

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2008年9月4日 (04.09.2008)

PCT

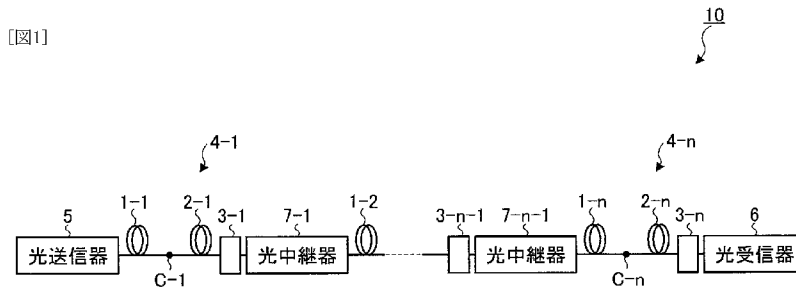
(10) 国際公開番号
WO 2008/105284 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/02 (2006.01) *G02B 6/036* (2006.01)
G02B 6/00 (2006.01) *H04B 10/02* (2006.01)
G02B 6/032 (2006.01) *H04B 10/18* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/052815
- (22) 国際出願日: 2008年2月20日 (20.02.2008)
- (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2007-046255 2007年2月26日 (26.02.2007) 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 (THE 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 (SAKAI, Hiroaki); 〒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, 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,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

(54) 発明の名称: 光通信システム



5 OPTICAL TRANSMITTER
 7-1, 7-n-1 OPTICAL REPEATER
 6 OPTICAL RECEIVER

(57) Abstract: An optical transmission line using an optical fiber is provided with a core positioned in the center and made of holes; an outer clad positioned on the outside of the core; an inner clad which is set between the core and the outer clad and which contains periodically disposed media with a refraction index different from that of the outer clad to define Bragg diffraction grating; a photonic bandgap optical fiber for transmitting light with a predetermined wavelength in use in the photonic bandgap formed by the Bragg diffraction grating; and an optical fiber which is connected in the vicinity of the photonic bandgap optical fiber, which has a wavelength dispersion value that is smaller than that of the photonic bandgap optical fiber in a wavelength in use and that is not less than 0 ps/nm/km, and which has a D/S value that is larger than that of the photonic bandgap optical fiber. Thus, while positively utilizing a low optical nonlinear characteristic and a low transmission loss characteristic of the photonic bandgap optical fiber, an optical communication system is provided for making it possible to compensate a wavelength dispersion characteristic of the optical fiber.

(57) 要約: 光ファイバを用いた光伝送路が、中心に位置し空孔が構成するコアと、コアの外側に位置する外側クラッドと、コアと外側クラッドの間に位置し外側クラッドとは屈折率が異なる媒質を周期的に配列してブラッグ回折格子を形成した内側クラッドとを有し、ブラッグ回折格子が形成するフォトリックバンドギャップ内の所定の使用波長の光を伝搬するフォトリック

[続葉有]

WO 2008/105284 A1



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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

バンドギャップ光ファイバと、フォトニックバンドギャップ光ファイバに隣接して接続し使用波長においてフォトニックバンドギャップ光ファイバの波長分散値よりも小さく 0 ps/nm/km 以上の波長分散値を有するとともにフォトニックバンドギャップ光ファイバよりも大きい D/S 値の光ファイバとを備える。これによって、フォトニックバンドギャップ光ファイバの低光学非線形性と低伝送損失特性とを活用しながら、光伝送路の波長分散特性を容易に補償できる光通信システムを提供する。

明 細 書

光通信システム

技術分野

[0001] 本発明は、光伝送路として光ファイバを用いた光通信システムに関するものである。

背景技術

[0002] ハイパワー光の伝送に代表される非通信用として、フォトニックバンドギャップ光ファイバ(Photonic BandGap Fiber, PBGF)の使用が盛んに検討されている。フォトニックバンドギャップ光ファイバとは、クラッド部にこのクラッド部とは屈折率が異なる空気などの媒質を周期的に配列してブラッグ回折格子を形成し、前記クラッド部内に設けた空孔をコアとして前記ブラッグ回折格子が形成するフォトニックバンドギャップ内の所定の使用波長の光を伝搬するものである。このフォトニックバンドギャップ光ファイバに関しては、非特許文献1に示されるように、商用ベースでの紹介がなされている。

[0003] 一方、フォトニックバンドギャップ現象を用いない穴あき系光ファイバ(Microstructure Optical Fiber, MOF)であるホーリーファイバ、あるいはフォトニッククリスタル光ファイバ(Potonic Crystal Fiber, PCF)に関しては、その広帯域伝送ポテンシャルなどから、通信用としての使用可能性が盛んに議論されている。たとえば非特許文献2では、PCFと分散補償光ファイバ(Dispersion Compensating Fiber, DCF)とを組み合わせ、長さ100kmにおよぶ光伝送路を用いた伝送速度が10Gb/sの分散マネージメントソリトンの伝送特性を報告している。

[0004] 非特許文献1:CRYSTAL FIBRE A/S、“AIRGUIDING HOLLOW-CORE PHOTONIC BANDGAP FIBERS SELECTED DATASHEETS HC-1550-02,HC19-1550-01”、[online]、[平成19年2月8日検索]、インターネット(URL: <http://www.crystal-fibre.com/products/airguide.shtm>)

非特許文献2:K. Kurokawa, et al., “Penalty-Free Dispersion-Managed Soliton Transmission over 100km Low Loss PCF”, Proc. OFC PDP21 (2005).

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、前記のフォトニックバンドギャップ光ファイバに関しても、低光学非線形性や低伝送損失ポテンシャルを有することから、通信用として大きな魅力がある。

[0006] しかしながら、非特許文献1に示されるように、フォトニックバンドギャップ光ファイバは、通信に使用する光信号の波長である使用波長において、大きな波長分散値と分散スロープ値とを有し、波長分散値を分散スロープ値で除算したD/S値が極めて小さい。その結果、フォトニックバンドギャップ光ファイバを用いて光伝送路を構成した場合、従来の分散補償光ファイバなどの分散補償器を用いても波長分散と分散スロープとを補償できず、長距離かつ広帯域の光信号伝送ができないという問題があった。

[0007] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、フォトニックバンドギャップ光ファイバの低光学非線形性と低伝送損失特性とを活用しながら、光伝送路の波長分散特性を容易に補償できる光通信システム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、本発明に係る光通信システムは、光伝送路として光ファイバを用いた光通信システムであって、前記光伝送路は、中心に位置し、空孔が構成するコアと、前記コアの外側に位置する外側クラッドと、前記コアと前記外側クラッドの間に位置し、該外側クラッドとは屈折率が異なる媒質を周期的に配列してブラッグ回折格子を形成した内側クラッドと、を有し、前記ブラッグ回折格子が形成するフォトニックバンドギャップ内の所定の使用波長の光を伝搬するフォトニックバンドギャップ光ファイバと、前記フォトニックバンドギャップ光ファイバに隣接して接続し、前記使用波長において前記フォトニックバンドギャップ光ファイバの波長分散値よりも小さく $0\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上の波長分散値を有するとともに波長分散値を分散スロープ値で除算したD/S値が該フォトニックバンドギャップ光ファイバのD/S値よりも大きい光ファイバと、を備えることを特徴とする。

[0009] また、本発明に係る光通信システムは、上記の発明において、前記光ファイバは、前記使用波長において、 $25\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散値と 100nm 以上のD/S値とを有することを特徴とする。

- [0010] また、本発明に係る光通信システムは、上記の発明において、前記光伝送路は、前記フォトニックバンドギャップ光ファイバまたは前記光ファイバに隣接して接続し、前記使用波長において前記フォトニックバンドギャップ光ファイバと前記光ファイバとの波長分散の総和および平均分散スロープを補償する負の波長分散値および分散スロープ値を有する分散補償器を備えることを特徴とする。
- [0011] また、本発明に係る光通信システムは、上記の発明において、前記分散補償器は、前記フォトニックバンドギャップ光ファイバと前記光ファイバとの平均D/S値の70～130%のD/S値を有することを特徴とする。
- [0012] また、本発明に係る光通信システムは、上記の発明において、前記使用波長は、800～1700nmであることを特徴とする。
- [0013] また、本発明に係る光通信システムは、上記の発明において、前記使用波長は、1530～1625nmであることを特徴とする。
- [0014] また、本発明に係る光通信システムは、上記の発明において、前記光ファイバは、中心コア部と、前記中心コア部の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低い外側コア層と、前記外側コア層の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低くかつ前記外側コア層よりも屈折率が高いクラッド層と、を有し、波長1500nmにおいて、波長分散値が25ps/nm/km以下であり、D/S値が300nm以上であり、有効コア断面積が $80 \mu\text{m}^2$ 以上であり、伝送損失が0.25dB/km以下であることを特徴とする。
- [0015] また、本発明に係る光通信システムは、上記の発明において、前記光ファイバは、中心コア部と、前記中心コア部の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低い外側コア層と、前記外側コア層の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低くかつ前記外側コア層よりも屈折率が高いクラッド層と、を有し、前記中心コア部の前記クラッド層に対する比屈折率差 $\Delta 1$ が0.15～0.4%であり、前記外側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差 $\Delta 2$ が-0.35～-0.05%であり、前記中心コア部の直径に対する前記外側コア層の外径の比 b/a が1.5～6であることを特徴とする。
- [0016] また、本発明に係る光通信システムは、上記の発明において、前記分散補償器は

、前記使用波長において、 $-80\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散値を有することを特徴とする。

発明の効果

[0017] 本発明に係る光通信システムは、光伝送路が、フォトニックバンドギャップ光ファイバと、フォトニックバンドギャップ光ファイバの波長分散値よりも小さく $0\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上の波長分散値を有するとともに波長分散値を分散スロープ値で除算した D/S 値が該フォトニックバンドギャップ光ファイバの D/S 値よりも大きい光ファイバとを備えることにより、フォトニックバンドギャップ光ファイバが極めて小さい D/S 値を有していても、光伝送路の波長分散の総和および平均分散スロープが大幅に小さくなるので、フォトニックバンドギャップ光ファイバの低光学非線形性と低伝送損失特性とを活用しながら、光伝送路の波長分散特性を容易に補償できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]図1は、本発明の実施の形態に係る光通信システムのブロック図である。

[図2]図2は、本発明の実施の形態に係るPBGFを模式的に示した断面図である。

[図3]図3は、本発明の実施の形態に係る光ファイバを模式的に示した断面図である。

[図4]図4は、本発明の形態に係る分散補償器の構成を模式的に示したブロック図である。

[図5]図5は、図3に示す光ファイバの光学特性の一例を示す図である。

[図6]図6は、図4に示すDCFの光学特性の一例を示す図である。

[図7]図7は、図2に示すPBGFと図3に示す光ファイバとの長さの比を変えて構成した光伝送路の、波長 1550nm における波長分散の総和、平均分散スロープ、平均 D/S 値について示す図である。

[図8]図8は、図7に示す各光伝送路に図6に示すDCFを用いた分散補償器を接続した場合の、光伝送路の波長 1550nm における波長分散の総和および平均分散スロープ、ならびにDCFの長さおよび伝送損失を示す図である。

[図9]図9は、図2に示すPBGFと図3に示す光ファイバとの長さの比を変えて構成した光伝送路の、波長 1570nm における波長分散の総和、平均分散スロープ、平均 D

／S値について示す図である。

[図10]図10は、図9に示す光伝送路に図6に示すDCFを用いた分散補償器を接続した場合の、光伝送路の波長1570nmにおける波長分散の総和および平均分散スロープ、ならびにDCFの長さおよび伝送損失を示す図である。

[図11]図11は、図7、9に示す各光伝送路に高FOM型のDCFを用いた分散補償器を接続し、光伝送路の波長1550nmまたは1570nmにおける波長分散値をゼロにする場合の、DCFの長さおよび伝送損失を示す図である。

[図12]図12は、本発明の実施の形態の変形例に係るファイバブラッググレーティング型分散補償器の構成を模式的に示したブロック図である。

符号の説明

- [0019]
- 1、1-1～1-n PBGF
 - 2、2-1～2-n 光ファイバ
 - 3、3-1～3-n、8 分散補償器
 - 4、4-1～4-n 光伝送路
 - 5 光送信器
 - 6 光受信器
 - 7-1～7-n-1 光中継器
 - 10 光通信システム
 - 11 外側クラッド部
 - 12 内側クラッド部
 - 13 コア
 - 21 中心コア部
 - 22 外側コア層
 - 23 クラッド層
 - 31 DCF
 - 32、33 接続点
 - 81 分散補償ファイバブラッググレーティング
 - 82 光サーキュレータ

C-1~C-n 接続点

発明を実施するための最良の形態

[0020] 以下に、図面を参照して本発明に係る光通信システム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。また、以下ではフォトニックバンドギャップ光ファイバをPBGF、分散補償光ファイバをDCFと記載する。また、本明細書においては、カットオフ波長(λ_c)とは、ITU-T(国際電気通信連合)G. 650. 1で定義するファイバカットオフ波長をいう。その他、本明細書で特に定義しない用語についてはITU-T G. 650. 1における定義、測定方法に従うものとする。

[0021] (実施の形態)

図1は、本発明の実施の形態に係る光通信システムのブロック図である。図1に示すように、本実施の形態に係る光通信システム10は、光信号を送信する光送信器5と、光送信器5が送信した光信号を再生中継する光中継器7-1~7-n-1と、光信号を受信する光受信器6と、光送信器5と光中継器7-1~7-n-1と光受信器6とを接続して光信号を伝送する光伝送路4-1~4-nとを備える。なお、nは、2以上の整数である。

[0022] 光伝送路4-1~4-nは、PBGF1-1~1-nと、PBGF1-1~1-nに接続点C-1~C-nにおいて接続する光ファイバ2-1~2-nと、光ファイバ2-1~2-nに隣接して接続する分散補償器3-1~3-nとを備える。なお、光伝送路4-1~4-nのPBGF1-1~1-n、光ファイバ2-1~2-n、分散補償器3-1~3-n以外の部分は標準のシングルモード光ファイバなどからなる。

[0023] 図2は、本実施の形態に係るPBGF1を模式的に示した断面図である。なお、PBGF1-1~1-nは、いずれもPBGF1と同様のものである。このPBGF1は、非特許文献1に開示されたものと同様のものであり、外側クラッド部11と、この外側クラッド部11とは屈折率が異なる媒質である微細な空孔を周期的に配列してブラッグ回折格子を形成した内側クラッド部12とを有し、PBGF1の中心部付近に空孔が構成するコア13を設け、ブラッグ回折格子が形成するフォトニックバンドギャップ内の使用波長の光を伝搬する。この使用波長は、たとえばブラッグ回折格子が形成するフォトニックバンド

ギャップの中心波長である1550nmである。また、PBGF1は使用波長1550nmにおいて $50\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上の大きな波長分散値を有するとともに、 $0.5\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以上の大きな分散スロープ値を有する。

[0024] 一方、光ファイバ2-1~2-nは、使用波長1550nmにおいて、PBGF1-1~1-nの波長分散値よりも小さく $0\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上の波長分散値を有するとともに、波長分散値を分散スロープ値で除算したD/S値がPBGF1-1~1-nのD/S値よりも大きいものである。したがって、光伝送路4-1~4-nは、光伝送路4-1~4-nと同一の長さの光伝送路をPBGFのみで構成した場合よりも波長分散の総和が大幅に小さくなり、D/S値が大幅に大きくなる。

[0025] 以下、光ファイバ2-1~2-nについてさらに詳細に説明する。図3は、本発明の実施の形態に係る光ファイバ2を模式的に示した断面図である。なお、光ファイバ2-1~2-nは、いずれも光ファイバ2と同様のものである。この光ファイバ2は、中心コア部21と、中心コア部21の外周に形成され中心コア部21よりも屈折率が低い外側コア層22と、外側コア層22の外周に形成され中心コア部21よりも屈折率が低くかつ外側コア層22よりも屈折率が高いクラッド層23とを有する。

[0026] そして、屈折率プロファイルに関しては、中心コア部21のクラッド層23に対する比屈折率差 $\Delta 1$ が0.15~0.4%であり、外側コア層22のクラッド層23に対する比屈折率差 $\Delta 2$ が-0.35~-0.05%であり、中心コア部21の直径2aに対する外側コア層22の外径2bの比 b/a が1.5~6である。その結果、光ファイバ2は、波長分散値が $0\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上 $25\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下となり、D/S値が100nm以上、特に300nm以上となり、有効コア断面積が $80\mu\text{m}^2$ 以上となるので、光伝送路4-1~4-nの波長分散の総和を低減し、D/S値を大きくするとともに、光学非線形性が小さいものとなる。また、伝送損失も容易に $0.25\text{dB}/\text{km}$ とできる。

[0027] また、光ファイバ2は、 $\Delta 1$ が上記の範囲にあるので、有効コア断面積が上記の値になるとともに曲げ損失が十分小さくなり、 $\Delta 2$ が上記の範囲にあるので、波長分散値および分散スロープ値が上記の値になるとともに曲げ損失が十分小さくなり、 b/a が上記の範囲にあるので、GeやFなどの屈折率調整用のドーパントの添加量に伴う製造コストの上昇を抑制できるとともに曲げ損失が十分小さくなる。

- [0028] 一方、図4は、本実施の形態に係る分散補償器3の構成を模式的に示したブロック図である。なお、分散補償器3-1~3-nは、いずれも分散補償器3と同様のものである。この分散補償器3は、ファイバ型分散補償器であって、DCF31は接続点32、33を介して光伝送路4と接続している。
- [0029] 本実施の形態に係る分散補償器3は、PBGF1と光ファイバ2との波長分散の総和および平均分散スロープを補償する負の波長分散値および分散スロープ値を有する。ここで、上述のように、光伝送路をPBGF1のみで構成した場合と比較して、PBGF1と光ファイバ2との波長分散の総和は、大幅に小さく、D/S値は大幅に大きくなっている。したがって、分散補償器3として、たとえば従来の標準のシングルモード光ファイバ(SMF)からなる光伝送路の分散補償に用いられる、使用波長における波長分散値が $-80 \sim -180 \text{ ps/nm/km}$ 程度であり、D/Sが $250 \text{ nm} \sim 350 \text{ nm}$ 程度の分散補償器を用いて、容易かつ十分に分散補償ができる。したがって、この光通信システム10は、PBGF1-1~1-nの低光学非線形性と低伝送損失特性を活用しつつ、従来の安価な分散補償器によって波長分散および分散スロープが補償された、長距離かつ広帯域の光信号伝送ができるものとなる。
- [0030] なお、光伝送路4-1~4-nにおいて、光信号の強度は光送信器5または光中継器7-1~7-nの出力部において最大であるから、光信号に非線形歪が発生することを回避するために、低光学非線形性のPBGF1-1~1-nを光送信器5または光中継器7-1~7-nの出力部側に配置することが好ましい。
- [0031] 以下、本実施の形態について、シミュレーション計算の結果を用いてさらに具体的に説明する。図5は、図3に示す光ファイバ2の光学特性の一例を示す図であり、図6は、図4に示すDCF31の光学特性の一例を示す図である。なお、図5においては、光ファイバ2の $\Delta 1$ を0.3%、 $\Delta 2$ を-0.2%、 b/a を4.0、 $2a$ を $13.5 \mu\text{m}$ とした。また、図5、6において、「D」は波長分散値を意味し、「Slope」は分散スロープ値を意味し、「MFD」はモードフィールド径を意味し、「A_{eff}」は有効コア断面積を意味し、「 λ_c 」はカットオフ波長を意味する。また、曲げ損失は、直径20mmで16ターン巻いたときの値である。
- [0032] そして、図7は、図2に示すPBGF1と図3に示す光ファイバ2との長さの比を変えて

構成した光伝送路の、波長1550nmにおける波長分散の総和、平均分散スロープ、平均D/S値について示す図である。なお、図7においては、PBGF1を、非特許文献1に開示されるような、中心波長1550nmにおいて波長分散値が $97\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、分散スロープ値が $0.5\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ のものとした。また、「光伝送路1」～「光伝送路3」はいずれも長さが100kmであるが、「光伝送路1」は、長さ100kmのPBGF1のみで構成した光伝送路であり、「光伝送路2」は、長さ50kmのPBGF1と長さ50kmの光ファイバ2とを用いて構成した光伝送路であり、「光伝送路3」は、長さ20kmのPBGF1と長さ80kmの光ファイバ2とを用いて構成した光伝送路である。図7に示すように、PBGF1と光ファイバ2とを用いた「光伝送路2」、「光伝送路3」は、波長分散の総和と平均分散スロープとが小さくなり、平均D/S値が大きくなるので、PBGF1のみからなる「光伝送路1」よりも分散補償が容易になる。

[0033] つぎに、図8は、図7に示す各光伝送路に図6に示すDCFを用いた分散補償器を接続した場合の、光伝送路の波長1550nmにおける波長分散の総和および平均分散スロープ、ならびにDCFの長さおよび伝送損失を示す図である。なお、各DCFは、各光伝送路の波長1550nmにおける波長分散値がゼロとなるような長さとした。図8に示すように、PBGF1と光ファイバ2とを備える「光伝送路2」、「光伝送路3」は、「光伝送路1」と比較して、残留する平均分散スロープ値が小さくなり、より広帯域の光信号伝送に適するものとなる。また、「光伝送路2」、「光伝送路3」は「光伝送路1」と比較して、必要なDCFの長さが短くなるので、伝送損失も22dB以下と小さくなり、たとえばエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)などの光増幅器を用いて容易に損失補償できる。

[0034] 同様に、図9は、図2に示すPBGF1と図3に示す光ファイバ2との長さの比を変えて構成した光伝送路の、波長1570nmにおける波長分散の総和、平均分散スロープ、平均D/S値について示す図である。なお、図9において、PBGF1を、非特許文献1に開示されるような、中心波長1570nmにおいて波長分散値が $50\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、分散スロープ値が $1.5\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ のものとした。また、「光伝送路4」～「光伝送路6」はいずれも長さが100kmであるが、「光伝送路4」は、長さ100kmのPBGF1のみで構成した光伝送路であり、「光伝送路5」は、長さ50kmのPBGF1と長さ50kmの

光ファイバ2とを用いて構成した光伝送路であり、「光伝送路6」は、長さ20kmのPBGF1と長さ80kmの光ファイバ2とを用いて構成した光伝送路である。図9に示すように、PBGF1と光ファイバ2とを用いた「光伝送路5」、「光伝送路6」は、波長分散の総和と平均分散スロープとが小さくなり、平均D/S値が大きくなるので、PBGF1のみからなる「光伝送路4」よりも分散補償が容易になる。

[0035] つぎに、図10は、図9に示す光伝送路に図6に示すDCFを用いた分散補償器を接続した場合の、光伝送路の波長1570nmにおける波長分散の総和および平均分散スロープ、ならびにDCFの長さおよび伝送損失を示す図である。なお、各DCFは、各伝送路の波長1570nmにおける波長分散値がゼロとなるような長さとした。図10に示すように、PBGF1と光ファイバ2とを備える「光伝送路5」、「光伝送路6」は、「光伝送路4」と比較して、残留する分散スロープ値が小さくなり、より広帯域の光信号伝送に適するものとなる。また、「光伝送路5」、「光伝送路6」は、「光伝送路4」と比較して、必要なDCFの長さが短くなるので、伝送損失も小さくなり、光増幅器を用いてより容易に損失補償できる。

[0036] また、分散補償器に用いるDCFが、伝送損失に対して分散補償量の大きい、例えば、単位長さ当たりの分散の絶対値/伝送損失が350ps/nm/dB以上のいわゆる高FOM(Figure OF Merit)型のDCFであれば、よりDCFの長さを短くでき、伝送損失を小さくすることができる。

[0037] 図11は、図7、9に示す各光伝送路に高FOM型のDCFを用いた分散補償器を接続し、光伝送路の波長1550nmまたは1570nmにおける波長分散値をゼロにする場合の、DCFの長さおよび伝送損失を示す図である。なお、この高FOM型のDCFは、波長1550nmおよび1570nmにおける波長分散値がいずれも -250ps/nm/km であって、伝送損失がいずれも 0.6dB/km のものである。

[0038] 図11に示すように、高FOM型のDCFを用いた場合、図8および図10に示す場合と比較して、よりDCFの長さを短くでき、伝送損失を小さくすることができる。たとえば、「光伝送路1」に関しては、図8に示す場合はDCFの長さが57.06km、伝送損失が34.2dBであるのに対して、図11に示す場合はDCF長さが38.8km、伝送損失が23.3dBであり、伝送損失を10dB以上低減できる。また、「光伝送路4」に関して

は、図10に示す場合はDCFの長さが27.03km、伝送損失が13.5dBであるのに対して、図11に示す場合はDCF長さが20.0km、伝送損失が12dBであり、伝送損失を1.5dB程度低減できる。

[0039] なお、光ファイバ2は、図3に示す屈折率プロファイルを有するが、この屈折率プロファイルを実現するためには、光ファイバ2をシリカ系の光ファイバとして、中心コア部21に所定量のGeを添加し、外側コア層22に所定量のFを添加し、クラッド層23は屈折率調整用のドーパントを添加しない純シリカとすればよい。また、中心コア部21を純シリカとし、外側コア層22とクラッド層23とにそれぞれ所定量のFを添加して、上記屈折率プロファイルを実現してもよい。中心コア部21を純シリカとすれば、光ファイバ2の伝送損失を0.17dB/km程度に低下させることができる。また、Geを中心コア部21に添加しないので、光ファイバ2の光学非線形性を一層低下させることができる。

[0040] また、WDM伝送などの用途のために、DCFがどの程度広帯域にわたって波長分散を補償できるかの指標として、分散補償率を考慮することが重要である。分散補償率は式(1)で与えられる。

[0041]
$$\text{分散補償率} = (\text{光伝送路の平均D/S値}) / (\text{DCFのD/S値}) \times 100 \quad (1)$$

[0042] この分散補償率が70~130%であれば、光伝送路の波長分散がDCF31によってより広帯域にわたって補償されるので好ましい。

[0043] ここで、図6に示すように、DCF31のD/S値は波長1550nmにおいて283nmである。したがって、図8に示す各光伝送路における分散補償率は、「光伝送路1」の場合で約68%であるのに対して、「光伝送路2」の場合で約74%、「光伝送路3」の場合で約86%にまで向上する。

[0044] また、DCF31については、SMFの光伝送路用のものに限らない。たとえば、ノンゼロ分散シフト光ファイバ(NZ-DSF)の光伝送路用のものであれば、たとえばD/S値が100nm程度と小さいので、たとえば、「光伝送路6」に対して、分散補償率を81%とすることができる。したがって、DCF31の種類については、PBGF1と光ファイバ2との平均D/S値に応じて適宜選択すればよい。

[0045] また、上記実施の形態では、PBGF1として中心波長がCバンド(1530~1565nm

)内の1550nmのものと、Lバンド(1565~1625nm)内の1570nmのものについて説明したが、PBGFを適宜設計することによって、石英系光ファイバの低伝送損失帯域である800~1700nm内のいずれかを中心波長とできる。

[0046] また、上記の実施の形態に係る光通信システムにおいては、分散補償器としてファイバ型分散補償器を用いたが、上記の実施の形態の変形例として、ファイバブラッググレーティング型分散補償器を用いもよい。図12は、本発明の実施の形態の変形例に係るファイバブラッググレーティング型分散補償器の構成を模式的に示したブロック図である。このファイバブラッググレーティング型の分散補償器8は、分散補償ファイバブラッググレーティング81と光サーキュレータ82とを備え、光サーキュレータ82の入出力ポートは光伝送路4、4と分散補償ファイバブラッググレーティング81とにそれぞれ接続している。光サーキュレータ82は、図面上左側の光伝送路4から光伝送路4の波長分散によって波形が歪んだ光信号を入力し、分散補償ファイバブラッググレーティング81に出力する。そして、分散補償ファイバブラッググレーティング81は、入力した光信号をコア部に形成したグレーティングによって分布的に反射して光信号の波形歪みを解消し、光サーキュレータ82に出力する。さらに、光サーキュレータ82は図面上右側の光伝送路4から波形歪みを解消した光信号を出力する。その結果、ファイバブラッググレーティング型分散補償器8は使用波長において光伝送路4の波長分散を補償することができる。

産業上の利用可能性

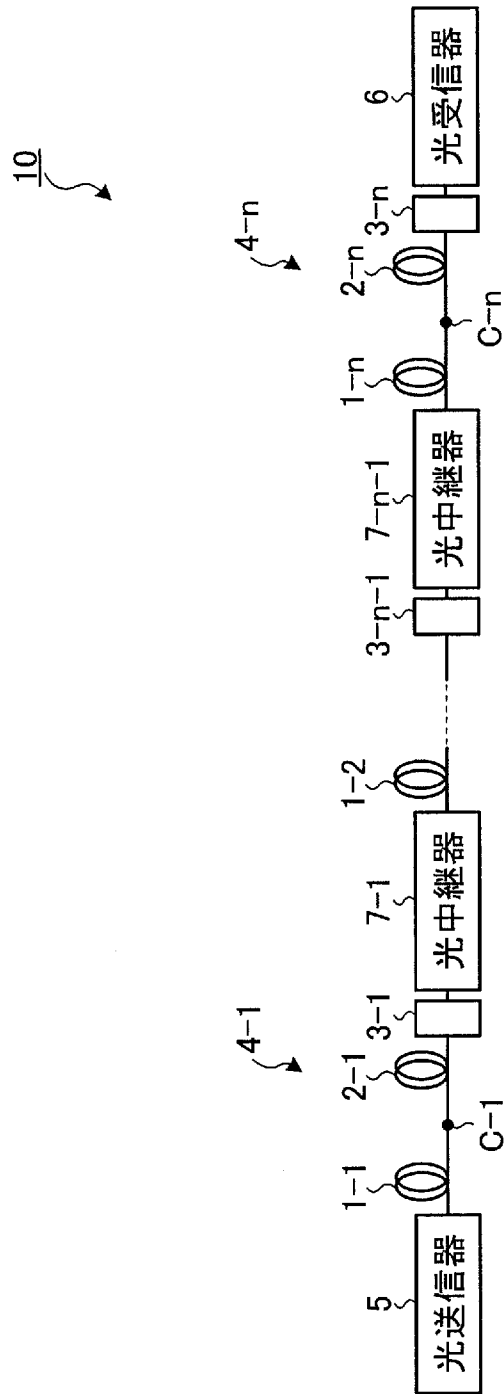
[0047] 本発明は、広帯域で大容量の長距離光通信システムにおいて好適に利用できる。

請求の範囲

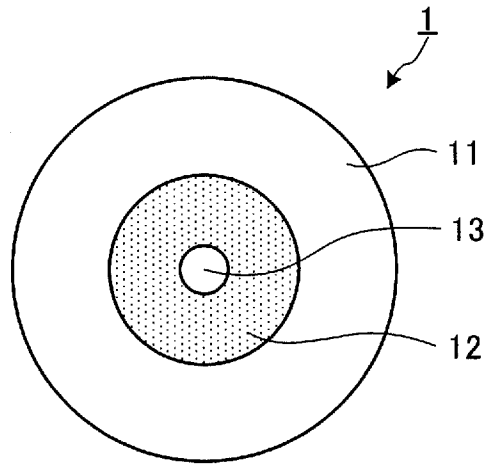
- [1] 光伝送路として光ファイバを用いた光通信システムであって、
前記光伝送路は、
中心に位置し、空孔が構成するコアと、前記コアの外側に位置する外側クラッドと、
前記コアと前記外側クラッドの間に位置し、該外側クラッドとは屈折率が異なる媒質を
周期的に配列してブラッグ回折格子を形成した内側クラッドと、を有し、前記ブラッグ
回折格子が形成するフォトニックバンドギャップ内の所定の使用波長の光を伝搬する
フォトニックバンドギャップ光ファイバと、
前記フォトニックバンドギャップ光ファイバに隣接して接続し、前記使用波長において
前記フォトニックバンドギャップ光ファイバの波長分散値よりも小さく $0\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$
以上の波長分散値を有するとともに波長分散値を分散スロープ値で除算した D/S
値が該フォトニックバンドギャップ光ファイバの D/S 値よりも大きい光ファイバと、
を備えることを特徴とする光通信システム。
- [2] 前記光ファイバは、前記使用波長において、 $25\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散値
と 100nm 以上の D/S 値とを有することを特徴とする請求項1に記載の光通信システ
ム。
- [3] 前記光伝送路は、前記フォトニックバンドギャップ光ファイバまたは前記光ファイバ
に隣接して接続し、前記使用波長において前記フォトニックバンドギャップ光ファイバ
と前記光ファイバとの波長分散の総和および平均分散スロープを補償する負の波長
分散値および分散スロープ値を有する分散補償器を備えることを特徴とする請求項1
または2に記載の光通信システム。
- [4] 前記分散補償器は、前記フォトニックバンドギャップ光ファイバと前記光ファイバとの
平均 D/S 値の $70\sim 130\%$ の D/S 値を有することを特徴とする請求項3に記載の
光通信システム。
- [5] 前記使用波長は、 $800\sim 1700\text{nm}$ であることを特徴とする請求項1～4のいずれか
1つに記載の光通信システム。
- [6] 前記使用波長は、 $1530\sim 1625\text{nm}$ であることを特徴とする請求項5に記載の光通
信システム。

- [7] 前記光ファイバは、
中心コア部と、
前記中心コア部の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低い外側コア層と、
前記外側コア層の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低くかつ前記外側コア層よりも屈折率が高いクラッド層と、
を有し、波長1500nmにおいて、波長分散値が $25\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であり、 D/S 値が300nm以上であり、有効コア断面積が $80\mu\text{m}^2$ 以上であり、伝送損失が $0.25\text{dB}/\text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項1～6のいずれか1つに記載の光通信システム。
- [8] 前記光ファイバは、
中心コア部と、
前記中心コア部の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低い外側コア層と、
前記外側コア層の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低くかつ前記外側コア層よりも屈折率が高いクラッド層と、
を有し、前記中心コア部の前記クラッド層に対する比屈折率差 $\Delta 1$ が $0.15\sim 0.4\%$ であり、前記外側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差 $\Delta 2$ が $-0.35\sim -0.05\%$ であり、前記中心コア部の直径に対する前記外側コア層の外径の比 b/a が $1.5\sim 6$ であることを特徴とする請求項1～6のいずれか1つに記載の光通信システム。
- [9] 前記分散補償器は、前記使用波長において、 $-80\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下の波長分散値を有することを特徴とする請求項3～8のいずれか1つに記載の光通信システム。

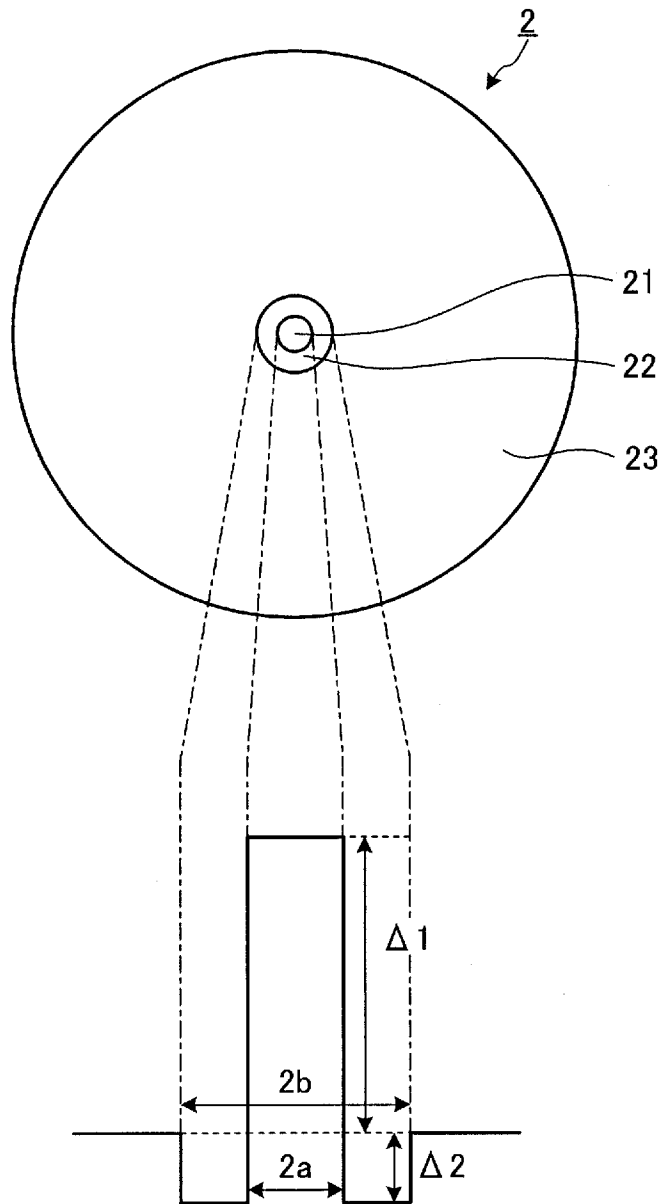
[図1]



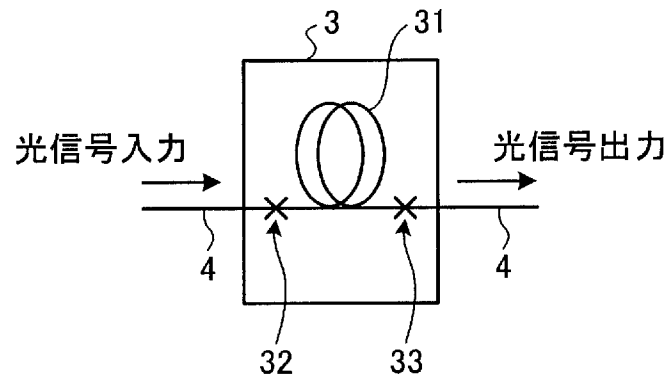
[図2]



[図3]



[図4]



[図5]

波長	D	Slope	D/S	MFD	A _{eff}	λ _c	曲げ損失
nm	ps/nm/km	ps/nm ² /km	nm	μm	μm ²	nm	dB/m
1550	21.73	0.063	345	11.51	115.4	1525	5.0
1570	22.98	0.062	373	11.56	116.2		10.0

[図6]

波長	伝送損失	D	Slope	D/S	MFD	λ_c	曲げ損失	PMD
nm	dB/km	ps/nm/km	ps/nm ² /km	nm	μm	nm	dB/m	ps/ $\sqrt{\text{km}}$
1550	0.500	-170.0	-0.600	283	4.5	1460	0.3	0.100
1570	0.500	-185.0	-6.00	308	5.0		1.0	0.100

[図7]

	D	Slope	D/S
	ps/nm/km	ps/nm ² /km	nm
光伝送路1	97	0.50	194
光伝送路2	59.4	0.282	210
光伝送路3	36.8	0.15	245

[図8]

	光伝送路の特性		DCFの特性	
	D	Slope	長さ	伝送損失
	ps/nm/km	ps/nm ² /km	km	dB
光伝送路1	0	0.158	57.06	34.2
光伝送路2	0	0.072	34.94	21.0
光伝送路3	0	0.020	21.65	13.0

[図9]

	D	Slope	D/S
	ps/nm/km	ps/nm ² /km	nm
光伝送路4	50	1.5	33
光伝送路5	36.5	0.781	47
光伝送路6	28.4	0.35	81

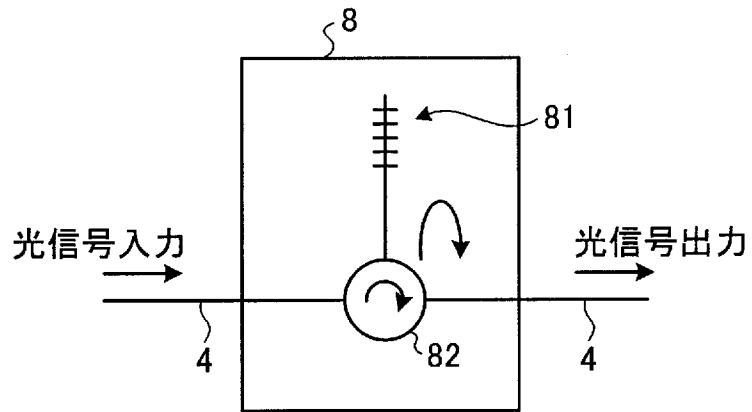
[図10]

	伝送路の特性		DCFの特性	
	D	Slope	長さ	伝送損失
	ps/nm/km	ps/nm ² /km	km	dB
光伝送路4	0	1.338	27.03	13.5
光伝送路5	0	0.663	19.73	9.9
光伝送路6	0	0.258	15.35	7.7

[図11]

	長さ	伝送損失
	km	dB
光伝送路1	38.8	23.3
光伝送路2	23.8	14.3
光伝送路3	14.7	8.8
光伝送路4	20.0	12
光伝送路5	14.6	8.8
光伝送路6	11.4	6.8

[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2008/052815

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02B6/02(2006.01)i, G02B6/00(2006.01)i, G02B6/032(2006.01)i, G02B6/036(2006.01)i, H04B10/02(2006.01)i, H04B10/18(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)
G02B6/02, G02B6/00, G02B6/032, G02B6/036, H04B10/02, H04B10/18

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	1996-2008
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2008	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2008

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
IEEE, JST7580 (JDreamII), JSTPlus (JDreamII), CiNii

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-337242 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 28 November, 2003 (28.11.03), Par. Nos. [0005], [0006], [0009], [0044] to [0046], [0064]; Fig. 10 & US 2003/0215200 A1 & EP 1372279 A2	1-9
A	HC-1550-02 Hollow Core Photonic Bandgap Fiber. [online]. BlazePhotonics, 2004.02.16. [retrieved on 2008-03-31]. Retrieved from the Internet: http://www.crystal-fibre.com/datasheets/HC-1550-02.pdf	1-9

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

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 28 March, 2008 (28.03.08)	Date of mailing of the international search report 08 April, 2008 (08.04.08)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/052815

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Zhiqiang Liu et al., Chromatic dispersion and DGD Measurement of Air-Guiding Photonic Band-gap Fibers, SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2006.12.26 (received date), Volume 6352, 63520H.1-63520H.6	1-9
A	Bing YAO et al., "C-3-67 Photonic Band-Gap Fiber no Kaihatsu", 2005 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Electronics 1, 07 March, 2005 (07.03.05), page 237	1-9
A	Katsuya NAGAYAMA et al., "Cho Teisonshitsu 0.151dB/km Jun Silica-core Fiber to Denso System no Chokyorika", IEICE Technical Report, OCS, Hikari Tsushin System, Vol.102, No.135, 14 June, 2002 (14.06.02), pages 1 to 6	7,8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G02B6/02(2006.01)i, G02B6/00(2006.01)i, G02B6/032(2006.01)i, G02B6/036(2006.01)i, H04B10/02(2006.01)i, H04B10/18(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. G02B6/02, G02B6/00, G02B6/032, G02B6/036, H04B10/02, H04B10/18

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 1971-2008年
 日本国実用新案登録公報 1996-2008年
 日本国登録実用新案公報 1994-2008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, JST7580(JDreamII), JSTPlus(JDreamII), CiNii

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 請求の範囲の番号
A	JP 2003-337242 A (住友電気工業株式会社) 2003. 11. 28, 段落【0005】、【0006】、【0009】、【0044】 - 【0046】、【0064】、【図 10】 & US 2003/0215200 A1 & EP 1372279 A2	1-9
A	HC-1550-02 Hollow Core Photonic Bandgap Fiber. [online]. BlazePhotonics, 2004.02.16. [retrieved on 2008-03-31]. Retrieved from the Internet: http://www.crystal-fibre.com/datasheets/HC-1550-02.pdf	1-9

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、一般的な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 28.03.2008	国際調査報告の発送日 08.04.2008
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 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) 和田 将彦	2 X	3 9 1 3
	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 請求の範囲の番号
A	Zhigang Liu et al., Chromatic dispersion and DGD Measurement of Air-Guiding Photonic Band-gap Fibers, SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2006.12.26 (受入日), Volume 6352, 63520H.1-63520H.6	1-9
A	姚兵他, C-3-67 フォトニックバンドギャップファイバの開発, 2005年電子情報通信学会総合大会 エレクトロニクス1, 2005.03.07, 第237頁	1-9
A	永山勝也他, 超低損失0.151dB/km純シリカコアファイバと伝送システムの長距離化, 電子情報通信学会技術研究報告. OCS, 光通信システム, Vol.102, No.135, 2002.06.14, 第1-6頁	7,8