

(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2008-96933

(P2008-96933A)

(43) 公開日 平成20年4月24日(2008.4.24)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G02B 6/036 (2006.01)</b>	G02B 6/22	2H150
<b>G02B 6/02 (2006.01)</b>	G02B 6/10	C
<b>G02B 6/032 (2006.01)</b>	G02B 6/20	Z

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2006-281972 (P2006-281972)  
 (22) 出願日 平成18年10月16日(2006.10.16)

(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 今村 勝徳  
 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 AD04 AD12 AD17 AD18  
 AD22 AD23 AD37 AE03 AE15  
 AE23 AE28 AE29 AE33 AE40  
 AE44 AE48 AE49 AF05 AF12  
 AF23 AF28 AF33 AG04 AG13  
 AH14 AH22 AH50

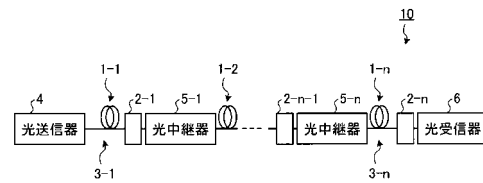
(54) 【発明の名称】 光通信システムおよび分散補償光ファイバ

(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た長距離の光信号伝送ができる光通信システムおよび分散補償光ファイバを提供すること。

【解決手段】 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、光伝送路は、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第2クラッドと、コアと第2クラッドの間に位置し、第2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第1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を補償する負の波長分散値を有する分散補償器と、を備えたことを特徴とする光通信システム。

【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第 2 クラッドと、前記コアと前記第 2 クラッドの間に位置し、該第 2 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第 1 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バンドギャップ光ファイバと、

前記フォトリ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リックバンドギャップ光ファイバの波長分散を補償する負の波長分散値を有する分散補償器と、

を備えたことを特徴とする光通信システム。

## 【請求項 2】

前記分散補償器は、前記使用波長において前記フォトリックバンドギャップ光ファイバの分散スロープを補償する負の分散スロープ値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】

前記分散補償器は、前記使用波長において前記フォトリックバンドギャップ光ファイバの波長分散値の 3 倍以上の絶対値の波長分散値を有す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。

## 【請求項 4】

前記分散補償器は、前記使用波長において  $-150 \text{ ps/nm/km}$  以下の波長分散値を有することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の光通信システム。

## 【請求項 5】

前記分散補償器は、前記使用波長において波長分散値を分散スロープ値で除算した値として  $100 \text{ nm}$  以下の値を有す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。

## 【請求項 6】

前記使用波長は、 $1550 \text{ nm}$  を含むことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の光通信システム。

## 【請求項 7】

前記分散補償器は、ファイバ型分散補償器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 8】

前記ファイバ型分散補償器は、前記使用波長以下のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項 7 に記載の光通信システム。

## 【請求項 9】

前記ファイバ型分散補償器は、

中心コア部と、

前記中心コア部の周囲に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低い内側コア層と、

前記内側コア層の周囲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内側コア層よりも屈折率が高い外側コア層と、

前記外側コア層の周囲に形成され前記内側コア層よりも屈折率が高くかつ前記外側コア層よりも屈折率が低いクラッド層と、

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  $n_1$  が  $1.6 \sim 3.0\%$  であり、前記内側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差  $n_2$  が  $-1.6 \sim -0.2\%$  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  $n_3$  が  $0.1 \sim 0.7\%$  であり、前記外側コア層の外径に対する前記中心コア部の直径の比  $a/c$  が  $0.05 \sim 0.4$  であり、前記外側コア層の外径に対する前記内側コア層の外径の比  $b/c$  が  $0.4 \sim$

10

20

30

40

50

0.85であり、前記外側コア層の外半径  $c$  が  $5 \sim 25 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項8に記載の光通信システム。

【請求項10】

前記ファイバ型分散補償器は、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  $1.9 \sim 2.7\%$ であり、前記中心コア部の形状を規定する値が  $2 \sim 20$ であり、前記内側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差  $2$  が  $-1.2 \sim -0.6\%$ 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  $3$  が  $0.2 \sim 0.6\%$ であり、前記外側コア層の外径に対する前記中心コア部の直径の比  $a/c$  が  $0.1 \sim 0.3$ であり、前記外側コア層の外径に対する前記内側コア層の外径の比  $b/c$  が  $0.5 \sim 0.75$ であり、前記外側コア層の外半径  $c$  が  $10 \sim 20 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項9に記載の光通信システム。

10

【請求項11】

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第2クラッドと、前記コアと前記第2クラッドの間に位置し、該第2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第1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バンドギャップ光ファイバに隣接して接続し、前記フォトリックバンドギャップ光ファイバの前記使用波長における波長分散を補償する負の波長分散値を有することを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項12】

前記使用波長において前記フォトリックバンドギャップ光ファイバの分散スロープを補償する負の分散スロープ値を有することを特徴とする請求項11に記載の分散補償光ファイバ。

20

【請求項13】

前記使用波長において  $-150 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以下の波長分散値を有することを特徴とする請求項11または12に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項14】

前記使用波長において波長分散値を分散スロープ値で除算した値として  $100 \text{ nm}$ 以下の値を有することを特徴とする請求項11～13のいずれか1つに記載の分散補償光ファイバ。

30

【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および分散補償光ファイバ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、フォトリ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。フォトリ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ものである。このフォトリ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。

40

【0003】

一方、フォトリ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、あるいはフォトリ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

50

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18年9月6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). 10

【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で極めて大きな波長分散値を有する。この大きな波長分散値は光信号に対して信号波形の歪みなどの悪影響をおよぼすので、フォトニックバンドギャップ光ファイバを用いた長距離の光信号伝送は困難であるという問題があった。 20

【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た長距離の光信号伝送ができる光通信システムおよび分散補償光ファイバ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第2クラッドと、前記コアと前記第2クラッドの間に位置し、該第2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第1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を補償する負の波長分散値を有する分散補償器と、を備えたことを特徴とする。 30

【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、前記分散補償器は、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分散スロープを補償する負の分散スロープ値を有することを特徴とする。 40

【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、前記分散補償器は、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の3倍以上の絶対値の波長分散値を有す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、前記使用波長において - 150 ps / nm / km 以下の波長分散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、前記分散補償器は、前記使用波長において波長分散値を分散スロープ値で除算した値として100nm以下の値を有す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、1550nmを含むことを特徴とする。

【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、前記分散補償器は、ファイバ型分散補償器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、前記ファイバ型分散補償器は、前記使用波長以下のカットオフ波長を有することを特徴とする。

10

【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、前記ファイバ型分散補償器は、中心コア部と、前記中心コア部の周囲に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低い内側コア層と、前記内側コア層の周囲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内側コア層よりも屈折率が高い外側コア層と、前記外側コア層の周囲に形成され前記内側コア層よりも屈折率が高くかつ前記外側コア層よりも屈折率が低いクラッド層と、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 $\Delta n_1$ が1.6~3.0%であり、前記内側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差 $\Delta n_2$ が-1.6~-0.2%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 $\Delta n_3$ が0.1~0.7%であり、前記外側コア層の外径に対する前記中心コア部の直径の比 $a/c$ が0.05~0.4であり、前記外側コア層の外径に対する前記内側コア層の外径の比 $b/c$ が0.4~0.85であり、前記外側コア層の外半径 $c$ が5~25 $\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

20

【0017】

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、前記ファイバ型分散補償器は、前記中心コア部の前記クラッド層に対する比屈折率差 $\Delta n_1$ が1.9~2.7%であり、前記中心コア部の形状を規定する値が2~20であり、前記内側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差 $\Delta n_2$ が-1.2~-0.6%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 $\Delta n_3$ が0.2~0.6%であり、前記外側コア層の外径に対する前記中心コア部の直径の比 $a/c$ が0.1~0.3であり、前記外側コア層の外径に対する前記内側コア層の外径の比 $b/c$ が0.5~0.75であり、前記外側コア層の外半径 $c$ が10~20 $\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

30

【0018】

また、本発明に係る分散補償光ファイバは、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第2クラッドと、前記コアと前記第2クラッドの間に位置し、該第2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第1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バンドギャップ光ファイバに隣接して接続し、前記フォトリックバンドギャップ光ファイバの前記使用波長における波長分散を補償する負の波長分散値を有することを特徴とする。

40

【0019】

また、本発明に係る分散補償光ファイバは、上記の発明において、前記使用波長において前記フォトリックバンドギャップ光ファイバの分散スロープを補償する負の分散スロープ値を有することを特徴とする。

【0020】

また、本発明に係る分散補償光ファイバは、上記の発明において、前記使用波長において-150ps/nm/km以下の波長分散値を有することを特徴とする。

【0021】

また、本発明に係る分散補償光ファイバは、上記の発明において、前記使用波長におい

50

て波長分散値を分散スロープ値で除算した値として100nm以下の値を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0022】

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、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を補償する負の波長分散値を有する分散補償器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の有する極めて大きい値の波長分散が伝送中の光信号に信号波形の歪みなどの悪影響をおよぼすことを抑制できるので、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た長距離の光信号伝送ができるという効果を奏する。

10

【0023】

また、本発明に係る分散補償光ファイバは、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、このフォトニックバンドギャップ光ファイバの使用波長における波長分散を補償する負の波長分散値を有することにより、フォトニックバンドギャップ光ファイバの有する極めて大きい値の波長分散が伝送中の光信号に信号波形の歪みなどの悪影響をおよぼすことを抑制できるので、フォトニックバンドギャップ光ファイバと組み合わせて低光学非線形性と低伝送損失特性とを活用した長距離の光信号伝送を可能にす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】

【0024】

20

以下に、図面を参照して本発明に係る光通信システムおよび分散補償光ファイバ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( )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。

【0025】

(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4と、光送信器4が送信した光信号を再生中継する光中継器5-1~5-nと、光中継器5-nが再生中継した光信号を受信する光受信器6と、光送信器4と光中継器5-1~5-nと光受信器6とを接続して光信号を伝送する光伝送路3-1~3-nとを備える。

30

【0026】

光伝送路3-1~3-nは、PBGF1-1~1-nとPBGF1-1~1-nに隣接して接続する分散補償器2-1~2-nとを備える。なお、光伝送路3のPBGF1-1~1-nと分散補償器2-1~2-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。図2は、図1に示す光通信システムの光伝送路に備えたPBGFの構成を模式的に示した断面図である。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、第2クラッド部11と、この第2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第1クラッド部12とを有し、PBGF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、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50ps/nm/km以上の大きな波長分散値を有するとともに、0.5ps/nm<sup>2</sup>/km以上の大きな分散スロープ値を有する。

40

【0027】

一方、図3は、図1に示す光通信システムの光伝送路に備えた分散補償器の構成を模式

50

的に示したブロック図である。この分散補償器 2 は、ファイバ型分散補償器であって、DCF 2 1 とモード変換器 2 2、2 3 とを備え、DCF 2 1 は接続部 2 2、2 3 を介して光伝送路 3 と接続している。

**【0028】**

本実施の形態に係る DCF 2 1 は使用波長 1550 nm において、PBGF 1 の波長分散を補償する負の波長分散値を有しているため、PBGF 1 の有する極めて大きい値の波長分散が伝送中の光信号に信号波形の歪みなどの悪影響をおよぼすことを抑制できる。その結果、光通信システム 10 は、PBGF 1 の低光学非線形性かつ低伝送損失特性を活用した長距離の光信号伝送を可能にする。

**【0029】**

また、DCF 2 1 は使用波長 1550 nm において PBGF 1 の分散スロープを補償する負の分散スロープ値を有しているため、PBGF 1 の有する極めて大きい値の波長分散を、使用波長だけでなく使用波長を含む広い波長帯域にわたって補償することができる。その結果、光通信システム 10 は、PBGF 1 の低光学非線形性かつ低伝送損失特性を活用した長距離の光信号伝送を広帯域にわたって可能にし、波長分割多重 (WDM) 伝送などの大容量光信号伝送に最適な光通信システムとなる。

**【0030】**

また、DCF 2 1 は、使用波長 1550 nm において PBGF 1 の波長分散値の 3 倍以上の絶対値の波長分散値を有するので、総伝送損失が好ましい範囲に抑制できる。さらに、DCF 2 1 は、使用波長 1550 nm において波長分散値を分散スロープ値で除算した値として 100 nm 以下の値を有するので、波長分散値と分散スロープ値の両方が大きい PBGF 1 に対しても、より広帯域にわたって波長分散を補償できる。以下、具体的に説明する。

**【0031】**

たとえば、非特許文献 1 には、使用波長 1550 nm において波長分散値が  $97 \text{ ps/nm/km}$ 、分散スロープ値が  $0.5 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  の PBGF (以下、この PBGF を PBGF - A と記載する) と、使用波長 1570 nm において波長分散値が  $50 \text{ ps/nm/km}$ 、分散スロープ値が  $1.5 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  の PBGF (以下、この PBGF を PBGF - B と記載する) とが開示されている。いずれの PBGF も  $50 \text{ ps/nm/km}$  以上の大きな波長分散値を有しているため、DCF の波長分散値が小さいと、PBGF の波長分散を補償するために必要な DCF の長さが長くなり、DCF の総伝送損失が極めて大きくなってしまふ。

**【0032】**

図 5 は、DCF の波長分散値と、PBGF - B の波長分散を補償するのに必要な長さの DCF の総伝送損失との関係を、長さ 50 km または 100 km の PBGF - B について示す図である。なお、DCF の伝送損失として、典型的な値である  $0.7 \text{ dB/km}$  を仮定した。図 5 に示すように、DCF の波長分散値が小さいと DCF に必要な長さが長くなるため DCF の総伝送損失が急激に増大する。DCF の総伝送損失はエルビウム添加光ファイバ増幅器 (EDFA) を用いて補償できるが、EDFA の増幅特性を考慮すると、DCF の総伝送損失は  $20 \text{ dB}$  以下であることが好ましい。したがって、光中継器間の伝送スパンを長距離とし、100 km の長さの PBGF - B の波長分散を補償する場合、使用波長における DCF の波長分散値が PBGF の波長分散値の 3 倍以上、好ましくは 4 倍以上の絶対値の波長分散値であれば、DCF の総伝送損失を EDFA によって容易に補償できる程度の値に抑えられるので好ましい。たとえば、PBGF として PBGF - B を使用する場合は、使用波長における DCF 2 1 の波長分散値が  $-150 \text{ ps/nm/km}$  以下であることが好ましく、 $-200 \text{ ps/nm/km}$  以下であることが特に好ましい。なお、PBGF として PBGF - A を使用する場合は、DCF の使用波長における波長分散値が  $-300 \text{ ps/nm/km}$  以下であることが好ましく、 $-400 \text{ ps/nm/km}$  以下であることが特に好ましい。

**【0033】**

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、光伝送路としてPBGFを用いる場合は式(1)で与えられる。

【0034】

$$\begin{aligned} \text{分散補償率} &= \text{PBGFのDPS} / \text{DCFのDPS} \times 100 \\ &= (\text{PBGFの波長分散値} / \text{PBGFの分散スロープ値}) \\ &\quad / (\text{DCFの波長分散値} / \text{DCFの分散スロープ値}) \quad (1) \end{aligned}$$

なお、DPS (Dispersion Per Slope) とは、波長分散値を分散スロープ値で除算した値を意味する。

【0035】

この分散補償率が100%に近いほど、PBGFの分散がDCF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。式(1)に示されるように、分散補償率を100%に近づけるためには、PBGFのDPSに近いDPSを有するDCFを用いることが必要である。

【0036】

ここで、PBGF-AのDPSは200nmと大きいので、従来のDCFを用いても分散補償率をある程度大きくすることができる。一方、PBGF-BのDPSは33nmと小さいので、従来のDCFを用いて分散補償率を大きくするのが困難である。

【0037】

しかし、DCFがDPSとして100nm以下の値を有すれば、DPSが小さいPBGF-BのようなPBGFにおいても分散補償率を30%程度と十分に大きくできるので、広帯域わたって分散を補償できる。

【0038】

つぎに、本実施の形態に係るDCF21についてさらに具体的に説明する。図4は、本実施の形態に係るDCF21の断面と対応する屈折率プロファイルを模式的に示す図である。

【0039】

このDCF21は、中心コア部211と、中心コア部211の周囲に形成され中心コア部211よりも屈折率が低い内側コア層212と、内側コア層212の周囲に形成され中心コア部211よりも屈折率が低くかつ内側コア層212よりも屈折率が高い外側コア層213と、外側コア層213の周囲に形成され内側コア層212よりも屈折率が高くかつ外側コア層213よりも屈折率が低いクラッド層214とを有し、中心コア部211のクラッド層214に対する比屈折率差 $\Delta n_1$ が1.6~3.0%であり、内側コア層212のクラッド層214に対する比屈折率差 $\Delta n_2$ が-1.6~-0.2%であり、外側コア層213のクラッド層214に対する比屈折率差 $\Delta n_3$ が0.1~0.7%であり、外側コア層213の外径 $2c$ に対する中心コア部211の直径 $2a$ の比 $a/c$ が0.05~0.4であり、外側コア層213の外径 $2c$ に対する内側コア層212の外径 $2b$ の比 $b/c$ が0.4~0.85であり、外側コア層213の外半径 $c$ が5~25 $\mu\text{m}$ である。

【0040】

また、より好ましくは、中心コア部211のクラッド層214に対する比屈折率差 $\Delta n_1$ が1.9~2.7%であり、中心コア部211の形状を規定する値が2~20であり、内側コア層212のクラッド層214に対する比屈折率差 $\Delta n_2$ が-1.2~-0.6%であり、外側コア層213のクラッド層214に対する比屈折率差 $\Delta n_3$ が0.2~0.6%であり、外側コア層213の外径 $2c$ に対する中心コア部211の直径 $2a$ の比 $a/c$ が0.1~0.3であり、外側コア層213の外径 $2c$ に対する内側コア層212の外径 $2b$ の比 $b/c$ が0.5~0.75であり、外側コア層213の外半径 $c$ が10~20 $\mu\text{m}$ である。

【0041】

このDCF21は、上記の構成を有することにより、-150ps/nm/km以下の波長分散値と、100nm以下のDPSと、1550nm以下のカットオフ波長と、20

10

20

30

40

50



× 16 ターンの条件で 10 dB / m 以下の曲げ損失を有するものとなる。

【 0 0 4 2 】

以下に、図 4 に示す屈折率プロファイルに対して、所望の光学特性を実現するための設計の最適化の手順について具体的に説明する。この最適化に用いる屈折率パラメータは、1、2、3、値、 $a/c$ 、 $b/c$ 、 $c$  の 7 つである。

【 0 0 4 3 】

なお、値は中心コア部の形状を規定するパラメータであり、値をとすると、は式 ( 2 ) で定義される。

【 0 0 4 4 】

$$n^2(r) = n_{core}^2 \times \{ 1 - 2 \times ( / 100 ) \times ( r / a ) ^ \} \quad ( 2 )$$

( 但し、 $0 < r < a$  )

10

【 0 0 4 5 】

ここで、 $r$  は中心コア部の中心からの半径方向の位置を示し、 $n(r)$  は位置  $r$  における屈折率、 $n_{core}$  は中心コア部の  $r = 0$  における屈折率、 $a$  は中心コア部の半径を表している。また、記号「 $\wedge$ 」はべき乗を表す記号である。

【 0 0 4 6 】

また、DCF の曲げ損失が大きくなると、DCF をモジュールやケーブルの形態で使用する事が困難となる。そこで、20 × 16 ターンの条件で曲げ損失が、従来の DCF と同程度の 10 dB / m 以下になるようなコア径を  $2c$  として選択して最適化設計を行った。以下に、2 と 3 についての最適化設計の例を示す。まず、概略計算により、前記の 7 つのパラメータのおおよその範囲を決め、その後 1 を 2.5 %、値を 3、 $a/c$  を 0.2、 $b/c$  を 0.6、 $2c$  を  $/k$  が 1.4460 になる値に固定して、2 と 3 の最適化設計を行った。図 6、7 は、2 と 3 についての最適化設計を行った際のシミュレーションによる計算結果を示す図である。図 6 は、2、3、および波長分散値の関係を示し、図 7 は、2、3、および DPS の関係を示す。さらに、線 L1、L2 は、カットオフ波長が 1550 nm となる境界線を示し、この線 L1、L2 よりも 3 が小さい側がカットオフ波長が 1550 nm 以下となる領域である。

20

【 0 0 4 7 】

2 を小さくしていくと、図 7 に示すように DPS を小さくすることができるが、図 6 に示すように波長分散値は一旦減少した後に増加する。一方、3 を大きくしていくと、図 6 に示すように波長分散値は小さくなるが、図 7 に示すように DPS は一旦減少した後に増加するとともにカットオフ波長が 1550 nm を超えてしまう。このトレードオフの関係を考慮すると、2 は -1.00 ~ -0.70 %、3 は 0.17 ~ 0.30 % の間に最適解が存在することが確認された。そして、1、値、 $a/c$ 、 $b/c$  などを変化させて同様の計算を行い、解の存在範囲を調べた結果、1 が 1.6 ~ 3.0 %、2 が -1.6 ~ -0.2 %、3 が 0.1 ~ 0.7 %、 $a/c$  が 0.05 ~ 0.4、 $b/c$  が 0.4 ~ 0.85、 $c$  が 5 ~ 25  $\mu$ m の場合に解が存在することが確認された。また、値については 1 以上であれば解が存在することが確認された。さらに、1 が 1.9 ~ 2.7 %、値が 2 ~ 20、2 が -1.2 ~ -0.6 %、3 が 0.2 ~ 0.6 %、 $a/c$  が 0.1 ~ 0.3、 $b/c$  が 0.5 ~ 0.75、 $c$  が 10 ~ 20  $\mu$ m であれば、波長分散値が一層大きく、DPS が一層小さい好適な解が存在することが確認された。

30

40

【 0 0 4 8 】

つぎに、上記計算結果の具体例を示す。図 8 は、本実施の形態に係る DCF 21 の設計パラメータおよび計算して得られた光学特性を示す図である。なお、分散とは波長分散値を意味し、 $A_{eff}$  とは有効コア断面積を意味する。分散、 $A_{ff}$ 、DPS は、いずれも波長 1550 nm における値を示している。また、たとえば番号 01 から番号 05 の DCF は、波長分散値としてそれぞれ -200 ps / nm / km、-250 ps / nm / km、-300 ps / nm / km、-350 ps / nm / km、-400 ps / nm / km をターゲットとして設計した。図 8 に示すように、番号 01 から番号 12 の全ての DCF は、波長分散値が -150 ps / nm / km 以下と負の値であって極めて絶対値が大きく、

50

D P S が 1 0 0 n m 以下と極めて小さいので、条長の長い P B G F の波長分散を短い条長で総伝送損失を抑えつつ補償できるとともに、広帯域にわたって分散を補償できる。また、曲げ損失を 2 0 × 1 6 ターンの条件で 1 0 d B / m 以下に抑制可能である。したがって、モジュールやケーブルの形態で使用することが可能な D C F となる。さらに、前記の波長分散値と D P S を実現しながらも、 1 は従来の D C F と同程度の大きさなので、伝送損失特性とともに製造性も良好であると考えられる。

【 0 0 4 9 】

つぎに、本実施の形態に係る D C F を実際に製造した場合の例を示す。図 9 は、製造した D C F の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。また、L o s s とは波長 1 5 5 0 n m における伝送損失を意味し、スロープとは波長 1 5 5 0 n m における分散スロープ値を意味する。図 9 に示すように、実際に製造した D C F は、図 8 に示す計算結果と同様の光学特性となった。

10

【 0 0 5 0 】

なお、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 1 0 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分散補償器 7 は、分散補償ファイバブラッググレーティング 7 1 と光サーキュレータ 7 2 とを備え、光サーキュレータ 7 2 の入出力ポートは光伝送路 3、3 と分散補償ファイバブラッググレーティング 7 1 とにそれぞれ接続している。光サーキュレータ 7 2 は、図面上左側の光伝送路 3 から P B G F によって波形歪みを与えられた使用波長を有する光信号を入力し、分散補償ファイバブラッググレーティング 7 1 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 7 1 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 7 2 に出力する。さらに、光サーキュレータ 7 2 は図面上右側の光伝送路 3 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 7 は使用波長において P B G F の波長分散を補償し、P B G F の低光学非線形性と低伝送損失特性とを活用した長距離の光信号伝送を可能にする。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 1 】

30

【 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 】 図 1 に示す光通信システムの光伝送路に備えた P B G F の構成を模式的に示した断面図である。

【 図 3 】 図 1 に示す光通信システムの光伝送路に備えた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 4 】 本発明の実施の形態に係る D C F の断面と対応する屈折率プロファイルを模式的に示す図である。

【 図 5 】 D C F の波長分散値と、P B G F の波長分散を補償するのに必要な長さの D C F の総伝送損失との関係を、長さ 5 0 k m または 1 0 0 k m の P B G F について示す図である。

40

【 図 6 】 2 と 3 についての最適化設計を行った際のシミュレーションによる計算結果を示す図である。

【 図 7 】 2 と 3 についての最適化設計を行った際のシミュレーションによる計算結果を示す図である。

【 図 8 】 本発明の実施の形態に係る D C F の設計パラメータおよび計算して得られた光学特性を示す図である。

【 図 9 】 製造した D C F の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

【 図 1 0 】 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 】

50

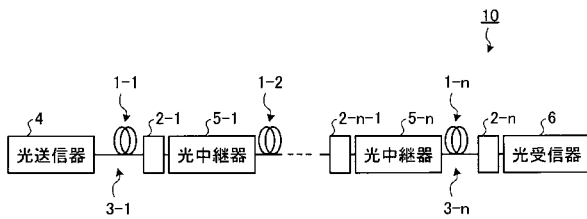
【 0 0 5 2 】

- 1、 1 - 1 ~ 1 - n P B G F
- 1 0 光通信システム
- 1 1 第 2 クラッド部
- 1 2 第 1 クラッド部
- 1 3 空孔
- 2、 2 - 1 ~ 2 - n 分散補償器
- 2 1 D C F
- 2 1 1 中心コア部
- 2 1 2 内側コア層
- 2 1 3 外側コア層
- 2 1 4 クラッド層
- 2 2、 2 3 接続部
- 3、 3 - 1 ~ 3 - n 光伝送路
- 4 光送信器
- 5 - 1 ~ 5 - n 光中継器
- 6 光受信器
- 7 ファイブラッググレーティング型分散補償器
- 7 1 分散補償ファイブラッググレーティング
- 7 2 光サーキュレータ

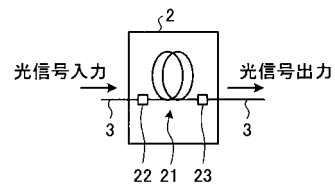
10

20

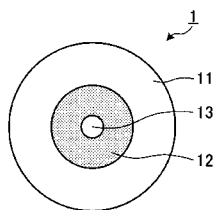
【 図 1 】



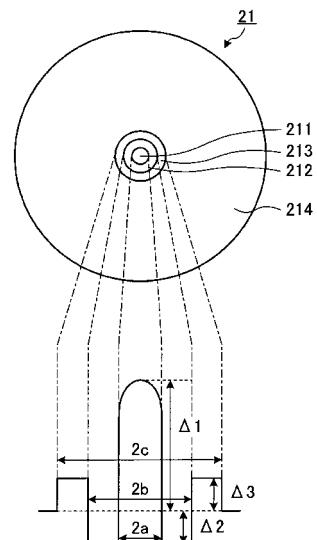
【 図 3 】



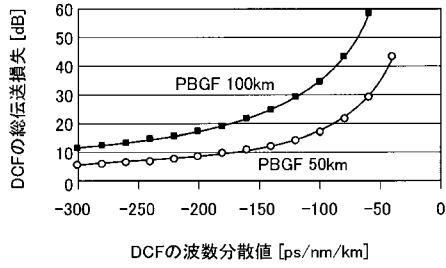
【 図 2 】



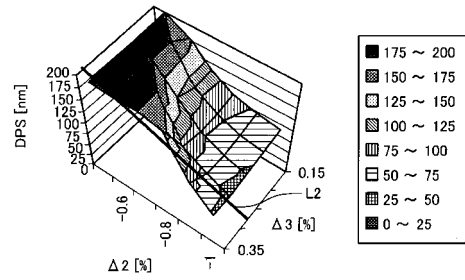
【 図 4 】



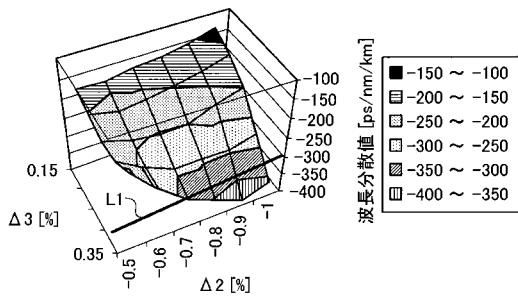
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 6 】



【 図 8 】

No.	Δ1	α	Δ2	Δ3	a/c	b/c	2c	分散	DPS	Aeff	λc
単位	%		%	%			μm	ps/nm/km	nm	μm <sup>2</sup>	nm
01	2.10	6	-0.90	0.42	0.20	0.69	13.7	-216	60	11.0	1386
02	2.10	6	-0.90	0.42	0.20	0.68	13.7	-241	61	11.4	1424
03	2.25	12	-0.90	0.35	0.18	0.64	13.7	-298	69	11.2	1440
04	2.25	10	-0.90	0.35	0.18	0.64	13.8	-341	67	11.5	1452
05	2.45	5	-0.90	0.39	0.18	0.64	14.0	-391	59	11.7	1527
06	2.10	6	-0.90	0.42	0.20	0.70	13.8	-157	67	10.37	1358
07	2.10	8	-0.90	0.20	0.20	0.68	13.5	-157	85	11.0	1122
08	2.10	3	-0.70	0.30	0.20	0.65	14.9	-167	82	12.7	1378
09	2.45	5	-0.90	0.38	0.18	0.67	14.1	-218	58	9.6	1405
10	2.20	4	-0.80	0.28	0.19	0.60	14.6	-233	80	12.2	1405
11	2.20	7	-0.90	0.29	0.19	0.59	13.7	-271	80	11.8	1321
12	2.45	5	-0.90	0.37	0.17	0.64	14.0	-328	57	10.7	1443

【 図 9 】

No.	Δ1	α	Δ2	Δ3	a/c	b/c	2c
単位	%		%	%			μm
01	2.00	4	-0.80	0.44	0.28	0.70	12.8
02	2.10	2.5	-0.80	0.20	0.22	0.60	14.5

Loss	分散	スロープ	DPS	Aeff	λc	曲げ損失 (20φ×16φ→)
dB/km	ps/nm/km	ps/nm <sup>2</sup> /km	nm	μm <sup>2</sup>	nm	dB/m
0.70	-215.7	-2.211	98	13.8	1317	9.7
0.71	-155	1.703	91	13.9	1289	6.5

【 図 10 】

