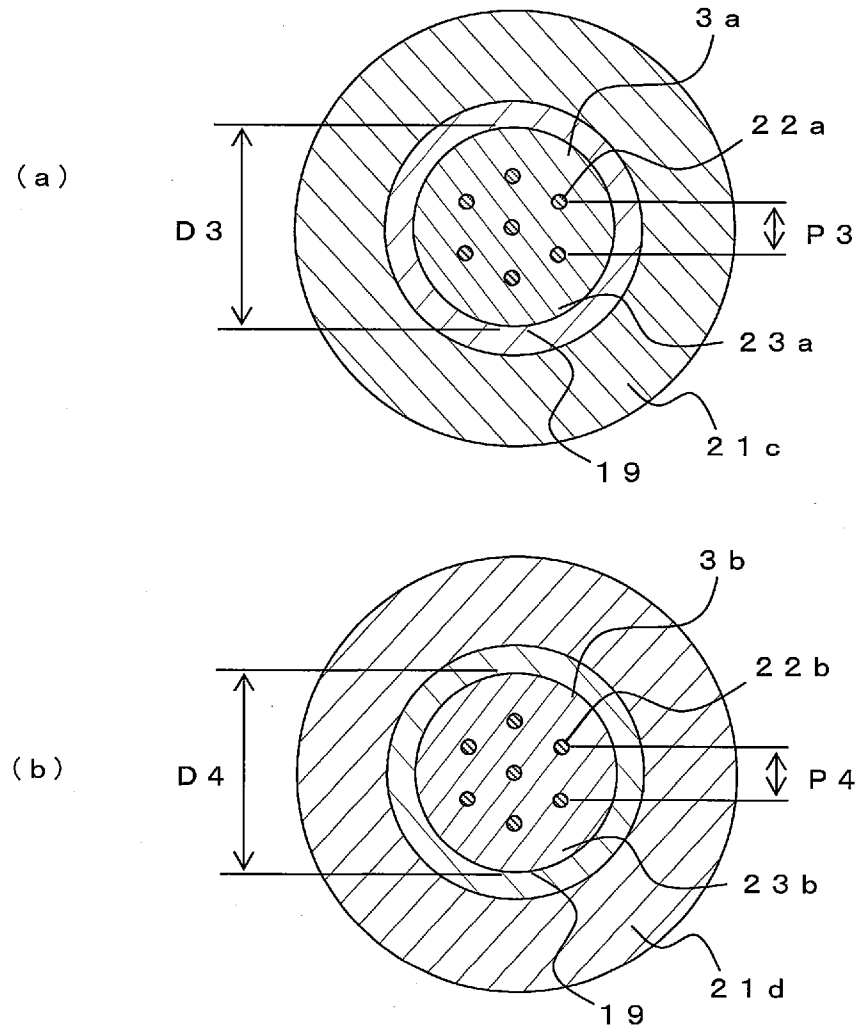
(b)



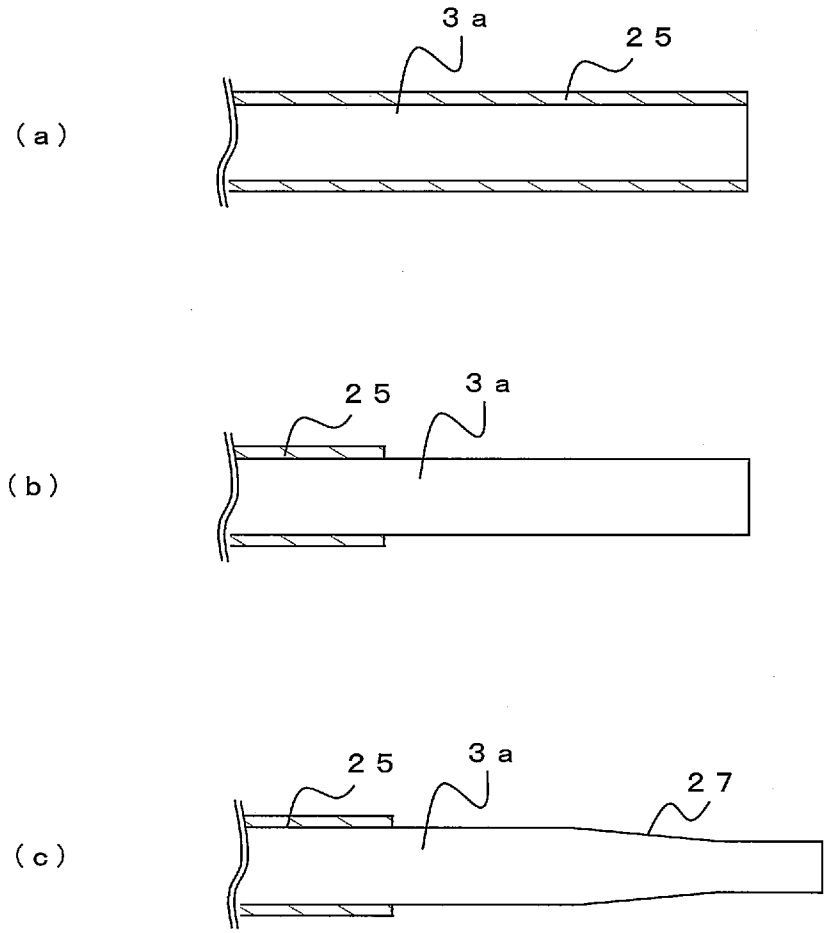
[図3]



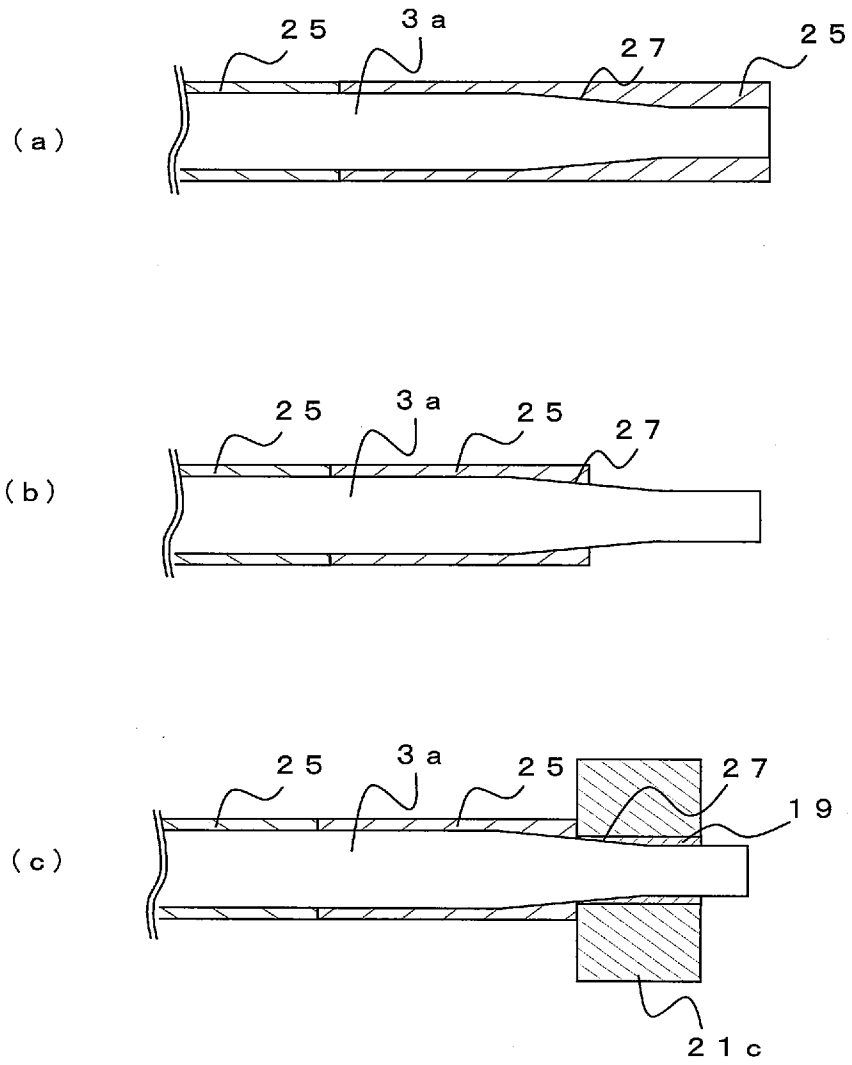
[図4]



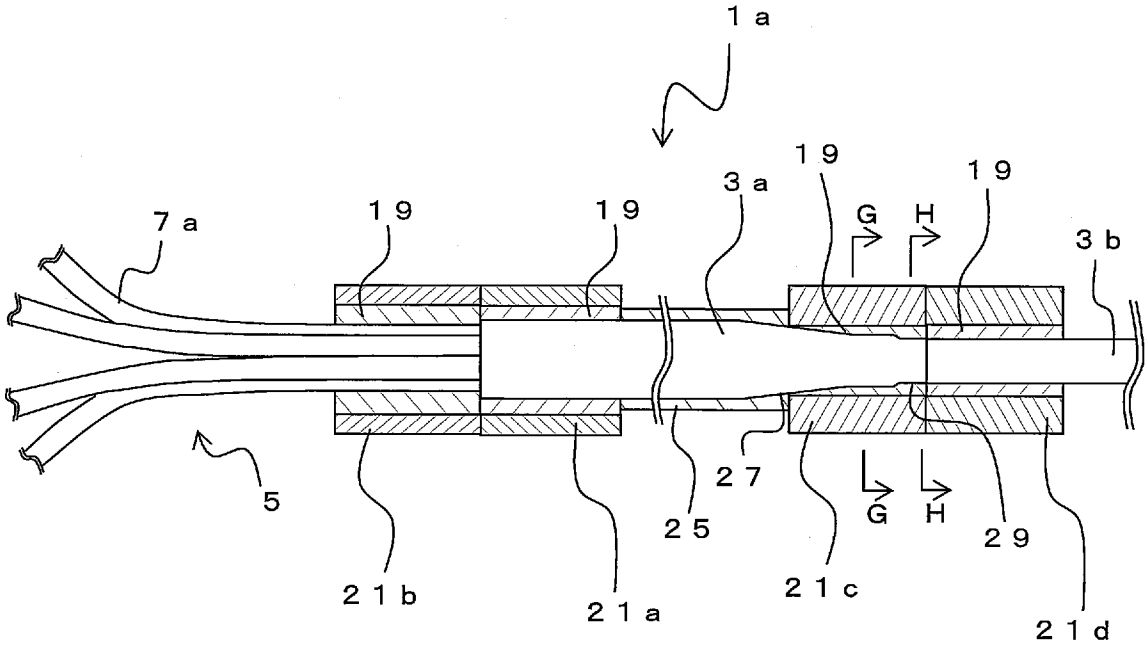
[図5]



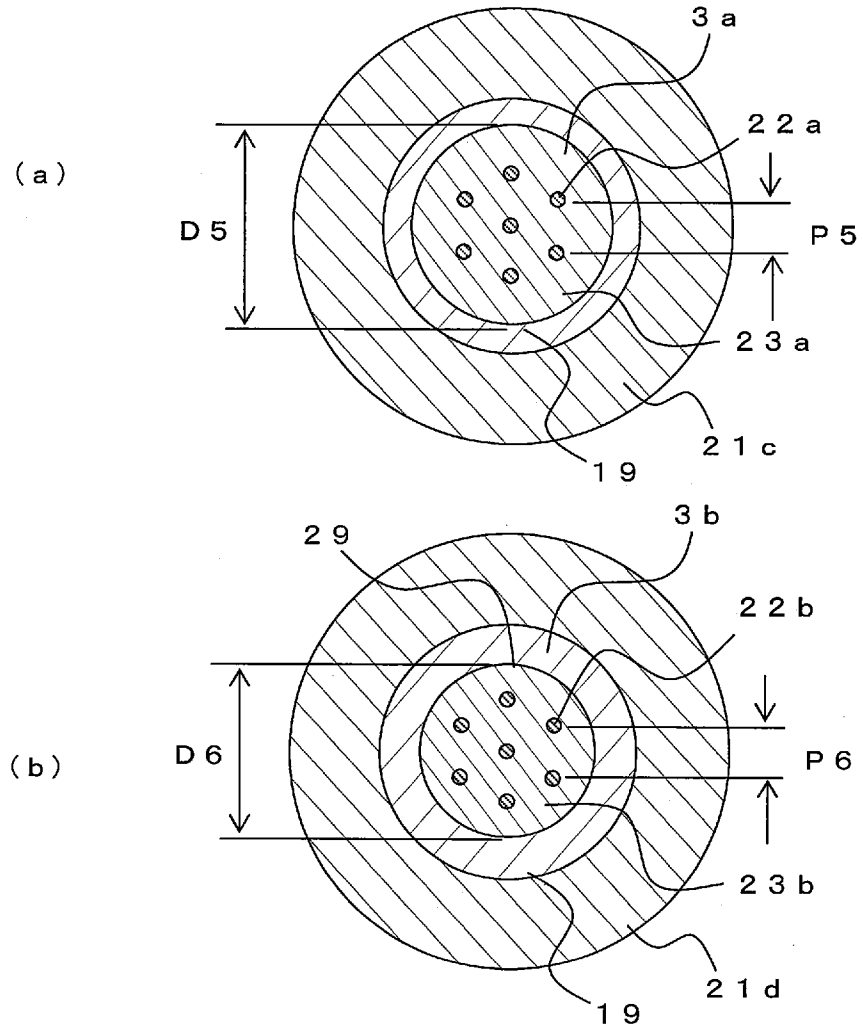
[図6]



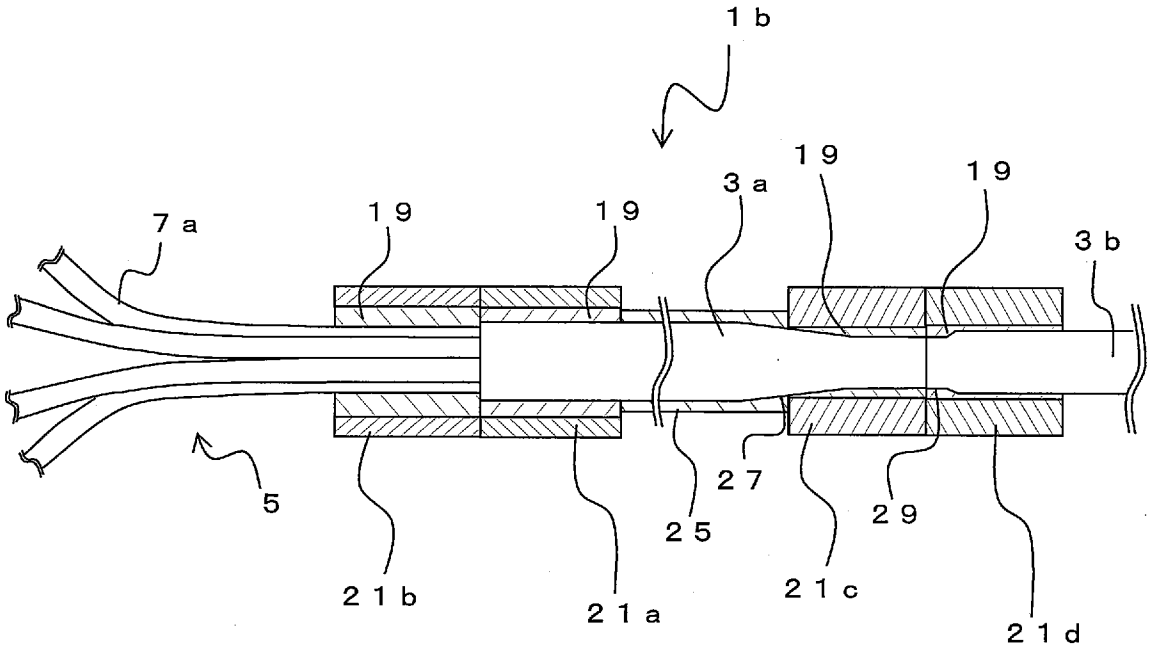
[図7]



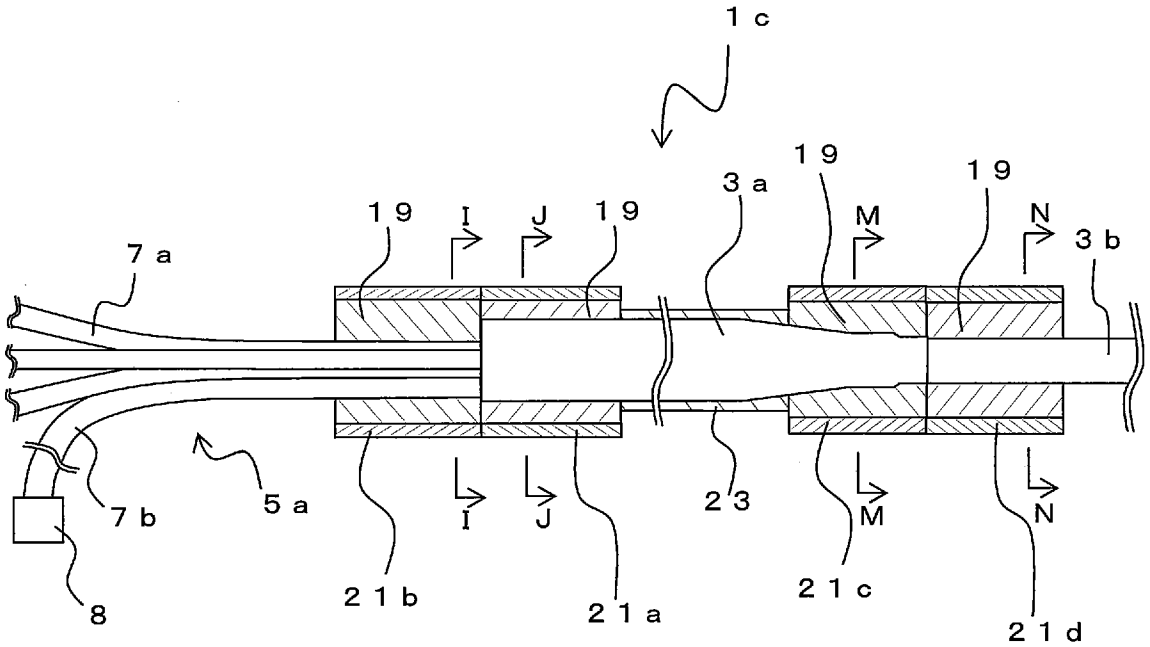
[図8]



[図9]

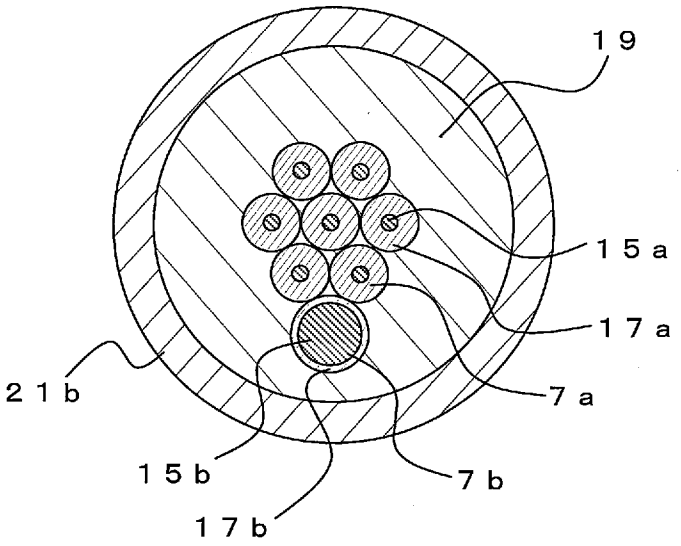

1b
19
19
3a
19
19
3b
7a
5
21b
21a
25
27
29
21c
21d

[図10]

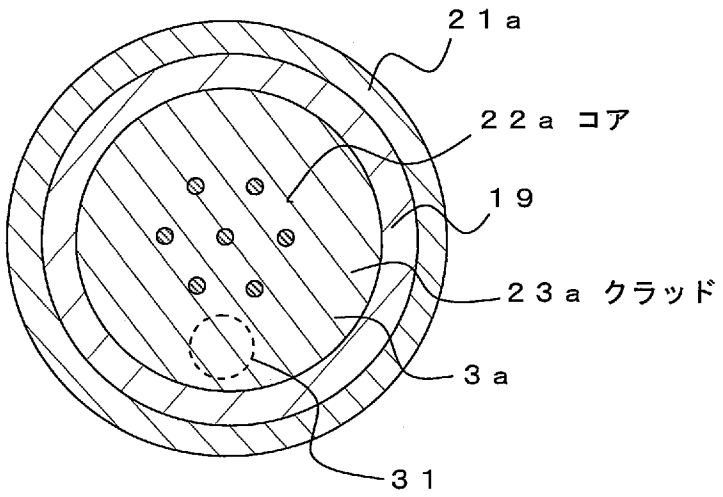

1c
19
19
I
J
19
3a
19
M
19
N
3b
7a
7b
5a
8
I
J
21b
21a
23
21c
M
N
21d

[図11]

（ａ）

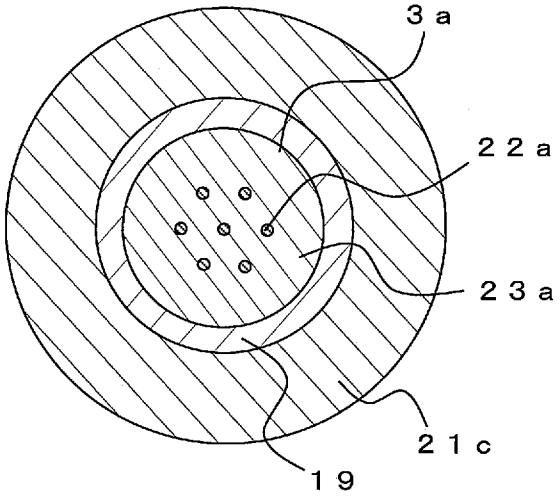


（ｂ）

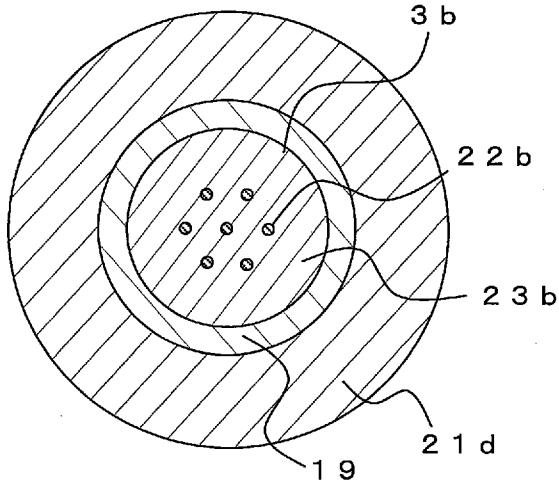


[図12]

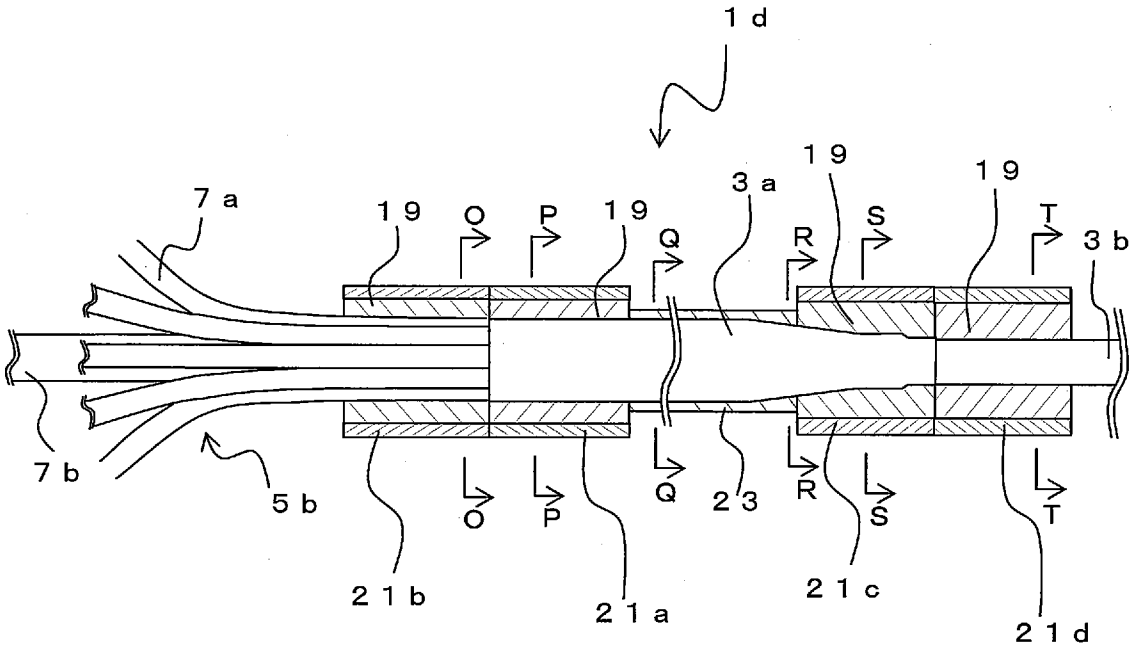
(a)



(b)

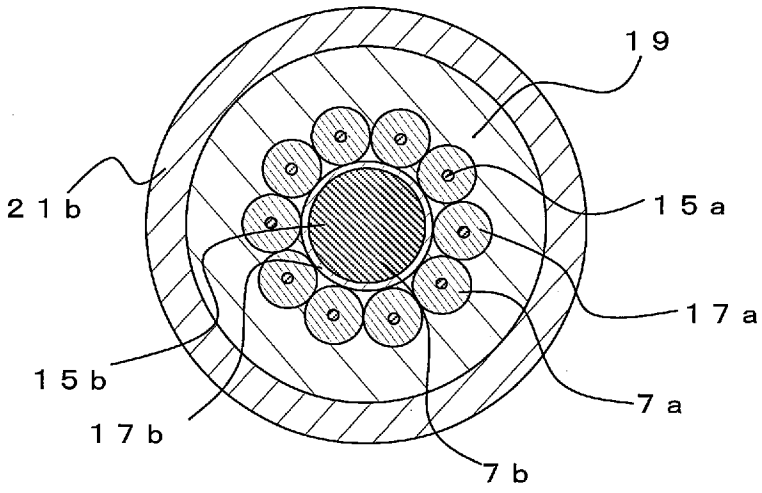


[図13]

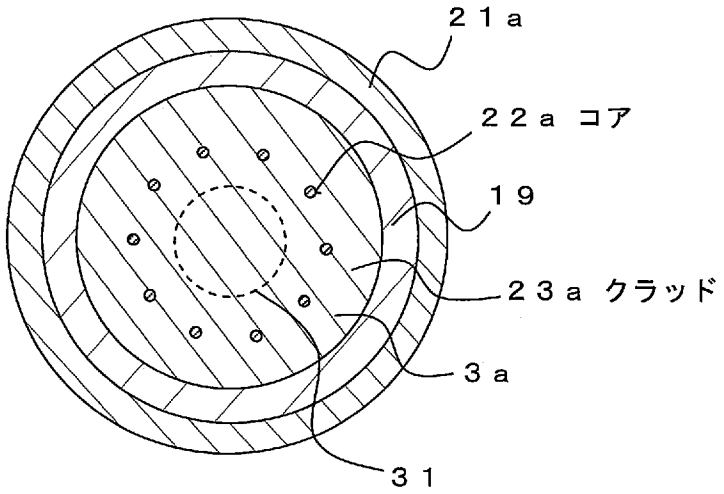


[図14]

（ａ）

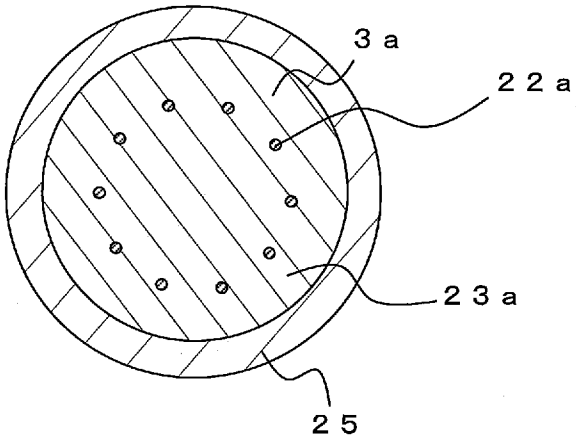


（ｂ）

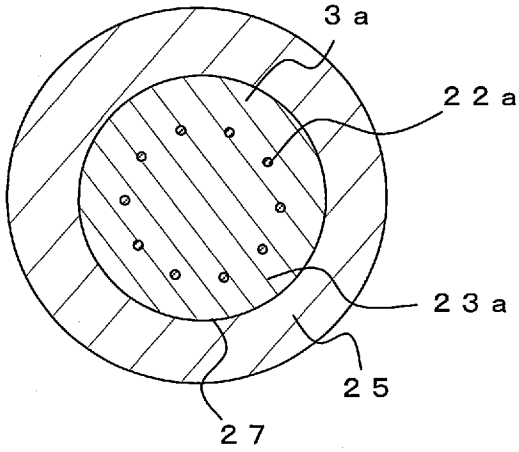


[図15]

(a)

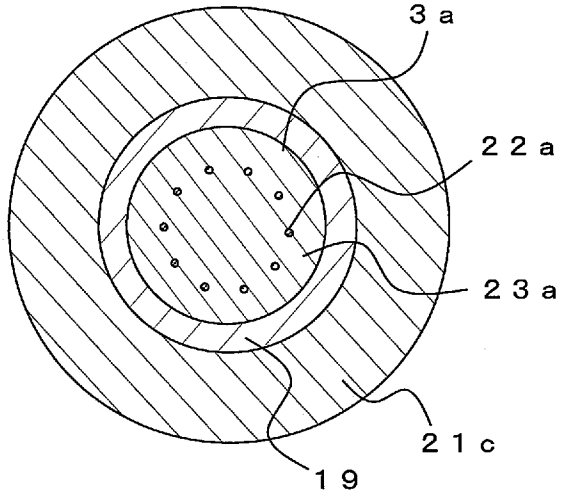


(b)

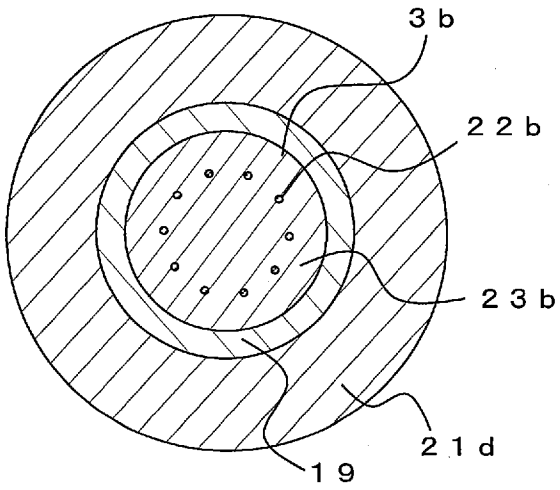


[図16]

(a)

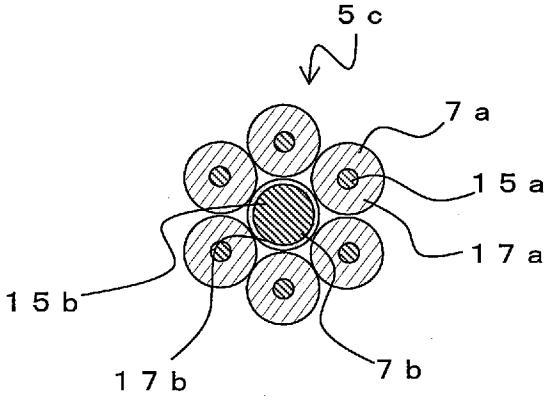


(b)

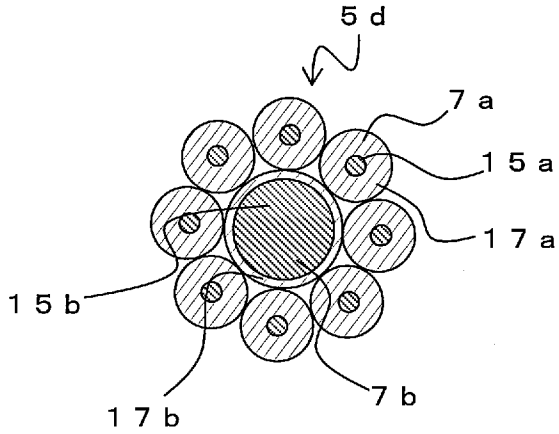


[図17]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/054652

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02B6/26(2006.01)i, *G02B6/02*(2006.01)i, *G02B6/04*(2006.01)i, *G02B6/255*(2006.01)i, *H01S3/10*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G02B6/26, G02B6/02, G02B6/04, G02B6/255, H01S3/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2-58006 A (Fujikura Electric Wire Corp.), 27 February 1990 (27.02.1990), page 2, upper left column, line 17 to lower right column, line 6; fig. 1 to 3 (Family: none)	1,2,8,9 3,4,6,7,10 5,11,12
Y A	JP 2000-275468 A (Oshima Prototype Engineering Co.), 06 October 2000 (06.10.2000), claims 1, 2, 4, 5; fig. 1 (Family: none)	3,10 5,11,12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 March, 2014 (17.03.14)	25 March, 2014 (25.03.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/054652

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	K. S. Abedin, T. F. Taunay, M. Fishteyn, D. J. DiGiovanni, V. R. Supradeepa, J. M. Fini, M. F. Yan, B. Zhu, E. M. Monberg, and F. V. Dimarcello, Cladding-pumped erbium-doped multicore fiber amplifier, Optics Express, 2012.08.27, Vol. 20, No. 18, pp. 20191 - 20200	4,6,7 5,11,12

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０５４６５２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B6/26(2006.01)i, G02B6/02(2006.01)i, G02B6/04(2006.01)i, G02B6/255(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B6/26, G02B6/02, G02B6/04, G02B6/255, H01S3/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X Y A	JP 2-58006 A（藤倉電線株式会社）1990.02.27，２頁左上欄１７行－同頁右下欄６行，第１－３図（ファミリーなし）	1，2，8，9 3，4，6，7，10 5，11，12
Y A	JP 2000-275468 A（株式会社雄島試作研究所）2000.10.06，【請求項１】，【請求項２】，【請求項４】，【請求項５】，【図１】（ファミリーなし）	3，10 5，11，12
Y	K. S. Abedin, T. F. Taunay, M. Fishteyn, D. J. DiGiovanni, V.	4，6，7

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー

「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１７．０３．２０１４	２５．０３．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｘ　９１２４
吉田　英一
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９４

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	R. Supradeepa, J. M. Fini, M. F. Yan, B. Zhu, E. M. Monberg, and F. V. Dimarcello, Cladding-pumped erbium-doped multicore fiber amplifier, Optics Express, 2012.08.27, Vol. 20, No. 18, pp. 20191 - 20200	5, 11, 12