

(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2007-264331

(P2007-264331A)

(43) 公開日 平成19年10月11日(2007.10.11)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO2B 6/032 (2006.01) GO2B 6/20 Z 2H150

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2006-89676 (P2006-89676)
 (22) 出願日 平成18年3月29日 (2006.3.29)

(71) 出願人 000005186
 株式会社フジクラ
 東京都江東区木場1丁目5番1号
 (74) 代理人 100064908
 弁理士 志賀 正武
 (74) 代理人 100108578
 弁理士 高橋 詔男
 (74) 代理人 100089037
 弁理士 渡邊 隆
 (74) 代理人 100101465
 弁理士 青山 正和
 (72) 発明者 官 寧
 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
 フジクラ佐倉事業所内

最終頁に続く

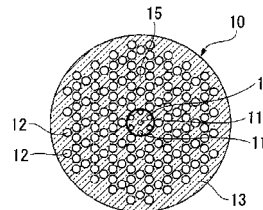
(54) 【発明の名称】 拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ

(57) 【要約】

【課題】従来のフォトニックバンドギャップファイバよりも格段に伝送帯域幅の広い高性能な拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバの提供。

【解決手段】石英ガラス部分に多数の空孔がファイバ長手方向に沿って設けられ、その空孔が拡張三角格子状に並べられたクラッドを有し、且つ複数の空孔が三角格子状に並べられたキャピラリーコアを有する拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバにおいて、キャピラリーコアの空孔がクラッドの空孔よりも個々の空孔断面積が小さいことを特徴とする拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

石英ガラス部分に多数の空孔がファイバ長手方向に沿って設けられ、その空孔が拡張三角格子状に並べられたクラッドを有し、且つ複数の空孔が三角格子状に並べられたキャピラリーコアを有する拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバにおいて、

キャピラリーコアの空孔がクラッドの空孔よりも個々の空孔断面積が小さいことを特徴とする拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項 2】

クラッドを構成する拡張三角格子のユニットセルは、断面六角形の多数の空孔が石英ガラスからなる壁を介して拡張三角格子状に並べられてなり、かつキャピラリーコアを構成するユニットセルは、断面六角形の複数の空孔が石英ガラスからなる壁を介して三角格子状に並べられてなり、クラッドを構成する拡張三角格子の壁厚 w_b と、キャピラリーコアを構成する三角格子の壁厚 w_c とが $w_b < w_c$ の関係を満たしていることを特徴とする請求項 1 に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

10

【請求項 3】

キャピラリーコアは、中心 1 個、それを囲む 1 層 6 個の合計 7 個の空孔からなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項 4】

キャピラリーコアは、中心 1 個、それを囲む 1 層目 6 個、2 層目 12 個、3 層目 18 個の合計 37 個の空孔からなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

20

【請求項 5】

キャピラリーコアは、中心 1 個、それを囲む 5 層の空孔層の合計 91 個の空孔からなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項 6】

キャピラリーコアは、中心 1 個、それを囲む 7 層以上の空孔層からなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項 7】

クラッドの拡張三角格子のピッチが w_b であるとき、該拡張三角格子の壁厚 w_b が、 $0.03 < w_b < 0.4$ の関係を満たすことを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

30

【請求項 8】

キャピラリーコアの三角格子の壁厚 w_c が $0.05 < w_c < 0.6$ の関係を満たすことを特徴とする請求項 7 に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項 9】

伝搬パワーの 60% 以上がキャピラリーコアの領域に集中するコアモードのみが存在し、伝搬パワーの 40% 以上がキャピラリーコアの領域以外に存在する表面モードが存在しないことを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

40

【請求項 10】

$0.8 < w_r < 1.8$ 、 $0.04 < w_b < 0.12$ 、 $0.12 < w_c < 0.25$ で、波長 λ が $0.9 \lambda < \lambda < 1.8 \lambda$ (ただし、 λ は拡張三角格子のピッチ、 w_r は拡張三角格子内の石英ガラス部分の径、 w_b はクラッドの拡張三角格子の壁厚、 w_c はキャピラリーコアの三角格子の壁厚をそれぞれ表し、 $\lambda = 2 \lambda$ である。) を満たす範囲内で伝搬モードが存在することを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項 11】

50

0.8 w_r 、0.04 w_b 0.12、0.25 w_c 0.35
 で、波長が $0.9 / 2.4$ (ただし、 λ は拡張三角格子のピッチ、 w_r は拡張三角格子内の石英ガラス部分の径、 w_b はクラッドの拡張三角格子の壁厚、 w_c はキャピラリーコアの三角格子の壁厚をそれぞれ表し、 $\lambda = 2$ である。)を満たす範囲内で伝搬モードが存在することを特徴とする請求項1~9のいずれかに記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項12】

0.5 w_r 0.9、0.06 w_b 0.14、0.15 w_c 0.25
 で、波長が $0.9 / 2.8$ (ただし、 λ は拡張三角格子のピッチ、 w_r は拡張三角格子内の石英ガラス部分の径、 w_b はクラッドの拡張三角格子の壁厚、 w_c はキャピラリーコアの三角格子の壁厚をそれぞれ表し、 $\lambda = 2$ である。)を満たす範囲内で伝搬モードが存在することを特徴とする請求項1~9のいずれかに記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

10

【請求項13】

シングルモード動作することを特徴とする請求項1に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項14】

クラッドを構成する拡張三角格子のユニットセルは、断面六角形の多数の空孔が石英ガラスからなる壁を介して拡張三角格子状に並べられてなり、かつキャピラリーコアを構成するユニットセルは、断面六角形の複数の空孔が石英ガラスからなる壁を介して三角格子状に並べられてなり、クラッドを構成する拡張三角格子の壁厚 w_b と、キャピラリーコアを構成する三角格子の壁厚 w_c とが $w_b < w_c$ の関係を満たしていることを特徴とする請求項13に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

20

【請求項15】

クラッドに円形又は六角形の空孔を設け、キャピラリーコアに円形又は六角形の空孔を設けたことを特徴とする請求項13に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項16】

キャピラリーコアは、中心1個、それを囲む1層6個の合計7個の空孔からなることを特徴とする請求項13~15のいずれかに記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

30

【請求項17】

クラッドの拡張三角格子のピッチが w_b であるとき、該拡張三角格子の壁厚 w_b が、 $0.03 w_b$ 0.2 の関係を満たすことを特徴とする請求項13~16のいずれかに記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項18】

キャピラリーコアの三角格子の壁厚 w_c が $0.05 w_c$ 0.25 の関係を満たすことを特徴とする請求項17に記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

【請求項19】

伝搬パワーの60%以上がキャピラリーコアの領域に集中するコアモードのみが存在し、伝搬パワーの40%以上がキャピラリーコアの領域以外に存在する表面モードが存在しないことを特徴とする請求項13~18のいずれかに記載の拡張三角格子型フォトニックバンドギャップファイバ。

40

【請求項20】

0.6 w_r 、0.04 w_b 0.12、0.06 w_c 0.18
 で、波長が $0.8 / 1.8$ (ただし、 λ は拡張三角格子のピッチ、 w_r は拡張三角格子内の石英ガラス部分の径、 w_b はクラッドの拡張三角格子の壁厚、 w_c はキャピラリーコアの三角格子の壁厚をそれぞれ表し、 $\lambda = 2$ である。)を満たす範囲内でシングルモードが存在することを特徴とする請求項13~19のいずれかに記載の拡張三角格

50

子型フォトリックバンドギャップファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトリックバンドギャップファイバ（以下、P B G Fと略記する）に関し、特に、伝送帯域が広く、紫外光領域から可視光領域、近赤外領域及び遠赤外領域までの光伝送、ファイバレーザ光伝送に用いることができる拡張三角格子（E T L : extended triangular lattice）型P B G Fに関する。

【背景技術】

【0002】

本発明者らは、非特許文献1に開示されている通り、キャピラリーコアを有する拡張三角格子型P B G Fを発明した。図1及び図2は、その従来の拡張三角格子型P B G F 1, 6の構造を示す図である。

図1に示す拡張三角格子型P B G F 1は、石英ガラスからなる光ファイバに長手方向に沿って多数の空孔2を規則的に設けてなり、その断面において、ファイバ中心部に7個の空孔2が三角格子状に密集して並べられたキャピラリーコア4が設けられ、その周囲に空孔2と石英ガラス部分3とが拡張三角格子状に配置されたクラッド5が設けられた構造になっている。

【0003】

図2に示す拡張三角格子型P B G F 6は、ファイバ中央に、中心1個、それを囲む1層目6個、2層目12個、さらにそれを囲む3層目18個、合計37個の空孔2が三角格子状に密に並べられたキャピラリーコア7が設けられ、その周囲に空孔2と石英ガラス部分3とが拡張三角格子状に配置されたクラッド5が設けられた構造になっている。

【0004】

これらの拡張三角格子型P B G F 1, 6において、キャピラリーコア4, 7の空孔2とクラッド5の空孔2とは、同じ孔径になっている。なお、空孔2の断面形状は、P B G Fの製造条件、例えば、線引き時の空孔内部とファイバ母材外部との圧力差や温度などによって、円形又は六角形とすることができる。

【非特許文献1】K. Takenaga, N. Guan, R. Goto, S. Matsuo, K. Himeno, "A New Photonic Bandgap Fibre with Extended Triangular Lattice and Capillary Core", ECOC 2005 Proceedings-Vol.2 Paper Tu 1.4.2

【非特許文献2】S. G. Johnson and J. D. Joannopoulos, "Block-iterative frequency-domain methods for Maxwell's equations in planewave basis", Opt. Express, vol. 8, No.3, pp.173-190, 2001

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

非特許文献1に記載された拡張三角格子型P B G Fは、キャピラリーコアを採用したことで、空孔コア（エアコア）を用いる従来P B G Fに比べ、伝送帯域を大幅に広げることができた。

一方、光ファイバの利用分野は益々広範囲になりつつあり、光ファイバに要求される伝送帯域幅の範囲は、今後益々広がることが予想されることから、広範囲の伝送帯域をもつ光ファイバの提供が切望されている。

【0006】

本発明は、前記事情に鑑みてなされ、従来P B G Fよりも格段に伝送帯域幅の広い高性能なP B G Fの提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記目的を達成するため、本発明は、石英ガラス部分に多数の空孔がファイバ長手方向に沿って設けられ、その空孔が拡張三角格子状に並べられたクラッドを有し、且つ複数の

10

20

30

40

50

空孔が三角格子状に並べられたキャピラリーコアを有する拡張三角格子型 P B G F において、キャピラリーコアの空孔がクラッドの空孔よりも個々の空孔断面積が小さいことを特徴とする拡張三角格子型 P B G F を提供する。

【0008】

本発明の拡張三角格子型 P B G F において、クラッドを構成する拡張三角格子のユニットセルは、断面六角形の多数の空孔が石英ガラスからなる壁を介して拡張三角格子状に並べられてなり、かつキャピラリーコアを構成するユニットセルは、断面六角形の複数の空孔が石英ガラスからなる壁を介して三角格子状に並べられてなり、クラッドを構成する拡張三角格子の壁厚 w_b と、キャピラリーコアを構成する三角格子の壁厚 w_c とが $w_b < w_c$ の関係を満たしていることが好ましい。

10

【0009】

本発明の拡張三角格子型 P B G F において、キャピラリーコアは、

- ・中心1個、それを囲む1層6個の合計7個の空孔、
- ・中心1個、それを囲む1層目6個、2層目12個、3層目18個の合計37個の空孔、
- ・中心1個、それを囲む5層の空孔層の合計91個の空孔、又は
- ・中心1個、それを囲む7層以上の空孔層、

からなる空孔構造を有していることが好ましい。

【0010】

本発明の拡張三角格子型 P B G F において、クラッドの拡張三角格子のピッチが p であるとき、該拡張三角格子の壁厚 w_b が、 $0.03 < w_b < 0.4$ の関係を満たすことが好ましい。

20

さらに、キャピラリーコアの三角格子の壁厚 w_c が $0.05 < w_c < 0.6$ の関係を満たすことが好ましい。

【0011】

本発明の拡張三角格子型 P B G F において、伝搬パワーの60%以上がキャピラリーコアの領域に集中するコアモードのみが存在し、伝搬パワーの40%以上がキャピラリーコアの領域以外に存在する表面モードが存在しないことが好ましい。

【0012】

本発明の拡張三角格子型 P B G F において、

(a) $0.8 < w_r < 0.9$ 、 $0.04 < w_b < 0.12$ 、 $0.12 < w_c < 0.25$ で、波長 λ が $0.9 < \lambda < 1.8$ を満たす範囲内、

(b) $0.8 < w_r < 0.9$ 、 $0.04 < w_b < 0.12$ 、 $0.25 < w_c < 0.35$ で、波長 λ が $0.9 < \lambda < 2.4$ を満たす範囲内、又は

(c) $0.8 < w_r < 0.9$ 、 $0.04 < w_b < 0.12$ 、 $0.25 < w_c < 0.35$ で、波長 λ が $0.9 < \lambda < 2.4$ (ただし、 p は拡張三角格子のピッチ、 w_r は拡張三角格子内の石英ガラス部分の径、 w_b はクラッドの拡張三角格子の壁厚、 w_c はキャピラリーコアの三角格子の壁厚をそれぞれ表し、 $\lambda = 2p$ である。) を満たす範囲内で伝搬モードが存在することが好ましい。

30

【0013】

また本発明は、前述した本発明の拡張三角格子型 P B G F において、シングルモード動作する拡張三角格子型 P B G F を提供する。

40

【0014】

前記シングルモード動作する拡張三角格子型 P B G F において、クラッドを構成する拡張三角格子のユニットセルは、断面六角形の多数の空孔が石英ガラスからなる壁を介して拡張三角格子状に並べられてなり、かつキャピラリーコアを構成するユニットセルは、断面六角形の複数の空孔が石英ガラスからなる壁を介して三角格子状に並べられてなり、クラッドを構成する拡張三角格子の壁厚 w_b と、キャピラリーコアを構成する三角格子の壁厚 w_c とが $w_b < w_c$ の関係を満たしていることが好ましい。

【0015】

前記シングルモード動作する拡張三角格子型 P B G F は、クラッドに円形又は六角形の

50

空孔を設け、キャピラリーコアに円形又は六角形の空孔を設けた構成とすることが好ましい。

前記シングルモード動作する拡張三角格子型 P B G F において、キャピラリーコアは、中心 1 個、それを囲む 1 層 6 個の合計 7 個の空孔からなることが好ましい。

【0016】

前記シングルモード動作する拡張三角格子型 P B G F において、クラッドの拡張三角格子のピッチが w_b であるとき、該拡張三角格子の壁厚 w_b が、 $0.03 < w_b < 0.2$ の関係を満たすことが好ましい。

また、キャピラリーコアの三角格子の壁厚 w_c が $0.05 < w_c < 0.25$ の関係を満たすことが好ましい。

10

【0017】

前記シングルモード動作する拡張三角格子型 P B G F において、伝搬パワーの 60% 以上がキャピラリーコアの領域に集中するコアモードのみが存在し、伝搬パワーの 40% 以上がキャピラリーコアの領域以外に存在する表面モードが存在しないことが好ましい。

【0018】

前記シングルモード動作する拡張三角格子型 P B G F において、 $0.6 < w_r$ 、 $0.04 < w_b < 0.12$ 、 $0.06 < w_c < 0.18$ で、波長 λ が $0.8 \lambda / 1.8$ (ただし、 w_b は拡張三角格子のピッチ、 w_r は拡張三角格子内の石英ガラス部分の径、 w_b はクラッドの拡張三角格子の壁厚、 w_c はキャピラリーコアの三角格子の壁厚をそれぞれ表し、 $\lambda = 2$ である。) を満たす範囲内でシングルモードが存在することが好ましい。

20

【発明の効果】

【0019】

本発明の拡張三角格子型 P B G F は、空孔が拡張三角格子状に並べられたクラッドを有し、且つ複数の空孔が三角格子状に並べられたキャピラリーコアを有する拡張三角格子型 P B G F において、キャピラリーコアの空孔がクラッドの空孔よりも個々の空孔断面積が小さい構造としたので、コアの等価屈折率を高くすることができ、その結果、ファイバの動作領域が広げられ、従来 P B G F よりも格段に広い伝送帯域幅を持った高性能な P B G F を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0020】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

図 3 は、本発明の拡張三角格子型 P B G F の第 1 実施形態を示す断面図である。本実施形態の拡張三角格子型 P B G F 10 は、石英ガラス部分 13 に多数の空孔 11, 12 がファイバ長手方向に沿って設けられ、その空孔 12 が拡張三角格子状に並べられたクラッド 15 を有し、且つ複数の空孔 11 が三角格子状に並べられたキャピラリーコア 14 を有する拡張三角格子型 P B G F において、キャピラリーコア 14 の空孔 11 がクラッド 15 の空孔 12 よりも個々の空孔断面積が小さいことを特徴としている。

【0021】

本実施形態の拡張三角格子型 P B G F 10 のキャピラリーコア 14 は、中心 1 個、それを囲む 1 層 6 個の合計 7 個の空孔 11 が三角格子状に配置されている。

40

【0022】

図 4 は、本発明の拡張三角格子型 P B G F の第 2 実施形態を示す断面図である。本実施形態の拡張三角格子型 P B G F 16 は、前記第 1 実施形態の拡張三角格子型 P B G F 10 と同様に構成されているが、中心 1 個、それを囲む 1 層目 6 個、2 層目 12 個、3 層目 18 個の合計 37 個の空孔 11 が三角格子状に並べられたキャピラリーコア 17 を有している点で相違している。

【0023】

図 5 は、本発明の拡張三角格子型 P B G F のクラッドを構成するユニットセルの構造を例示する要部断面図である。この拡張三角格子のユニットセル構造は、ファイバ横断面に

50

において第 1 のピッチ で多数の六角形の空孔 1 2 が石英ガラスからなる比較的薄い壁 1 8 を介して一列に並べられた第 1 の空孔列と、前記第 1 のピッチ の 2 倍である第 2 のピッチ ($= 2$) で多数の六角形の空孔 1 2 が六角形の石英ガラス部分 1 3 を介して並べられた第 2 の空孔列とを交互に多数重ねた周期構造になっている。本例示において、六角形の空孔 1 2 は、正六角形ではなく、石英ガラス部分 1 3 と接する 2 辺が他の辺よりも短く、且つ石英ガラス部分 1 3 と接する 2 辺間の長さが他の辺間の長さ () よりも長い六角形状となっている。また、角度 は 30 度である。なお、本発明の拡張三角格子型 P B G F のクラッドを構成するユニットセルの構造は、本例示にのみ限定されない。

【0024】

図 6 は、本発明の拡張三角格子型 P B G F のキャピラリーコアを構成するユニットセルの構造を例示する要部断面図である。本例示において、キャピラリーコア 1 4 , 1 7 は、ファイバ断面において、ほぼ正六角形の複数の空孔 1 1 が、比較的厚い石英ガラスからなる壁 1 9 を介して、三角格子状に配置されている。

10

【0025】

図 7 に示す拡張三角格子のバンド構造を図 8 に示す。ただし、石英の屈折率 $n = 1.45$ とした。図 7 では、黒い部分が石英ガラス、白い部分が空孔を示す。また、バンド構造は、平面波展開法 (非特許文献 2 参照。) を用いて計算した。

【0026】

図 8 において、 は伝搬方向 (周期構造と垂直な方向) の波数、 $= 2$ は拡張三角格子の格子定数、 は角周波数、 c は光速を表す。また、ライトライン ($n = 1.05$) は光が従来のキャピラリーコア ($w_c / = 0.06$) の中で伝搬するときの分散曲線を表し、バンドで囲まれる領域は、周期構造断面内にどの方向にも光が伝搬できない領域、すなわちバンドギャップを表す。

20

【0027】

P B G F のクラッドにこの拡張三角格子の周期構造を用い、コアに図 1、図 2 に示す従来のキャピラリーコアを用いた場合、その拡張三角格子 P B G F のコアに光が導波可能になる帯域は $n = 1.05$ のライトラインに隣接し、その上部に存在するバンドギャップとなる。この場合、伝送帯域はほぼライトラインがバンドギャップを横切る範囲となる。

【0028】

キャピラリーコアの壁厚 w_c を大きくすると、キャピラリーコアの等価屈折率がさらに大きくなるので、その場合のライトラインがさらに下側に傾斜する。図中には、 $w_c / = 0.18$ とした場合 ($n = 1.15$)、 $w_c / = 0.3$ とした場合 ($n = 1.23$) のライトラインを示している。図示のように、これらのライトラインはさらに広くバンドギャップを横切るので、伝送帯域がさらに広がる。また、その場合、伝送帯域が周波数の高い領域 (短波長側) にシフトするので、所望の伝送帯域に対して、空孔径が大きくて良いことになる。これにより、ファイバが製作しやすくなる。ここでは、キャピラリーコアの等価屈折率は、以下の式 (1) の近似を用いた：

30

【0029】

【数 1】

$$n_{\text{eff}} = \frac{n_{\text{air}}S_{\text{air}} + n_{\text{silica}}S_{\text{silica}}}{S_{\text{air}} + S_{\text{silica}}}, \quad (1)$$

40

【0030】

(ただし、 n_{eff} , n_{air} , n_{silica} は、それぞれコアの平均屈折率、空気の屈折率、石英ガラスの屈折率を表し、 S_{air} , S_{silica} はそれぞれ空気がコア中に占める面積、石英ガラスがコア中に占める面積を表す。)

キャピラリーコアは、図 6 のようになるので、各面積は、下式 (2)、(3) で与えられる。

【0031】

50

【数 2】

$$S_{\text{air}} = \frac{3}{4}(\Lambda - w_c)^2, \quad (2)$$

【0032】

【数 3】

$$S_{\text{silica}} = \frac{3}{4}[\Lambda^2 - (\Lambda - w_c)^2] \quad (3)$$

10

【0033】

本発明の拡張三角格子 PBGF は、多数本の石英ガラス製のキャピラリーと多数本の石英ガラス製のロッドとを組み合わせ、好ましくはこれらを石英ガラス管に詰め、加熱一体化してファイバ母材を作製し、このファイバ母材を光ファイバ紡糸装置にセットし、通常的光ファイバと同様に線引きして製造することができる。ここで、コアを構成するキャピラリーは肉厚のキャピラリーを用い、クラッドを構成するキャピラリーは肉薄のキャピラリーを用いることが好ましい。

【0034】

本発明の拡張三角格子型 PBGF は、空孔が拡張三角格子状に並べられたクラッドを有し、且つ複数の空孔が三角格子状に並べられたキャピラリーコアを有する拡張三角格子型 PBGF において、キャピラリーコアの空孔がクラッドの空孔よりも個々の空孔断面積が小さい構造としたので、コアの等価屈折率を高くすることができ、その結果、ファイバの動作領域が広げられ、従来の PBGF よりも格段に広い伝送帯域幅を持った高性能な PBGF を提供することができる。

20

【実施例】

【0035】

[比較例 1]

図 9 に示すような、 $w_r / \Lambda = 1$ 、 $w_b / \Lambda = 0.06$ 、 $w_c / \Lambda = 0.06$ の従来の 1 層キャピラリーコア（中心に 1 個、それを囲む 6 個の合計 7 個の空孔を有するキャピラリーコア）をもつファイバについて、伝搬モードの分散を計算した。図 10 はバンドギャップ内の分散を示す。図示のように、 $\beta / k_0 = 0.85 \sim 1.32$ で伝搬モードが存在する。ここで、 λ は波長を表す。

30

【0036】

[実施例 1]

$w_c / \Lambda = 0.18$ の厚さとしたファイバを作製した。図 11 に示すように、 $w_r / \Lambda = 1$ 、 $w_b / \Lambda = 0.06$ 、 $w_c / \Lambda = 0.18$ とした 1 層キャピラリーコア（中心に 1 個、それを囲む 6 個の合計 7 個の空孔を有するキャピラリーコア）をもつファイバについて、伝搬モードの分散を計算した。図 12 はバンドギャップ内の分散を示す。図示のように、 $\beta / k_0 = 0.92 \sim 1.74$ で伝搬モードが存在し、帯域は比較例 1 のファイバの 1.8 倍に広がる。図中のモード 2 は高次モードを表す。

40

【0037】

[実施例 2]

図 13 に示すように、 $w_r / \Lambda = 1$ 、 $w_b / \Lambda = 0.06$ 、 $w_c / \Lambda = 0.3$ とした 1 層キャピラリーコア（中心に 1 個、それを囲む 6 個の合計 7 個の空孔を有するキャピラリーコア）をもつファイバについて、伝搬モードの分散を計算した。図 14 はバンドギャップ内の分散を示す。図示のように、 $\beta / k_0 = 0.92 \sim 2.35$ で伝搬モードが存在し、帯域は比較例 1 のファイバの 3 倍に広がる。図中のモード 2 は高次モードを表す。

【0038】

[比較例 2]

50

図15に示すような、 $w_r / = 1$ 、 $w_b / = 0.06$ 、 $w_c / = 0.06$ の従来の3層キャピラリーコア（中心に1個、それを囲む第1層6個、それを囲む第2層12個、さらにそれを囲む3層目18個の合計37個の空孔を有するキャピラリーコア）をもつファイバについて、伝搬モードの分散を計算した。図16はバンドギャップ内の分散を示す。図示のように、 $/ = 0.85 \sim 1.18$ で伝搬モードが存在する。

【0039】

[実施例3]

w_c のみを厚くし、 $w_c / = 0.30$ の厚さとしたファイバを作製した。図17に示すように、 $w_r / = 1$ 、 $w_b / = 0.06$ 、 $w_c / = 0.18$ とした3層キャピラリーコア（中心に1個、それを囲む第1層6個、それを囲む第2層12個、さらにそれを囲む3層目18個の合計37個の空孔を有するキャピラリーコア）をもつファイバについて、伝搬モードの分散を計算した。図18はバンドギャップ内の分散を示す。図示のように、 $/ = 1.02 \sim 2.20$ で伝搬モードが存在し、帯域は比較例2のファイバの3.5倍に広がる。図中のモード2、モード3は高次モードを表す。

10

【0040】

[比較例3]

図19に示すような、 $w_r / = 0.7$ 、 $w_b / = 0.1$ 、 $w_c / = 0.1$ の従来の3層キャピラリーコア（中心に1個、それを囲む第1層6個、それを囲む第2層12個、さらにそれを囲む3層目18個の合計37個の空孔を有するキャピラリーコア）をもつファイバについて、伝搬モードの分散を計算した。図20はバンドギャップ内の分散を示す。図示のように、 $/ = 1.0 \sim 1.9$ で伝搬モードが存在する。

20

【0041】

[実施例4]

w_c のみを厚くし、 $w_c / = 0.20$ の厚さとしたファイバを作製した。図21に示すように、 $w_r / = 0.7$ 、 $w_b / = 0.1$ 、 $w_c / = 0.2$ とした3層キャピラリーコア（中心に1個、それを囲む第1層6個、それを囲む第2層12個、さらにそれを囲む3層目18個の合計37個の空孔を有するキャピラリーコア）をもつファイバについて、伝搬モードの分散を計算した。図22はバンドギャップ内の分散を示す。図示のように、 $/ = 1.02 \sim 2.8$ で伝搬モードが存在し、帯域は比較例3のファイバの2倍に広がる。図中のモード2、モード3は高次モードを表す。

30

【0042】

[実施例5]

比較例1と同様なファイバにおいて、 $w_c / = 0.12$ の厚さとし、シングルモード動作するファイバを作製した。図23に示すように、 $w_r / = 1$ 、 $w_b / = 0.06$ 、 $w_c / = 0.12$ とした1層キャピラリーコア（中心に1個、それを囲む6個の合計7個の空孔を有するキャピラリーコア）をもつファイバについて、伝搬モードの分散を計算した。図24はバンドギャップ内の分散を示す。図示のように、 $/ = 0.83 \sim 1.60$ でシングルモードが存在し、動作帯域は比較例1のファイバの1.6倍に広がる。

【図面の簡単な説明】

【0043】

40

【図1】従来の拡張三角格子型PBGFの一例を示す断面図である。

【図2】従来の拡張三角格子型PBGFの他の例を示す断面図である。

【図3】本発明の拡張三角格子型PBGFの第1実施形態を示す断面図である。

【図4】本発明の拡張三角格子型PBGFの第2実施形態を示す断面図である。

【図5】本発明の拡張三角格子型PBGFのクラッドを構成する拡張三角格子のユニットセルを示す断面図である。

【図6】本発明の拡張三角格子型PBGFのコアを構成する三角格子のユニットセルを示す断面図である。

【図7】本発明の拡張三角格子型PBGFのクラッドの要部断面図である。

【図8】図7に示す拡張三角格子のバンド構造を示すグラフである。

50

【図 9】比較例 1 で作製した拡張三角格子型 P B G F の要部断面図である。

【図 10】比較例 1 で作製した拡張三角格子型 P B G F のバンドギャップ内の分散を示すグラフである。

【図 11】実施例 1 で作製した拡張三角格子型 P B G F の要部断面図である。

【図 12】実施例 1 で作製した拡張三角格子型 P B G F のバンドギャップ内の分散を示すグラフである。

【図 13】実施例 2 で作製した拡張三角格子型 P B G F の要部断面図である。

【図 14】実施例 2 で作製した拡張三角格子型 P B G F のバンドギャップ内の分散を示すグラフである。

【図 15】比較例 2 で作製した拡張三角格子型 P B G F の要部断面図である。

10

【図 16】比較例 2 で作製した拡張三角格子型 P B G F のバンドギャップ内の分散を示すグラフである。

【図 17】実施例 3 で作製した拡張三角格子型 P B G F の要部断面図である。

【図 18】実施例 3 で作製した拡張三角格子型 P B G F のバンドギャップ内の分散を示すグラフである。

【図 19】比較例 3 で作製した拡張三角格子型 P B G F の要部断面図である。

【図 20】比較例 3 で作製した拡張三角格子型 P B G F のバンドギャップ内の分散を示すグラフである。

【図 21】実施例 4 で作製した拡張三角格子型 P B G F の要部断面図である。

【図 22】実施例 4 で作製した拡張三角格子型 P B G F のバンドギャップ内の分散を示すグラフである。

20

【図 23】実施例 5 で作製した拡張三角格子型 P B G F の要部断面図である。

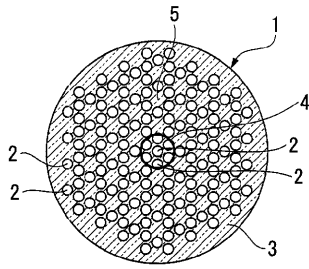
【図 24】実施例 5 で作製した拡張三角格子型 P B G F のバンドギャップ内の分散を示すグラフである。

【符号の説明】

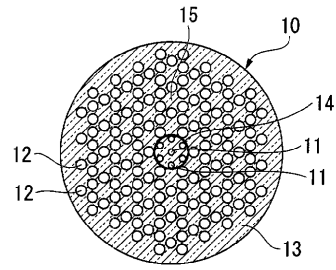
【0044】

10, 16 ... 拡張三角格子型 P B G F、11, 12 ... 空孔、13 ... 石英ガラス部分、14, 17 ... コア、15 ... クラッド、18, 19 ... 壁。

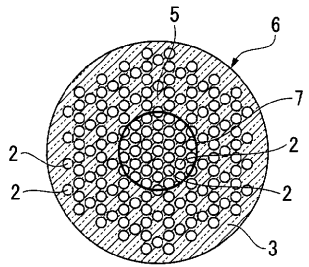
【 図 1 】



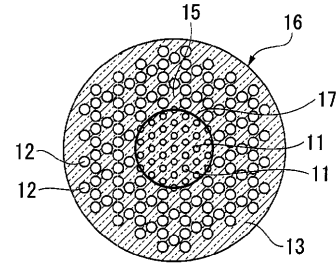
【 図 3 】



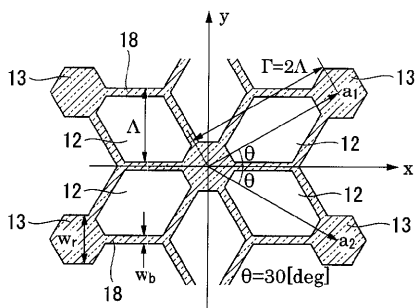
【 図 2 】



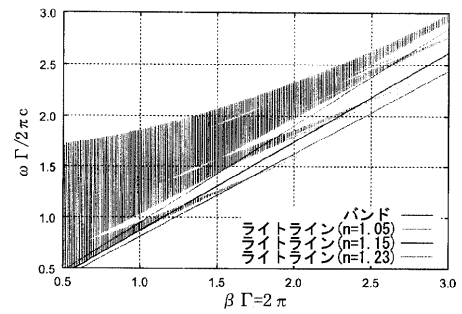
【 図 4 】



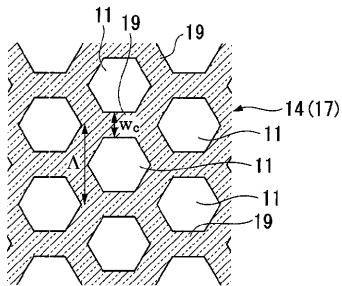
【 図 5 】



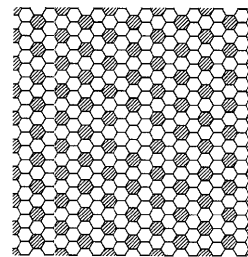
【 図 8 】



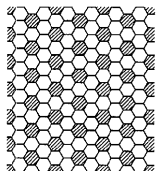
【 図 6 】



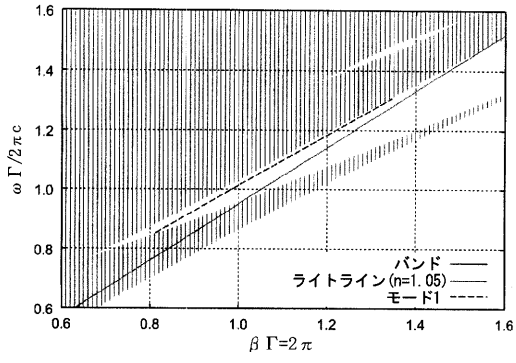
【 図 9 】



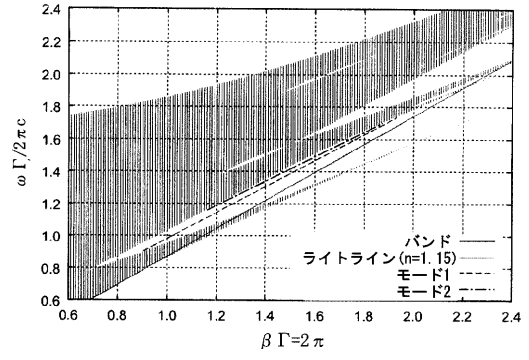
【 図 7 】



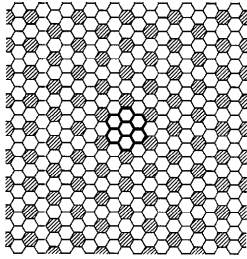
【 図 1 0 】



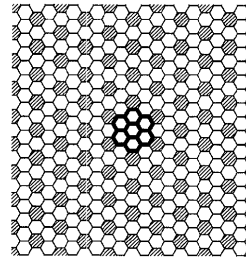
【 図 1 2 】



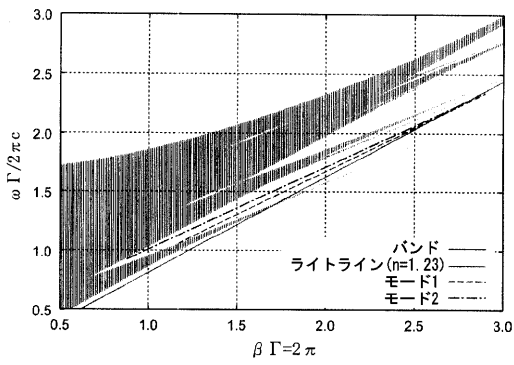
【 図 1 1 】



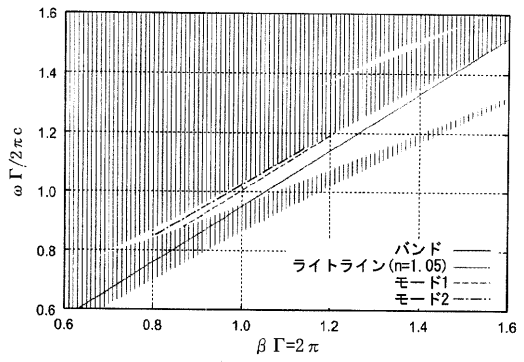
【 図 1 3 】



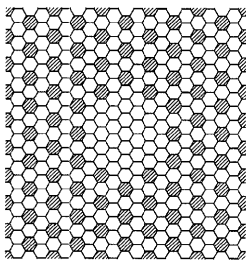
【 図 1 4 】



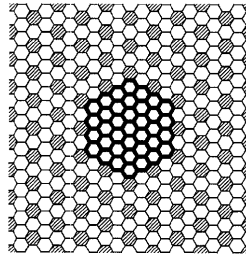
【 図 1 6 】



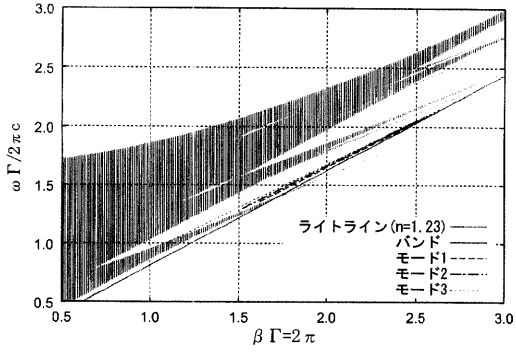
【 図 1 5 】



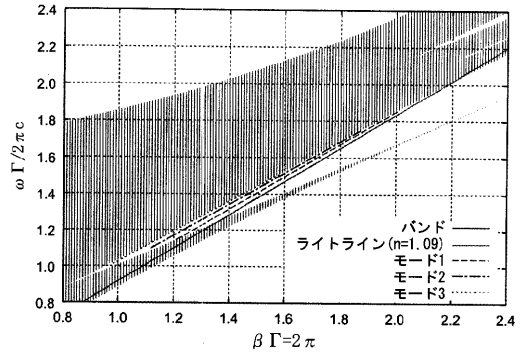
【 図 1 7 】



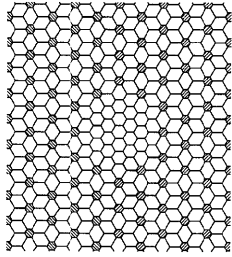
【図 18】



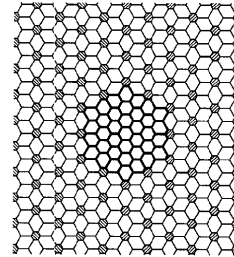
【図 20】



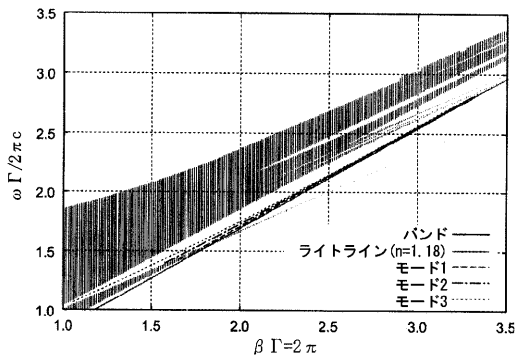
【図 19】



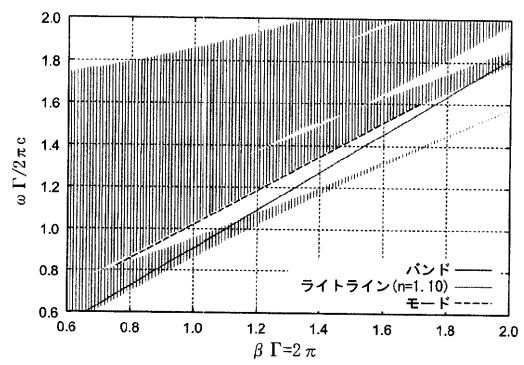
【図 21】



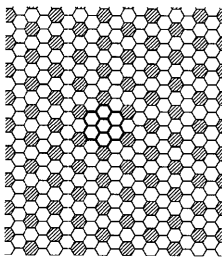
【図 22】



【図 24】



【図 23】



フロントページの続き

(72)発明者 竹永 勝宏

千葉県佐倉市六崎1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

(72)発明者 姫野 邦治

千葉県佐倉市六崎1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

Fターム(参考) 2H150 AF04 AF17 AF23 AF28 AF33 AF37 AF53