

(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
2012 年 10 月 11 日(11.10.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/137789 A1

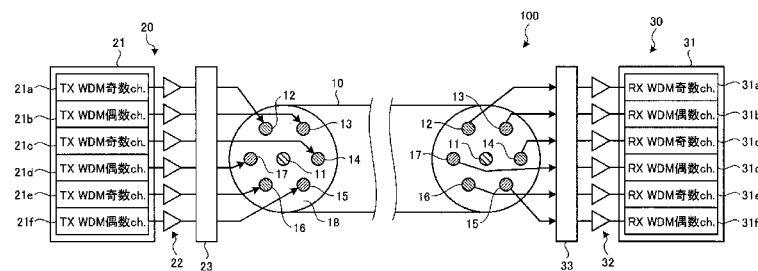
- (51) 国際特許分類:
H04B 10/12 (2006.01) *H04B 10/14* (2006.01)
G02B 6/00 (2006.01) *H04J 14/00* (2006.01)
G02B 6/032 (2006.01) *H04J 14/02* (2006.01)
G02B 6/04 (2006.01) *H04J 14/04* (2006.01)
H04B 10/13 (2006.01) *H04J 14/06* (2006.01)
H04B 10/135 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/059111
- (22) 国際出願日: 2012 年 4 月 3 日(03.04.2012)
- (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:
特願 2011-086467 2011 年 4 月 8 日(08.04.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 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二丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 武笠 和則(MUKASA, Kazunori) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 酒井 宏明, 外(SAKAI, Hiroaki et al.); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目 2 番 5 号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 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, 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, IS, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, MD, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM, MULTICORE OPTICAL FIBER, AND METHOD FOR MANUFACTURING MULTICORE OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 光伝送方式およびマルチコア光ファイバならびにマルチコア光ファイバの製造方法

【図1】



21a, 21c, 21e, 31a, 31c, 31e... ODD
21b, 21d, 21f, 31b, 31d, 31f... EVEN

(57) Abstract: The present invention provides a multicore optical fiber having a plurality of core units, and signal lights having mutually different wavelengths are inputted to the core units of the multicore optical fiber that are closest to each other. Preferably, wavelength-divided multiple signal lights that include one of the signal lights having mutually different wavelengths are inputted to at least one of the plurality of core units. Preferably, the wavelength-divided multiple signal lights that include the signal lights having mutually different wavelengths are inputted to the core units, and the wavelength-divided multiple signal lights are included in mutually different wavebands.

(57) 要約: 複数のコア部を有するマルチコア光ファイバを備え、前記マルチコア光ファイバの互いに最も隣接するコア部に対して互いに波長の異なる信号光を入力させる。好ましくは、前記複数のコア部の少なくとも一つに前記互いに波長の異なる信号光の一方を含む波長分割多重信号光を入力させる。好ましくは、前記互いに波長の異なる各信号光を含む各波長分割多重信号光を前記各コア部に入力させ、かつ前記各波長分割多重信号光は、互いに異なる波長帯に含まれる。

WO 2012/137789 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

光伝送方式およびマルチコア光ファイバならびにマルチコア光ファイバの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、マルチコア光ファイバを用いた光伝送方式およびマルチコア光ファイバならびにマルチコア光ファイバの製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] 近年のインターネットトラヒックの劇的な増大に伴い、従来型の伝送用光ファイバでは伝送容量が不足することが予想されている。この伝送容量の不足を解決する方法として、マルチコア光ファイバを用いた空間多重技術が有望視されている。例えば、非特許文献1、2では、7つのコア部を有し、断面構造を最適化することで有効コア断面積 A_{eff} を $100\mu m^2$ まで拡大した7コア型のマルチコア光ファイバが提案されている。このような有効コア断面積の拡大によって、光ファイバの光学非線形性が低下するので、より大容量の光伝送を実現するために好ましいマルチコア光ファイバとなる。

[0003] また、非特許文献3では、フォトリックバンドギャップファイバ (Photonic BandGap Fiber : PBGF) を用いることで、光ファイバの非線形性を格段に抑制されること、およびフォトリックバンドギャップファイバを用いることで、長距離かつ低ペナルティーエラーでの光伝送が実現される可能性が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2010-237457号公報

非特許文献

[0005] 非特許文献1：K. Imamura et al., OFC2010, OWK6 (2010)

非特許文献2：K. Imamura et al., OECC2010, 7C2-2 (2010)

非特許文献3：K. Mukasa et al., OFC2007, OML1 (2007)

非特許文献4：K. Saitoh, et al., OPTICS EXPRESS, Vol.11, No.23, 2003, pp3100-3109

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、マルチコア光ファイバの場合は、各コア部を伝搬する信号光が干渉して劣化しないように、コア部間のクロストーク特性が良好であることが要求されている。

[0007] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、良好なクロストーク特性を実現する光伝送方式およびマルチコア光ファイバならびにマルチコア光ファイバの製造方法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

[0008] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る光伝送方式は、複数のコア部を有するマルチコア光ファイバを備え、前記マルチコア光ファイバの互いに最も隣接するコア部に対して互いに波長の異なる信号光を入力させることを特徴とする。

[0009] また、本発明に係るマルチコア光ファイバは、複数のコア部と、前記各コア部のうち互いに隣接するコア部に対してそれぞれ異なるバンドギャップ波長帯のフォトリソニックバンドギャップを形成するように配置された複数の空孔と、を備えることを特徴とする。

[0010] また、本発明に係るマルチコア光ファイバの製造方法は、上記発明のマルチコア光ファイバの製造方法であって、スタックアンドドロ法によって、前記コア部となる部分と前記コア部にバンドギャップ波長帯を形成するための空孔とを含む複数のガラス母材を形成し、前記複数のガラス母材を束状にして、光ファイバ母材を形成し、前記光ファイバ母材を線引きして前記マルチコア光ファイバを製造する、ことを含むことを特徴とする。

[0011] また、本発明に係るマルチコア光ファイバの製造方法は、上記発明のマルチコア光ファイバの製造方法であって、スタックアンドドロ法によって、

前記複数のコア部となる部分と前記コア部にバンドギャップ波長帯を形成するための空孔とを形成した光ファイバ母材を形成し、前記光ファイバ母材を線引きして前記マルチコア光ファイバを製造する、ことを含むことを特徴とする。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、マルチコア光ファイバの互いに最も隣接するコア部に対して互いに波長の異なる信号光を入力させることによって、良好なクロストーク特性を実現できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図1は、実施の形態1に係る光伝送システムのブロック構成図である。
[図2]図2は、実施の形態2に係る光伝送システムのブロック構成図である。
[図3]図3は、実施の形態3に係る光伝送システムのブロック構成図である。
[図4]図4は、実施の形態4に係る光伝送システムのブロック構成図である。
[図5]図5は、実施の形態5に係る光伝送システムのブロック構成図である。
[図6]図6は、ホーリーファイバ型のマルチコア光ファイバの模式的な断面図である。
[図7]図7は、実施の形態6に係る光伝送システムにおいて用いるフォトニックバンドギャップ型のマルチコア光ファイバの模式的な断面図である。
[図8]図8は、実施の形態6に係る光伝送システムのブロック構成図である。
[図9]図9は、図8に示すマルチコア光ファイバのバンドギャップ波長帯を模式的に示す図である。
[図10]図10は、フォトニックバンドギャップ型のマルチコア光ファイバの閉じ込め損失スペクトルの一例を示す図である。
[図11]図11は、実施の形態7に係る光伝送システムのブロック構成図である。
[図12]図12は、図11に示すマルチコア光ファイバの閉じ込め損失スペクトルを模式的に示す図である。
[図13]図13は、実施の形態8に係る光伝送システムのブロック構成図であ

る。

[図14]図14は、実施の形態9に係る光伝送システムのブロック構成図である。

[図15]図15は、図7に示すフォトリソバンドギャップ型のマルチコア光ファイバの製造方法の一例を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0014] 例えば、マルチコア光ファイバの互いに最も隣接するコア部に、同一の波長1550nmの信号光を入力して伝送する場合は、マルチコア光ファイバの100km伝送後に、クロストークによって隣接するコア部に信号光のパワーに比して約-30dBのレベルの光パワーが乗り移ってしまうことになる。この-30dBのパワーの光は乗り移った先のコア部では大きなノイズとなり、そのコア部の伝送特性を劣化させる。

[0015] これに対して、本発明では、マルチコア光ファイバの互いに最も隣接するコア部に対して互いに波長の異なる信号光を入力させる。これによって、隣接するコア部へのクロストークの影響を大幅に抑制することができるので、良好なクロストーク特性を実現できる。

[0016] 以下に、図面を参照して本発明に係る光伝送方式およびマルチコア光ファイバならびにマルチコア光ファイバの製造方法の実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

[0017] (実施の形態1)

本発明の実施の形態として、本発明に係る光伝送方式を適用した光伝送システムについて説明する。図1は、実施の形態1に係る光伝送システムのブロック構成図である。図1に示すように、この光伝送システム100は、マルチコア光ファイバ10とマルチコア光ファイバ10によって接続された送信装置20と受信装置30とを備えている。

[0018] マルチコア光ファイバ10は、石英系ガラスからなるコア部11～17と、コア部11～17の外周に形成されたコア部11～17よりも屈折率が低い石英系ガラスからなるクラッド部18とを備えている。マルチコア光ファ

イバ１０はコア部１１～１７とクラッド部１８とに空孔構造が無く中実構造であり、いわゆるソリッド型のマルチコア光ファイバである。なお、コア部１１はマルチコア光ファイバ１０の長手方向の軸の中心近傍に位置し、他のコア部１２～１７は、コア部１１を重心とする正六角形の各頂点の位置に配置されている。コア部１１～１７のコア径はほぼ同一であり、たとえば $8\mu\text{m}$ である。コア部１１～１７のクラッド部１８に対する比屈折率差はほぼ同一でたとえば 0.35% である。ただし、コア径や比屈折率はこれらの値に限定されない。

[0019] 送信装置２０は、半導体レーザなどの光源で構成された送信器（Tx）２１a～２１fを備える光送信部２１と、送信器２１a～２１fに接続した複数の光増幅器２２と、複数の光増幅器２２に接続した光コネクタ２３とを備えている。

[0020] 光送信部２１は波長分割多重（Wavelength Division Multiplexing: WDM）信号光を出力するものである。WDM信号光はたとえばITU-T（国際電気通信連合）で規定される波長グリッドに割り当てられた信号チャネルに対応する複数の信号光によって構成される。送信器２１a、２１c、２１eはWDM信号光を構成する複数の信号チャネルに波長の短い順または長い順にチャネル番号を割り当てた場合に、奇数チャネルの信号光を出力するように構成されている。また、送信器２１b、２１d、２１fはWDM信号光を構成する偶数チャネルの信号光を出力するように構成されている。なお、送信器２１a～２１fのそれぞれが出力する信号光の数は、奇数または偶数チャネルのうちの１つでもよいし複数でもよい。

[0021] 複数の光増幅器２２は、送信器２１a～２１fの数と対応した数だけ設けられた、たとえば光ファイバ増幅器や半導体光増幅器であり、送信器２１a～２１fが出力した信号光を増幅する。光コネクタ２３は、送信器２１a、２１b、２１c、２１d、２１e、２１fのそれぞれから出力されて増幅された信号光を、それぞれマルチコア光ファイバ１０のコア部１２、１３、１４、１７、１６、１５に入力させるように構成されている。なお、この光コ

ネクタ 23 は、たとえば特許文献 1 に開示されるような、光ファイバを束ねて構成した光ファイババンドルによって実現することができる。

[0022] 受信装置 30 は、フォトダイオードなどの受光器で構成された受信器 (Rx) 31a~31f を備える光受信部 31 と、受信器 31a~31f に接続した複数の光増幅器 32 と、複数の光増幅器 32 に接続した光コネクタ 33 とを備えている。複数の光増幅器 32 は受信器 31a~31f の数に対応した数だけ設けられている。

[0023] 光コネクタ 33 は、マルチコア光ファイバ 10 のコア部 12、13、14、17、16、15 から出力され、かつ複数の光増幅器 32 によって増幅された信号光を、受信器 31a、31b、31c、31d、31e、31f のそれぞれに入力させるように構成されている。光コネクタ 33 も公知の光ファイババンドルによって実現することができる。

[0024] 受信器 31a、31b、31c、31d、31e、31f は、送信器 21a、21b、21c、21d、21e、21f からマルチコア光ファイバ 10 を介して伝送されてきた信号光を受光し、これを電気信号に変換するように構成されている。

[0025] この光伝送システム 100 では、送信装置 20 は、マルチコア光ファイバ 10 の互いに最も隣接するコア部、たとえばコア部 12 の場合はコア部 13 またはコア部 17 に対して、互いに波長が異なる信号光を入力させている。マルチコア光ファイバ 10 は、入力された信号光を各コア部 12~17 にて伝送する。受信装置 30 は、各コア部 12~17 を伝送された信号光を受信器 31a、31b、31c、31d、31e、31f にて受光し、これを電気信号に変換する。

[0026] このように、光伝送システム 100 では、たとえばコア部 12 には奇数チャネルの信号光を入力させ、コア部 13 またはコア部 17 には偶数チャネルの信号光を入力させている。その結果、たとえコア部 12 にコア部 13 またはコア部 17 を伝送する偶数チャネルの信号光のパワーが乗り移ってきたとしても、互いの波長が異なるので、乗り移った信号光はコア部 12 を伝送す

る奇数チャネルの信号光との干渉は殆ど抑制される。また、他のコア部 13～17 についても、当該コア部を伝送する信号光と他のコア部から乗り移ってきた信号光との干渉は殆ど抑制される。また、当該コア部を伝送する信号光と他のコア部から乗り移ってきた信号光との波長の差が大きくなるにつれて、相互位相変調のような非線形性の干渉も一層抑制される。したがって、本実施の形態 1 に係る光伝送システム 100 はクロストーク特性が良好であり、たとえば長距離かつ低ペナルティーエラーでの光伝送に適する。

[0027] なお、実施の形態 1 ではコア部 11 では信号光を伝送していないが、後述する実施の形態のようにコア部 11 を用いて信号光を伝送してもよい。また、コア部 11 を、マルチコア光ファイバ 10 同士やマルチコア光ファイバ 10 と送信装置 20 または受信装置 30 との接続時の光軸合わせなどに用いることもできる。さらに、実施の形態 1 において、マルチコア光ファイバ 10 からコア部 11 を削除した構成のマルチコア光ファイバをマルチコア光ファイバ 10 に置き換えて用いてもよい。

[0028] (実施の形態 2)

図 2 は、実施の形態 2 に係る光伝送システムのブロック構成図である。図 2 に示すように、この光伝送システム 100 A は、光伝送システム 100 において、送信装置 20 を送信装置 20 A に置き換え、受信装置 30 を不図示の受信装置に置き換えたものである。

[0029] 送信装置 20 A は、送信器 (Tx) 21 A a～21 A f を備える光送信部 21 A と、送信器 21 A a～21 A f に接続した複数の光増幅器 22 A と、複数の光増幅器 22 A に接続した光コネクタ 23 A とを備えている。

[0030] 光送信部 21 A は光通信に用いられる波長帯である C バンド (約 1530 nm～1565 nm) および L バンド (約 1565 nm～1625 nm) の WDM 信号光を出力するものである。送信器 21 A a、21 A c、21 A e は C バンドの WDM 信号光を出力するように構成されている。また、送信器 21 A b、21 A d、21 A f は L バンドの WDM 信号光を出力するように構成されている。

[0031] 複数の光増幅器 22 A は、送信器 21 A a ~ 21 A f が出力した信号光を増幅する。光コネクタ 23 A は、送信器 21 A a、21 A b、21 A c、21 A d、21 A e、21 A f のそれぞれから出力されて増幅された信号光を、それぞれマルチコア光ファイバ 10 のコア部 12、13、14、17、16、15 に入力させるように構成されている。

[0032] なお、不図示の受信装置は、図 1 に示す受信装置 30 において、光受信部 31 の各受信器を、送信器 21 A a、21 A b、21 A c、21 A d、21 A e、21 A f から伝送されてきた C バンドまたは L バンドの WDM 信号光を受信することができる受信器に置き換えた構成を有している。

[0033] この光伝送システム 100 A でも、送信装置 20 A は、マルチコア光ファイバ 10 の互いに最も隣接するコア部、たとえばコア部 12 の場合はコア部 13 またはコア部 17 に対して、互いに波長帯が異なる信号光を入力させている。このように、互いに隣接するコア部には波長帯自体が異なる信号光が入力されるので、コア部 12 ~ 17 のそれぞれを伝送する信号光と他のコア部から乗り移ってきた信号光との干渉は一層抑制される。また、相互位相変調のような非線形性の干渉もより一層抑制される。したがって、本実施の形態 2 に係る光伝送システム 100 A はより一層クロストーク特性が良好である。

[0034] なお、実施の形態 2 ではコア部 11 では信号光を伝送していないが、後述する実施の形態のようにコア部 11 を用いて信号光を伝送してもよい。また、コア部 11 を、マルチコア光ファイバ 10 同士やマルチコア光ファイバ 10 と送信装置 20 または受信装置 30 との接続時の光軸合わせなどに用いることもできる。さらに、実施の形態 2 おいて、マルチコア光ファイバ 10 からコア部 11 を削除した構成のマルチコア光ファイバをマルチコア光ファイバ 10 に置き換えて用いてもよい。

[0035] (実施の形態 3)

図 3 は、実施の形態 3 に係る光伝送システムのブロック構成図である。図 3 に示すように、この光伝送システム 100 B は、光伝送システム 100 に

において、送信装置 20 を送信装置 20 B に置き換え、受信装置 30 を受信装置 30 B に置き換えたものである。

[0036] 送信装置 20 B は、送信器 (Tx) 21 B a ~ 21 B i を備える光送信部 21 B と、送信器 21 B a ~ 21 B i に接続した複数の光増幅器 22 B と、複数の光増幅器 22 B に接続した光コネクタ 23 B とを備えている。

[0037] 送信器 21 B a ~ 21 B i は、WDM 信号光を構成する複数の信号チャンネルに波長の短い順または長い順にチャンネル番号を割り当てた場合に、それぞれ 1 チャンネル ~ 9 チャンネルの信号光を出力するように構成されている。

[0038] 複数の光増幅器 22 B は、送信器 21 B a ~ 21 B i の数と対応した数だけ設けられており、送信器 21 B a ~ 21 B i が出力した信号光を増幅する。光コネクタ 23 B は、送信器 21 B a、21 B b、21 B c、21 B d、21 B e、21 B f、21 B g、21 B h、21 B i のそれぞれから出力されて増幅された信号光を、それぞれマルチコア光ファイバ 10 のコア部 12、13、14、15、16、17、18 に入力させるように構成されている。

[0039] 受信装置 30 B は、受信器 (Rx) 31 B a ~ 31 B i を備える光受信部 31 B と、受信器 31 B a ~ 31 B i に接続した複数の光増幅器 32 B と、複数の光増幅器 32 B に接続した光コネクタ 33 B とを備えている。複数の光増幅器 32 B は受信器 31 B a ~ 31 B i の数に対応した数だけ設けられている。

[0040] 光コネクタ 33 B は、マルチコア光ファイバ 10 のコア部 12、13、14、15、16、17 から出力され、かつ増幅された信号光を、受信器 31 B a、31 B b、31 B d、31 B e、31 B g、31 B h のそれぞれに入力させ、かつコア部 11 から出力され、かつ増幅された信号光を、受信器 31 B c、31 B f、31 B i のそれぞれに入力させるように構成されている。

[0041] 受信器 31 B a、31 B b、31 B c、31 B d、31 B e、31 B f、31 B g、31 B h、31 B i は、送信器 21 B a、21 B b、21 B c、

21Bd、21Be、21Bf、21Bg、21Bh、21Biからマルチコア光ファイバ10を介して伝送されてきた信号光を受光し、これを電気信号に変換するように構成されている。

[0042] ここで、コア部11～17を、三角形状に配置されており、互いに最隣接ではないコア部12、14、16からなる第1コア群と、逆三角形状に配置されており、互いに最隣接ではないコア部13、15、17からなる第2コア群と、中心付近に位置するコア部11からなる第3コア群とに分類する。

[0043] この光伝送システム100Bでは、送信器21Ba～21Biから出力された1チャンネル、2チャンネル、・・・、9チャンネルの信号光は、第1コア群、第2コア群、第3コア群、第1コア群、・・・、第3コア群に順番に割り当てられて入力されている。このようにすることによって、7つのコア部11～17のすべてを使用して、互いに最も隣接するコア部に対して互いに波長の異なる信号光を、より波長差が大きい状態で入力させることができる。したがって、この光伝送システム100Bでは、より大容量かつクロストーク特性が良好な光伝送を実現することができる。

[0044] なお、実施の形態3では、隣接しないコア部、たとえばコア部12とコア部14にもそれぞれ1チャンネル、4チャンネルという異なる波長の信号光を入力しているが、本発明はこれに限らず、隣接しないコア部同士であれば同じ波長（あるいは同じ波長帯）の信号光を入力させてもよい。

[0045] （実施の形態4）

図4は、実施の形態4に係る光伝送システムのブロック構成図である。図4に示すように、この光伝送システム100Cは、光伝送システム100において、送信装置20を送信装置20Cに置き換え、受信装置30を受信装置30Cに置き換えたものである。

[0046] 送信装置20Cは、送信器（Tx）21Ca～21Cgを備える光送信部21Cと、送信器21Ca～21Cgに接続した複数の光増幅器22Cと、複数の光増幅器22Cに接続した光コネクタ23Cとを備えている。

[0047] 光送信部21Cは光通信に使用される波長帯であるSバンド（約1460

n m ~ 1 5 3 0 n m)、Cバンド、およびLバンドのWDM信号光を出力するものである。送信器21Ca、21Cc、21CfはCバンドのWDM信号光を出力するように構成されている。また、送信器21Cb、21Ce、21CgはLバンドのWDM信号光を出力するように構成されている。また、送信器21CdはSバンドのWDM信号光を出力するように構成されている。

[0048] 複数の光増幅器22Cは、送信器21Ca~21Cgの数と対応した数だけ設けられており、送信器21Ca~21Cgが出力した信号光を増幅する。光コネクタ23Cは、送信器21Ca、21Cb、21Cc、21Cd、21Ce、21Cf、21Cgのそれぞれから出力されて増幅された信号光を、それぞれマルチコア光ファイバ10のコア部12、13、14、11、17、16、15に入力させるように構成されている。

[0049] 受信装置30Cは、受信器(Rx)31Ca~31Cgを備える光受信部31Cと、受信器31Ca~31Cgに接続した複数の光増幅器32Cと、複数の光増幅器32Cに接続した光コネクタ33Cとを備えている。複数の光増幅器32Cは受信器31Ca~31Cgの数に対応した数だけ設けられている。

[0050] 光コネクタ33Cは、マルチコア光ファイバ10のコア部12、13、14、11、17、16、15から出力され、かつ増幅された信号光を、受信器31Ca、31Cb、31Cc、31Cd、31Ce、31Cf、31Cgのそれぞれに入力させるように構成されている。

[0051] 受信器31Ca、31Cb、31Cc、31Cd、31Ce、31Cf、31Cgは、送信器21Ca、21Cb、21Cc、21Cd、21Ce、21Cf、21Cgからマルチコア光ファイバ10を介して伝送されてきた信号光を受光し、これを電気信号に変換するように構成されている。

[0052] ここで、コア部11~17を、実施の形態3と同様にコア部12、14、16からなる第1コア群と、コア部13、15、17からなる第2コア群と、コア部11からなる第3コア群とに分類する。

[0053] この光伝送システム 100C では、光送信部 21C から出力された C バンド、L バンド、S バンドの信号光は、それぞれ第 1 コア群、第 2 コア群、第 3 コア群に割り当てられて入力されている。このようにすることによって、7 つのコア部 11 ~ 17 のすべてを使用して、互いに最も隣接するコア部に対して互いに波長帯の異なる信号光を入力させることができる。したがって、光伝送システム 100C では、より大容量かつクロストーク特性が良好な光伝送を実現することができる。なお、光伝送システム 100C では、S バンドよりも伝送損失が小さいなどの理由により伝送容量を大きくしやすい C バンドと L バンドとをコア部が多い第 1 または第 3 コア群に割り当てることで、よりコア部を効率良く利用できる。

[0054] (実施の形態 5)

図 5 は、実施の形態 5 に係る光伝送システムのブロック構成図である。図 5 に示すように、この光伝送システム 100D は、光伝送システム 100 において、送信装置 20 を送信装置 20D に置き換え、受信装置 30 を不図示の受信装置に置き換えたものである。

[0055] 送信装置 20D は、送信器 (Tx) 21Da ~ 21Dg を備える光送信部 21D と、送信器 21Da ~ 21Dg に接続した複数の光増幅器 22D と、複数の光増幅器 22D に接続した光コネクタ 23D とを備えている。

[0056] 光送信部 21D において送信器 21Da、21Dc、21Df は C バンドの WDM 信号光の奇数チャネルの信号光を出力するように構成されている。送信器 21Db、21De、21Dg は C バンドの WDM 信号光の偶数チャネルの信号光を出力するように構成されている。送信器 21Dd は L バンドの WDM 信号光を出力するように構成されている。

[0057] 複数の光増幅器 22D は、送信器 21Da ~ 21Dg が出力した信号光を増幅する。光コネクタ 23D は、送信器 21Da、21Db、21Dc、21Dd、21De、21Df、21Dg のそれぞれから出力されて増幅された信号光を、それぞれマルチコア光ファイバ 10 のコア部 12、13、14、11、17、16、15 に入力させるように構成されている。

[0058] なお、不図示の受信装置は、図1に示す受信装置30において、光受信部31の各受信器を、送信器21Da～21Dgから伝送されてきたCバンドまたはLバンドのWDM信号光を受信することができる受信器に置き換えた構成を有している。

[0059] この光伝送システム100Dでは、光送信部21Dから出力されたCバンドの奇数チャネル、Cバンドの偶数チャネル、Lバンドの信号光は、それぞれ第1コア群、第2コア群、第3コア群に割り当てられて入力されている。このようにすることによって、7つのコア部11～17のすべてを使用して、互いに最も隣接するコア部に対して互いに波長帯の異なるまたは互いに波長差が大きい信号光を入力させることができる。したがって、光伝送システム100Dでは、より大容量かつクロストーク特性が良好な光伝送を実現することができる。なお、光伝送システム100Dでは、Cバンドと比較して曲げ損失が大きいLバンドの信号光をマルチコア光ファイバ10の中心付近に位置するコア部11に割り当てている。これによって、Lバンドの信号光はマルチコア光ファイバ10の曲げの影響を受けにくくなるので、マルチコア光ファイバ10のいずれのコア部を使用した場合においても低曲げ損失を実現できる。

[0060] 上記実施の形態では、マルチコア光ファイバ10はソリッド型であるが、ホーリーファイバ型のマルチコア光ファイバを用いてもよい。図6は、ホーリーファイバ型のマルチコア光ファイバの模式的な断面図である。図6に示すように、ホーリーファイバ型のマルチコア光ファイバ10Aは、コア部11A～17Aと、コア部の外周に形成されたクラッド部18Aとを備えている。コア部11Aはマルチコア光ファイバ10Aの長手方向の軸の中心近傍に位置し、他のコア部12A～17Aは、コア部11Aを重心とする正六角形の各頂点の位置に配置されている。コア部11A～17Aとクラッド部18Aとは屈折率が等しい石英系ガラスからなる。また、クラッド部18Aは、各コア部11A～17Aを含む各領域A1～A7に形成された複数の空孔19Aを有する。空孔19Aは、三角格子状に配列されている。この三角格

子の格子定数（すなわち空孔間距離）を Λ とし、空孔径を d とすると、各コア部11A～17Aの光学特性は、各領域A1～A7における d/Λ 、 Λ 、および各コア部11A～17Aを囲むように空孔19Aが形成する正六角形状の層（空孔層）の数によって設定することができる。なお、たとえば、 d/Λ は0.43であり、 Λ は7 μm であり、空孔層数は5であるが、特に限定はされない。

[0061]（実施の形態6）

つぎに、実施の形態6に係る、フォトリックバンドギャップファイバ型のマルチコア光ファイバを利用した光伝送システムについて説明する。図7は、実施の形態6に係る光伝送システムにおいて用いるフォトリックバンドギャップ型のマルチコア光ファイバの模式的な断面図である。

[0062] 図7に示すように、フォトリックバンドギャップ型のマルチコア光ファイバ10Bは、空孔構造を有するコア部11B～17Bと、コア部の外周に形成されたクラッド部18Bとを備えている。すなわち、マルチコア光ファイバ10Bは、いわゆるAir-core型フォトリックバンドギャップファイバである。

[0063] コア部11Bはマルチコア光ファイバ10Bの長手方向の軸の中心近傍に位置し、他のコア部12B～17Bは、コア部11Bを重心とする正六角形の各頂点の位置に配置されている。コア部11B～17Bとクラッド部18Bとは屈折率が等しい石英系ガラスからなる。また、クラッド部18Bは、各コア部11B～17Bを含む各領域B1～B7に形成された複数の空孔19Bを有する。

[0064] ここで、各領域B1～B7に配置された空孔19Bは、フォトリック結晶を形成するように三角格子状に配列されており、伝送すべき光の波長において2次元のブラッグ反射によるフォトリックバンドギャップが形成されている。その結果、各領域B1～B7に結晶欠陥として導入されたコア部11B～17Bは、伝送すべき光の波長を含むバンドギャップ波長帯の光のみを伝送することができる。なお、三角格子の格子定数（すなわち空孔間距離）を

Λ とし、空孔径を d とすると、各コア部11B～17Bのバンドギャップ波長帯は、 d/Λ および Λ によって設定することができる。

[0065] 図8は、実施の形態6に係る光伝送システムのブロック構成図である。図8に示すように、光伝送システム100Eは、図7に示すマルチコア光ファイバ10Bと、図2に示した実施の形態2の送信装置20Aおよび不図示の受信装置とを備えている。

[0066] 光コネクタ23Aは、送信器21Aa、21Ab、21Ac、21Ad、21Ae、21Afのそれぞれから出力されて増幅された信号光を、それぞれマルチコア光ファイバ10Bのコア部12B、13B、14B、17B、16B、15Bに入力させるように構成されている。

[0067] 図9は、図8に示すマルチコア光ファイバ10Bのバンドギャップ波長帯を模式的に示す図である。なお、横軸は波長、縦軸は閉じ込め損失をそれぞれ示している。図9に示すように、マルチコア光ファイバ10Bでは、送信器21Aa、21Ac、21Aeから出力されたCバンドのWDM信号光が入力される、互いに最隣接ではないコア部12B、14B、16Bにおいては、Cバンドに対応するように線L1で示すバンドギャップ波長帯が設定されている。また、送信器21Ab、21Ad、21Afから出力されたLバンドのWDM信号光が入力される、互いに最隣接ではないコア部13B、15B、17Bにおいては、Lバンドに対応するように線L2で示すバンドギャップ波長帯が設定されている。

[0068] このように、光伝送システム100Eでは、マルチコア光ファイバ10Bは、互いに隣接するコア部には異なるバンドギャップ波長帯が設定されている。その結果、たとえばコア部12Bに最隣接するコア部13Bから信号光が乗り移ってきたとしても、その乗り移ってきた信号光はコア部12Bを伝送されないから、信号光間の干渉はさらに一層抑制される。したがって、本実施の形態6に係る光伝送システム100Eはより一層クロストーク特性が良好である。

[0069] 図10は、フォトニックバンドギャップ型のマルチコア光ファイバの閉じ

込め損失スペクトルの一例を示す図である。ここで、横軸は、任意の波長 λ と、空孔間距離 Λ との比を示し、縦軸は、 d/Λ を0.97に設定したときの、 λ/Λ に対する閉じ込め損失の計算値を示している（非特許文献4参照）。図10の場合は、 λ/Λ が約0.37の場合に閉じ込め損失が最小となるようなバンドギャップ波長帯が形成される。したがって、たとえば波長約 $1.55\mu\text{m}$ において閉じ込め損失が最小となるようなバンドギャップ波長帯を形成する場合、 Λ を、約 $1.55/0.37=4.19\mu\text{m}$ に設定すればよい。

[0070] なお、実施の形態6ではコア部11Bでは信号光を伝送していないが、後述する実施の形態のようにコア部11Bを用いて信号光を伝送してもよい。また、コア部11Bを、マルチコア光ファイバ10B同士やマルチコア光ファイバ10Bと送信装置20Aまたは受信装置との接続時の光軸合わせなどに用いることもできる。さらに、実施の形態6において、マルチコア光ファイバ10Bからコア部11Bを削除した構成のマルチコア光ファイバをマルチコア光ファイバ10Bに置き換えて用いてもよい。

[0071] （実施の形態7）

図11は、実施の形態7に係る光伝送システムのブロック構成図である。図11に示すように、光伝送システム100Fは、マルチコア光ファイバ10Bと、図4に示した実施の形態4の送信装置20Cおよび不図示の受信装置とを備えている。

[0072] 光コネクタ23Cは、送信器21Ca、21Cb、21Cc、21Cd、21Ce、21Cf、21Cgのそれぞれから出力されて増幅された信号光を、それぞれマルチコア光ファイバ10Bのコア部12B、13B、14B、11B、17B、16B、15Bに入力させるように構成されている。

[0073] 図12は、図11に示すマルチコア光ファイバ10Bのバンドギャップ波長帯を模式的に示す図である。なお、横軸は波長、縦軸は閉じ込め損失をそれぞれ示している。図12に示すように、マルチコア光ファイバ10Bでは、送信器21Ca、21Cc、21Cfから出力されたCバンドのWDM信

号光が入力される、互いに最隣接ではないコア部 12 B、14 B、16 B においては、Cバンドに対応するように線 L1 で示すバンドギャップ波長帯が設定されている。また、送信器 21 C b、21 C e、21 C g から出力された Lバンドの WDM 信号光が入力される、互いに最隣接ではないコア部 13 B、15 B、17 B においては、Lバンドに対応するように線 L2 で示すバンドギャップ波長帯が設定されている。さらに、送信器 21 C d から出力された Sバンドの WDM 信号光が入力されるコア部 11 B においては、Sバンドに対応するように線 L3 で示すバンドギャップ波長帯が設定されている。

[0074] このように、光伝送システム 100 F では、マルチコア光ファイバ 10 B は、互いに隣接するコア部には異なるバンドギャップ波長帯が設定されている。その結果、たとえばコア部 12 B に最隣接するコア部 13 B から信号光が乗り移ってきたとしても、その乗り移ってきた信号光はコア部 12 B を伝送されないから、信号光間の干渉はさらに一層抑制される。したがって、本実施の形態 7 に係る光伝送システム 100 F はより一層クロストーク特性が良好である。

[0075] (実施の形態 8)

図 13 は、実施の形態 8 に係る光伝送システムのブロック構成図である。図 13 に示すように、この光伝送システム 200 は、図 1 に示す送信装置 20 と受信装置 30 との間に、複数のマルチコア光ファイバ 10 と、複数のマルチコア光増幅器 40 とが交互に接続された構成を有している。

[0076] マルチコア光増幅器 40 は、マルチコア光ファイバ 10 によって伝送された信号光を光増幅してその伝送損失を補償するものである。マルチコア光増幅器 40 は、たとえばエルビウム添加光ファイバ増幅器やラマン増幅器などの光ファイバ増幅器の増幅用光ファイバをマルチコア光ファイバで構成したものを用いることができる。または、マルチコア光増幅器 40 は、マルチコア光ファイバ 10 の各コア部を伝送してきた信号光を光ファイババンドル等で 1 本の光ファイバに合波し、それを 1 つのコア部を有する増幅用光ファイバを用いた光ファイバ増幅器で増幅する構成としてもよい。また、マルチコ

ア光増幅器 40 は半導体光増幅器で構成してもよい。

[0077] この光伝送システム 200 は、光中継器としてのマルチコア光増幅器 40 によってマルチコア光ファイバ 10 を多段接続しているので、より長距離の光伝送を実現するのに好適である。

[0078] (実施の形態 9)

図 14 は、実施の形態 9 に係る光伝送システムのブロック構成図である。

図 14 に示すように、この光伝送システム 300 は、図 4 に示す送信装置 20C と受信装置 30C との間に、複数のマルチコア光ファイバ 10 と、複数のマルチコア光増幅器 50 とが交互に接続された構成を有している。

[0079] マルチコア光増幅器 50 は、光コネクタ 51 と、光増幅部 52 と、光コネクタ 53 とを備えている。光増幅部 52 は、たとえば希土類添加光ファイバ増幅器やラマン増幅器などの光ファイバ増幅器で構成したものである。これらの光増幅器は、Sバンド、Cバンド、Lバンドの信号光をそれぞれ増幅することができる 3 種類の増幅用光ファイバを備えている。光コネクタ 51 は、マルチコア光ファイバ 10 を伝送してきた信号光を Sバンド、Cバンド、Lバンドごとに、光増幅部 52 の各バンド用の増幅用光ファイバに入力させるように構成されている。光コネクタ 53 は、光増幅部 52 の各増幅用光ファイバで増幅された各バンドの信号光を、信号光ごとに対応するマルチコア光ファイバ 10 のコア部に入力させるように構成されている。なお、各バンド用の増幅用光ファイバは、単一のコア部を有するシングルコア光ファイバで構成としてもよいし、たとえばマルチコア光ファイバで構成してもよい。この場合、たとえば Cバンドを例にして説明すると、Cバンドの増幅すべき信号光の数だけシングルコア増幅用光ファイバを設けるようにしてもよいし、Cバンドの増幅すべき信号光を複数のグループに分類し、そのグループの数だけシングルコア増幅用光ファイバを設けるようにしてもよいし、Cバンドの全ての信号光を 1 つのシングルコア増幅用光ファイバで増幅する構成にしてもよい。また、Cバンドの増幅すべき信号光の数だけのコア部を有するマルチコア増幅用光ファイバを設けるようにしてもよいし、Cバンドの増幅

すべき信号光のグループの数だけのコア部を有するマルチコア増幅用光ファイバを設けるようにしてもよい。

[0080] この光伝送システム300も、光中継器としてのマルチコア光増幅器50によってマルチコア光ファイバ10を多段接続しているので、より長距離の光伝送を実現するのに好適である。

[0081] つぎに、図7に示すフォトリックバンドギャップ型のマルチコア光ファイバ10Bの製造方法を説明する。マルチコア光ファイバ10Bは公知のスタックアンドドロウ法を用いて、コア部11B～17Bとなる空孔とコア部11B～17Bにバンドギャップ波長帯を形成するための空孔とを形成した光ファイバ母材を形成し、その空孔構造を制御しながら線引きすることで製造することができる。また、マルチコア光ファイバ10Bは、以下に説明する方法で製造すれば、より製造の負荷が軽減される。

[0082] 図15は、フォトリックバンドギャップ型のマルチコア光ファイバ10Bの製造方法の一例を説明する図である。図15に示す方法では、スタックアンドドロウ法によって、コア部11B～17Bのいずれかとなる空孔61aとコア部にバンドギャップ波長帯を形成するための空孔61bとを含むガラス母材61を形成する。なお、ガラス母材61は各コア部11B～17Bの特性に対応したものを7本用意する。そして、これらのガラス母材61を束状にしてガラス管62内に挿入し、光ファイバ母材60を形成する。ガラス母材の太さはガラス管62内にスタックすることが可能な程度の太さとする。そして、この光ファイバ母材60を線引きしてマルチコア光ファイバ10Bを製造する。この方法によれば、空孔構造を形成するための多数のガラス管またはガラス棒を一度に多量にスタックしなくても良いので、より製造の負荷が軽減される。なお、光ファイバ母材60の形成の際にガラス母材61とガラス管62との間の隙間を構造安定用のガラス棒などで充填すれば、線引きの際に空孔構造が安定するので好ましい。また、線引きの際に空孔内の圧力を制御して空孔を所望の形状に変形させ、損失特性などのマルチコア光ファイバの特性を向上させるようにしてもよい。

[0083] なお、上記実施の形態では、フォトリソグラフィ型マルチコア光ファイバはコア部が空孔構造である *Air-core* 型であるが、コア部が中実構造のソリッドコア型でもよい。ソリッドコア型のマルチコア光ファイバを製造するための光ファイバ母材では、図15においてコア部となる部分が空孔ではなく、中実構造である。

[0084] また、上記実施の形態において、送信装置または受信装置内の光増幅器は、送信器または受信器ごとに設けられているが、複数の送信器または受信器に対応する信号光を一括して増幅するような光増幅器を用いてもよい。

[0085] また、上記実施の形態では、マルチコア光ファイバのコア部の数は7であるが、2個以上であれば特に限定されず、たとえば公知の19個のコア部を有するマルチコア光ファイバに本発明を適用しても良い。

[0086] また、上記各実施形態の各構成要素を適宜組み合わせ構成したものも本発明に含まれる。その他、上記実施の形態に基づいて当業者等によりなされる他の実施の形態、実施例及び運用技術等は全て本発明に含まれる。

産業上の利用可能性

[0087] 以上のように、本発明に係る光伝送方式およびマルチコア光ファイバならびにマルチコア光ファイバの製造方法は、光通信の用途に利用して好適なものである。

符号の説明

- [0088] 10、10A、10B マルチコア光ファイバ
11～17、11A～17A、11B～17B コア部
18、18A、18B クラッド部
19A、19B、61a、61b 空孔
20、20A、20B、20C、20D 送信装置
30、30B、30C 受信装置
21、21A、21B、21C、21D 光送信部
31、31B、31C 光受信部
21a、21b、21c、21d、21e、21f、21Aa、21Ab

、 21 A c、 21 A d、 21 A e、 21 A f、 21 B a、 21 B b、 21 B c、 21 B d、 21 B e、 21 B f、 21 B g、 21 B h、 21 B i、 21 C a、 21 C b、 21 C c、 21 C d、 21 C e、 21 C f、 21 C g、 21 D a、 21 D b、 21 D c、 21 D d、 21 D e、 21 D f、 21 D g

送信器

31 a、 31 b、 31 c、 31 d、 31 e、 31 f、 31 B a、 31 B b、 31 B c、 31 B d、 31 B e、 31 B f、 31 B g、 31 B h、 31 B i、 31 C a、 31 C b、 31 C c、 31 C d、 31 C e、 31 C f、 31 C g 受信器

22、 22 A、 22 B、 22 C、 22 D、 32、 32 B、 32 C、 光増幅器

23、 23 A、 23 B、 23 C、 23 D、 33、 33 B、 33 C、 51、 53 光コネクタ

40、 50 マルチコア光増幅器

52 光増幅部

60 光ファイバ母材

61 ガラス母材

62 ガラス管

100、 100 A、 100 B、 100 C、 100 D、 100 E、 100 F、 200、 300 光伝送システム

A1～A7、 B1～B7 領域

L1～L3 線

請求の範囲

- [請求項1] 複数のコア部を有するマルチコア光ファイバを備え、
前記マルチコア光ファイバの互いに最も隣接するコア部に対して互いに波長の異なる信号光を入力させることを特徴とする光伝送方式。
- [請求項2] 前記複数のコア部の少なくとも一つに前記信号光を含む波長分割多重信号光を入力させることを特徴とする請求項1に記載の光伝送方式。
- [請求項3] 前記互いに波長の異なる各信号光を含む各波長分割多重信号光を前記各コア部に入力させ、かつ前記各波長分割多重信号光は、互いに異なる波長帯に含まれることを特徴とする請求項1に記載の光伝送方式。
- [請求項4] 前記互いに波長の異なる信号光は、波長分割多重信号光を構成する信号チャンネルにチャンネル番号を割り当てた場合に、それぞれ奇数チャンネルの信号光および偶数チャンネルの信号光であることを特徴とする請求項1に記載の光伝送方式。
- [請求項5] 前記互いに波長の異なる各信号光は、互いに異なる波長帯に含まれることを特徴とする請求項1に記載の光伝送方式。
- [請求項6] 前記複数のコア部は、光学特性が等しい少なくとも一つのコア部から構成される複数のコア部群からなり、前記互いに波長の異なる各信号光は、異なる前記コア部群に属するコア部にそれぞれ入力されることを特徴とする請求項1に記載の光伝送方式。
- [請求項7] 前記互いに波長の異なる各信号光は、波長分割多重信号光を構成する信号チャンネルに波長の順にチャンネル番号を割り当てた場合に、互いにチャンネル番号が隣接する信号光であることを特徴とする請求項6に記載の光伝送方式。
- [請求項8] 前記互いに波長の異なる各信号光は、互いに異なる波長帯にそれぞれ含まれることを特徴とする請求項7に記載の光伝送方式。
- [請求項9] 前記マルチコア光ファイバは、ソリッド型であることを特徴とする

請求項 1 ～ 8 のいずれか一つに記載の光伝送方式。

[請求項10] 前記マルチコア光ファイバは、ホーリーファイバ型であることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか一つに記載の光伝送方式。

[請求項11] 前記マルチコア光ファイバは、フォトリックバンドギャップ型であることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか一つに記載の光伝送方式。

[請求項12] 複数のコア部と、
前記各コア部のうち互いに隣接するコア部に対してそれぞれ異なるバンドギャップ波長帯のフォトリックバンドギャップを形成するように配置された複数の空孔と、
を備えることを特徴とするマルチコア光ファイバ。

[請求項13] 前記隣接するコア部に対する各バンドギャップ波長帯は、互いに異なる光通信波長帯にそれぞれ含まれることを特徴とする請求項 1 2 に記載のマルチコア光ファイバ。

[請求項14] 前記複数のコア部は、バンドギャップ波長帯が等しい少なくとも一つのコア部から構成される複数のコア部群からなり、前記コア部群は互いにバンドギャップ波長帯が異なることを特徴とする請求項 1 2 に記載のマルチコア光ファイバ。

[請求項15] 前記複数のコア部は空孔構造を有することを特徴とする請求項 1 2 ～ 1 4 のいずれか一つに記載のマルチコア光ファイバ。

[請求項16] 前記複数のコア部は中実構造を有することを特徴とする請求項 1 2 ～ 1 4 のいずれか一つに記載のマルチコア光ファイバ。

[請求項17] 請求項 1 2 ～ 1 6 のいずれか一つに記載のマルチコア光ファイバの製造方法であって、

スタックアンドドロウ法によって、前記コア部となる部分と前記コア部にバンドギャップ波長帯を形成するための空孔とを含む複数のガラス母材を形成し、

前記複数のガラス母材を束状にして、光ファイバ母材を形成し、

前記光ファイバ母材を線引きして前記マルチコア光ファイバを製造する、

ことを含むことを特徴とするマルチコア光ファイバの製造方法。

[請求項18]

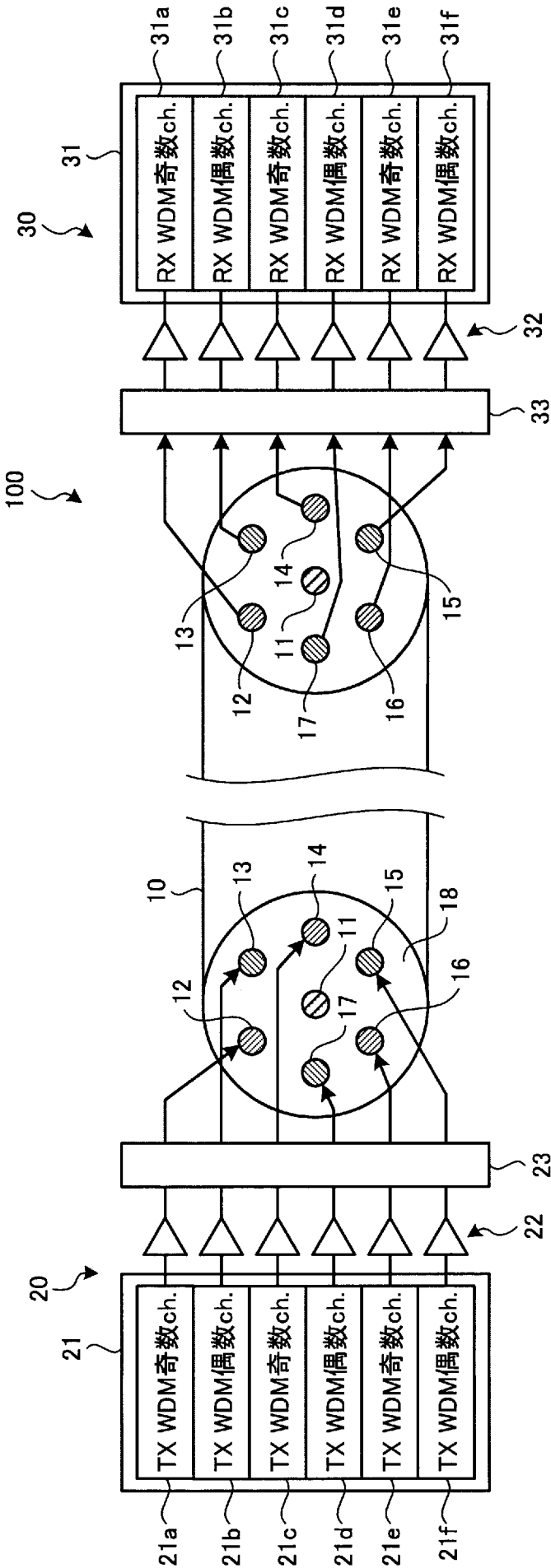
請求項12～16のいずれか一つに記載のマルチコア光ファイバの製造方法であって、

スタックアンドドロウ法によって、前記複数のコア部となる部分と前記コア部にバンドギャップ波長帯を形成するための空孔とを形成した光ファイバ母材を形成し、

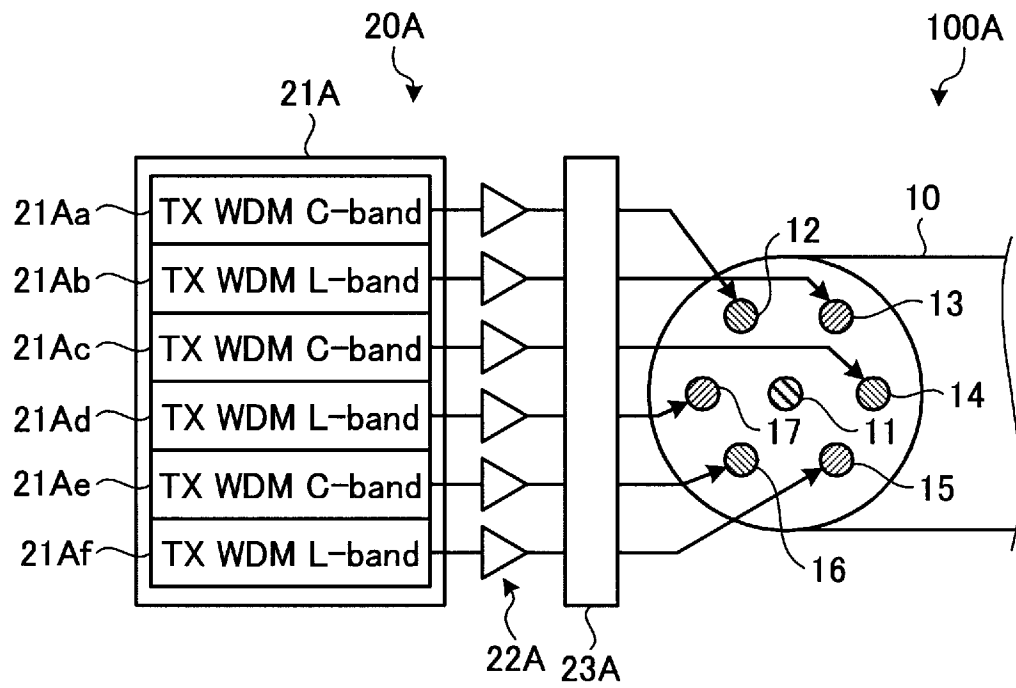
前記光ファイバ母材を線引きして前記マルチコア光ファイバを製造する、

ことを含むことを特徴とするマルチコア光ファイバの製造方法。

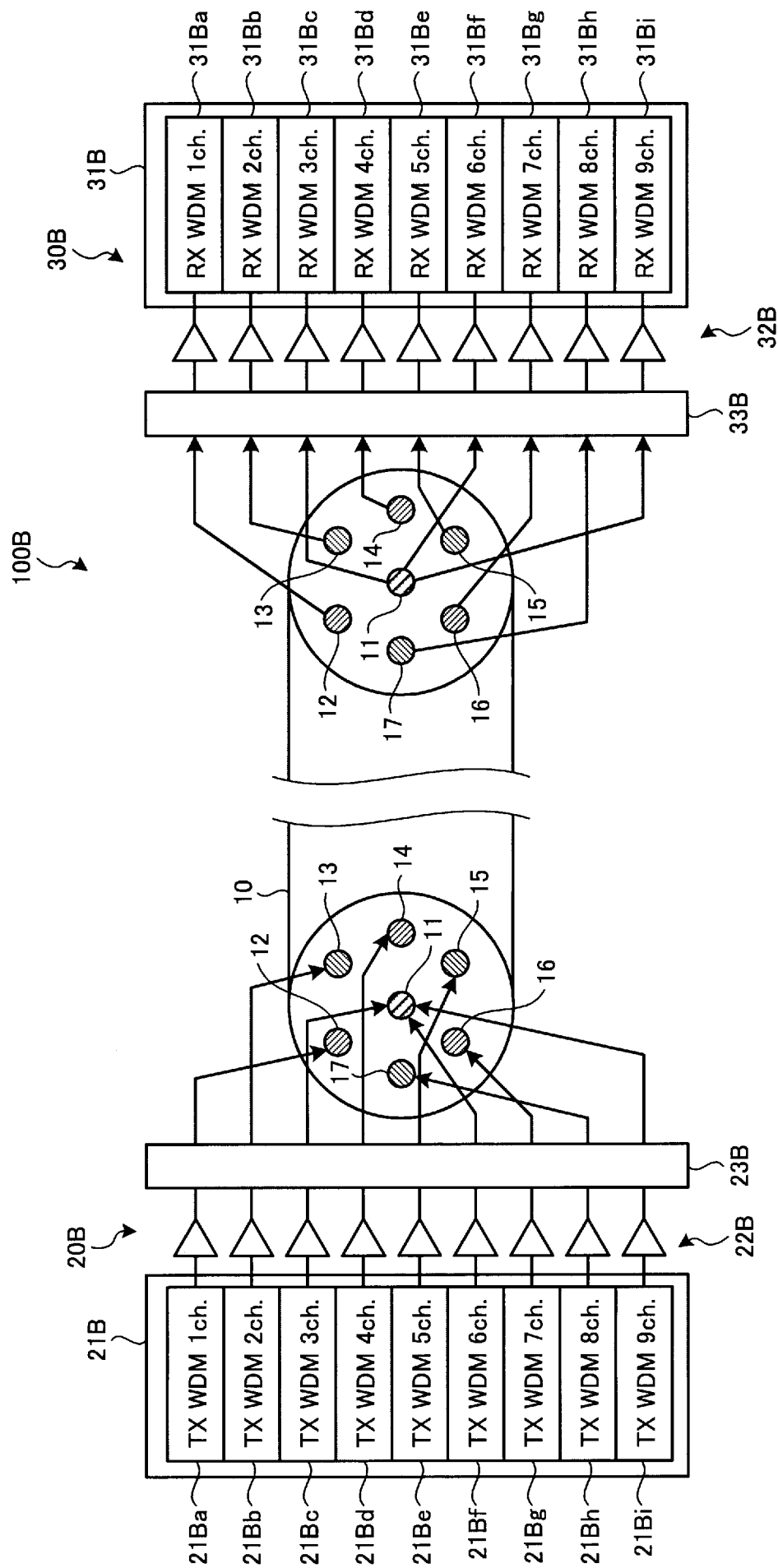
[図1]



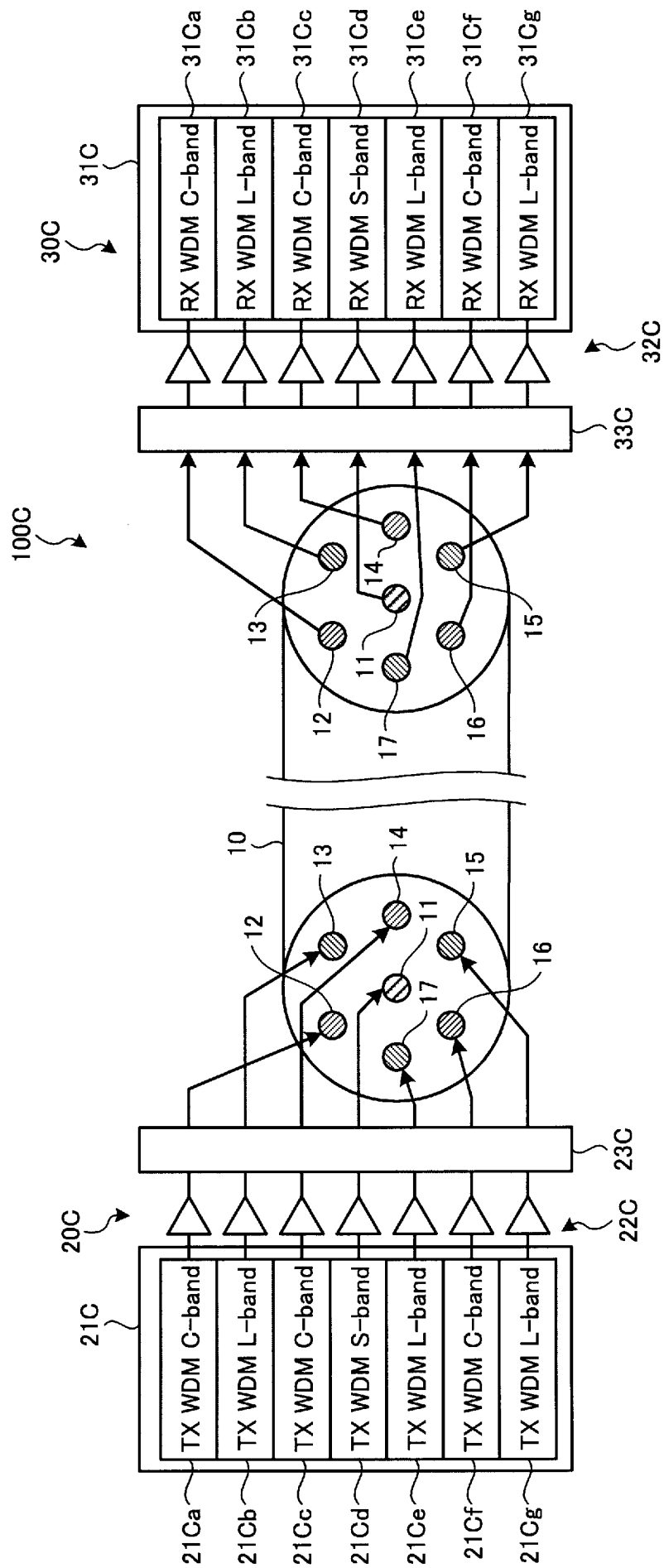
[図2]



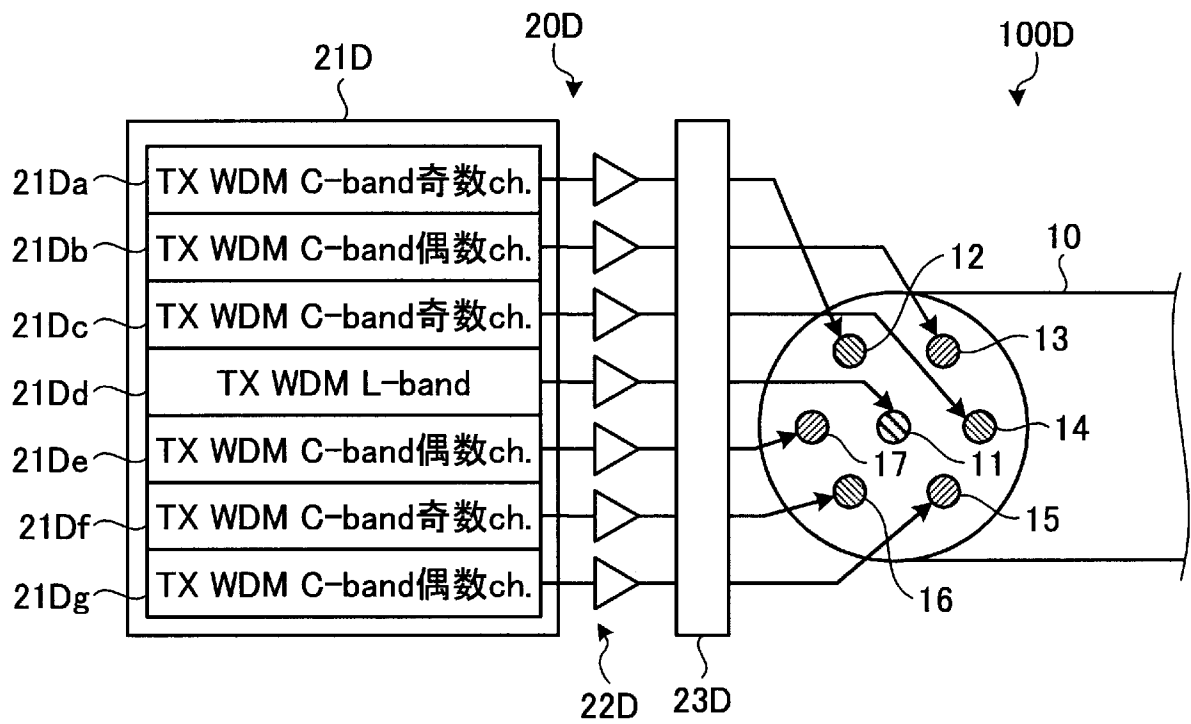
[図3]



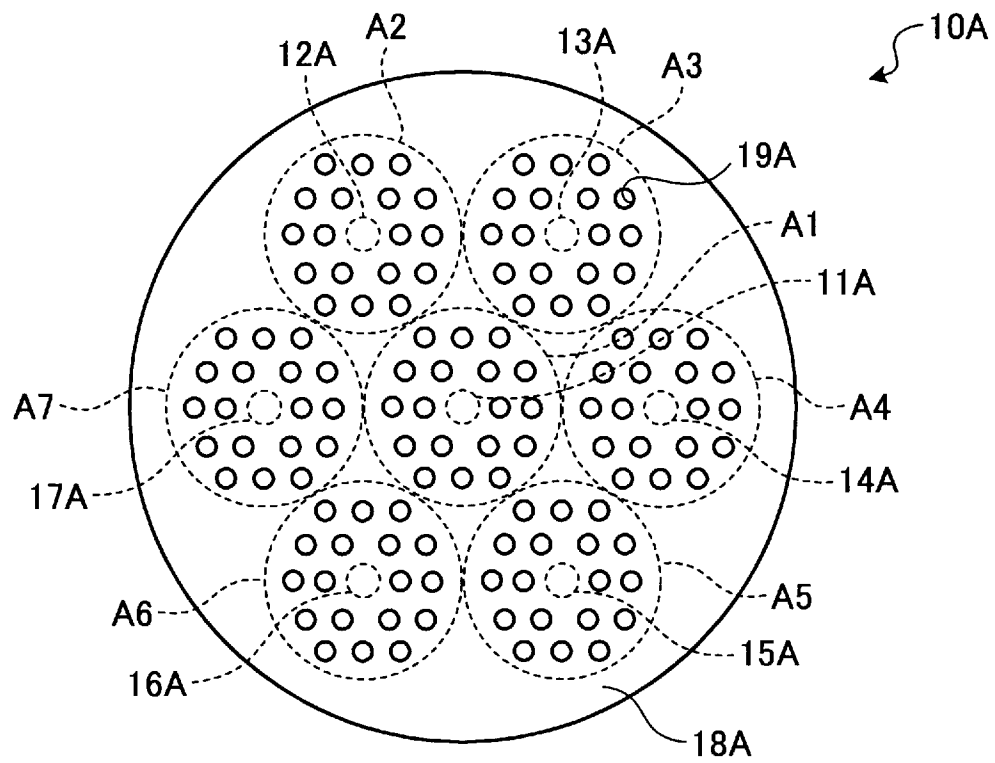
[図4]



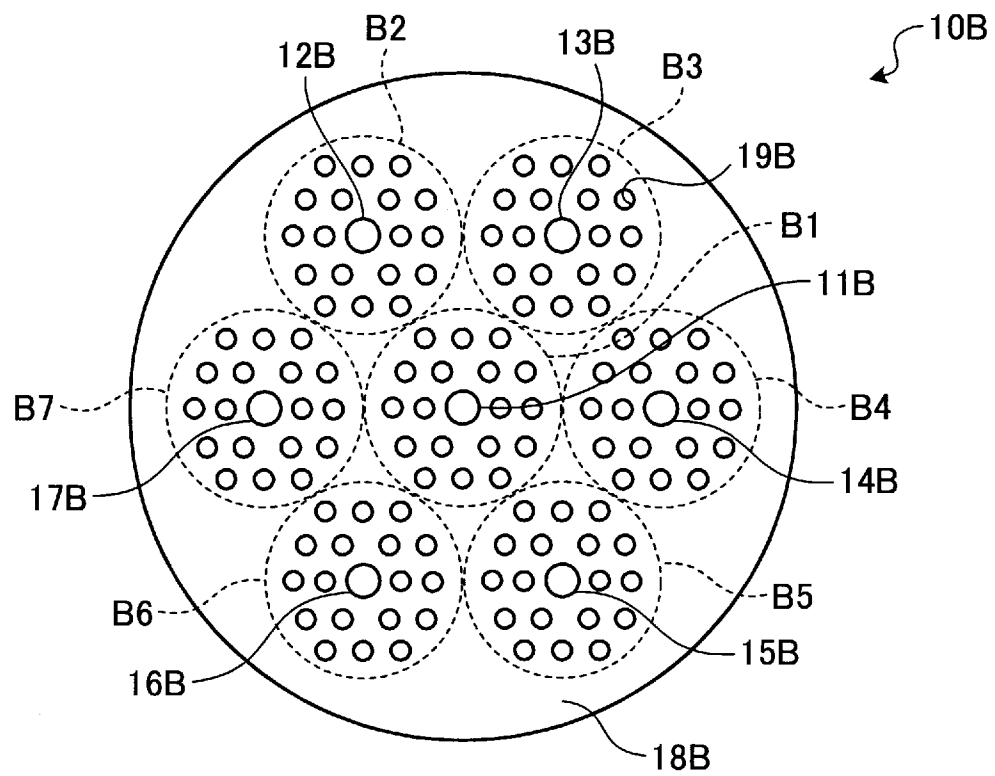
[図5]



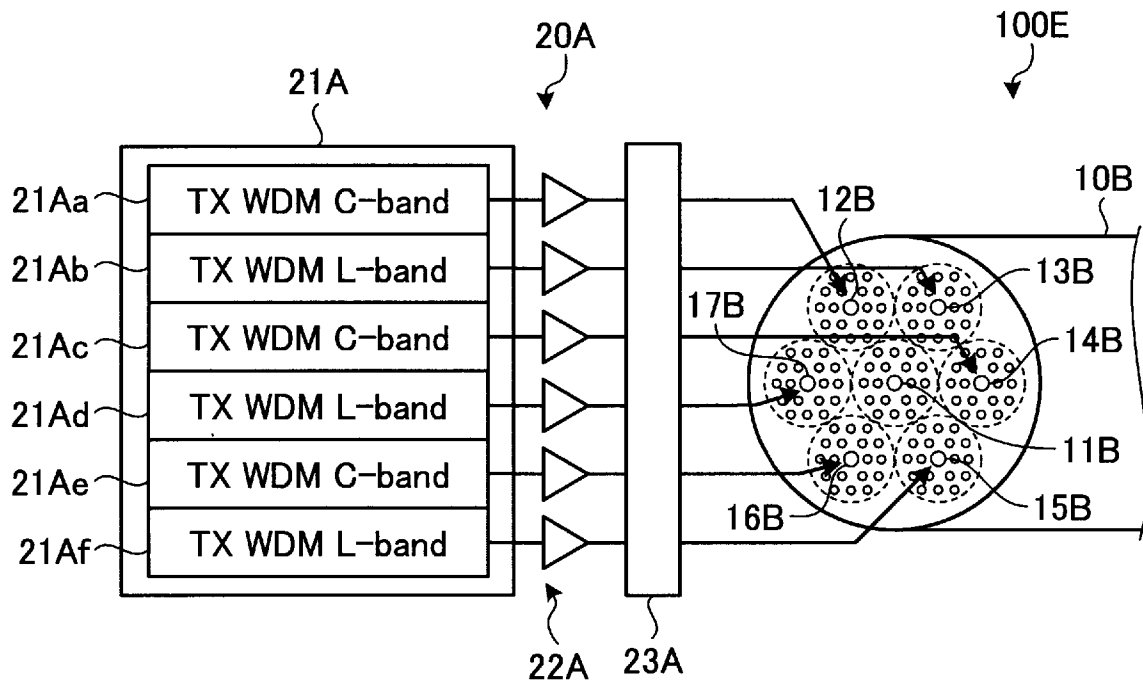
[図6]



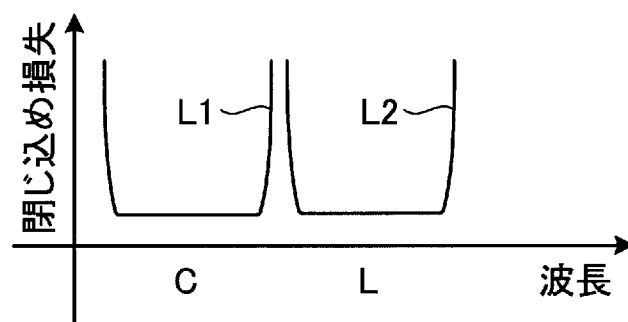
[図7]



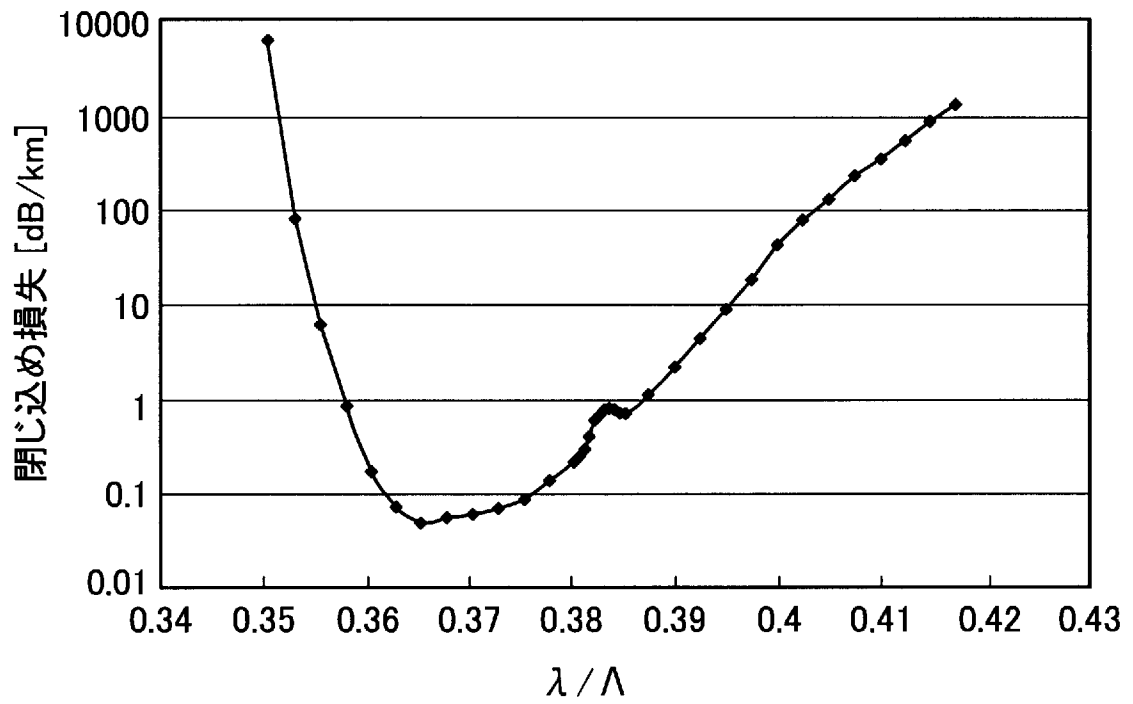
[図8]



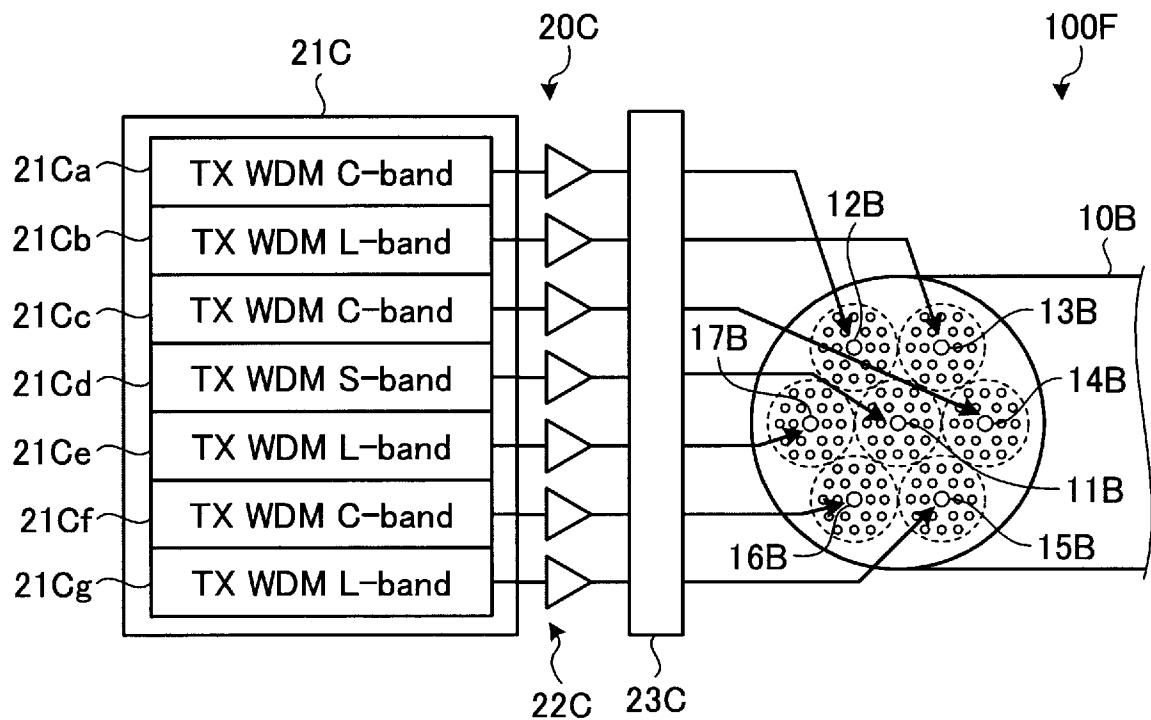
[図9]



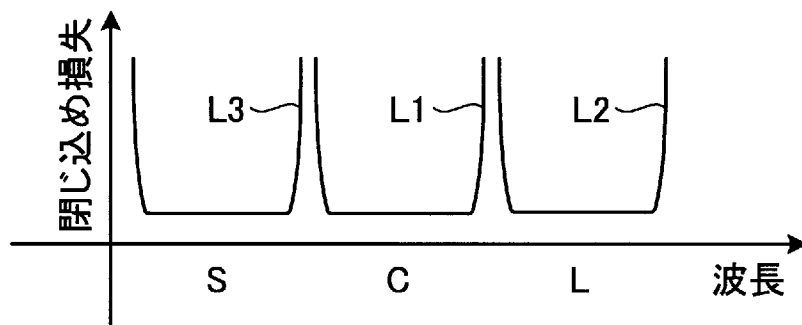
[図10]



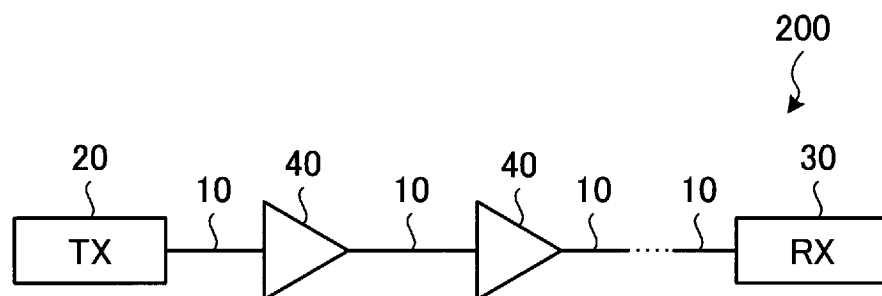
[図11]



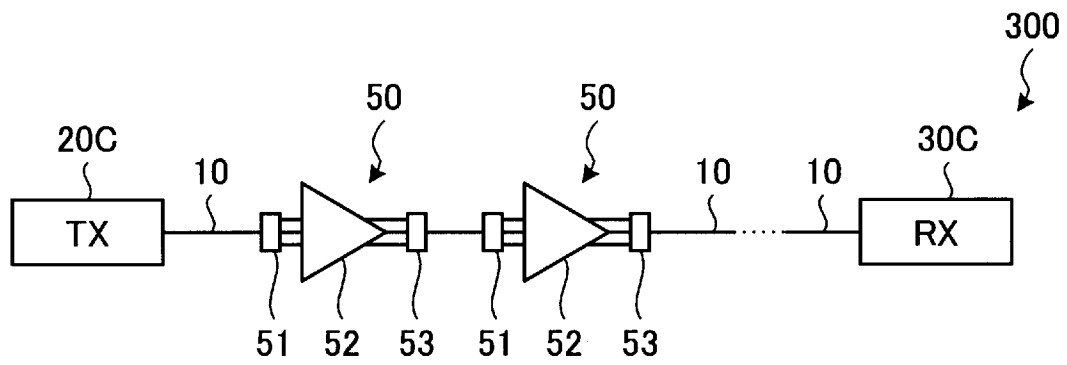
[図12]



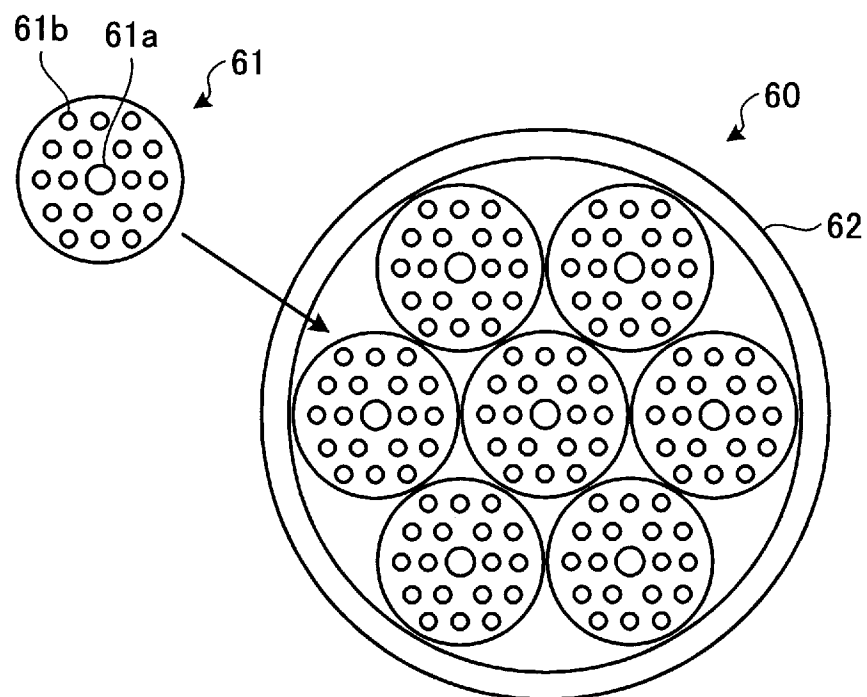
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/059111

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04B10/12(2006.01)i, G02B6/00(2006.01)i, G02B6/032(2006.01)i,
 G02B6/04(2006.01)i, H04B10/13(2006.01)i, H04B10/135(2006.01)i,
 H04B10/14(2006.01)i, H04J14/00(2006.01)i, H04J14/02(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)

H04B10/12, G02B6/00, G02B6/032, G02B6/04, H04B10/13, H04B10/135,
 H04B10/14, H04J14/00, H04J14/02, H04J14/04, H04J14/06

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)

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	WO 2009/107414 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 03 September 2009 (03.09.2009), paragraphs [0052] to [0054], [0075]; fig. 25 to 26 & US 2009/0324242 A1	1-8, 10 9, 11 12-18
Y	Katsunori IMAMURA et al., "Multi-Core Fibers for the Long-Distance Large Capacity Transmission", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu 2010 Nen Electronics (1), 02 March 2010 (02.03.2010), page 197	9



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

09 May, 2012 (09.05.12)

Date of mailing of the international search report

22 May, 2012 (22.05.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/059111

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	MANGAN, B.J. et al., Photonic BandGap Fiber With Multiple Hollow Cores, Journal of Lightwave Technology, 2010.05.01, VOL.28 NO.9, p.1287 - 1290	11 12-18
P,X	Koji MASUDA, "Hybrid Hacho Kukan Taju System Koseiho no Kento", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu 2012 Nen Tsushin (2), 06 March 2012 (06.03.2012), page 403	1-4, 6, 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/059111

Continuation of A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

(International Patent Classification (IPC))

H04J14/04(2006.01)i, H04J14/06(2006.01)i

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/059111

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The technical feature common to the invention in claim 1 and the invention in claim 12 is a multicore optical fiber comprising a plurality of core parts.

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature, since the technical feature does not make a contribution over the prior art in the light of the contents disclosed in the document 1 (WO 2009/107414 A1).

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

The following two inventions (invention groups) are involved in claims.
(Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/059111

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

(Invention 1) Claims 1-11: The invention of an optical transmission system, wherein signal beams of different wavelengths from each other are inputted to adjacent core parts.

(Invention 2) claims 12-18: The invention of a multicore optical fiber, wherein a plurality of holes are disposed such that photonic band gaps having different band gap wavelength ranges from each other are formed in adjacent core parts.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H04B10/12 (2006.01)i, G02B6/00 (2006.01)i, G02B6/032 (2006.01)i, G02B6/04 (2006.01)i,
H04B10/13 (2006.01)i, H04B10/135 (2006.01)i, H04B10/14 (2006.01)i, H04J14/00 (2006.01)i,
H04J14/02 (2006.01)i, H04J14/04 (2006.01)i, H04J14/06 (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 (I P C))

Int.Cl. H04B10/12, G02B6/00, G02B6/032, G02B6/04, H04B10/13, H04B10/135, H04B10/14, H04J14/00, H04J14/02,
H04J14/04, H04J14/06

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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)

IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)

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	WO 2009/107414 A1 (古河電気工業株式会社)	1-8, 10
Y	2009.09.03, 段落 [0052] - [0054], [0075], 図 25-26	9, 11
A	& US 2009/0324242 A1	12-18
Y	今村勝徳 他, 長距離大容量伝送用マルチコアファイバ, 電子情報 通信学会総合大会講演論文集 2010 年 エレクトロニクス(1), 2010.03.02, p.197	9

☒ 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

0 9 . 0 5 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 2 . 0 5 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

後澤 瑞征

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 3 4

5 J

4 5 4 0

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
Y A	MANGAN, B. J. et al., Photonic BandGap Fiber With Multiple Hollow Cores, Journal of Lightwave Technology, 2010.05.01, VOL. 28 NO. 9, p.1287 - 1290	11 12-18
P, X	増田浩次, ハイブリッド波長・空間多重システム構成法の検討, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2012 年 通信(2), 2012.03.06, p. 403	1-4, 6, 7

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求項1に係る発明と請求項12に係る発明とは、複数のコア部を有するマルチコア光ファイバという共通の技術的特徴を有する。しかしながら、当該技術的特徴は、文献1（WO 2009/107414 A1）の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、ほかに同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。そして、請求の範囲には、以下に示す2つの発明（群）が含まれる。

（発明1）請求項1-11：隣接するコア部に対して互いに波長の異なる信号光を入力させる光伝送方式の発明。

（発明2）請求項12-18：隣接するコア部に対して互いに異なるバンドギャップ波長帯のフォトリソニックバンドギャップを形成するように複数の空孔を配置したマルチコア光ファイバの発明。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。