

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-209654
(P2008-209654A)

(43) 公開日 平成20年9月11日(2008.9.11)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
G02B	6/02	(2006.01)	G02B	6/10		C	2H150	
H04B	10/02	(2006.01)	H04B	9/00		M	5K102	
H04B	10/18	(2006.01)	G02B	6/00	376Z			
G02B	6/00	(2006.01)	G02B	6/20		Z		
G02B	6/032	(2006.01)	G02B	6/22				

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-46255 (P2007-46255)
(22) 出願日 平成19年2月26日 (2007.2.26)

(71) 出願人 000005290
古河電気工業株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(74) 代理人 100089118
弁理士 酒井 宏明
(72) 発明者 武笠 和則
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

Fターム(参考) 2H150 AC38 AD03 AD12 AD17 AD19
AD32 AE03 AE05 AE12 AE13
AE14 AE15 AE16 AE17 AE25
AE26 AE29 AE33 AE39 AE43
AE44 AF04 AF12 AF23 AF28
AG02 AG13 AH14 AH18 AH19
AH50

最終頁に続く

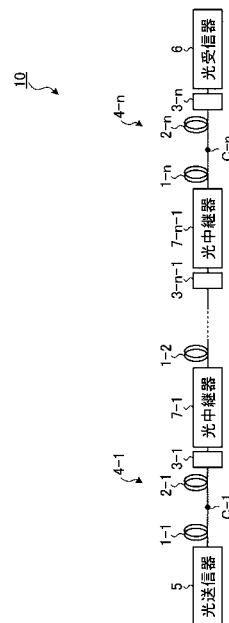
(54) 【発明の名称】 光通信システム

(57) 【要約】

【課題】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。

【解決手段】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、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 $0 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 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。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 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。

10

【請求項 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 100 nm 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。

【請求項 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。

20

【請求項 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。

【請求項 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。

30

【請求項 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。

【請求項 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 1500 nm 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 300 nm 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。

40

【請求項 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、

50

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 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 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請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の光通信システム。

【請求項 9】

前記分散補償器は、前記使用波長において、 -80 ps/nm/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。

【発明の詳細な説明】

【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 Band Gap 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

【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 (Photonic 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 100 km におよぶ光伝送路を用いた伝送速度が 10 Gb/s の分散マネ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】

10

20

30

40

50

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 ps/nm/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。

10

【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 ps/nm/km 以下の波長分散値と 100 nm 以上の D/S 値とを有することを特徴とする。

20

【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 $70 \sim 130\%$ の D/S 値を有することを特徴とする。

30

【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、 $800 \sim 1700 \text{ nm}$ 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、 $1530 \sim 1625 \text{ nm}$ 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 1500 nm において、波長分散値が 25 ps/nm/km 以下であり、 D/S 値が 300 nm 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 dB/km 以下であることを特徴とする。

40

【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 Δn 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

50

する比屈折率差 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。

【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 ps/nm/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 ps/nm/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。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

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 PBG 、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 () 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。

【0019】

(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。

【0020】

光伝送路4-1~4-nは、 PBG 1-1~1-nと、 PBG 1-1~1-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 PBG 1-1~1-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。

【0021】

図2は、本実施の形態に係る PBG 1 を模式的に示した断面図である。なお、 PBG 1-1~1-nは、いずれも PBG 1 と同様のものである。この PBG 1 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、 PBG 1 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 1550 nm である。また、 PBG 1 は使用波長 1550 nm において 50 ps/nm/km 以上の大きな波長分散値を有するとともに、 $0.5 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以上の大きな分散スロープ値を有する。

【0022】

10

20

30

40

50

一方、光ファイバ 2 - 1 ~ 2 - n は、使用波長 1550 nm において、P B G F 1 - 1 ~ 1 - n 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、波長分散値を分散スロープ値で除算した D / S 値が P B G F 1 - 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 P B G F 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。

【0023】

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 2 1 と、中心コア部 2 1 の外周に形成され中心コア部 2 1 よりも屈折率が低い外側コア層 2 2 と、外側コア層 2 2 の外周に形成され中心コア部 2 1 よりも屈折率が低くかつ外側コア層 2 2 よりも屈折率が高いクラッド層 2 3 とを有する。

10

【0024】

そして、屈折率プロファイルに関しては、中心コア部 2 1 のクラッド層 2 3 に対する屈折率差 Δn_1 が 0.15 ~ 0.4 % であり、外側コア層 2 2 のクラッド層 2 3 に対する屈折率差 Δn_2 が -0.35 ~ -0.05 % であり、中心コア部 2 1 の直径 2 a に対する外側コア層 2 2 の外径 2 b 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 ps / nm / km 以上 25 ps / nm / km 以下となり、D / S 値が 100 nm 以上、特に 300 nm 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 dB / km とできる。

20

【0025】

また、光ファイバ 2 は、 Δn_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、 Δn_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。

【0026】

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、D C F 3 1 は接続点 3 2、3 3 を介して光伝送路 4 と接続している。

30

【0027】

本実施の形態に係る分散補償器 3 は、P B G F 1 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 P B G F 1 のみで構成した場合と比較して、P B G F 1 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 (S M F) 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 ~ -180 ps / nm / km 程度であり、D / S が 250 nm ~ 350 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、P B G F 1 - 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。

40

【0028】

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 P B G F 1 - 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。

50

【0029】

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 n_1 を0.3%、 n_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、「Aeff」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。

【0030】

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」、

【0031】

「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。

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。

【0032】

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。

【0033】

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

10

20

30

40

50

の波長 1570 nm 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。

【0034】

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 350 ps / 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。

10

【0035】

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 1550 nm または 1570 nm 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 1550 nm および 1570 nm における波長分散値がいずれも -250 ps / nm / km であって、伝送損失がいずれも 0.6 dB / km のものである。

【0036】

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 57.06 km、伝送損失が 34.2 dB であるのに対して、図 11 に示す場合は DCF 長さが 38.8 km、伝送損失が 23.3 dB であり、伝送損失を 10 dB 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 27.03 km、伝送損失が 13.5 dB であるのに対して、図 11 に示す場合は DCF 長さが 20.0 km、伝送損失が 12 dB であり、伝送損失を 1.5 dB 程度低減できる。

20

【0037】

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 0.17 dB / 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。

30

【0038】

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。

40

【0039】

分散補償率 = (光伝送路の平均 D / S 値) / (DCF の D / S 値) × 100 (1)

【0040】

この分散補償率が 70 ~ 130 % であれば、光伝送路の波長分散が DCF 31 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。

【0041】

ここで、図 6 に示すように、DCF 31 の D / S 値は波長 1550 nm において 283 nm 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」

50

の場合で約 86% にまで向上する。

【0042】

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。

【0043】

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。

【0044】

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。

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】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】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】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】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4に示すDCFの光学特性の一例を示す図である。

【図7】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。

10

20

30

40

50

【図12】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】

【0046】

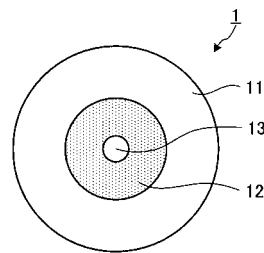
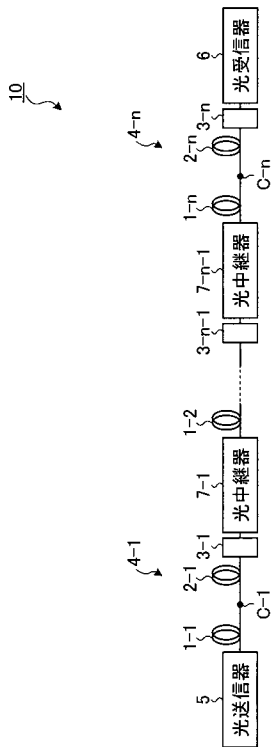
- 1、1 - 1 ~ 1 - n P B G F
- 2、2 - 1 ~ 2 - n 光ファイバ
- 3、3 - 1 ~ 3 - n、8 分散補償器
- 4、4 - 1 ~ 4 - n 光伝送路
- 5 光送信器
- 6 光受信器
- 7 - 1 ~ 7 - n - 1 光中継器
- 10 光通信システム
- 11 外側クラッド部
- 12 内側クラッド部
- 13 コア
- 21 中心コア部
- 22 外側コア層
- 23 クラッド層
- 31 D C F
- 32、33 接続点
- 81 分散補償ファイバブラッググレーティング
- 82 光サーキュレータ
- C - 1 ~ C - n 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

10

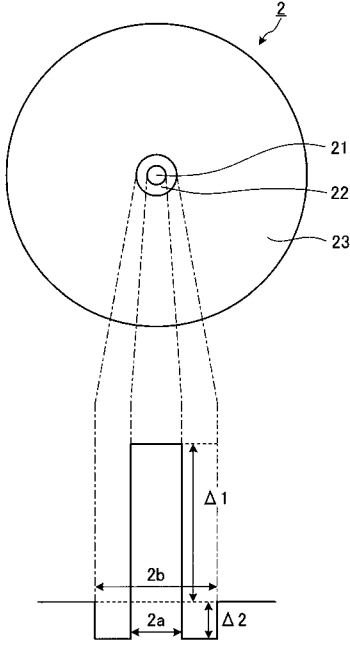
20

【図1】

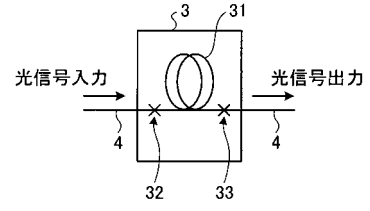
【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】

波長	D	Slope	D/S	MFD	Aeff	λ_c	曲り損失
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	曲り損失	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 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 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

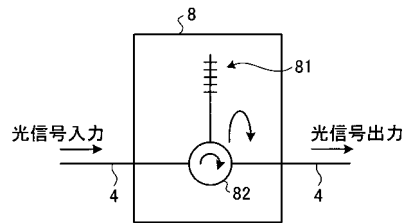
【 図 1 0 】

	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 1 1 】

	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 1 2 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

G 0 2 B 6/036 (2006.01)

Fターム(参考) 5K102 AA01 KA02 KA42 PA04 PH41 PH46