(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
2004 年12 月2 日 (02.12.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/104659 A1

(51) 国際特許分類[7]: G02B 6/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/007122

(22) 国際出願日: 2004 年5 月19 日 (19.05.2004)

(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2003-144111 2003 年5 月21 日 (21.05.2003) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目3番１号 Tokyo (JP). 三菱電線工業株式会社 (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒6640027 兵庫県伊丹市池尻４丁目３番地 Hyogo (JP).

(72) 発明者; および

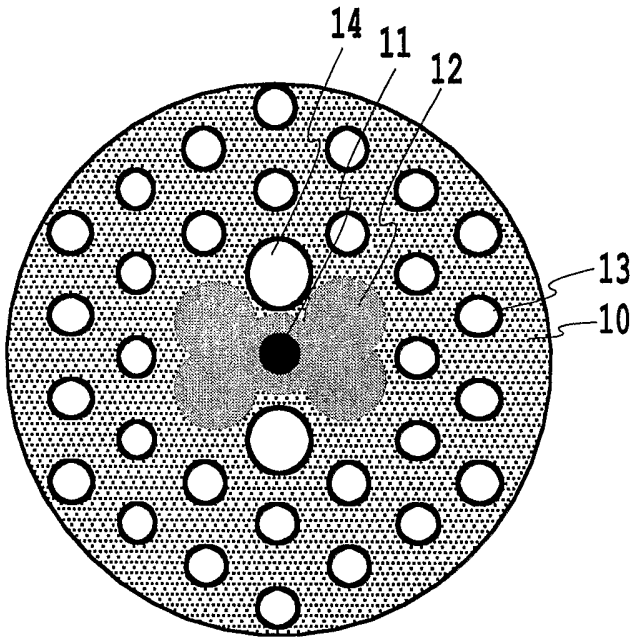
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 久保田 寛和 (KUBOTA, Hirokazu) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 川西 悟基 (KAWANISHI, Satoki) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 田中 正俊 (TANAKA, Masatoshi) [JP/JP]; 〒6640027 兵庫県伊丹市池尻４丁目３番地 三菱電線工業株式会社内 Hyogo (JP). 山取 真也 (YAMADORI, Shinya) [JP/JP]; 〒6640027 兵庫県伊丹市池尻４丁目３番地 三菱電線工業株式会社内 Hyogo (JP).

(74) 代理人: 谷 義一 (TANI, Yoshikazu); 〒1070052 東京都港区赤坂2丁目6-20 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: DISPERSION FLAT FIBER

(54) 発明の名称: 分散フラットファイバ



(57) Abstract: A dispersion flat fiber having a polarization retaining feature and a feature of a small wavelength-dependency of group speed dispersion in at least one polarization mode. The dispersion flat fiber (10) comprises a core unit consisting of a high-refractive-index portion (11) at the center and a low-refractive-index portion (12) on the periphery thereof, and a clad unit formed with many holes (13, 14) dispersed and disposed almost uniformly at almost constant intervals in the section of an optical fiber, wherein the holes are disposed such that they are rotation-symmetric of up to two turns with respect to the center of the core unit as a symmetric axis in the section of an optical fiber, and the fiber has a photonic crystal structure released from the degeneration of a polarization mode and is so structured that the wavelength-dependency of group speed dispersion at an operation wavelength is smaller than that of a normal single-mode fiber and group speed dispersion at the core unit only is a normal dispersion.

(57) 要約: 偏波保持特性をもち、かつ少なくとも一つの偏波モードの群速度分散の波長依存性が小さい特性を有する分散フラットファイバを提供する。分散フラットファイバ（１０）は、中心の高屈折率部（１１）とその周辺の低屈折率部（１２）からなるコア部と、光ファイバの断面において概略一定間隔をおいて概略一様に分散配置された多数の空孔（１３，１４）が形成されたクラッド部とを有し、その空孔の配置を光ファイバの断面においてコア部の中心を対称軸とする２回以下の回転対称にして、偏波モードの縮退を解いたフォトニック結晶構造を有し、かつ動作波長における群速度分散の波長依存性が通常の単一モードファイバより小さく、コア部のみ群速度分散が正常分散である構成を有する。

WO 2004/104659 A1

(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, 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, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明　細　書

分散フラットファイバ

技術分野

本発明は、光通信・光信号処理等に用いられる光ファイバに関し、特にクラッド部にフォトニック結晶構造（photonics crystal structure）を持ち、群速度分散(group velocity dispersion)の波長依存性(wavelength dependence)が少ない分散フラットファイバ(dispersion-flattened optical fiber)の構造に関する。

背景技術

従来、分散フラットファイバを作製するためにはコアを中心としてファイバの径方向に屈折率差の異なる多層構造(multi-layer structure)としたものが作製されている（非特許文献１：Y.LIU他、"Design and fabrication of locally dispersion-flattened large effective area fibers" ECOC' 98 pp. 37-38 (Madrid, Spain), 1998年９月、および非特許文献２：P. Bachmann 他、"Dispersion-flattened single-mode fibers prepared with PCVD: Performance, limitations, design optimization" IEEE J. Lightwave Techno1.Vol.4, No.7, pp.858-863(1986年) を参照)。

また、フォトニック結晶構造を用いて分散フラットファイバを作製する方法も開発されている。

上記の従来の多層構造のファイバにおいては、その屈折率差と各層の厚みを厳密に制御しなくてはならなかった。その設計例を非特許文献１から引用してＦＩＧ.８に示す。同図において、Δは上記屈折率差、Ｒはファイバの中心から

の距離を表わす。その設計値からのずれ（displacement）が特性に及ぼす悪影響は、たとえば非特許文献２に述べられている。しかし、多層構造のファイバの屈折率差と各層の厚みを厳密に制御することは実際上容易でない。

他方、非特許文献３(William H. Reeves 他、"Demonstration of ultra-flattened dispersion in photonic crystal fibers" Optics Express Vol.10,No.14 pp.609-613(2002 年) (http : //www .opticsexpress.org/abstract.cfm?URl=OPEX-10-14-609))から引用したＦＩＧ.９に示すような従来のフォトニック結晶構造を利用した分散フラットファイバでは、光ファイバの損失が大きいという難点があった。引用文献３では、フォトニック結晶構造を利用した分散フラットファイバにおいて、０．５８ｄＢ／ｍというきわめて大きな損失が報告されている。

また、フォトニック結晶構造を利用した従来の分散フラットファイバは、零分散(zero dispersion)で、かつ分散フラットな特性を実現できる構造の許容範囲はきわめて狭いという別の難点もあった。たとえば、フォトニック結晶構造を構成する各空孔の直径がわずか２％変化しただけで、その分散スロープが０．０２ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}程度まで変化し、分散フラットファイバとしての特性を示さなくなる。

発明の開示

本発明の目的は、従来技術における上述のような課題を解決するためになされたもので、偏波保持特性（polarization-maintaining characteristics）をもち、かつ少なくとも一つの偏波モード（polarization mode）の群速度分散の波長依存性が小さい特性を有する分散フラットファイバを提供することにある。

上記目的を達成するため、本発明の分散フラットファイバ（１０，５０）は、

ガラスもしくはプラスチック、その他使用する波長において透明な媒質のいずれかを材料として形成されている光ファイバであって、上記光ファイバの断面の中心付近において光を導波するコア部（１１，１２，５１，５２）と、上記光ファイバの長手方向に沿って形成されかつ該光ファイバの断面において概略一定間隔をおいて概略一様に分散配置された複数の空孔（１３，１４，５３，５４）を有し、該複数の空孔はそれぞれ上記光ファイバの長手方向に沿ってその平均的な直径が概略一定値である概略円形、概略楕円形もしくは概略多角形の形状を有し、かつ該空孔の中は真空、もしくは使用する波長において透明かつ上記媒質よりも屈折率の低い気体、液体ないし固体で満たされているクラッド部とを有し、上記光ファイバはその断面において上記空孔の配置を上記コア部の中心を対称軸とする２回以下の回転対称としたフォトニック結晶構造を有し、かつ動作波長における群速度分散の波長依存性が通常の単一モードファイバよりも小さい低分散スロープ性(low dispersion slope characteristics)を有し、上記コア部はその中心にその周辺部よりも屈折率の高い高屈折率領域(high refractive index area)を有し、該コア部のみ群速度分散が正常分散(normal dispersion)であることを特徴とする。

従来、分散フラットを実現するには複雑な多層構造の屈折率分布コア(refractive index dispersion optical core)を必要としたが、本発明では群速度分散の波長依存性が大きい単純なステップインデックス構造(step-index structure)であっても、クラッドに空孔を付加すると分散フラットが実現できる。また、モードフィールド径を小さくでき、高非線形性(higher nonlinearity)が得られる。

ここで、好ましくは、上記コア部の屈折率分布が、ステップインデックス型、グレーデッド(graded-index)型、マッチドクラッド(multi-cladding)型、もしくはW型、三重クラッド（triple-cladding）型、四重クラッド

(quadruple-cladding)型等の多層型(multiple-layer type)であるとすることができる。

また、好ましくは、少なくともいずれか一つの偏波モードでの上記動作波長における群速度分散の波長依存性が±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であるとすることができる。

また、好ましくは、少なくともいずれか一つの偏波モードでの上記動作波長における群速度分散の波長依存性が±０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であるとすることができる。

また、好ましくは、少なくともいずれか一つの偏波モードの上記動作波長における群速度分散の値の差の絶対値が０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以下であるとすることができる。

また、好ましくは、上記光ファイバのモードフィールド径が３μｍ以下であるとすることができる。

本発明では、上記のように、高屈折率部と低屈折率部からなるコア部と、光ファイバの断面において概略一定間隔をおいて概略一様に分散配置された複数の空孔が形成されたクラッド部とを有し、その空孔の配置を光ファイバの断面においてコアの中心を対称軸とする２回以下の回転対称としたので、偏波保持特性をもち、その少なくとも一つの偏波モードの群速度分散の波長依存性が小さい分散フラットファイバが得られる。

図面の簡単な説明

ＦＩＧ．１は本発明の第１実施形態における分散フラットファイバの中心付近の構造を拡大して示す断面図である。

ＦＩＧ．２は、本発明の第１実施形態の構造での第１の実施例の分散フラットファイバの群速度分散の分散特性を示すグラフである。

ＦＩＧ．３は上記第１の実施例の分散フラットファイバのモード分布を示す図である。

ＦＩＧs．４Ａ－４Ｂはそれぞれ本発明の第１実施形態の構造での第２の実施例の分散フラットファイバの群速度分散の分散特性を示すグラフである。

ＦＩＧ．５は本発明の第２実施形態における分散フラットファイバの中心付近の構造を拡大して示す断面図である。

ＦＩＧ．６は本発明の第２実施形態の構造での第３の実施例の分散フラットファイバの群速度分散の分散特性を示すグラフである。

ＦＩＧ．７は本発明の第２実施形態の構造での第４の実施例の分散フラットファイバの群速度分散の分散特性を示すグラフである。

ＦＩＧ．８は従来の分散フラットファイバの設計例を示し、縦軸は比屈折率差（％）、横軸は半径方向の距離（μｍ）を表わすグラフである。

ＦＩＧ．９は従来の分散フラットファイバの構造例を示す拡大断面図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に、図面を参照して、本発明を実施するための好ましい形態を詳細に説明する。

第１の実施形態

ＦＩＧ．１に、本発明の第１の実施形態における光ファイバの横断面の中心付近を拡大して示す。後述のように、分散フラットファイバとして機能するこの光ファイバ１０は、例えば、石英ガラスでできているが、石英ガラスの代わりに、ＰＭＭＡ（plymethylmethacrylate: ポリメタクリル酸メチル）等のプラスチック、もしくは使用する波長において透明な媒質であればそれ以外の材質であってもかまわない。

光ファイバ１０の光を導く部分であるコア部は、本構造例では、中心の高屈折率部１１とその周囲の低屈折率部１２からなる。高屈折率部１１は光ファイバ１０の材質が例えば石英ガラスの場合は、その石英ガラスにゲルマニウム、リン等の添加物を加えることで実現できる。低屈折率部１２は高屈折率部１０よりも屈折率が低い部分であり、上記添加物の量を高屈折率部に比較して少なく、あるいは添加しないこと、もしくはフッ素などを添加することで実現できる。

コア部の低屈折率部１２の周囲の部分はクラッド部であり、クラッド部には第１の空孔１３および、これとは内径の異なる第２の空孔１４が、概略正三角形を形成するように配列されている。第１の空孔１３および第２の空孔１４の配列は六方最密構造(hexagonal closest structure)であるが、配列はこれにかぎらず、概略一様に分布していればよい。本構造例では、第２の空孔１４はコアの高屈折率部１２を挟んで対向する一組の空孔である。

本実施形態の分散フラットファイバは、ＶＡＤ法（vapor-phase axial deposition process：気相軸付け法）等で作製したガラスファイバ母材に、ドリルなどで穴をあけたのち、溶融延伸(melting and drawing)する方法、あるいは石英ガラスの棒および石英ガラスの細管(narrow tube, tubulus)を束ねて母材とし、それを溶融延伸する方法などで作製できる。これらの方法により大気中で作製した場合には、空孔の中は空気で満たされる。

以下に、ＦＩＧ．１の構造の本発明の第１の実施形態の分散フラットファイバにおける実際の実施例とその特性を説明する。

<u>第１の実施例</u>

第１の実施例では、各空孔１３、１４の隣接する空孔の中心間の距離Λを４．１μｍ、第１の空孔１３の直径ｄ１と上記距離Λとの比を０．３５、高屈折率部１１の直径ｄａと上記距離Λとの比を０．７、第２の空孔１４の直径ｄ２と

上記距離Λとの比を０．９、石英ガラスに対する比屈折率差Δを高屈折率部１１を＋１．５％、低屈折率部１２を－０．３％とした。本実施例において、コア部１１、１２のみの群速度分散は、波長１８００ｎｍ以下において正常分散であり、群速度分散の波長依存性は波長１４２５ｎｍ～１７７５ｎｍの範囲において０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}を超えるが、上記記載のクラッドの空孔の特性により群速度分散の波長依存性を低減することができる。また、コア部の中心を対称軸とする２回以下の回転対称としているので、偏波保持特性が得られる。本実施例において、コア部１１、１２の屈折率分布は、中心から半径方向に向かって、高屈折率部１１→石英ガラスよりも低い屈折率の低屈折率部１２→クラッド部を形成する無添加の石英ガラスと変化しており、中心部に高屈折率部１１を持つ、いわゆるW型の屈折率分布となる。

ＦＩＧ．２に、本実施例の分散フラットファイバの群速度分散の波長依存性を示す。同図の実線の曲線および破線の曲線は、本実施例における直交するそれぞれの偏波モードに対する分散特性を示す。実線の偏波モードの群速度分散の波長依存性が±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内となる波長域は、波長１４２５ｎｍから１７７５ｎｍの範囲である。破線の偏波モードの群速度分散の波長依存性が±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内となる波長域は、波長１３７５ｎｍから１８６０ｎｍの範囲である。

より好ましくは、群速度分散の波長依存性が±０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内であり、これは破線のモードにおいて波長１４８０ｎｍから１７７０の範囲で実現されている。さらに破線のモードにおいて、波長１５５０ｎｍから１７２０ｎｍの範囲では、群速度分散の波長依存性は±０．００３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内と、さらに平坦な特性が実現されている。

ちなみに、通常の単一モードファイバの群速度分散の波長依存性は、波長１５５０ｎｍにおいて、およそ０．０７ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}である。また、破線の

モードにおいて、波長１５５０ｎｍから１７２０ｎｍの範囲で群速度分散の値は±０．０５ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内であり、波長１５３０ｎｍから１７３０ｎｍの範囲における群速度分散の値は±０．２ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内であり、それらの差の絶対値は０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内である。

ＦＩＧ．３は本実施例の分散フラットファイバのモードの分布を示す。モードフィールド径（縦×横）は２．８１μｍ×２．９７μｍである。

また、本実施例の偏波保持性能の強さを示す目安として、波長１．５５μｍにおけるモード複屈折の値を求めると、３．０×１０$^{-4}$となる。この値は、市販されているＰＡＮＤＡ型石英系偏波面保存ファイバ（PANDA type silica polarization-maintaining optical fiber）でのモード複屈折の値と同等である。

第２の実施例

第２の実施例では、各空孔１３、１４の隣接する空孔の中心間の距離Λを３．４μｍ、第１の空孔１３の直径ｄ１と上記距離Λとの比を０．３５、高屈折率部１１の直径ｄ２と上記距離Λとの比を０．８、第２の空孔１４の直径ｄ２と上記距離Λとの比を１、石英ガラスに対する比屈折率差Δを高屈折率部１１を２％、低屈折率部１２を０％とした。本実施例は、上述の第１の実施例の構造パラメータを変えた例である。

本実施例において、コア部１１、１２のみの群速度分散は、波長２３９０ｎｍ以下において正常分散である。また、本実施例において、コア部１１、１２の屈折率分布は、その中心から半径方向に向かって、高屈折率部１１→無添加の石英ガラスと変化しており、いわゆるステップインデックス型の屈折率分布である。

ＦＩＧ．４Ａは本実施例の分散フラットファイバの群速度分散の波長依存性を示す。ＦＩＧ．４Ａに示す実線の曲線および破線の曲線は、本実施例の直交す

るそれぞれの偏波モードに対する分散特性を示している。

本実施例においては、実線の方の偏波モードの群速度分散の波長依存性が±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内となる波長域は、波長１２７５ｎｍから１８００ｎｍの範囲である。より好ましくは、群速度分散の波長依存性が±０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内であり、これは波長１３５０ｎｍから１７００ｎｍの範囲で実現されている。

さらに、波長１４２５ｎｍから１６５０ｎｍの範囲では、群速度分散の波長依存性は±０．００３５ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内と、さらに平坦な特性が実現されている。波長１３６５ｎｍから１６９５ｎｍの範囲で群速度分散の差の絶対値は０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内である。

また、ＦＩＧ．４Ｂは、各空孔の隣接する空孔の中心間の距離Λを３．５μｍとしたが、他のパラメータはＦＩＧ．４Ａと同じとしたファイバの群速度分散の波長依存性を示す。ＦＩＧ．４Ｂに示す実線曲線の方の偏波モードの波長依存性が±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内となる波長域は、波長１２９５ｎｍから１８２０ｎｍの範囲である。波長１４００ｎｍから１７５０ｎｍの範囲で群速度分散の波長依存性は、最大０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}である。さらに、波長１４５０ｎｍから１６７０ｎｍの範囲で群速度分散の波長依存性は、最大±０．００３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内である。波長１４１０ｎｍから１７２０ｎｍの範囲で群速度分散の差の絶対値は、０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内である。

さらに、各空孔の隣接する空孔の中心間の距離Λを３．４６μｍとすると、波長１４００ｎｍから１７１０ｎｍの範囲で、群速度分散の値は±０．２ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内であり、その差の絶対値は０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内である。そして、モードフィールド径は２．８×２．４μｍである。

また、本実施例のファイバの偏波保持性能の強さを示す目安として波長１．５５μｍにおけるモード複屈折の値を求めると、８．５×１０$^{-4}$となる。この

値は、市販されているＰＡＮＤＡ型石英系偏波面保存ファイバのモード複屈折の値よりも大きい。

なお、上述した構造パラメータｄａ、ｄ１、ｄ２、Λ、Δの組み合わせは、第１の実施例，第２の実施例で述べた値に限られないのは勿論である。

第２の実施形態

ＦＩＧ．５は、本発明の第２の実施形態における光ファイバ（分散フラットファイバ）の横断面の中心付近を拡大して示す。本実施形態は、前述の第１の実施形態とは空孔の配置を変えたものである。ＦＩＧ．５に示す構成要素５０～５４はＦＩＧ．１の構成要素１０～１４と同じである。すなわち、５０は光ファイバ（分散フラットファイバ）、５１はコア部の高屈折率部、５２はコア部の低屈折率部、５３はクラッド部に形成した第１の空孔、５４はクラッド部に形成した第２の空孔である。また、本実施形態の作製方法も第１の実施形態と同様である。すなわち、コア部の中心に高屈折率部５１を有している。

以下に、ＦＩＧ．５の構造の本発明の第２の実施形態の分散フラットファイバにおける実際の実施例とその特性を説明する。

第３の実施例

第３の実施例はＦＩＧ．５の構造において、各空孔５３、５４の隣接する空孔の中心間の距離Λを２．４３μｍ、第１の空孔５３の直径ｄ１と上記距離Λとの比を０．３５、高屈折率部５１の直径ｄ２と上記距離Λとの比を０．８、第２の空孔５４の直径ｄ２と上記距離Λとの比を０．８、石英ガラスに対する比屈折率差Δを高屈折率部５１を１．５％、低屈折率部５２を－０．３％とした本実施例において、コア部５１、５２のみの群速度分散は、１５９０ｎｍ以下において正常分散である。また、本実施例において、コア部５１、５２の屈折率分布は、中心から半径方向に向かって高屈折率部５１→石英ガラスよりも低い低屈折率部５２→無添加の石英ガラスと変化しており、中心部に高屈折率部

５１を持つ、いわゆるW型の屈折率分布である。

ＦＩＧ．６は本実施例の分散フラットファイバの群速度分散の波長依存性を示す。ＦＩＧ．６に示す実線の曲線および破線の曲線は、本実施例の直交するそれぞれの偏波モードに対する分散特性を示している。群速度分散の波長依存性は±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下が波長１２２５ｎｍから１６７５ｎｍの範囲で実現されている。ここで、好適な波長範囲は、波長１２２５ｎｍから１５９０ｎｍの範囲である。

より好ましくは、群速度分散の波長依存性は±０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であり、これは実線の方の偏波モードの波長１３００ｎｍから１６００ｎｍの範囲実現されている。ここで、好適な波長範囲は、波長１３００ｎｍから１５９０ｎｍの範囲である。

また、波長１４７０ｎｍから１５９０ｎｍの範囲で群速度分散の値は±０．２ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内であり、その差の絶対値は０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内である。モードフィールド径は２×２．３μｍである。

第４の実施例

第４の実施例では、ＦＩＧ．５の構造において、各空孔５３、５４の隣接する空孔の中心間の距離Λを２．３μｍ、第１の空孔５３の直径ｄ１と上記距離Λとの比を０．３５、高屈折率部５１の直径ｄａと上記距離Λとの比を０．８、第２の空孔５４の直径ｄ２と上記距離Λとの比を０．８、石英ガラスに対する比屈折率差Δを高屈折率部を２％、低屈折率部を０％とした。

本実施例において、コア部５１、５２のみの群速度分散は、波長１８６０ｎｍ以下において正常分散である。本実施例において、コア部５１、５２の屈折率分布は中心から半径方向に向かって、高屈折率部５１→無添加の石英ガラスと変化しており、いわゆるステップインデックス型の屈折率分布である。

ＦＩＧ．７は本実施例の分散フラットファイバの群速度分散の波長依存性を

示す。ＦＩＧ．７に示す実線の曲線および破線の曲線は、本実施例の直交するそれぞれの偏波モードに対する分散特性を示している。実線の方の偏波モードでは、波長１２１０ｎｍから１７２５ｎｍの範囲において群速度分散の波長依存性は±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内である。また、波長１３００ｎｍから１６００ｎｍの範囲で群速度分散の波長依存性は±０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以内である。また、波長１４７０ｎｍから１５９０ｎｍの範囲で群速度分散の値は±０．２ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}内であり、その差の絶対値は０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以内である。モードフィールド径は２×２．３μｍである。

なお、構造パラメータｄａ、ｄ１、ｄ２、Δの組み合わせは、第３の実施例，第４の実施例４で述べた値に限られないのは勿論である。

その他の実施形態

本発明の実施形態とその実施例を説明したが、本発明に係わる空孔の配置、屈折率分布等は上述した実施形態に限らない。特許請求の範囲の記載の範囲内であれば、その変更、修正、置換等は本発明の実施形態に含まれる。

請 求 の 範 囲

1． ガラスもしくはプラスチック、その他使用する波長において透明な媒質のいずれかを材料として形成されている光ファイバであって、

前記光ファイバの断面の中心付近において光を導波するコア部と、

前記光ファイバの長手方向に沿って形成されかつ該光ファイバの断面において概略一定間隔をおいて概略一様に分散配置された複数の空孔を有し、該複数の空孔はそれぞれ前記光ファイバの長手方向に沿ってその平均的な直径が概略一定値である概略円形、概略楕円形もしくは概略多角形の形状を有し、かつ該空孔の中は真空、もしくは使用する波長において透明かつ前記媒質よりも屈折率の低い気体、液体ないし固体で満たされているクラッド部とを有し、

前記光ファイバはその断面において前記空孔の配置を前記コア部の中心を対称軸とする２回以下の回転対称としたフォトニック結晶構造を有し、かつ動作波長における群速度分散の波長依存性が通常の単一モードファイバよりも小さい低分散スロープ性を有し、

前記コア部はその中心にその周辺部よりも屈折率の高い高屈折率領域を有し、該コア部のみ群速度分散が正常分散であることを特徴とする分散フラットファイバ。

2． 前記コア部の屈折率分布が、ステップインデックス型、グレーデッド型、マッチドクラッド型、もしくはW型、三重クラッド型、四重クラッド型等の多層型であることを特徴とするクレーム１に記載の分散フラットファイバ。

3． 少なくともいずれか一つの偏波モードでの前記動作波長における群速度分散の波長依存性が±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であることを特徴とするクレーム１または２に記載の分散フラットファイバ。

4． 少なくともいずれか一つの偏波モードでの前記動作波長における群速度

分散の波長依存性が±０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であることを特徴とするクレーム１または２に記載の分散フラットファイバ。

５．　少なくともいずれか一つの偏波モードでの前記動作波長における群速度分散の波長依存性が±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であり、かつ少なくともいずれか一つの偏波モードの前記動作波長における群速度分散の値の差の絶対値が０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以下であることを特徴とするクレーム１または２に記載の分散フラットファイバ。

６．少なくともいずれか一つの偏波モードでの前記動作波長における群速度分散の波長依存性が±０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であり、かつ少なくともいずれか一つの偏波モードの前記動作波長における群速度分散の値の差の絶対値が０．４ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ以下であることを特徴とするクレーム１または２に記載の分散フラットファイバ。

７．　少なくともいずれか一つの偏波モードでの前記動作波長における群速度分散の波長依存性が±０．０３ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であり、かつ前記光ファイバのモードフィールド径が３μｍ以下であることを特徴とするクレーム１または２に記載の分散フラットファイバ。

８．　少なくともいずれか一つの偏波モードでの前記動作波長における群速度分散の波長依存性が±０．０１ｐｓ／ｋｍ／ｎｍ^{2}以下であり、かつ前記光ファイバのモードフィールド径が３μｍ以下であることを特徴とするクレーム１または２に記載の分散フラットファイバ。

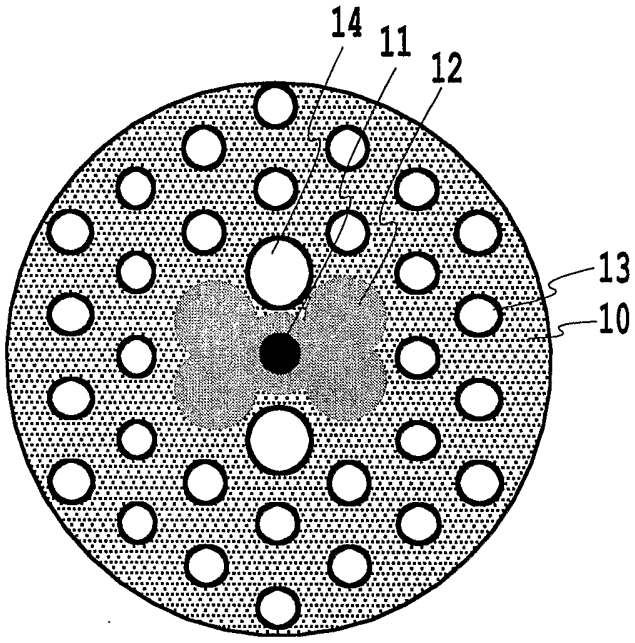


FIG.1

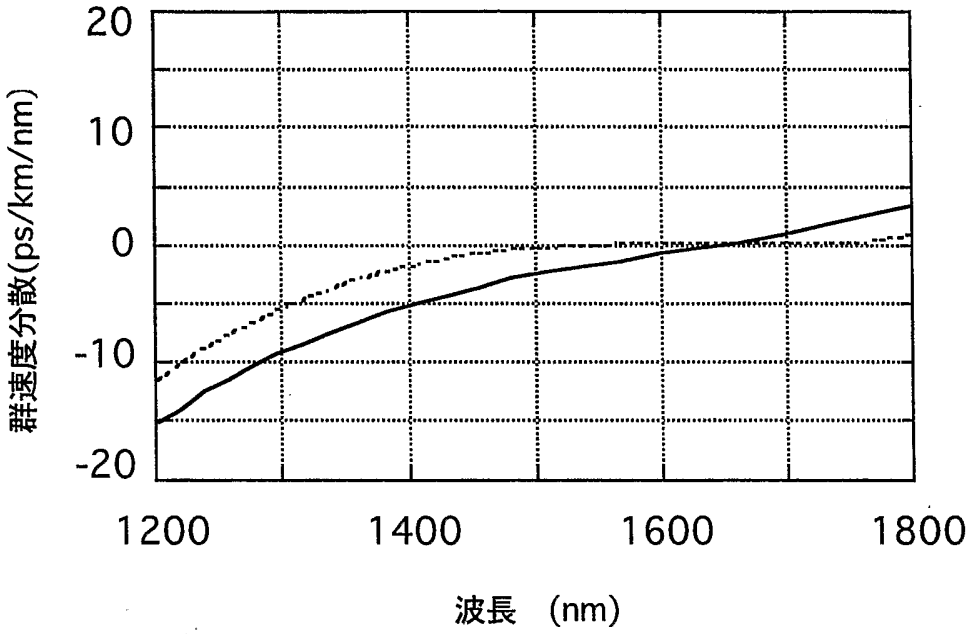


FIG.2

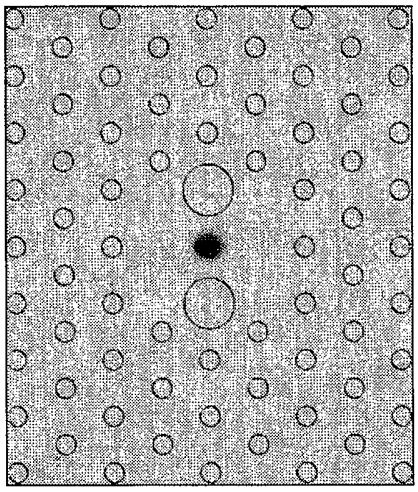


FIG.3

FIG.4A

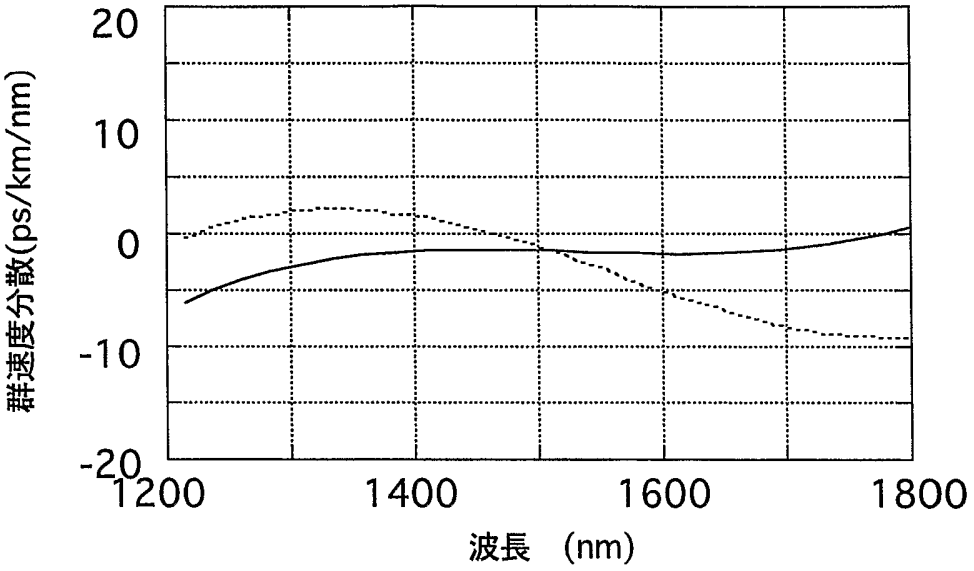
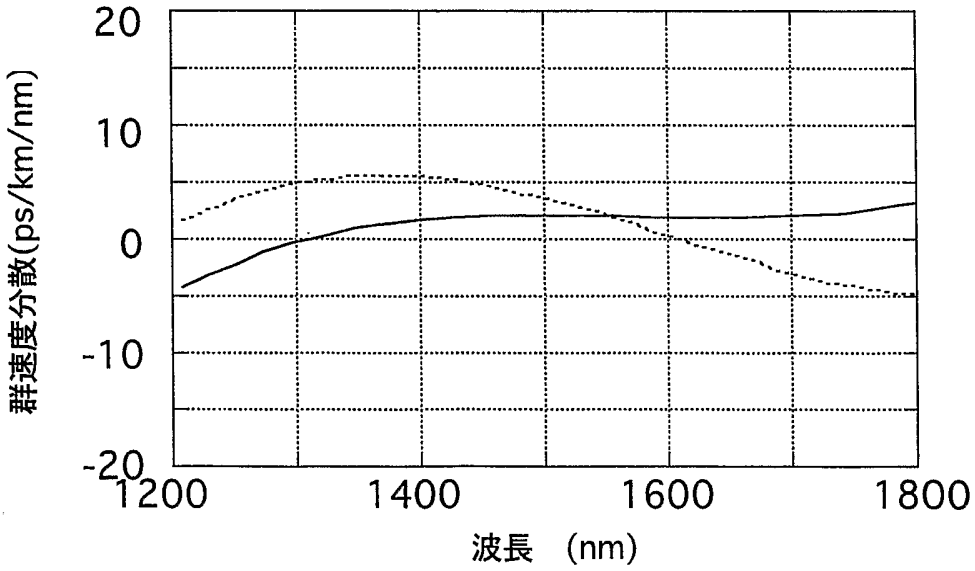

20
10
0
-10
-20
群速度分散(ps/km/nm)
1200
1400
1600
1800
波長 (nm)

FIG.4B


20
10
0
-10
-20
群速度分散(ps/km/nm)
1200
1400
1600
1800
波長 (nm)

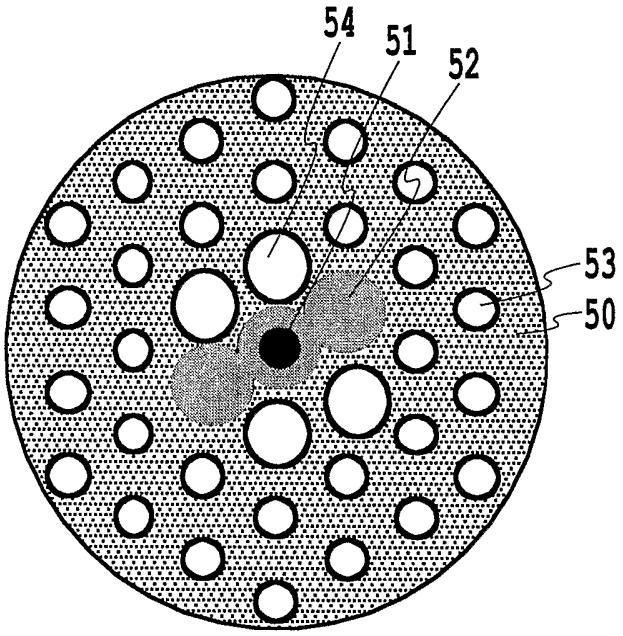


FIG.5

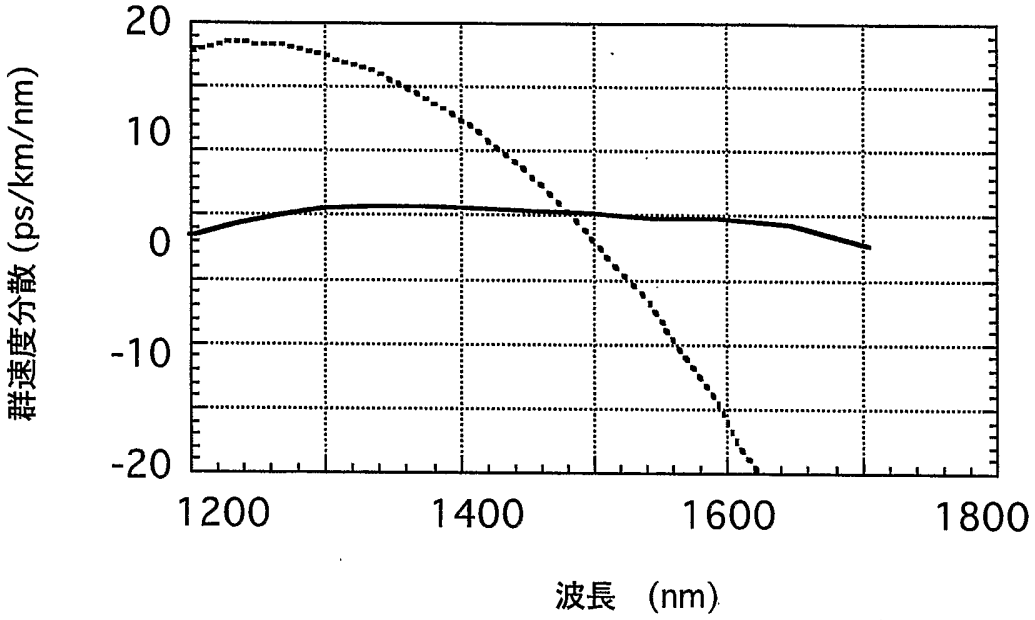


FIG.6

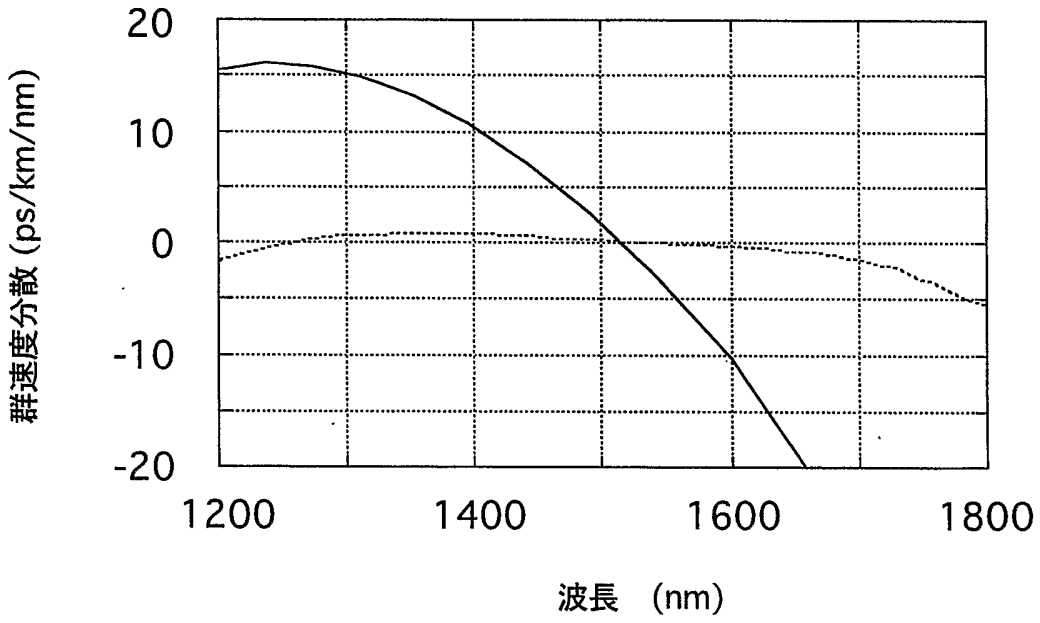


FIG.7

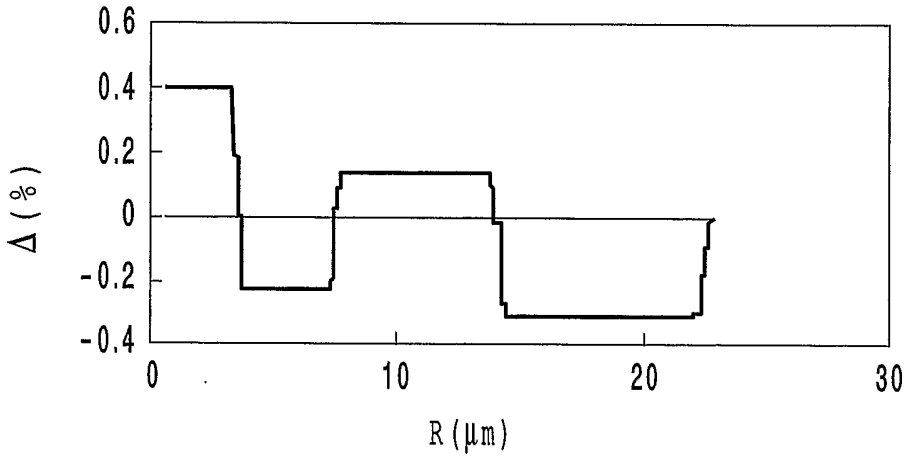


FIG.8

従 来 技 術

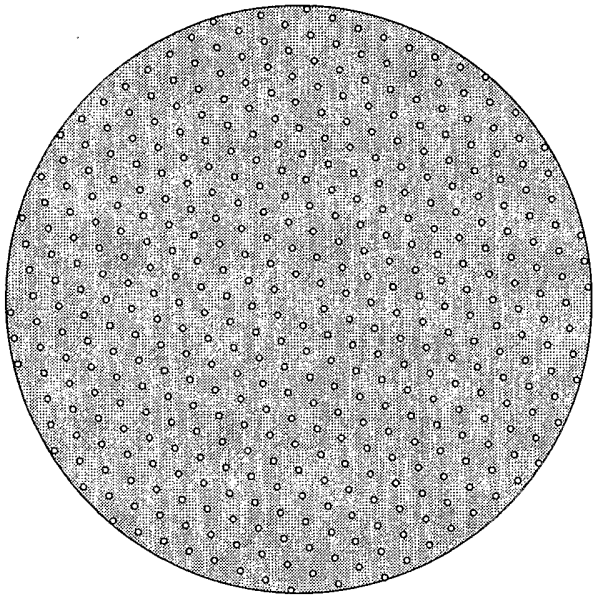


FIG.9

従 来 技 術

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/007122

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] G02B6/00

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)
Int.Cl[7] G02B6/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-114348 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd., Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 18 April, 2003 (18.04.03), Par. Nos. [0029], [0048], [0049] (Family: none)	1-8
Y	JP 2002-537575 A (BLAZEPHOTONICS LTD.), 05 November, 2002 (05.11.02), Claim 1; Figs. 6, 7 & WO 00/49436 A1	1-8
Y	ORTIGOSA-BLANCH, A. et al., Highly birefringent photonic crystal fibers, In: OPTICS LETTERS, September 2000, Vol.25, No.18, pages 1325 to 1327	1-8

☒ 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	Date of mailing of the international search report
16 June, 2004 (16.06.04)	06 July, 2004 (06.07.04)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/007122

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-326831 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd., Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 12 November, 2002 (12.11.02), Par. Nos. [0021], [0037], [0042] (Family: none)	7,8
A	FERRANDO, A. et al., Nearly zero ultraflattened dispersion in photonic crystal fibers, In: OPTICS LETTERS, June 2000, Vol.25, No.11, pages 790 to 792	1-8
A	REEVES, W.H. et al., Demonstration of ultra-flattened dispersion in photonic crystal fibers, In: OPTICS EXPRESS, July 2002, Vol.10, No.14, pages 609 to 613	1-8
A	HANSEN, K.P. et al., Fully Dispersion Controlled Triangular-Core Nonlinear Photonic Crystal Fiber, In: Optical Fiber Communication Conference (OFC 2003), March 2003, PD2	1-8
A	Takehiro TSUCHIDA et al., "Chushin Kuko Fukagata Bunsan Flat Photonic Kessho Fiber", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Taikai Koen Ronbunshu, 03 March, 2003 (03.03.03), Electronics 1, page 231(C-3-91)	1-8

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００４／００７１２２

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Ｉｎｔ．Ｃｌ⁷　Ｇ０２Ｂ６／００

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．Ｃｌ⁷　Ｇ０２Ｂ６／００

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	１９７１－２００４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００４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）
JOIS(JSTPLUS)
IEEE Xplore

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
Ｙ	ＪＰ　２００３－１１４３４８　Ａ（三菱電線工業株式会社、日本電信電話株式会社）　２００３．０４．１８ 段落２９、４８、４９ （ファミリーなし）	１－８
Ｙ	ＪＰ　２００２－５３７５７５　Ａ（ブレイズフォトニクス　リミティド）　２００２．１１．０５ 請求項１および図６、７ ＆ WO 00/49436 A1	１－８

☒ 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 １６．０６．０４	国際調査報告の発送日 06.7.2004
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 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） 髙　芳徳　　２Ｋ　３１０３ 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５３

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（２００４年１月）

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
Ｙ	ORTIGOSA-BLANCH, A. et al., Highly birefringent photonic crystal fibers. In: OPTICS LETTERS, September 2000, Vol. 25, No. 18, P. 1325-1327	１－８
Ｙ	ＪＰ　２００２－３２６８３１　Ａ（三菱電線工業株式会社、日本電信電話株式会社）　２００２．１１．１２ 段落２１、３７、４２ （ファミリーなし）	７，８
Ａ	FERRANDO, A. et al., Nearly zero ultraflattened dispersion in photonic crystal fibers. In: OPTICS LETTERS, June 2000, Vol. 25, No. 11, P. 790-792	１－８
Ａ	REEVES, W. H. et al., Demonstration of ultra-flattened dispersion in photonic crystal fibers. In: OPTICS EXPRESS, July 2002, Vol. 10, No. 14, P. 609-613	１－８
Ａ	HANSEN, K. P. et al., Fully Dispersion Controlled Triangular-Core Nonlinear Photonic Crystal Fiber. In: Optical Fiber Communication Conference (OFC 2003), March 2003, PD2	１－８
Ａ	土田剛広ほか、「中心空孔付加型分散フラットフォトニック結晶ファイバ」、電子情報通信学会大会講演論文集、２００３．０３．０３、エレクトロニクス１、ＰＡＧＥ．２３１（Ｃ－３－９１）	１－８