

(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
2012年2月9日(09.02.2012)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/017764 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/032 (2006.01) *G02B 6/036* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/065301
- (22) 国際出願日: 2011年7月4日(04.07.2011)
- (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 2010-175624 2010年8月4日(04.08.2010) 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 (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). 土田 幸寛 (TSUCHIDA, Yukihiko) [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, 外 (SAKAI, Hiroaki et al.); 〒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, CL, 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, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, LR, 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 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

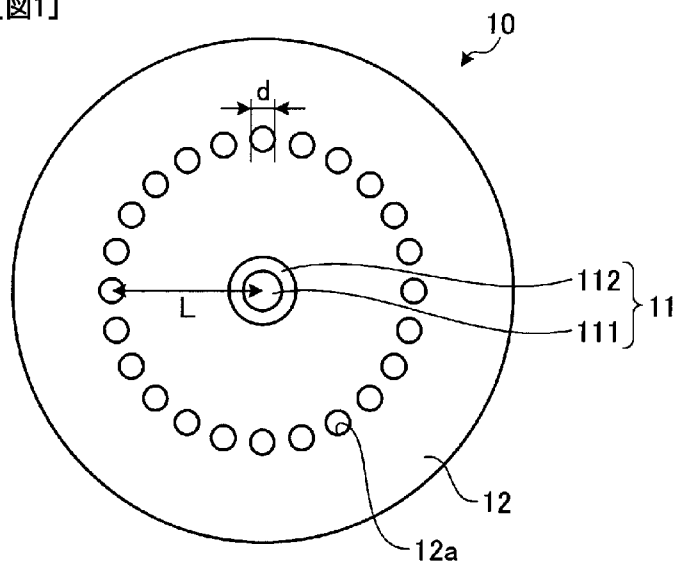
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: OPTICAL FIBRE

(54) 発明の名称: 光ファイバ

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is an optical fibre comprising a core section which encloses and thereby guides light, and a cladding section which is formed at the outer periphery of the core section. The cladding section comprises holes that reduce micro-bend losses in the core section and are formed at locations separated from the core section by a distance such as to have substantially no effect on an effective core cross-sectional area or wavelength dispersion characteristics in the core section. Preferably, the ratio of the difference between the value of the effective core cross-sectional area or wavelength dispersion characteristic of the optical fibre and the value of the effective core cross-sectional area or wavelength dispersion characteristic when the holes in the optical fibre are not provided, and the value of the effective core cross-sectional area or wavelength dispersion characteristic when the holes are not provided is within $\pm 10\%$. As a result, an optical fibre is provided having a high degree of freedom in terms of optical design and manufacturing properties.

(57) 要約:

[続葉有]

光を閉じ込めて導波するコア部と、前記コア部の外周に形成されたクラッド部と、を備え、前記クラッド部は、前記コア部から、前記コア部における有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えない距離だけ離間した位置に形成され、前記コア部におけるマイクロバンド損失を低減する空孔を有する。好ましくは、当該光ファイバの有効コア断面積または波長分散特性の値と当該光ファイバにおいて前記空孔が無いとした場合の有効コア断面積または波長分散特性の値との差分と、前記空孔が無いとした場合の有効コア断面積または波長分散特性の値との比がそれぞれ $\pm 10\%$ 以内である。これによって、製造性と光学設計の自由度とが高い光ファイバが提供される。

明 細 書

発明の名称：光ファイバ

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバに関するものである。

背景技術

[0002] 近年のインターネットトラフィックの劇的な増大に伴い、一本の光ファイバを伝搬する光のパワーも増大していることから、光ファイバ内の非線形光学現象やファイバヒューズが大きな問題となってきている。これらを解決する方法としては、光ファイバの有効コア断面積(A_{eff})を拡大することが有効である。しかしながら、従来のソリッド型光ファイバにおいては、有効コア断面積を拡大しつつ、通信波長帯において単一モード伝送を実現しようとした場合、マクロの曲げ損失や、マイクロバンド損失が大きくなってしまいう問題がある。なお、マイクロバンド損失は、光ファイバに側圧が加えられたときに、光ファイバに微小な曲げが加えられることによる伝送損失の増加量として定義される。

[0003] 有効コア断面積を拡大しながら単一モード伝送を実現したときの、マクロの曲げ損失を低減する手法としては、屈折率分布の最適化が提案されている。例えば、非特許文献1では、トレンチ型の屈折率分布を最適化することで有効コア断面積を $120\mu\text{m}^2$ まで拡大した光ファイバが提案されている。また、非特許文献2では、W型の屈折率分布を最適化することで有効コア断面積を $134\mu\text{m}^2$ まで拡大した結果が報告されている。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1: Marianne Bigot-Astruc, Frans Gooijer, Nelly Montaigne, Pierre Sillard, "Trench-Assisted Profiles for Large-Effective-Area Single-Mode Fibers," ECOC2008, Mo.4.B.1

非特許文献2: Yoshinori Yamamoto, Masaaki Hirano, Kazuya Kuwahara

, Takashi Sasaki "OSNR-Enhancing Pure-Silica-Core Fiber with Large Effective Area and Low Attenuation," OFC/NFOEC2010、OTuI2
非特許文献3: Yukihiro Tsuchida, Kazunori Mukasa, Takeshi Yagi, "Comparison of microbending loss characteristics between LMA hollow fibers and conventional LMA fibers," OFC/NFOEC2010、OTuI7
非特許文献4: Takashi Matsui, Taiji Sakamoto, Kyoza Tsujikawa, and Shigeru Tomita, "Single-mode photonic crystal fiber with low bending loss and A_{eff} of $> 200 \mu m^2$ for ultra high-speed WDM transmission," PDPA2 OFC/NFOEC 2010

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、非特許文献2中にも記載されているように、更なる有効コア断面積の拡大のためには、マイクロベンド損失の増大が最大の障壁となっている。また、マイクロベンド損失の増大は、有効コア断面積の拡大に限らず、光ファイバの光学特性の設計の自由度を制限する要因となっている。一方で、非特許文献3では、ファイバ断面中に空孔構造を設けることで、マイクロベンド損失の抑制が可能である事が示されている。しかしながら、現状の技術では、ガラス中に配置された多数の空孔からなる空孔構造によって光の導波を実現する光ファイバ(例えばホーリーファイバ: HF)は、多数の空孔を高精度に形成する際の製造上の困難性のため、安定した量産が難しいと言う課題がある。

[0006] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、製造性と光学設計の自由度とが高い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

[0007] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る光ファイバは、光を閉じ込めて導波するコア部と、前記コア部の外周に形成されたクラッド部と、を備え、前記クラッド部は、前記コア部から、前記コア部における有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えない距離だけ離

間した位置に形成され、前記コア部におけるマイクロバンド損失を低減する空孔を有することを特徴とする。

[0008] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、当該光ファイバの有効コア断面積または波長分散特性の値と当該光ファイバにおいて前記空孔が無いとした場合の有効コア断面積または波長分散特性の値との差分と、前記空孔が無いとした場合の有効コア断面積または波長分散特性の値との比がそれぞれ±10%以内であることを特徴とする。

[0009] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記空孔の中心が、前記コア部の中心から25 μm以上離間していることを特徴とする。

[0010] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記クラッド部は、36個以下の前記空孔を有し、前記空孔の空孔直径が10 μm以下であることを特徴とする。

[0011] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、波長1550 nmにおける前記有効コア断面積が100 μm²以上であることを特徴とする。

[0012] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記コア部は、前記クラッド部よりも屈折率が高い中心コア部と、前記中心コア部の外周に位置し、前記クラッド部よりも屈折率が低い外周コア部とからなり、前記クラッド部に対する前記中心コア部の比屈折率差が0.1%~0.3%であり、前記クラッド部に対する前記外周コア部の比屈折率差が-0.2%~-0.05%であり、前記中心コア部の直径が11.2 μm~23.9 μmであり、前記中心コア部の直径に対する前記外周コア部の外径の比が2.0~4.0であることを特徴とする。

[0013] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記コア部は、単峰型の屈折率分布を有し、波長1550 nmにおける前記有効コア断面積が100 μm²~185 μm²であることを特徴とする。

[0014] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記クラッド部は、前記コア部を中心として円形に配列した前記空孔を12個以上有し、前記空孔の空孔直径が2.5±0.5 μmであり、前記空孔の中心が、前記コ

ア部の中心から $40\ \mu\text{m}$ 以上離間しているとともに当該クラッド部の外縁から $2.5\ \mu\text{m}$ 以上離間していることを特徴とする。

[0015] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記クラッド部に対する前記コア部の比屈折率差が 0.16% ～ 0.33% であり、前記コア部の直径が $10\ \mu\text{m}$ ～ $14\ \mu\text{m}$ であることを特徴とする。

[0016] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、波長 $1550\ \text{nm}$ における当該光ファイバのマイクロバンド損失は、当該光ファイバにおいて前記空孔が無いとした場合のマイクロバンド損失の 80% 以下であることを特徴とする。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、製造性と光学設計の自由度とが高い光ファイバを実現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、実施の形態1に係る光ファイバの模式的な断面図である。

[図2]図2は、図1に示す光ファイバのコア部近傍の屈折率分布を示す図である。

[図3]図3は、カットオフ波長が $1500\ \text{nm}$ になるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図4]図4は、カットオフ波長が $1500\ \text{nm}$ になるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図5]図5は、カットオフ波長が $1500\ \text{nm}$ になるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図6]図6は、カットオフ波長が $1500\ \text{nm}$ になるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図7]図7は、カットオフ波長が $1400\ \text{nm}$ になるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図8]図8は、カットオフ波長が $1300\ \text{nm}$ になるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図9]図9は、空孔を12個、18個、または24個配置したクラッド部の模式的な断面図である。

[図10]図10は、コア部を有さず空孔のみを有するクラッド部の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図11]図11は、図4、5から選択したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図12]図12は、図10から選択した空孔構造の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。

[図13]図13は、図11、12に示すW型屈折率分布と空孔構造とを組み合わせ構成された光ファイバの設計パラメータを示す図である。

[図14]図14は、図13に示した設計パラメータの光ファイバの光学特性を示す図である。

[図15]図15は、実施の形態2に係る光ファイバの模式的な断面図である。

[図16]図16は、図15に示す光ファイバのコア部近傍の屈折率分布を示す図である。

[図17]図17は、単峰型屈折率分布を有するが空孔の無い構造の光ファイバとこれに空孔構造を組み合わせ構成された光ファイバとの設計パラメータおよび断面構造と、光学特性とを示す図である。

[図18]図18は、実施例および比較例の光ファイバの光学特性を示す図である。

[図19]図19は、実施例および比較例の光ファイバのマイクロバンド損失の波長依存性を示す図である。

[図20]図20は、実施の形態2の変形例に係る光ファイバの模式的な断面図である。

[図21]図21は、本発明に係る光ファイバの製造方法の一例を説明する図である。

[図22]図22は、本発明において利用できる屈折率分布を例示する図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下に、図面を参照して本発明に係るホーリー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、本明細書においては、カットオフ波長とは、特に言及しない限り、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意味する。また、曲げ損失とは、直径20mmにおけるマクロの曲げ損失を意味する。また、本明細書において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。

[0020] （実施の形態1）

図1は、本発明の実施の形態1に係る光ファイバの模式的な断面図である。図1に示すように、この光ファイバ10は、中心に位置するコア部11と、コア部11の外周に位置するクラッド部12とを備える。

[0021] コア部11は、中心コア部111と、中心コア部111の外周に位置する外周コア部112とからなる。また、クラッド部12は、コア部11から所定の距離だけ離間した位置に形成され、コア部11を中心として等角度で円形に配置された24個の空孔12aを有する。なお、空孔の数は一例であって、24個に限定はされない。

[0022] また、中心コア部111は、ゲルマニウム（Ge）等の屈折率を高めるドーパントを含む石英ガラスからなる。外周コア部112は、フッ素（F）等の屈折率を低めるドーパントを含む石英ガラスからなる。クラッド部12は、屈折率を調整するドーパントを含まない純石英ガラスからなる。その結果、中心コア部111はクラッド部12よりも屈折率が高く、外周コア部112はクラッド部12よりも屈折率が低くなっている。

[0023] 図2は、図1に示す光ファイバのコア部11近傍の屈折率分布を示す図である。図2において、分布プロファイルP1は中心コア部111の屈折率分布を示している。分布プロファイルP2は外周コア部112の屈折率分布を示している。分布プロファイルP3はクラッド部12の屈折率分布を示して

いる。このように、この光ファイバ10は、外周コア部112の屈折率がクラッド部12の屈折率よりも低い、いわゆるW型の屈折率分布を有している。ここで、図2に示すように、クラッド部12に対する中心コア部111の比屈折率差を $\Delta 1$ とし、クラッド部12に対する外周コア部112の比屈折率差を $\Delta 2$ とする。また、中心コア部111の直径を $2a$ 、外周コア部112の外径を $2b$ とする。なお、中心コア部直径 $2a$ は、中心コア部111と外周コア部112との境界において比屈折率差 $\Delta 1$ が0%となる位置での径とする。また、外周コア部外径 $2b$ は、外周コア部112とクラッド部12との境界において、比屈折率差が比屈折率差 $\Delta 2$ の $1/2$ の値となる位置での径とする。

[0024] この光ファイバ10は、コア部11とクラッド部12とが形成するW型の屈折率分布によって、光のフィールドの殆どがコア部11内に分布するようにして、コア部11に光を閉じ込めて導波する。

[0025] つぎに、クラッド部12の空孔12aについて説明する。空孔12aは、空孔直径が d であり、コア部11から、コア部11における有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えない距離だけ離間した位置に形成されている。なお、空孔12aの中心のコア部11の中心からの離間距離を L とする。

[0026] このように、光ファイバ10では、空孔12aが、コア部11における有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えない。それとともに、空孔12aが、光ファイバ10が受ける側圧に対するバッファ層としての役割を果たし、光ファイバのプライマリ被覆と同様に側圧を吸収、分散させる機能を有することとなるため、コア部11におけるマイクロベンド損失を低減する効果を奏する。その結果、この光ファイバ10は、従来光ファイバの光学特性の設計の自由度の制限要因となっていたマイクロベンド損失の増大が抑制されているため、設計の自由度が高いものとなり、たとえば拡大された有効コア断面積を実現できる。これとともに、光ファイバ10では、空孔12aはコア部11における光の導波には実質的に寄与していないため

、必要な空孔12aの数や位置、大きさの精度が緩和され、製造性が高いものとなる。

[0027] つぎに、有限要素法によるシミュレーションを用いた計算結果を参照して、本実施の形態1に係る光ファイバの好ましい設計についてより具体的に説明する。以下では、はじめに、図2に示したW型屈折率分布の設計パラメータの好ましい値を説明する。つぎに、空孔の好ましい構造と設計パラメータについて説明する。最後に、これらの好ましいW型屈折率分布と空孔構造とを組み合わせる構成された光ファイバの光学特性について説明する。

[0028] (W型屈折率分布の設計パラメータ)

図3～図6は、カットオフ波長が1500nmになるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。図7は、カットオフ波長が1400nmになるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。図8は、カットオフ波長が1300nmになるように設定したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。なお、各図において、光学特性は、波長1550nmにおける値である。また、「Ra2」は外周コア部外径2bと中心コア部直径2aとの比である b/a を意味し、「Aeff」は有効コア断面積を意味し、「MFD」はモードフィールド径を意味し、「分散」は波長分散を意味し、「Slope」は分散スロープを意味する。また、曲げ損失の値において、「E」は10のべき乗を表す記号であり、たとえば「6.21E-3」は「 6.21×10^{-3} 」を意味する。

[0029] 図3～図8に示すように、設計パラメータとして、中心コア部直径2aを11.2 μm ～23.9 μm 、比屈折率差 $\Delta 1$ を0.1%～0.3%、比屈折率差 $\Delta 2$ を-0.2%～-0.05%、比Ra2を2.0～4.0に設定することによって、光学特性として、カットオフ波長が1300nm～1500nmであることによって波長1550nmでシングルモードで光を導波でき、有効コア断面積が100 μm^2 以上、好ましくは300 μm^2 以上であり、曲げ損失が30dB/m以下、好ましくは10dB/m以下、さらに好

ましくは 1 dB/m 以下である W 型屈折率分布を実現することができる。

[0030] (空孔の構造と設計パラメータ)

つぎに、空孔の好ましい構造と設計パラメータとについて説明する。上述したように、空孔は、コア部における光の閉じ込め、導波には実質的に寄与せず、有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えないようにする。すなわち、空孔の存在により発生する光の導波モードの基底モードの閉じ込め損失を十分に大きくする。

[0031] ここでは、純石英ガラスからなり、コア部を有さないクラッド部だけの構造に、空孔のみをクラッド部の中心に対して等角度で円形に 12～36 個だけ配置したものについての光学特性の計算結果を説明する。なお、空孔の数が 36 個以下であれば、空孔の形成が容易であり、製造性が高く好ましい。また、図 9 (a)～(c) は、空孔を 12 個、18 個、または 24 個配置したクラッド部の模式的な断面図である。ここで、空孔直径を d 、クラッド部の中心からの空孔の中心の離間距離を L とする。

[0032] 図 10 は、コア部を有さず空孔のみを有するクラッド部の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。図 10 に示すように、設計パラメータとして、空孔数を 12～36、離間距離 L を $25 \mu\text{m}$ ～ $50 \mu\text{m}$ 、空孔直径 d を $2 \mu\text{m}$ ～ $10 \mu\text{m}$ に設定することによって、光学特性として、 3 dB/m 以上、好ましくは 20 dB/m 以上の十分に大きい基底モードの閉じ込め損失を実現できる。特に、図中で下線を付した例では、 100 dB/m 以上のきわめて大きい基底モードの閉じ込め損失を実現している。また、その場合の有効コア断面積 (A_{eff}) は $1000 \mu\text{m}^2$ 以上ときわめて大きくなっており、この点からも、光の導波モードが極めてリーキーなモードになっていると考えられる。

[0033] なお、図 10 では、通常の光ファイバのクラッド径が $125 \mu\text{m}$ であることを考慮して、離間距離 L の設定を $50 \mu\text{m}$ までとしているが、離間距離 L はこれに限定されない。すなわち、図 10 に示すように、離間距離 L が大きい程閉じ込め損失は大きくなる。したがって、クラッド径を $125 \mu\text{m}$ より

大きくする場合には、離間距離 L をさらに大きく設定してもよい。

[0034] また、図10に示すように、離間距離 L と空孔数とが同じであれば、空孔直径 d が小さいほど閉じ込め損失が大きいので好ましい。ただし、空孔直径は、少なくともマイクロバンド損失を低減する効果が発揮できる程度の大きさ、たとえば $2\mu\text{m}$ 以上とすることが好ましい。同様に、離間距離 L と空孔直径 d とが同じであれば、空孔数が少ないほど閉じ込め損失が大きいので好ましいが、空孔数については、少なくともマイクロバンド損失を低減する効果が発揮できる程度の数、たとえば12個以上とする。

[0035] (光ファイバの光学特性)

つぎに、上述したW型屈折率分布と空孔構造とを組み合わせる構成された光ファイバの光学特性について説明する。図11は、図4、5から選択したW型屈折率分布の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。図12は、図10から選択した空孔構造の設計パラメータおよび光学特性を示す図である。以下では、図11、12に示すW型屈折率分布と空孔構造とを組み合わせる構成された光ファイバの光学特性について説明する。

[0036] 図13は、図11、12に示すW型屈折率分布と空孔構造とを組み合わせる構成された光ファイバの設計パラメータを示す図である。なお、図13において、たとえば「No. 43-5」とは、図11の「No. 43」の設計パラメータと図12の「No. 5」の設計パラメータとを組み合わせる構成されることを意味する。

[0037] 図14は、図13に示した設計パラメータの光ファイバの光学特性を示す図である。図14において、「 A_{eff} 変化率」とは、図14に示す「 A_{eff} 」の値と図11に示す空孔構造が無い場合の「 A_{eff} 」の値との差分と、空孔構造が無い場合の「 A_{eff} 」の値との比を示す値である。すなわち、たとえば、「No. 43-5」の「 A_{eff} 変化率」は、図14の「No. 43-5」の「 A_{eff} 」の値である154.5と、図11の「No. 43」の「 A_{eff} 」の値である154.4との差分と、154.4との比、すなわち $(154.5 - 154.4) / 154.4 = 0.065\%$ である。

[0038] また、「分散変化率」、「S l o p e 変化率」についても、図 1 4 に示す値と図 1 1 に示す空孔構造が無い場合の値との差分と、空孔構造が無い場合の値の比を示す値である。

[0039] 図 1 4 に示す光ファイバは、いずれも「Aeff変化率」、「分散変化率」、「S l o p e 変化率」が±1%以下である。したがって、図 1 4 に示す光ファイバは、空孔がコア部の有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えていないものとなっている。

[0040] なお、図 1 4 に示す光ファイバは、「Aeff変化率」、「分散変化率」、「S l o p e 変化率」が±1%以下であるが、これらが±10%以下、好ましくは±5%以下の光ファイバであれば、空孔がコア部の有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えていないと考えることができる。

[0041] (実施の形態 2)

つぎに、本発明の実施の形態 2 について説明する。実施の形態 1 に係る光ファイバは、W型の屈折率分布を有しているものであるが、本実施の形態 2 に係る光ファイバは、単峰型の屈折率分布を有しているものである。

[0042] 図 1 5 は、本実施の形態 2 に係る光ファイバの模式的な断面図である。図 1 5 に示すように、この光ファイバ 2 0 は、中心に位置するコア部 2 1 と、コア部 2 1 の外周に位置するクラッド部 2 2 とを備える。クラッド部 2 2 は、コア部 2 1 から所定の距離だけ離間した位置に形成され、コア部 2 1 を中心として等角度で円形に配置された 1 2 個の空孔 2 2 a を有する。なお、空孔の数は一例であって、1 2 個に限定はされない。

[0043] また、コア部 2 1 は、屈折率を高めるドーパントを含む石英ガラスからなる。クラッド部 2 2 は、純石英ガラスからなる。

[0044] 図 1 6 は、図 1 5 に示す光ファイバのコア部 2 1 近傍の屈折率分布を示す図である。図 1 6 において、分布プロファイル P 4 はコア部 2 1 の屈折率分布を示している。分布プロファイル P 5 はクラッド部 2 2 の屈折率分布を示している。ここで、クラッド部 2 2 に対するコア部 2 1 の比屈折率差を Δ とする。このように、この光ファイバ 2 0 は、屈折率分布が単一のピークを有

するいわゆる単峰型の屈折率分布を有している。また、コア部 21 の直径を $2a$ とする。コア部直径 $2a$ は、コア部 21 とクラッド部 22 との境界において、比屈折率差が 0% の値となる位置での径とする。

[0045] この光ファイバ 20 は、コア部 21 とクラッド部 22 とが形成する単峰型の屈折率分布によって、光のフィールドの殆どがコア部 21 内に分布するようにして、コア部 21 に光を閉じ込めて導波する。

[0046] また、クラッド部 22 の空孔 22a については、空孔直径が d であり、コア部 21 から、コア部 21 における有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えない距離だけ離間した位置に形成されている。空孔 22a の中心のコア部 21 の中心からの離間距離を L とする。

[0047] このように、光ファイバ 20 は、実施の形態 1 に係る光ファイバと同様に、空孔 22a が、コア部 21 における有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えないとともに、コア部 21 におけるマイクロベンド損失を低減する効果を奏する。その結果、この光ファイバ 20 は、設計の自由度が高いとともに、製造性が高いものとなる。

[0048] つぎに、有限要素法によるシミュレーションを用いた計算結果を参照して、本実施の形態 2 に係る光ファイバについてより具体的に説明する。以下では、単峰型屈折率分布を有するが空孔の無い構造の光ファイバの光学特性と、これに空孔構造を組み合わせて構成された光ファイバの光学特性とを比較して説明する。

[0049] 図 17 は、単峰型屈折率分布を有するが空孔の無い構造の光ファイバとこれに空孔構造を組み合わせて構成された光ファイバとの設計パラメータおよび断面構造と、光学特性とを示す図である。図 17 に示すように、「No. 1」は単峰型屈折率分布を有するが空孔の無い構造の光ファイバであり、そのコア部直径 $2a$ は $12.2\ \mu\text{m}$ 、比屈折率差 Δ は 0.22% である。また、「No. 2」は、「No. 1」の光ファイバに空孔直径 d が $2.5\ \mu\text{m}$ 、離間距離 L が $50\ \mu\text{m}$ 、空孔数が 12 個の空孔構造を組み合わせたものである。また、「No. 3」は、「No. 1」の光ファイバに空孔直径 d が 2.

5 μm 、離間距離 L が50 μm 、空孔数が24個の空孔構造を組み合わせたものである。また、光学特性は、特に言及しない限り波長1550 nmにおける値である。

[0050] なお、図17には、波長1550 nmおよび1530 nmにおける第一高次モードの閉じ込め損失を示している。本発明に係る光ファイバでは、空孔によってダブルクラッド構造が形成されて多モード動作することを防止するために、第一高次モードの閉じ込め損失が高いほうが好ましい。なお、「No. 1」のように単峰型屈折率分布を有するが空孔の無い構造の光ファイバにおいては、光ファイバが直線状態の場合は閉じ込め損失が定義できないので、直径60 μm という非常に大きい径で曲げた場合の曲げ損失を計算し、これを閉じ込め損失としている。

[0051] 図17に示すように、「No. 2」、「No. 3」の空孔構造を組み合わせた光ファイバと、「No. 1」の光ファイバとを比較すると、空孔構造の組み合わせによって、有効コア断面積、波長分散、分散スロープは殆ど変化していない。すなわち、図14と同様に A_{eff} 変化率、分散変化率、および S_{slope} 変化率を計算すると、いずれも $\pm 5\%$ 以下であり、空孔構造が有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えていない。一方、マイクロバンド損失については、実施の形態1に係る光ファイバと同様に、空孔の作用効果によって低減されていると考えられる。

[0052] また、空孔構造を有する光ファイバは、厳密なカットオフ波長の定義が難しいが、ここでは、非特許文献4に開示されるように、第一高次モードの閉じ込め損失が1 dB/mとなる波長をカットオフ波長であるという規定を採用する。すると、図17に示す「No. 2」の光ファイバは、波長1530 nmにおける第一高次モードの閉じ込め損失が2.51 dB/mである。また、「No. 3」の光ファイバは、波長1530 nmにおける第一高次モードの閉じ込め損失が1.67 dB/mである。したがって、「No. 2」、「No. 3」の光ファイバは、いずれもカットオフ波長が1530 nmより短いことになるので、最も多く使用されているCバンドおよびLバンド（1

530～1630 nm) において十分にシングルモードで動作するものである。

[0053] なお、本実施の形態2に係る光ファイバの設計パラメータは、上記のものに限られない。たとえば、比屈折率差 Δ が0.16%～0.33%であり、コア部直径が10 μm ～14 μm であれば、波長1550 nmにおける有効コア断面積が100 μm^2 ～185 μm^2 であるという特性を満たし、空孔数が12個以上であり、空孔直径が2.5 $\pm$ 0.5 μm であり、離間距離が40 μm 以上であれば、CバンドおよびLバンドにおいてシングルモード動作し、かつ波長1550 nmにおけるマイクロバンド損失が、空孔が無いとした場合のマイクロバンド損失の80%以下に低減されるという特性を満たす。

[0054] また、空孔の中心がクラッド部の外縁から2.5 μm 以上離間していることが、光ファイバの機械的強度を確保するために好ましい。

[0055] (実施例、比較例)

つぎに、本発明の実施例、比較例により、本発明をより具体的に説明する。本発明の実施例、比較例として、図17に示した空孔構造を有する「No. 2」、空孔構造の無い「No. 1」の光ファイバを後述する方法にて製造した。

[0056] 図18は、実施例および比較例の光ファイバの光学特性を示す図である。また、図19は、実施例および比較例の光ファイバのマイクロバンド損失の波長依存性を示す図である。なお、図18に示す光学特性は、カットオフ波長を除き波長1550 nmにおける値である。また、マイクロバンド損失については、番手が#1000のサンドペーパーが表面に巻かれたボビンに各光ファイバを巻きつけたときの伝送損失と、各光ファイバをボビンから解いて巻き束の状態としたときの伝送損失とを測定し、これらの伝送損失の差をマイクロバンド損失として採用した。

[0057] 図18に示すように、比較例に対する実施例の有効コア断面積の差分の比は-1.4%程度ときわめて小さかった。また、カットオフ波長については

同一であった。これに対して、図19に示すように、実施例のマイクロバンド損失は、比較例に対して広い波長帯域にわたって大きく低減されており、たとえば波長1550nmでは13.6dB/kmから9.4dB/kmへと低減された。すなわち、差分としては $13.6 - 9.4 = 4.2$ dB/kmだけ低減され、割合としては $9.4 / 13.6 =$ 約69%に低減された。また、曲げ損失についても大きく低減された。

[0058] なお、上記実施の形態1、2に係る光ファイバは、W型の中心コア部または単峰型のコア部にゲルマニウム(Ge)等の屈折率を高めるドーパントを含む純石英ガラスとし、クラッド部は屈折率を調整するドーパントを含まない純石英ガラスとしているが、所望の屈折率分布の形状を実現できるものであれば特に限定されない。

[0059] 図20は、本発明の実施の形態2の変形例に係る光ファイバの模式的な断面図である。図20に示すように、この光ファイバ30は、中心に位置するコア部31と、コア部31の外周に位置するクラッド部32とを備える。クラッド部32は、コア部31から所定の距離だけ離間した位置に形成され、コア部31を中心として等角度で円形に配置された12個の空孔32aを有する。また、クラッド部32は、コア部31の外周に位置する内周クラッド部321と、内周クラッド部321の外周に位置する外周クラッド部322とからなる。なお、図20では空孔32aは外周クラッド部322に形成されているが、内周クラッド部321に形成されていてもよい。

[0060] ここで、この光ファイバ30では、コア部31は、ステップインデックス型の単峰型屈折率分布を有し、純石英ガラスからなる。一方、クラッド部32については、内周クラッド部321がフッ素を含む石英ガラスからなり、外周クラッド部322が純石英ガラスからなる。なお、コア部直径2aや比屈折率差 Δ については、実施の形態2に係る光ファイバ20と同様に規定され、所望の値に設定することができる。

[0061] この光ファイバ30は、実施の形態2に係る光ファイバ20において得られる効果に加え、コア部31が屈折率調整用のドーパントを含まない純石英

ガラスからなるため、伝送損失がより低いものとなる。さらに、この光ファイバ30は、外周クラッド部322がコア部31と同じく純石英ガラスからなる。そのため、この光ファイバ30を線引きして製造する場合には、フッ素を含む内周クラッド部321よりも粘性が高い外周クラッド部322が存在するために、線引き時に母材に掛かる応力がコア部31に集中することが防止される。その結果、コア部31に残留する歪みがより少なくなるので、伝送損失がより一層低いものとなる。

[0062] (製造方法)

つぎに、本発明に係る光ファイバの製造方法の一例を、実施の形態2に係る光ファイバ20を製造する場合について説明する。

[0063] 図21は、本発明に係る光ファイバの製造方法の一例を説明する図である。本製造方法では、はじめにガラス母材41を公知のVAD法等を用いて形成する。このガラス母材41は、コア部21を形成するためのコア形成部411と、コア形成部411の外周に位置し、クラッド部32の一部を形成するためのクラッド形成部412と、から構成される。つぎに、このガラス母材41の外周に、空孔32aを形成するための中空のガラスキャピラリ42と、ガラスキャピラリ42を所望の間隔で配置するための中実のガラスロッド43とを配置する。つぎに、これらのガラス母材41、ガラスキャピラリ42、ガラスロッド43の束をガラス管44に挿入してガラス母材50を形成する。その後、ガラス母材50を公知の線引き装置にて線引きすれば、図15に示す光ファイバ20を製造することができる。

[0064] なお、本発明に係る光ファイバの製造方法は、上記のものに限定されず、たとえばガラス母材41にドリル等で空孔を穿設し、これを線引きして光ファイバを製造してもよい。

[0065] また、上記実施の形態では、光の閉じ込めを実現する屈折率分布はW型または単峰型であるが、本発明に係る光ファイバの屈折率分布はこれに限定されず、あらゆる屈折率分布を利用できる。図22は、本発明において利用できる屈折率分布を例示する図である。図22(a)～(e)は、それぞれ階

段型プロファイル、セグメントコアプロファイル、トレンチ型プロフィル、W+サイドコア型プロフィル、リング型プロファイルと呼ばれる屈折率分布である。これらの屈折率分布は、図示する $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、2 a、2 b、2 cを設計パラメータとして、所望の光学特性を実現するように設計することができる。さらに、図22に示す屈折率分布を適宜組み合わせた屈折率分布を利用してもよい。

[0066] また、さらには、本発明に係る光ファイバは、コア部における有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えない距離だけ離間した位置に形成され、コア部におけるマイクロバンド損失を低減する機能を有する空孔の他に、公知の空孔アシスト光ファイバのように、コア部における光の閉じ込めをアシストするためにコア部の近傍に設けた空孔（光閉じ込めアシスト用空孔）を有する構成とすることもできる。すなわち、上述したように、本発明に係る光ファイバは、光の閉じ込めを実現する屈折率分布としてあらゆる屈折率分布を利用できるのであるから、光閉じ込めアシスト用空孔が寄与して形成された屈折率分布も当然利用できるものである。

[0067] また、上記実施の形態では、光ファイバは石英系ガラス材料からなるが、本発明に係る光ファイバの構成材料はこれに限定されず、他のガラス材料やプラスチック材料等の光ファイバを構成することができる光学材料を適宜利用できる。

産業上の利用可能性

[0068] 以上のように、本発明に係る光ファイバは、主に光通信の用途に利用して好適なものである。

符号の説明

[0069] 10～30 光ファイバ
11～31 コア部
12～32 クラッド部
12a～32a 空孔
41 ガラス母材

4 2 ガラスキャピラリ

4 3 ガラスロッド

4 4 ガラス管

5 0 ガラス母材

1 1 1 中心コア部

1 1 2 外周コア部

3 2 1 内周クラッド部

3 2 2 外周クラッド部

4 1 1 コア形成部

4 1 2 クラッド形成部

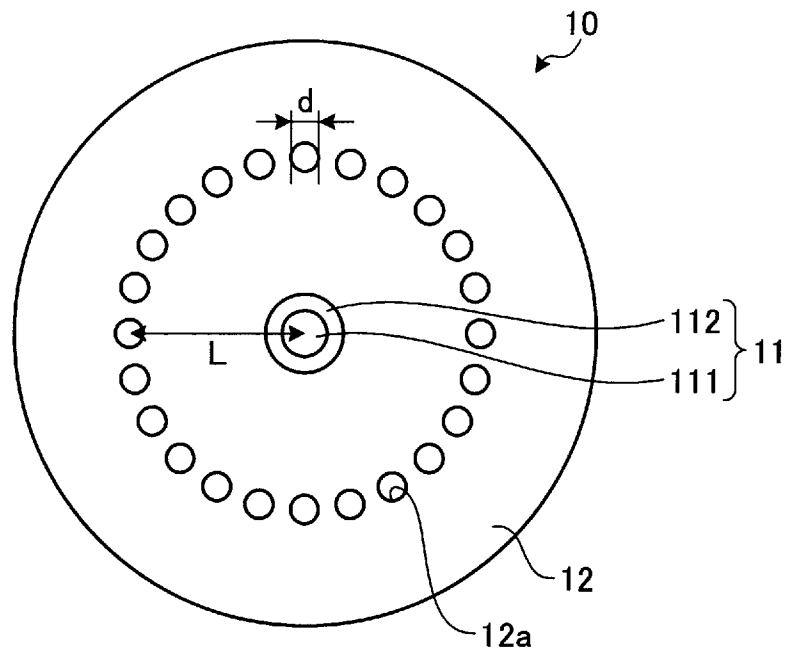
P 1 ～ P 5 分布プロファイル

請求の範囲

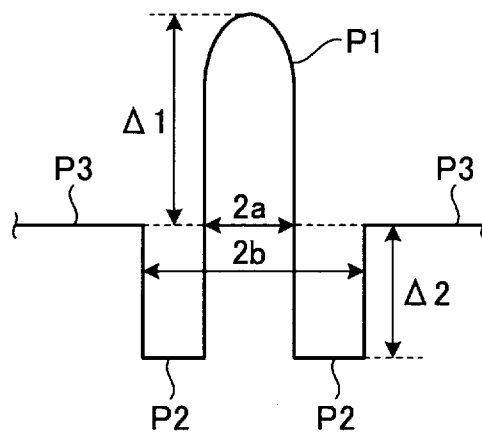
- [請求項1] 光を閉じ込めて導波するコア部と、
前記コア部の外周に形成されたクラッド部と、
を備え、前記クラッド部は、前記コア部から、前記コア部における有効コア断面積または波長分散特性に実質的に影響を与えない距離だけ離間した位置に形成され、前記コア部におけるマイクロバンド損失を低減する空孔を有することを特徴とする光ファイバ。
- [請求項2] 当該光ファイバの有効コア断面積または波長分散特性の値と当該光ファイバにおいて前記空孔が無いとした場合の有効コア断面積または波長分散特性の値との差分と、前記空孔が無いとした場合の有効コア断面積または波長分散特性の値との比がそれぞれ $\pm 10\%$ 以内であることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。
- [請求項3] 前記空孔の中心が、前記コア部の中心から $25\mu\text{m}$ 以上離間していることを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ。
- [請求項4] 前記クラッド部は、36個以下の前記空孔を有し、前記空孔の空孔直径が $10\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の光ファイバ。
- [請求項5] 波長 1550nm における前記有効コア断面積が $100\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする請求項1～4のいずれか一つに記載の光ファイバ。
- [請求項6] 前記コア部は、前記クラッド部よりも屈折率が高い中心コア部と、前記中心コア部の外周に位置し、前記クラッド部よりも屈折率が低い外周コア部とからなり、前記クラッド部に対する前記中心コア部の比屈折率差が $0.1\% \sim 0.3\%$ であり、前記クラッド部に対する前記外周コア部の比屈折率差が $-0.2\% \sim -0.05\%$ であり、前記中心コア部の直径が $11.2\mu\text{m} \sim 23.9\mu\text{m}$ であり、前記中心コア部の直径に対する前記外周コア部の外径の比が $2.0 \sim 4.0$ であることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の光ファイバ。

- [請求項7] 前記コア部は、単峰型の屈折率分布を有し、波長 1550 nm における前記有効コア断面積が $100\text{ }\mu\text{m}^2 \sim 185\text{ }\mu\text{m}^2$ であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光ファイバ。
- [請求項8] 前記クラッド部は、前記コア部を中心として円形に配列した前記空孔を 12 個以上有し、前記空孔の空孔直径が $2.5 \pm 0.5\text{ }\mu\text{m}$ であり、前記空孔の中心が、前記コア部の中心から $40\text{ }\mu\text{m}$ 以上離間しているとともに当該クラッド部の外縁から $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上離間していることを特徴とする請求項 7 に記載の光ファイバ。
- [請求項9] 前記クラッド部に対する前記コア部の比屈折率差が $0.16\% \sim 0.33\%$ であり、前記コア部の直径が $10\text{ }\mu\text{m} \sim 14\text{ }\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の光ファイバ。
- [請求項10] 波長 1550 nm における当該光ファイバのマイクロバンド損失は、当該光ファイバにおいて前記空孔が無いとした場合のマイクロバンド損失の 80% 以下であることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか一つに記載の光ファイバ。

[図1]



[図2]



[図3]

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	Ra2	Aeff	MFD	曲げ損失	分散	Slope
	%	%	μm	b/a	μm^2	μm	dB/m	ps/nm/km	ps/nm ² /km
1	0.1	-0.2	23.7	2	304.5	18.3	0.027	22.1	0.064
2	0.1	-0.15	23.3	2	307.6	18.6	1.008	21.9	0.064
3	0.1	-0.1	22.5	2	307.6	18.8	4.692	21.7	0.064
4	0.1	-0.05	21.2	2	308.5	19.5	27.10	21.4	0.064
5	0.1	-0.2	23.8	2.5	306.5	18.3	6.21E-3	22.1	0.064
6	0.1	-0.15	23.4	2.5	309.6	18.5	0.045	22.0	0.064
7	0.1	-0.1	22.5	2.5	307.5	18.7	0.491	21.8	0.064
8	0.1	-0.05	21.3	2.5	310.0	19.1	7.263	21.4	0.064
9	0.1	-0.2	23.9	3	308.6	18.3	1.17E-4	22.1	0.064
10	0.1	-0.15	23.4	3	309.6	18.5	1.82E-3	22.0	0.064
11	0.1	-0.1	22.7	3	311.6	18.8	0.042	21.8	0.064
12	0.1	-0.05	21.4	3	311.9	19.1	1.864	21.4	0.064
13	0.1	-0.2	23.7	3.5	304.4	18.2	2.49E-6	22.1	0.064
14	0.1	-0.15	23.2	3.5	305.5	18.4	9.14E-5	22.0	0.064
15	0.1	-0.1	22.5	3.5	307.5	18.7	4.83E-3	21.8	0.064
16	0.1	-0.05	21.3	3.5	309.9	19.1	0.530	21.4	0.064
17	0.1	-0.2	23.6	4	302.4	18.2	1.14E-7	22.1	0.064
18	0.1	-0.15	23.2	4	305.5	18.4	6.08E-6	22.0	0.064
19	0.1	-0.1	22.4	4	305.5	18.6	6.88E-4	21.8	0.064
20	0.1	-0.05	21.2	4	308.0	19.0	0.247	21.4	0.064
21	0.15	-0.2	18.9	2	206.1	15.2	0.038	22.0	0.064
22	0.15	-0.15	18.5	2	207.2	15.4	0.095	21.8	0.064
23	0.15	-0.1	17.7	2	204.8	15.5	0.311	21.5	0.063
24	0.15	-0.05	16.7	2	205.2	15.7	1.060	21.0	0.063
25	0.15	-0.2	18.8	2.5	204.4	15.1	3.78E-3	22.1	0.064
26	0.15	-0.15	18.3	2.5	203.8	15.2	0.017	21.8	0.064
27	0.15	-0.1	17.8	2.5	206.2	15.5	0.076	21.6	0.063
28	0.15	-0.05	16.8	2.5	206.2	15.7	0.485	21.1	0.063

[図4]

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	Ra2	Aeff	MFD	曲げ損失	分散	Slope
	%	%	μm	b/a	μm^2	μm	dB/m	ps/nm/km	ps/nm ² /km
29	0.15	-0.2	19.0	3	207.8	15.2	2.32E-4	22.1	0.064
30	0.15	-0.15	18.6	3	208.8	15.4	1.62E-3	21.8	0.064
31	0.15	-0.1	17.9	3	207.8	15.5	0.016	21.6	0.063
32	0.15	-0.05	17.0	3	209.2	15.8	0.184	21.1	0.063
33	0.15	-0.2	18.8	3.5	204.4	15.1	1.94E-5	22.1	0.064
34	0.15	-0.15	18.3	3.5	203.8	15.2	2.54E-4	21.8	0.064
35	0.15	-0.1	17.8	3.5	206.2	15.5	3.72E-3	21.6	0.063
36	0.15	-0.05	16.8	3.5	206.2	15.7	0.098	21.1	0.063
37	0.15	-0.2	18.7	4	202.8	15.0	1.14E-6	22.0	0.064
38	0.15	-0.15	18.3	4	203.9	15.2	2.20E-5	21.8	0.064
39	0.15	-0.1	17.7	4	204.6	15.4	6.36E-4	21.6	0.063
40	0.15	-0.05	16.8	4	206.2	15.7	0.036	21.1	0.063
41	0.2	-0.2	16.0	2	155.1	13.3	6.38E-4	21.9	0.063
42	0.2	-0.15	15.5	2	153.7	13.4	1.80E-3	21.6	0.063
43	0.2	-0.1	15.0	2	154.4	13.5	4.42E-3	21.2	0.063
44	0.2	-0.05	14.1	2	153.3	13.7	0.018	20.6	0.062
45	0.2	-0.2	15.9	2.5	153.6	13.2	1.46E-4	21.9	0.063
46	0.2	-0.15	15.4	2.5	152.2	13.2	5.99E-4	21.6	0.063
47	0.2	-0.1	15.0	2.5	154.2	13.5	1.81E-3	21.3	0.063
48	0.2	-0.05	14.2	2.5	154.1	13.6	9.48E-3	20.8	0.062
49	0.2	-0.2	16.0	3	155.0	13.3	2.09E-5	21.9	0.063
50	0.2	-0.15	15.7	3	156.4	13.4	8.53E-5	21.7	0.063
51	0.2	-0.1	15.2	3	156.9	13.6	4.77E-4	21.3	0.063
52	0.2	-0.05	14.4	3	156.6	13.7	3.96E-3	20.8	0.063
53	0.2	-0.2	15.9	3.5	153.6	13.2	5.56E-6	21.9	0.063
54	0.2	-0.15	15.5	3.5	153.6	13.3	3.99E-5	21.6	0.063
55	0.2	-0.1	15.0	3.5	154.2	13.6	3.28E-4	21.3	0.063
56	0.2	-0.05	14.3	3.5	155.4	13.7	2.79E-3	20.8	0.063

[図5]

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	Ra2	Aeff	MFD	曲げ損失	分散	Slope
	%	%	μm	b/a	μm^2	μm	dB/m	ps/nm/km	ps/nm ² /km
57	0.2	-0.2	15.8	4	152.2	13.1	6.83E-7	21.9	0.063
58	0.2	-0.15	15.5	4	153.6	13.3	6.19E-6	21.7	0.063
59	0.2	-0.1	15.0	4	154.2	13.5	1.09E-4	21.3	0.063
60	0.2	-0.05	14.2	4	154.1	13.6	2.19E-3	20.8	0.063
61	0.25	-0.2	14.0	2	123.7	12.0	6.11E-6	21.7	0.063
62	0.25	-0.15	13.6	2	123.1	12.0	1.22E-5	21.3	0.062
63	0.25	-0.1	13.1	2	122.8	12.1	2.96E-5	20.8	0.062
64	0.25	-0.05	12.4	2	122.5	12.3	8.61E-5	20.2	0.061
65	0.25	-0.2	14.2	2.5	126.1	12.0	1.08E-6	21.8	0.063
66	0.25	-0.15	13.7	2.5	124.2	12.0	3.75E-6	21.4	0.063
67	0.25	-0.1	13.3	2.5	124.9	12.2	1.02E-5	21.0	0.062
68	0.25	-0.05	12.5	2.5	123.2	12.2	5.05E-5	20.4	0.062
69	0.25	-0.2	14.1	3	124.9	12.0	3.16E-7	21.7	0.063
70	0.25	-0.15	13.7	3	124.2	12.0	1.30E-6	21.4	0.063
71	0.25	-0.1	13.3	3	124.9	12.2	4.85E-6	21.0	0.062
72	0.25	-0.05	12.7	3	125.4	12.3	2.40E-5	20.4	0.062
73	0.25	-0.2	14.0	3.5	123.6	11.9	1.66E-7	21.8	0.063
74	0.25	-0.15	13.6	3.5	123.0	12.0	8.25E-7	21.4	0.063
75	0.25	-0.1	13.2	3.5	123.7	12.1	3.90E-6	21.0	0.062
76	0.25	-0.05	12.6	3.5	124.3	12.3	1.83E-5	20.5	0.062
77	0.25	-0.2	13.9	4	122.4	11.8	2.78E-8	21.7	0.063
78	0.25	-0.15	13.6	4	123.0	12.0	1.76E-7	21.4	0.063
79	0.25	-0.1	13.2	4	123.7	12.1	1.79E-6	21.0	0.062
80	0.25	-0.05	12.5	4	123.2	12.2	1.05E-5	20.4	0.062
81	0.3	-0.2	12.5	2	102.2	10.9	1.85E-8	21.4	0.062
82	0.3	-0.15	12.2	2	102.4	11.0	3.84E-8	21.0	0.061
83	0.3	-0.1	11.8	2	102.5	11.1	1.67E-7	20.5	0.061
84	0.3	-0.05	11.2	2	102.2	11.2	6.02E-7	19.8	0.061

[図6]

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	Ra2	Aeff	MFD	曲げ損失	分散	Slope
	%	%	μm	b/a	μm^2	μm	dB/m	ps/nm/km	ps/nm ² /km
85	0.3	-0.2	12.5	2.5	102.1	10.9	1.57E-8	21.5	0.062
86	0.3	-0.15	12.3	2.5	103.4	11.0	6.74E-9	21.2	0.062
87	0.3	-0.1	11.9	2.5	103.4	11.1	3.95E-8	20.7	0.062
88	0.3	-0.05	11.3	2.5	102.9	11.2	5.69E-7	20.0	0.061
89	0.3	-0.2	12.7	3	104.4	11.0	2.02E-10	21.5	0.062
90	0.3	-0.15	12.4	3	104.5	11.1	1.74E-9	21.2	0.062
91	0.3	-0.1	12.0	3	104.4	11.2	8.62E-9	20.7	0.062
92	0.3	-0.05	11.4	3	103.8	11.3	1.09E-7	20.0	0.061
93	0.3	-0.2	12.6	3.5	103.3	10.9	1.66E-10	21.5	0.062
94	0.3	-0.15	12.3	3.5	103.4	11.0	1.01E-9	21.2	0.062
95	0.3	-0.1	11.9	3.5	103.3	11.1	9.41E-9	20.7	0.062
96	0.3	-0.05	11.4	3.5	103.8	11.3	8.52E-8	20.1	0.062
97	0.3	-0.2	12.5	4	102.1	10.9	8.83E-11	21.5	0.062
98	0.3	-0.15	12.2	4	102.3	11.0	8.76E-10	21.2	0.062
99	0.3	-0.1	11.9	4	103.3	11.1	5.11E-9	20.7	0.062
100	0.3	-0.05	11.3	4	102.8	11.2	1.11E-7	20.1	0.062

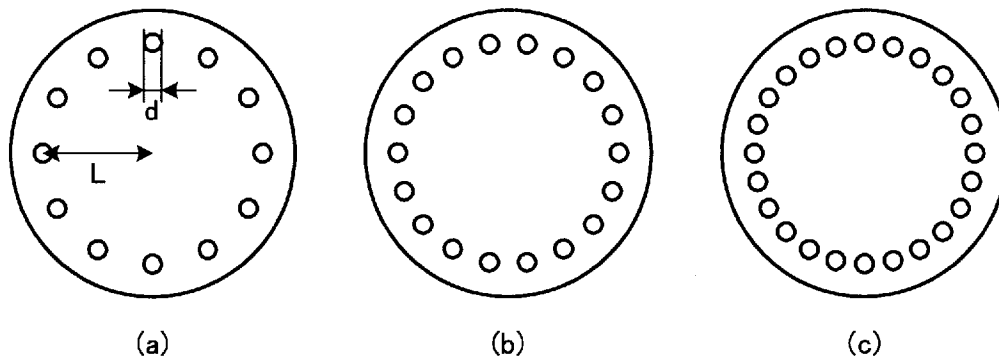
[図7]

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	Ra2	Aeff	MFD	曲げ損失	分散	Slope
	%	%	μm	b/a	μm^2	μm	dB/m	ps/nm/km	ps/nm ² /km
1	0.2	-0.1	14.1	2	142.8	13.1	0.024	20.9	0.062
2	0.2	-0.1	14.2	3	143.6	13.1	3.32E-3	21.1	0.063
3	0.2	-0.1	14.1	4	142.4	13.0	5.15E-4	21.1	0.063

[図8]

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$2a$	$Ra2$	A_{eff}	MFD	曲げ損失	分散	Slope
	%	%	μm	b/a	μm^2	μm	dB/m	ps/nm/km	ps/nm ² /km
1	0.2	-0.1	13.1	2	130.9	12.6	0.113	20.5	0.061
2	0.2	-0.1	13.2	3	131.4	12.6	0.017	20.8	0.062
3	0.2	-0.1	13.1	4	130.2	12.5	2.81E-3	20.8	0.062

[図9]



[図10]

No.	空孔数	離間距離L	空孔直径d	閉じ込め損失	Aeff
		μm	μm	dB/m	μm^2
1	12	25	<u>2</u>	<u>135.78</u>	<u>1439</u>
2			4	21.73	969
3			6	2.1055	827
4			10	1.27E-4	659
5		50	<u>2</u>	<u>538.57</u>	<u>5761</u>
6			<u>4</u>	<u>331.22</u>	<u>4501</u>
7			<u>6</u>	<u>182.31</u>	<u>3693</u>
8			10	34.55	2833
9	18	25	2	30.35	1043
10			4	1.01	868
11			6	2.74E-3	779
12		50	<u>2</u>	<u>272.04</u>	<u>4166</u>
13			4	80.11	3222
14			6	18.55	2855
15			10	0.23	2502
16	24	25	2	7.53	956
17			4	0.02	843
18			6	2.26E-7	762
19		50	<u>2</u>	<u>121.05</u>	<u>3440</u>
20			4	17.36	2908
21			6	1.49	2704
22			10	9.03E-05	2433
23	36	25	2	0.49	911
24			4	4.41E-8	823
25		50	2	25.36	3004
26			4	0.73	2763
27			6	1.94E-3	2623

[図11]

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	Ra2	Aeff	MFD	曲げ損失	分散	Slope
	%	%	μm	b/a	μm^2	μm	dB/m	ps/nm/km	ps/nm ² /km
43	0.2	-0.1	15.0	2	154.4	13.5	4.42E-3	21.2	0.063
51	0.2	-0.1	15.2	3	156.9	13.6	4.77E-4	21.3	0.063
59	0.2	-0.1	15.0	4	154.2	13.5	1.09E-4	21.3	0.063

[図12]

No.	空孔数	離間距離L	空孔直径d	閉じ込め損失	Aeff
		μm	μm	dB/m	μm^2
5	12	50	<u>2</u>	<u>538.57</u>	<u>5761</u>
6			<u>4</u>	<u>331.22</u>	<u>4501</u>
7			<u>6</u>	<u>182.31</u>	<u>3693</u>
12	18	50	<u>2</u>	<u>272.04</u>	<u>4166</u>
13			<u>4</u>	<u>80.11</u>	<u>3222</u>
19	24	50	<u>2</u>	<u>121.05</u>	<u>3440</u>

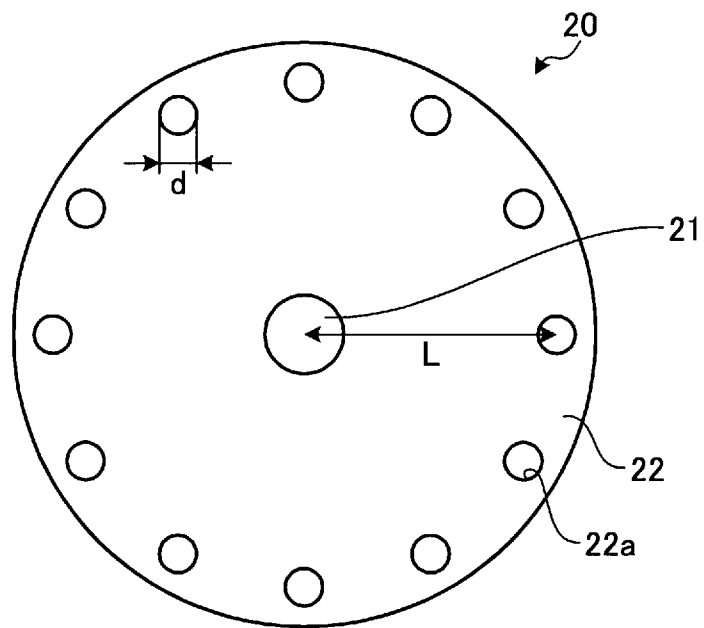
[図13]

No.	$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	Ra2	空孔数	離間距離L	空孔直径d
	%	%	μm	b/a		μm	μm
43-5	0.2	-0.1	15.0	2	12	50	2
43-6	0.2	-0.1	15.0	2	12	50	4
43-7	0.2	-0.1	15.0	2	12	50	6
51-5	0.2	-0.1	15.2	3	12	50	2
51-6	0.2	-0.1	15.2	3	12	50	4
51-7	0.2	-0.1	15.2	3	12	50	6
59-5	0.2	-0.1	15.0	4	12	50	2
59-6	0.2	-0.1	15.0	4	12	50	4
59-7	0.2	-0.1	15.0	4	12	50	6
43-12	0.2	-0.1	15.0	2	18	50	2
43-13	0.2	-0.1	15.0	2	18	50	4
51-12	0.2	-0.1	15.2	3	18	50	2
51-13	0.2	-0.1	15.2	3	18	50	4
59-12	0.2	-0.1	15.0	4	18	50	2
59-13	0.2	-0.1	15.0	4	18	50	4
43-19	0.2	-0.1	15.0	2	24	50	2
51-19	0.2	-0.1	15.2	3	24	50	2
59-19	0.2	-0.1	15.0	4	24	50	2

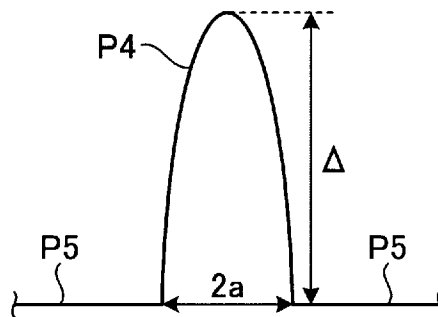
[図14]

No.	A _{eff}	MFD	曲げ損失	分散	Slope	A _{eff} 変化率	分散 変化率	Slope 変化率
	μm^2	μm	dB/m	ps/nm/km	ps/nm ² /km	%	%	%
43-5	154.5	13.8	2.28E-3	21.2	0.063	0.065	0.00	0.00
43-6	154.5	13.8	2.09E-3	21.2	0.063	0.065	0.00	0.00
43-7	154.5	13.8	1.28E-3	21.2	0.063	0.065	0.00	0.00
51-5	156.9	13.8	3.42E-4	21.3	0.063	0.00	0.00	0.00
51-6	156.9	13.8	2.25E-4	21.3	0.063	0.00	0.00	0.00
51-7	156.9	13.8	1.39E-4	21.3	0.063	0.00	0.00	0.00
59-5	154.3	13.8	6.12E-5	21.2	0.063	0.065	-0.47	0.00
59-6	154.3	13.8	3.90E-5	21.2	0.063	0.065	-0.47	0.00
59-7	154.3	13.8	2.38E-5	21.2	0.063	0.065	-0.47	0.00
43-12	154.5	13.8	1.73E-3	21.2	0.063	0.065	0.00	0.00
43-13	154.5	13.8	8.58E-4	21.2	0.063	0.065	0.00	0.00
51-12	156.9	13.8	1.85E-4	21.3	0.063	0.00	0.00	0.00
51-13	156.9	13.8	9.58E-5	21.3	0.063	0.00	0.00	0.00
59-12	154.3	13.8	3.44E-5	21.2	0.063	0.065	-0.47	0.00
59-13	154.3	13.8	1.63E-5	21.2	0.063	0.065	-0.47	0.00
43-19	154.5	13.8	1.20E-3	21.2	0.063	0.065	0.00	0.00
51-19	156.9	13.8	1.32E-4	21.3	0.063	0.00	0.00	0.00
59-19	154.3	13.8	2.48E-5	21.2	0.063	0.065	-0.47	0.00

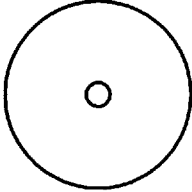
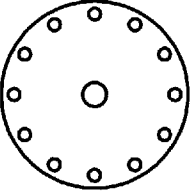
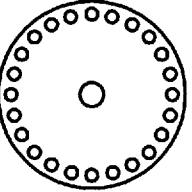
[図15]



[図16]



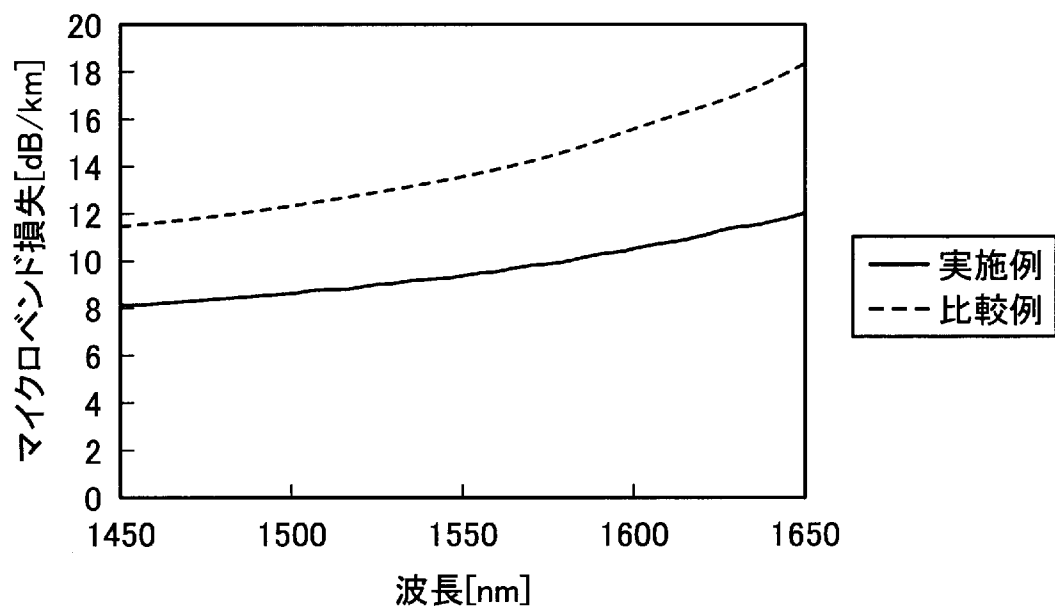
[図17]

No.	断面構造	設計パラメータ	Aeff μm^2	曲げ損失 dB/m	分散 ps/nm/km	Slope ps/nm ² /km
1		2a:12.2 μm Δ :0.22%	142.5	26.66	19.7	0.062
2		空孔直径d:2.5 μm 離間距離L:50 μm 空孔数:12個	142.4	25.40	19.7	0.062
3		空孔直径d:2.5 μm 離間距離L:50 μm 空孔数:24個	141.5	18.81	19.6	0.062

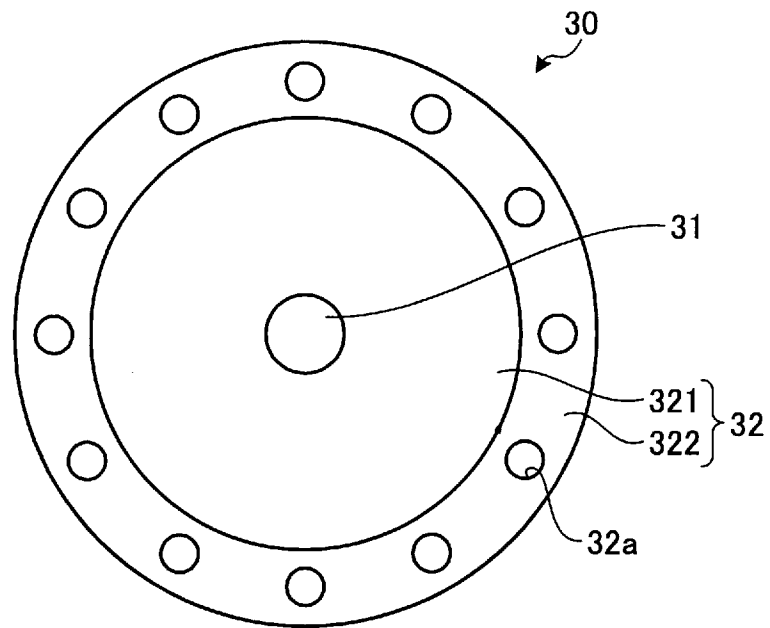
[図18]

		比較例	実施例
Aeff	[μm^2]	140	138
曲げ損失	[dB/m]	91	78
カットオフ波長	[nm]	1337	1337
マイクロバンド損失	[dB/km]	13.6	9.4

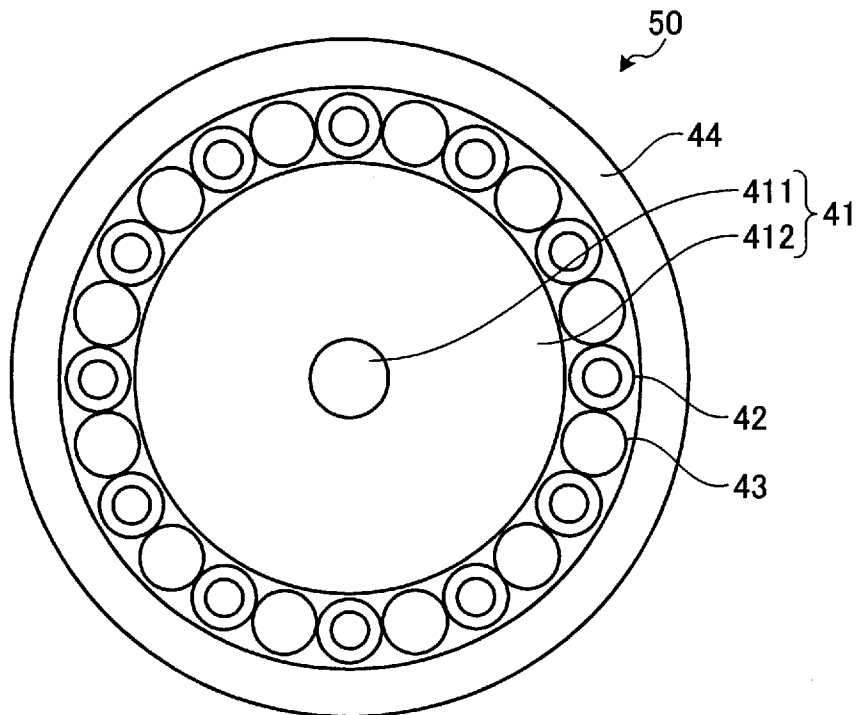
[図19]



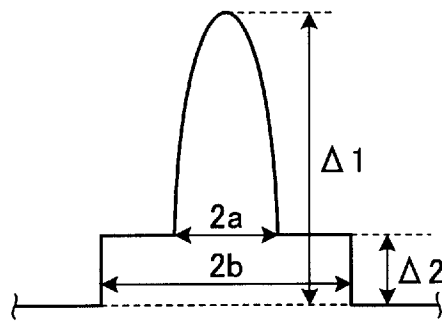
[図20]



[図21]

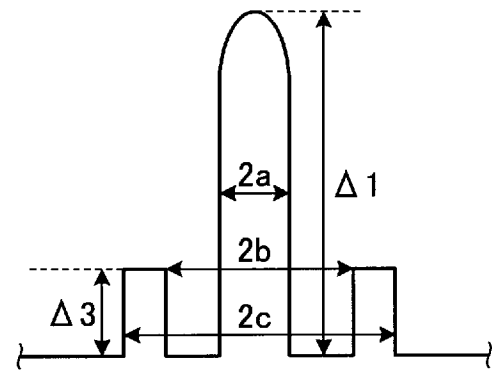


[図22]



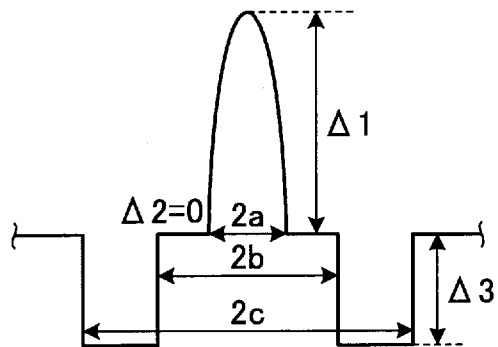
階段型プロファイル

(a)



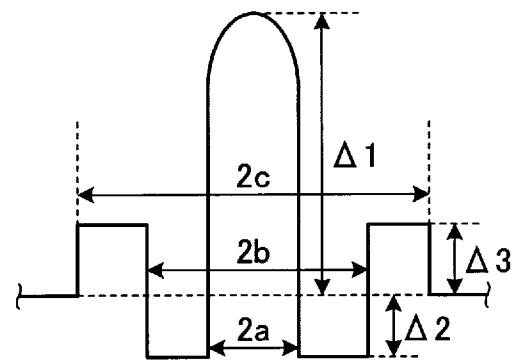
セグメントコアプロファイル

(b)



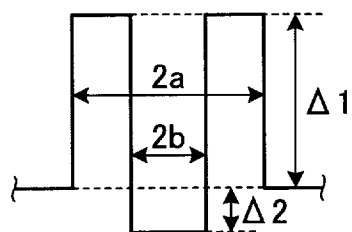
トレンチ型プロファイル

(c)



w+サイドコア型プロファイル

(d)



リング型プロファイル

(e)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065301

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/032(2006.01)i, G02B6/036(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)

G02B6/032, G02B6/036

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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

CiNii

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2005-208268 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 04 August 2005 (04.08.2005), paragraphs [0013], [0017] to [0018], [0022] to [0025]; fig. 2, 3, 6 (Family: none)	1-4, 10 5-9
Y	JP 2009-122277 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraphs [0004], [0006], [0025]; fig. 1, 5 & US 2009/0123122 A1	5, 6
Y	JP 2001-159721 A (Fujikura Ltd.), 12 June 2001 (12.06.2001), paragraph [0046]; fig. 1 (Family: none)	7-9

☒ 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
08 August, 2011 (08.08.11)Date of mailing of the international search report
16 August, 2011 (16.08.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/065301

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-151253 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 09 July 2009 (09.07.2009), paragraphs [0014], [0026] to [0027] (Family: none)	1-10
A	Bing YAO, Akira OGURA, Kazumasa OSONO, Akihito HONGO, Tomoyuki NISHIO, "Improvement of Microbending loss by Hole-Assisted Fiber" The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai Koen Ronbunshu 2010 Nen, Tsushin (2), 02 March 2010 (02.03.2010), page 359, B-10-21	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02B6/032 (2006.01)i, G02B6/036 (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 (I P C))

Int.Cl. G02B6/032, G02B6/036

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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)

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 請求項の番号
X Y	JP 2005-208268 A (日本電信電話株式会社) 2005.08.04, 【0013】, 【0017】 - 【0018】, 【0022】 - 【0025】, 図 2, 3, 6 (ファミリーなし)	1-4, 10 5-9
Y	JP 2009-122277 A (古河電気工業株式会社) 2009.06.04, 【0004】, 【0006】, 【0025】, 図 1, 5 & US 2009/0123122 A1	5, 6
Y	JP 2001-159721 A (株式会社フジクラ) 2001.06.12, 【0046】, 図 1 (ファミリーなし)	7-9

☒ 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

0 8 . 0 8 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 6 . 0 8 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

奥村 政人

2 X

4 7 5 2

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

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 請求項の番号
A	JP 2009-151253 A (日本電信電話株式会社) 2009.07.09, 【0014】, 【0026】 - 【0027】 (ファミリーなし)	1-10
A	姚兵, 小倉明, 大藁和正, 本郷晃史, 西尾友幸, 空孔アシストファイバによるマイクロバンド損失特性の改善, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2010 年_通信(2), 2010.03.02, p. 359, B-10-21	1-10