

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5228063号
(P5228063)

(45) 発行日 平成25年7月3日 (2013.7.3)

(24) 登録日 平成25年3月22日 (2013.3.22)

(51) Int. Cl.	F I
G O 2 B 6/00 (2006.01)	G O 2 B 6/00 3 7 6 Z
G O 2 B 6/032 (2006.01)	G O 2 B 6/20 Z
G O 2 B 6/036 (2006.01)	G O 2 B 6/22

請求項の数 3 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2010-542896 (P2010-542896)	(73) 特許権者	000005290
(86) (22) 出願日	平成21年7月10日 (2009.7.10)		古河電気工業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/062588		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(87) 国際公開番号	W02010/070946	(74) 代理人	100089118
(87) 国際公開日	平成22年6月24日 (2010.6.24)		弁理士 酒井 宏明
審査請求日	平成24年3月1日 (2012.3.1)	(74) 代理人	100142712
(31) 優先権主張番号	特願2008-318795 (P2008-318795)		弁理士 田代 至男
(32) 優先日	平成20年12月15日 (2008.12.15)	(72) 発明者	高橋 正典
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		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
		(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ホーリーファイバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コア部と、

前記コア部の外周に位置し、前記コア部の周囲に円状に配置された空孔を有するクラッド部と、

を備え、前記空孔は、前記コア部の中心を略中心として半径 $36 \sim 48 \mu\text{m}$ の円状に $12 \sim 36$ 個だけ配置され、空孔直径が $2.0 \sim 11.0 \mu\text{m}$ の範囲にあり、波長 1064 nm において、全長における基底モードの閉じ込め損失と 2 次の高次モードの閉じ込め損失との差が 0.7 dB 以上となる長さを有して、実質的にシングルモード動作するとともに有効コア断面積が $1500 \mu\text{m}^2$ 以上である

ことを特徴とするホーリーファイバ。

【請求項 2】

コア部と、

前記コア部の外周に位置し、前記コア部の周囲に円状に配置された空孔を有するクラッド部と、

を備え、前記空孔は、前記コア部の中心を略中心として半径 $36 \sim 48 \mu\text{m}$ の円状に $12 \sim 36$ 個だけ配置され、空孔直径が $2.0 \sim 11.0 \mu\text{m}$ の範囲にあり、波長 1064 nm において、2 次の高次モードの閉じ込め損失が 1 dB/m 以上となる長さを有して、実質的にシングルモード動作するとともに有効コア断面積が $1500 \mu\text{m}^2$ 以上である

ことを特徴とするホーリーファイバ。

【請求項 3】

波長 1064 nm において半径 100 mm で曲げた場合の基底モードに対する曲げ損失が 10 dB/m 以下であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のホーリーファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ホーリーファイバに関するものである。

【背景技術】

【0002】

10

ホーリーファイバ (Holey Fiber) は、中心に位置するコア部と、コア部の外周に位置し、コア部の周囲に配置した複数の空孔を有するクラッド部とを備え、空孔によってクラッド部の平均屈折率を下げ、光の全反射の原理を利用してコア部に光を伝搬させる新しいタイプの光ファイバである。このホーリーファイバは、有効コア断面積を大きくして光学非線形性を低くすることができるため、低非線形伝送媒体として、光通信用、あるいはレーザ加工等のためのハイパワー光を送送するパワーデリバリー用への応用も期待されている。

【0003】

一方、ホーリーファイバの有効コア断面積をさらに拡大するため、空孔がコア部の周囲に 1 層だけの層を成すように形成された構造のホーリーファイバが開示されている (非特許文献 1)。図 22 は、非特許文献 1 に記載のホーリーファイバの模式的な断面図である。このホーリーファイバ 2 は、コア部 2a と、コア部 2a の外周に位置し、コア部 2a の周囲に形成された 18 個の空孔 2c を有するクラッド部 2b とを備えている。空孔 2c は、空孔直径が d_1 であり、三角格子の格子点から選択された六角形を成す格子点上に配置されている。非特許文献 1 によれば、図 22 に示すホーリーファイバ 2 において、格子定数すなわち空孔 2c 間の間隔である Λ を $12.0 \mu\text{m}$ 、 d_1/Λ を 0.48 (すなわち、 d_1 は $5.76 \mu\text{m}$) とした場合に、波長 1064 nm において、有効コア断面積が $1400 \mu\text{m}^2$ ときわめて大きくなるとともに、伝搬モードの基底モードである LP01 モードの閉じ込め損失が 0.3 dB/m 以下と小さく、2 次の高次モードである LP11 モードの閉じ込め損失が 1 dB/m と大きくなり、実質的なシングルモード動作を実現できるとされている。なお、非特許文献 1 では、ホーリーファイバ 2 の長さを 1~2 m として使用することが想定されている。したがって、全長における LP11 モードの閉じ込め損失と LP01 モードの閉じ込め損失との差が 0.7 dB 以上であれば、ホーリーファイバ 2 は実質的なシングルモード動作をすると考えられる。また、このホーリーファイバ 2 を半径 100 mm で曲げた場合の曲げ損失は $4.4 \sim 4.5 \text{ dB/m}$ 程度とされている。なお、上記のように Λ を $12.0 \mu\text{m}$ とした場合、空孔 2c が形成する六角形の中心 O1 から頂点までの距離を r_1 とすると、 r_1 は $36 \mu\text{m}$ である。

20

30

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

40

【非特許文献 1】Y. Tsuchida, et al., "Design of Single-Mode Leakage Channel Fibers with Large-Mode-Area and Low Bending Loss", OECC2008, P-9

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、たとえばレーザ加工用に用いるレーザ光は、そのビーム形状が等方的な円状であることが好ましい。したがって、デリバリー用のホーリーファイバについても、伝搬する光のフィールド分布が円状であることが実用上好ましい。また、光通信用のホーリーファイバとしても、他の光ファイバとの接続損失の低減等のために、伝搬する光のフィールド分布が円状であることが実用上好ましい。

50

【0006】

しかしながら、本発明者らが、図22に示す構造のホーリーファイバ2を伝搬する波長1064nmの光のフィールド分布を計算したところ、以下のことを見出した。図23は、図22に示すホーリーファイバ2を伝搬する波長1064nmの光のフィールド分布を示す図である。なお、図23においては、中心部のフィールドの強度を1.0とし、中心から強度が10%だけ減衰する範囲ごとに異なるハッチングで示している。図23に示すように、このホーリーファイバ2では、光のフィールド分布が六角形状となり、伝搬する光の形状が好ましい形状からはずれているという問題がある。

【0007】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、実質的なシングルモード動作と低非線形性とを実現しつつ、実用上好ましい形状で光を伝搬することができるホーリー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、本発明に係るホーリーファイバは、コア部と、前記コア部の外周に位置し、前記コア部の周囲に円状に配置された空孔を有するクラッド部と、を備え、前記空孔は、前記コア部の中心を略中心として半径36～48μmの円状に12～36個だけ配置され、空孔直径が2.0～11.0μmの範囲にあり、波長1064nmにおいて実質的にシングルモード動作するとともに有効コア断面積が1500μm²以上であることを特徴とする。

【0009】

また、本発明に係るホーリーファイバは、上記の発明において、波長1064nmにおいて、全長における基底モードの閉じ込め損失と2次の高次モードの閉じ込め損失との差が0.7dB以上となる長さを有することを特徴とする。

【0010】

また、本発明に係るホーリーファイバは、上記の発明において、波長1064nmにおいて半径100mmで曲げた場合の曲げ損失が10dB/m以下であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、実質的なシングルモード動作と低非線形性とを実現しつつ、実用上好ましい形状で光を伝搬することができるホーリー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】

【0012】

【図1】図1は、実施の形態に係るホーリーファイバの断面概略図である。

【図2】図2は、図1に示すホーリーファイバを伝搬する波長1064nmの光のフィールド分布を示す図である。

【図3】図3は、空孔数nを12とした場合の、空孔径dと基底モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。

【図4】図4は、空孔数nを12とした場合の、空孔径dと2次の高次モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。

【図5】図5は、空孔数nを18とした場合の、空孔径dと基底モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。

【図6】図6は、空孔数nを18とした場合の、空孔径dと高次モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。

【図7】図7は、空孔数nを24とした場合の、空孔径dと基底モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。

【図8】図8は、空孔数nを24とした場合の、空孔径dと高次モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 9】図 9 は、空孔数 n を 36 とした場合の、空孔径 d と基底モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。

【図 10】図 10 は、空孔数 n を 36 とした場合の、空孔径 d と高次モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。

【図 11】図 11 は、空孔配置半径 r 、空孔数 n の組み合わせに対して、実質的にシングルモード動作となる空孔径 d の値を示す図である。

【図 12】図 12 は、空孔数 n を 12 とした場合の、空孔径 d と有効コア断面積 A_{eff} との関係を示す図である。

【図 13】図 13 は、空孔数 n を 18 とした場合の、空孔径 d と有効コア断面積 A_{eff} との関係を示す図である。

10

【図 14】図 14 は、空孔数 n を 24 とした場合の、空孔径 d と有効コア断面積 A_{eff} との関係を示す図である。

【図 15】図 15 は、空孔数 n を 36 とした場合の、空孔径 d と有効コア断面積 A_{eff} との関係を示す図である。

【図 16】図 16 は、空孔数 n を 12 とした場合の、空孔配置半径 r と曲げ損失との関係を示す図である。

【図 17】図 17 は、空孔数 n を 18 とした場合の、空孔配置半径 r と曲げ損失との関係を示す図である。

【図 18】図 18 は、空孔数 n を 24 とした場合の、空孔配置半径 r と曲げ損失との関係を示す図である。

20

【図 19】図 19 は、空孔数 n を 36 とした場合の、空孔配置半径 r と曲げ損失との関係を示す図である。

【図 20】図 20 は、計算例 1～14 として、上記図 3～19 に示した結果の一部、および空孔配置半径 r を $48\ \mu\text{m}$ とした 1 例を示す図である。

【図 21】図 21 は、計算例 15～44 として、空孔数 n 、空孔径 d 、空孔配置半径 r の組み合わせに対する、閉じ込め損失、曲げ損失、最短長さを示す図である。

【図 22】図 22 は、非特許文献 1 に記載のホーリーファイバの模式的な断面図である。

【図 23】図 23 は、図 22 に示すホーリーファイバを伝搬する波長 $1064\ \text{nm}$ の光のフィールド分布を示す図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0013】

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、本明細書において特に定義しない用語については、ITU-T（国際電気通信連合）G.650.1 における定義、測定方法に従うものとする。

【0014】

（実施の形態）

図 1 は、本発明の実施の形態に係るホーリーファイバ 1 の断面概略図である。図 1 に示すように、このホーリーファイバ 1 は、コア部 1a と、コア部 1a の外周に位置するクラッド部 1b とを備える。なお、コア部 1a とクラッド部 1b とは、いずれも屈折率調整用のドーパントが添加されていない純シリカガラスからなる。

40

【0015】

クラッド部 1b は、コア部 1a の周囲に配置された空孔 1c を有する。空孔 1c の数は 18 個であり、空孔 1c はコア部 1a の中心 O を中心として円状に配置されている。空孔 1c が形成する円の半径（以下、空孔配置半径と称する）を r とすると、 r は $36\ \mu\text{m}$ である。また、空孔 1c の空孔径（直径）を d とすると、 d は $5.5\ \mu\text{m}$ である。

【0016】

図 2 は、図 1 に示すホーリーファイバ 1 を伝搬する波長 $1064\ \text{nm}$ の光のフィールド分布を示す図である。なお、図 2 においては、中心部のフィールドの強度を 1.0 とし、中心から強度が 10% だけ減衰する範囲ごとに異なるハッチングで示している。図 2 に示

50

すように、このホーリーファイバ1では、光のフィールド分布が実用上好ましい円状となっている。

【0017】

さらに、このホーリーファイバ1は、上記のように空孔の数、空孔配置半径、および空孔径を設定したことによって、波長1064nmにおいて、基底モードであるLP01モードの有効コア断面積が $1500\mu\text{m}^2$ 以上の $1812\mu\text{m}^2$ ときわめて大きくなるとともに、LP01モードの閉じ込め損失が 0.3dB/m 以下の 0.25dB/m と小さく、LP11モードの閉じ込め損失が 1dB/m 以上の 1.28dB/m と大きくなるので、1m以上の長さで使用した場合に、実質的なシングルモード動作を実現できる。また、このホーリーファイバ1を、ボビン等に巻く場合のように半径100mmで曲げた場合の曲げ損失は、 4.4dB/m 程度となり、実用上好ましい 10dB/m 以下となっている。なお、以下では、曲げ損失とは、半径100mmで曲げた場合の曲げ損失を意味するものとする。

10

【0018】

このホーリーファイバ1と、図22に示すホーリーファイバ2とを比較すると、空孔の数は同じであり、ホーリーファイバ1の空孔配置半径 r とホーリーファイバ2の距離 r_1 との値が同じであり、また曲げ損失の値もほぼ同じある。しかしながら、このホーリーファイバ1は $1812\mu\text{m}^2$ と一層大きい有効コア断面積を有している。

【0019】

なお、図1に示すホーリーファイバ1と同様に空孔を円状に配置したホーリーファイバにおいて、空孔数 n を12~36とし、空孔配置半径 r を $36\sim 48\mu\text{m}$ とし、空孔径 d を $2.0\sim 11.0\mu\text{m}$ の範囲にあるようにすれば、波長1064nmにおいて実質的にシングルモード動作するとともに、有効コア断面積が $1500\mu\text{m}^2$ 以上であるホーリーファイバを実現できる。以下、有限要素法(FEM)シミュレーションを用いた計算結果を参照して説明する。

20

【0020】

以下では、図1に示すホーリーファイバ1と同様に空孔を円状に配置したホーリーファイバにおいて、空孔数 n を12、18、24、36として、空孔配置半径 r を $36\mu\text{m}$ 、 $39\mu\text{m}$ 、 $42\mu\text{m}$ 、 $45\mu\text{m}$ とした場合についての計算結果を説明する。また、計算に用いる波長はいずれの場合も1064nmとする。

30

【0021】

図3は、空孔数 n を12とした場合の、空孔径 d と基底モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。図3において、線L1は閉じ込め損失が 0.3dB/m の位置を示している。図3に示すように、各 r について、基底モードの閉じ込め損失が 0.3dB/m 以下となるような d の範囲が存在する。

【0022】

図4は、空孔数 n を12とした場合の、空孔径 d と2次の高次モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。図4に示すように、各 r について、2次の高次モードの閉じ込め損失が 1.0dB/m 以上となるような d の範囲が存在する。なお、2次の高次モードの閉じ込め損失が 1.0dB/m 以上であれば、それ以上の高次モードの閉じ込め損失も 1.0dB/m 以上であるので、以下では、高次モードとして2次の高次モードのみを考慮する。

40

【0023】

図5は、空孔数 n を18とした場合の、空孔径 d と基底モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。図5において、線L2は閉じ込め損失が 0.3dB/m の位置を示している。図5に示すように、各 r について、基底モードの閉じ込め損失が 0.3dB/m 以下となるような d の範囲が存在する。

【0024】

図6は、空孔数 n を18とした場合の、空孔径 d と高次モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。図6に示すように、各 r について、高次モードの閉じ込め損失が 1.0

50

d B/m以上となるような d の範囲が存在する。

【0025】

図7は、空孔数 n を24とした場合の、空孔径 d と基底モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。図7において、線L3は閉じ込め損失が0.3 dB/mの位置を示している。図7に示すように、各 r について、基底モードの閉じ込め損失が0.3 dB/m以下となるような d の範囲が存在する。

【0026】

図8は、空孔数 n を24とした場合の、空孔径 d と高次モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。図8に示すように、各 r について、高次モードの閉じ込め損失が1.0 dB/m以上となるような d の範囲が存在する。

10

【0027】

図9は、空孔数 n を36とした場合の、空孔径 d と基底モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。図9において、線L4は閉じ込め損失が0.3 dB/mの位置を示している。図9に示すように、各 r について、基底モードの閉じ込め損失が0.3 dB/m以下となるような d の範囲が存在する。

【0028】

図10は、空孔数 n を36とした場合の、空孔径 d と高次モードの閉じ込め損失との関係を示す図である。図10に示すように、各 r について、高次モードの閉じ込め損失が1.0 dB/m以上となるような d の範囲が存在する。

【0029】

20

図11は、空孔配置半径 r 、空孔数 n の組み合わせに対して、基底モードの閉じ込め損失が0.3 dB/m以下であり、高次モードの閉じ込め損失が1.0 dB/m以上であって実質的にシングルモード動作となる空孔径 d の値を示す図である。図11に示すように、各空孔配置半径 r 、空孔数 n の組み合わせに対して、実質的シングルモード動作を実現する d が存在する。すなわち、実質的シングルモード動作を実現する d は、空孔数 n が12の場合は、9.5～11.0 μm の範囲に存在し、空孔数 n が18の場合は、5.5～6.5 μm の範囲に存在し、空孔数 n が24の場合は、3.9～4.5 μm の範囲に存在し、空孔数 n が36の場合は、2.2～2.4 μm の範囲に存在する。

【0030】

つぎに、図12は、空孔数 n を12とした場合の、空孔径 d と有効コア断面積 A_{eff} との関係を示す図である。図12に示すように、いずれの値の空孔配置半径 r についても、11.0 μm 以下の範囲の d に対して、有効コア断面積 A_{eff} はいずれも1500 μm^2 以上となっている。

30

【0031】

図13は、空孔数 n を18とした場合の、空孔径 d と有効コア断面積 A_{eff} との関係を示す図である。図13に示すように、いずれの値の空孔配置半径 r についても、7.0 μm 以下の範囲の d に対して、有効コア断面積 A_{eff} はいずれも1500 μm^2 以上となっている。

【0032】

図14は、空孔数 n を24とした場合の、空孔径 d と有効コア断面積 A_{eff} との関係を示す図である。図14に示すように、いずれの値の空孔配置半径 r についても、5.5 μm 以下の範囲の d に対して、有効コア断面積 A_{eff} はいずれも1500 μm^2 以上となっている。

40

【0033】

図15は、空孔数 n を36とした場合の、空孔径 d と有効コア断面積 A_{eff} との関係を示す図である。図15に示すように、いずれの値の空孔配置半径 r についても、2.0～3.5 μm の範囲の d に対して、有効コア断面積 A_{eff} はいずれも1500 μm^2 以上となっている。

【0034】

つぎに、図16は、空孔数 n を12とした場合の、空孔配置半径 r と曲げ損失との関係

50

を示す図である。なお、空孔径 d については、各空孔配置半径 r の値に応じて、図 11 に示す値に設定している。たとえば、 $r = 36 \mu\text{m}$ の場合は $d = 9.5 \mu\text{m}$ としている。図 16 に示すように、このホーリーファイバの曲げ損失は、空孔配置半径 r を大きくするのに従って増加する。したがって、空孔配置半径 r を所定値以下に適宜設定することによって、所望の曲げ損失を実現できる。たとえば、 r を $36 \mu\text{m}$ または $39 \mu\text{m}$ とすれば、曲げ損失はそれぞれ 3.13 dB/m 、 5.66 dB/m となり、 10 dB/m 以下の値とできる。

【0035】

図 17 は、空孔数 n を 18 とした場合の、空孔配置半径 r と曲げ損失との関係を示す図である。なお、空孔径 d については、各空孔配置半径 r の値に応じて、図 11 に示す値に設定している。図 17 に示すように、たとえば、 r を $42 \mu\text{m}$ 以下とすれば、曲げ損失は 6.17 dB/m 以下となる。

【0036】

図 18 は、空孔数 n を 24 とした場合の、空孔配置半径 r と曲げ損失との関係を示す図である。なお、空孔径 d については、各空孔配置半径 r の値に応じて、図 11 に示す値に設定している。図 18 に示すように、たとえば、 r を $45 \mu\text{m}$ 以下とすれば、曲げ損失は 6.82 dB/m 以下となる。

【0037】

図 19 は、空孔数 n を 36 とした場合の、空孔配置半径 r と曲げ損失との関係を示す図である。なお、空孔径 d については、各空孔配置半径 r の値に応じて、図 11 に示す値に設定している。図 19 に示すように、たとえば、 r を $45 \mu\text{m}$ 以下とすれば、曲げ損失は 7.03 dB/m 以下となる。

【0038】

つぎに、図 20 は、計算例 1～14 として、上記図 3～19 に示した結果の一部、および空孔配置半径 r を $48 \mu\text{m}$ とした 1 例を示す図である。なお、図 20 において、「 n 」は空孔数、「 d 」は空孔径、「 r 」は空孔配置半径、「 A_{eff} 」は有効コア断面積を示している。図 20 に示すように、計算例 1～14 のいずれの場合においても、閉じ込め損失が LP01 モードについては 0.3 dB/m 以下、LP11 モードについては 1.0 dB/m 以上であって実質的にシングルモード動作が実現され、かつ有効コア断面積が $1500 \mu\text{m}^2$ 以上となっている。また、計算例 1、2、4、5、7～14 に対しては、曲げ損失が 10 dB/m 以下となっている。

【0039】

なお、図 11、20 では、実質的なシングルモード動作をする条件を、LP01 モードの閉じ込め損失が 0.3 dB/m 以下であり、LP11 モードの閉じ込め損失が 1.0 dB/m 以上であるものとし、この条件を満たすような、空孔数 n 、空孔径 d 、空孔配置半径 r の組み合わせを示している。ただし、これらの閉じ込め損失の条件は、ホーリーファイバを長さ 1 m 程度で使用する場合を想定したものであって、本発明のホーリーファイバはこれに限られない。すなわち、たとえば図 3～10 においても示されているような、LP01 モードの閉じ込め損失が 0.3 dB/m より大きい、または LP11 モードの閉じ込め損失が 1.0 dB/m より小さい場合であっても、全長における LP01 モードの閉じ込め損失と LP11 モードの閉じ込め損失との差が 0.7 dB 以上となる長さを有するホーリーファイバであれば、実質的なシングルモード動作をするものとなるので、本発明に含まれるものとなる。

【0040】

図 21 は、計算例 15～44 として、空孔数 n 、空孔径 d 、空孔配置半径 r の組み合わせに対する、閉じ込め損失、曲げ損失、最短長さを示す図である。なお、この計算例 15～44 においても、ホーリーファイバの構造は図 1 に示すホーリーファイバ 1 と同様にしている。また、最短長さとは、全長における LP01 モードの閉じ込め損失と LP11 モードの閉じ込め損失との差が 0.7 dB 以上となる最短長さ、すなわち、差が 0.7 dB となる長さを意味する。この最短長さは、LP01 モードの閉じ込め損失の値を $A [\text{dB}]$

10

20

30

40

50

／m]とし、LP11モードの閉じ込め損失の値をB[dB/m]とすると、 $0.7/(B-A)$ [m]で表される。

【0041】

たとえば、図21の計算例15では、LP01モードの閉じ込め損失が 0.3 dB/m より大きい 0.411 dB/m であるが、この場合の最短長さは 0.6 m である。すなわち、計算例15に示すような空孔数nが24、空孔径dが $4.5 \mu\text{m}$ 、空孔配置半径rが $48 \mu\text{m}$ の組み合わせとした場合、長さが 0.6 m ときわめて短くても、実質的なシングルモード動作をするものとなる。

【0042】

また、計算例18では、LP11モードの閉じ込め損失が 1.0 dB/m より大幅に小さい $6.59 \times 10^{-3} \text{ dB/m}$ であるが、この場合の最短長さは 260.6 m である。すなわち、計算例18に示すような空孔数nが24、空孔径dが $7.5 \mu\text{m}$ 、空孔配置半径rが $48 \mu\text{m}$ の組み合わせとした場合、長さを 260.6 m 以上とすれば、実質的なシングルモード動作をするものとなる。

【0043】

また、計算例19では、最短長さは 0.5 m である。すなわち、計算例19に示すような空孔数nが24、空孔径dが $4.5 \mu\text{m}$ 、空孔配置半径rが $45 \mu\text{m}$ の組み合わせとした場合、長さが 0.5 m ときわめて短くても、実質的なシングルモード動作をするものとなる。

【0044】

また、計算例22では、LP11モードの閉じ込め損失が 1.0 dB/m より大幅に小さい $3.94 \times 10^{-3} \text{ dB/m}$ であるが、この場合の最短長さは 210.6 m である。すなわち、計算例22に示すような空孔数nが24、空孔径dが $7.5 \mu\text{m}$ 、空孔配置半径rが $45 \mu\text{m}$ の組み合わせとした場合、長さを 210.6 m 以上とすれば、実質的なシングルモード動作をするものとなる。

【0045】

また、計算例18は、計算例15と比較して、空孔数n、空孔配置半径rは同じであるが、空孔径dをより大きく設定している。同様に、計算例22も、計算例19よりも空孔径dを大きく設定している。このように、空孔径dをより大きく設定すると、コア部への光の閉じ込めが強くなるので、曲げ損失が小さくなるとともに、曲げによる基底モードと高次モードとのモードカップリングが抑制され、より確実にシングルモード動作が維持できるようなホーリーファイバとなる。たとえば、曲げ損失は、計算例18では $7.96 \times 10^{-2} \text{ dB/m}$ 、計算例22では $2.14 \times 10^{-2} \text{ dB/m}$ であり、 0.1 dB/m 以下の小さい値となっている。

【0046】

また、図21の計算例15～44のいずれの場合についても、LP01モードの有効コア断面積が $1500 \mu\text{m}^2$ 以上となっている。

【0047】

また、図21では、全長におけるLP01モードの閉じ込め損失とLP11モードの閉じ込め損失との差が 0.7 dB 以上となるホーリーファイバの最短長さを示しているが、この閉じ込め損失の差が 3.0 dB 以上となるような長さのホーリーファイバとすれば、より確実にシングルモード動作するものとなり、より好ましい。なお、閉じ込め損失の差を 3.0 dB 以上にするには、計算例33のように、LP01モードの閉じ込め損失の値を $1.96 \times 10^{-3} \text{ dB/m}$ とし、LP11モードの閉じ込め損失の値を $1.39 \times 10^{-2} \text{ dB/m}$ とすると、 $3.0 / (1.39 \times 10^{-2} - 1.96 \times 10^{-3}) = 251.3 \text{ m}$ 以上の長さとするればよい。

【0048】

ところで、本発明に係るホーリーファイバは、以下のような方法を用いて製造できる。たとえば、中空のガラスチューブの中心軸付近に、コア部となる中実のガラスロッドを配置し、このガラスロッドの周囲に空孔を形成するための中空のガラスキャピラリを配置し

10

20

30

40

50

、さらにその回りに中実のガラスロッドを充填して光ファイバ母材を形成し、これを線引きするスタックアンドドロ法を用いる。この方法によれば、コア部となるガラスロッドの周囲に空孔を形成するためのガラスキャピラリが自然ときれいな円状に配置するので、製造が容易である。また、これに限らず、ガラスロッド状の光ファイバ母材に、円状に配列するように空孔を穿孔し、これを線引きする方法も適用することができる。

【産業上の利用可能性】

【0049】

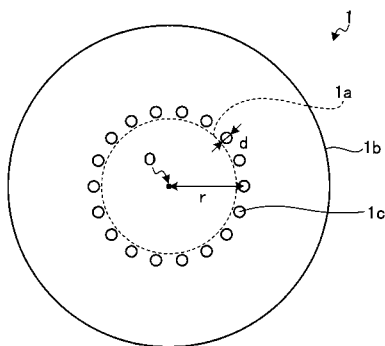
以上のように、本発明に係るホーリーファイバは、光通信用、あるいはパワーデリバリー用等に有用であり、特に、ハイパワー光を伝送する用途に適している。

【符号の説明】

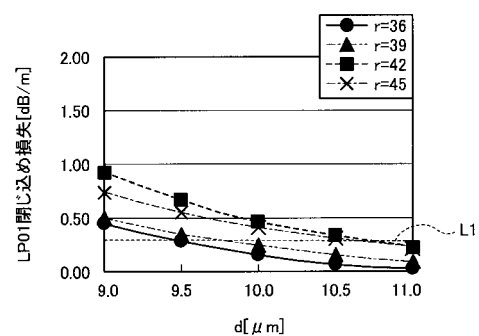
【0050】

- 1、2 ホーリーファイバ
- 1 a、2 a コア部
- 1 b、2 b クラッド部
- 1 c、2 c 空孔
- L 1～L 4 線
- O、O 1 中心

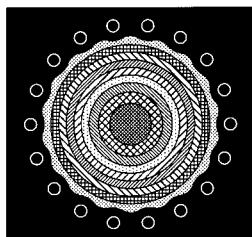
【図 1】



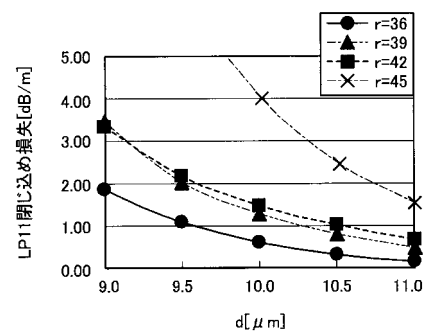
【図 3】



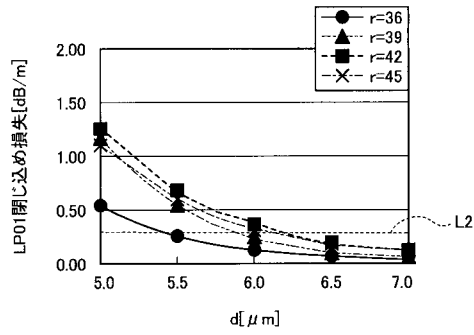
【図 2】



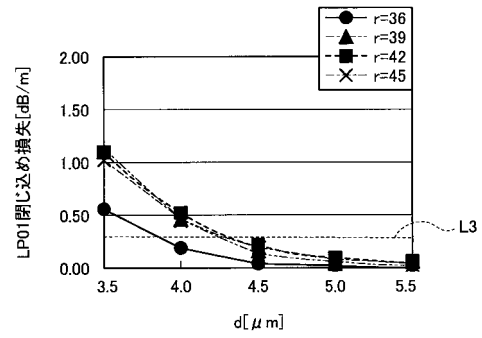
【図 4】



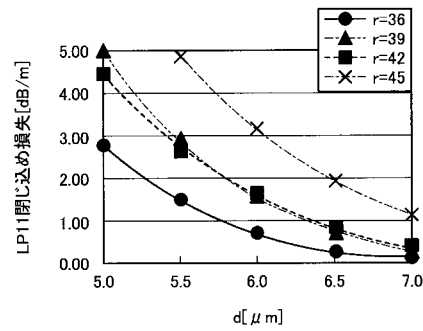
【図 5】



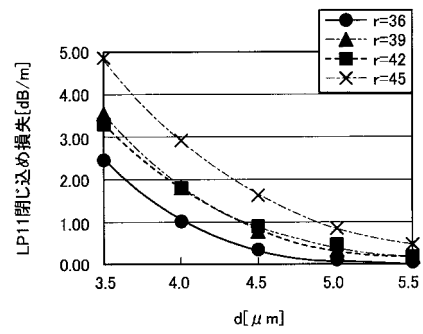
【図 7】



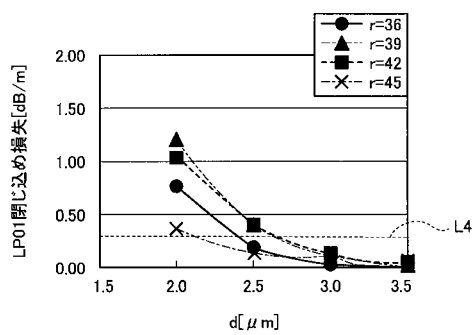
【図 6】



【図 8】



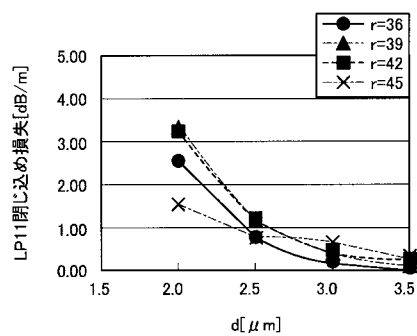
【図 9】



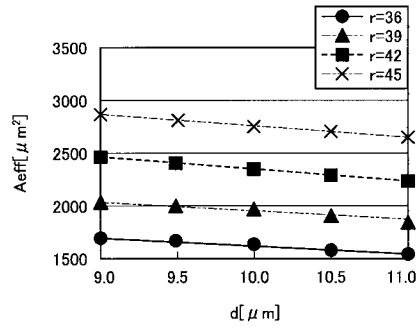
【図 11】

r [μm]	d [μm]			
	$n=12$	$n=18$	$n=24$	$n=36$
36	9.5	5.5	3.9	2.4
39	10.0	6.0	4.3	2.3
42	10.5	6.0	4.4	2.3
45	11.0	6.5	4.5	2.2

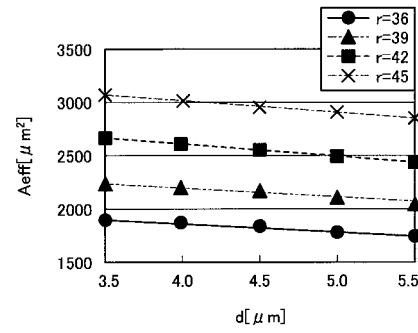
【図 10】



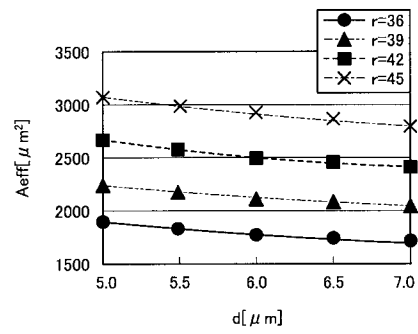
【図 1 2】



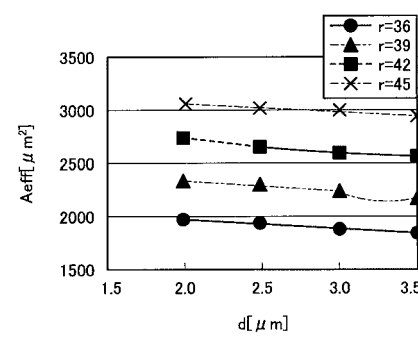
【図 1 4】



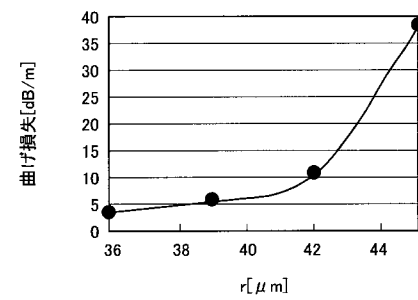
【図 1 3】



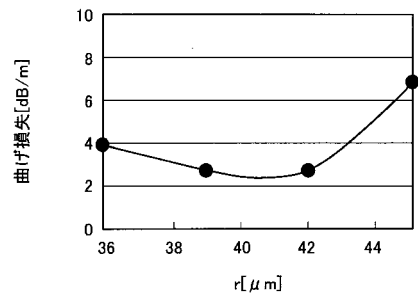
【図 1 5】



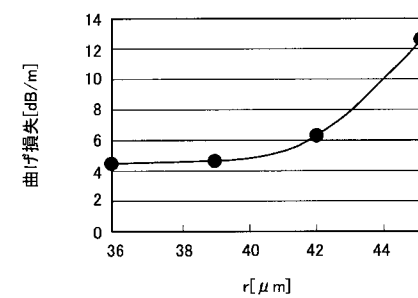
【図 1 6】



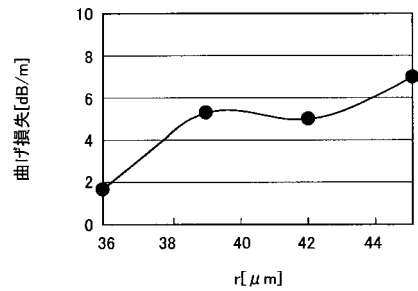
【図 1 8】



【図 1 7】



【図 1 9】



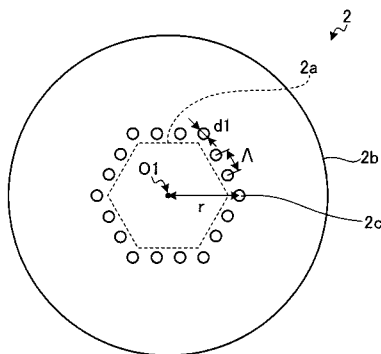
【図 20】

特性	n	d	r	閉じ込め損失		A _{eff}	曲げ損失
				LP01	LP11		半径 100mm
単位		[μm]	[μm]	[dB/m]	[dB/m]	[μm^2]	[dB/m]
計算例1	12	9.5	36	0.28	1.09	1639	3.1
計算例2	12	10.0	39	0.15	1.27	1943	5.7
計算例3	12	11.0	45	0.23	1.55	2631	38.1
計算例4	18	5.5	36	0.25	1.28	1812	4.4
計算例5	18	6.0	39	0.23	1.43	2111	4.5
計算例6	18	6.5	45	0.18	1.96	2844	12.3
計算例7	18	7.0	45	0.11	1.14	2794	3.1
計算例8	24	4.9	48	0.28	1.02	3342	9.2
計算例9	24	3.9	36	0.26	1.22	1855	3.9
計算例10	24	4.3	39	0.26	1.14	2176	2.8
計算例11	24	4.4	42	0.27	1.00	2556	2.9
計算例12	24	4.5	45	0.21	1.59	2936	6.8
計算例13	36	2.4	36	0.28	1.04	1936	1.7
計算例14	36	2.2	45	0.28	1.21	3034	7.1

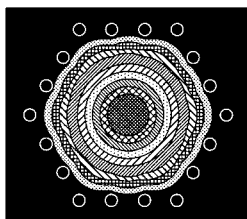
【図 21】

特性	n	d	r	閉じ込め損失		曲げ損失	A _{eff}	最短長さ
				LP01	LP11	半径 100mm		
単位		[μm]	[μm]	[dB/m]	[dB/m]	[dB/m]	[μm^2]	[m]
計算例15	24	4.5	48	4.11×10^{-1}	1.53	13.3	3395	0.6
計算例16	24	5.5	48	1.10×10^{-1}	3.38×10^{-1}	3.49	3264	3.1
計算例17	24	6.5	48	2.76×10^{-2}	5.77×10^{-2}	1.30	3166	23.2
計算例18	24	7.5	48	3.90×10^{-3}	6.59×10^{-3}	7.96×10^{-2}	3080	260.6
計算例19	24	4.5	45	0.21	1.59	6.82	2936	0.5
計算例20	24	5.5	45	3.94×10^{-2}	3.95×10^{-1}	1.61	2834	2.0
計算例21	24	6.5	45	5.99×10^{-3}	5.35×10^{-2}	3.28×10^{-1}	2749	14.5
計算例22	24	7.5	45	6.16×10^{-4}	3.94×10^{-3}	2.14×10^{-2}	2672	210.6
計算例23	24	4.0	42	5.19×10^{-1}	1.75	7.41	2596	0.6
計算例24	24	5.0	42	9.16×10^{-2}	3.63×10^{-1}	1.64	2484	2.6
計算例25	24	6.0	42	1.31×10^{-2}	4.32×10^{-2}	2.51×10^{-1}	2403	23.2
計算例26	24	7.0	42	1.10×10^{-3}	3.04×10^{-3}	1.77×10^{-2}	2330	360.4
計算例27	24	4.0	39	4.76×10^{-1}	1.81	5.15	2210	0.5
計算例28	24	5.0	39	5.49×10^{-2}	3.10×10^{-1}	7.84×10^{-1}	2114	2.7
計算例29	24	6.0	39	4.34×10^{-3}	2.75×10^{-2}	6.93×10^{-2}	2043	30.2
計算例30	24	7.0	39	1.77×10^{-4}	8.22×10^{-4}	2.53×10^{-3}	1978	1085.6
計算例31	24	4.0	36	2.01×10^{-1}	9.74×10^{-1}	3.83	1850	0.9
計算例32	24	5.0	36	2.18×10^{-2}	1.01×10^{-1}	2.66×10^{-1}	1776	8.8
計算例33	24	6.0	36	1.48×10^{-3}	5.20×10^{-3}	1.36×10^{-2}	1714	188.4
計算例34	23	7.5	46	1.96×10^{-3}	1.39×10^{-2}	5.64×10^{-2}	2831	58.6
計算例35	36	2.0	45	1.17	3.43	22.50	3175	0.3
計算例36	36	3.0	45	1.12×10^{-1}	6.31×10^{-1}	1.99	2972	1.3
計算例37	36	4.0	45	8.87×10^{-3}	6.82×10^{-2}	1.74×10^{-1}	2878	11.8
計算例38	36	5.0	45	2.94×10^{-4}	2.97×10^{-3}	1.01×10^{-2}	2798	261.3
計算例39	18	5.5	45	6.03×10^{-1}	4.78	27.50	2970	0.2
計算例40	18	6.5	45	1.84×10^{-1}	1.96	12.31	2844	0.4
計算例41	18	7.5	45	6.29×10^{-2}	4.97×10^{-1}	2.87	2728	1.6
計算例42	18	8.5	45	1.75×10^{-2}	1.14×10^{-1}	7.12×10^{-1}	2663	7.3
計算例43	18	9.5	45	3.55×10^{-3}	1.80×10^{-2}	1.25×10^{-1}	2589	48.4
計算例44	18	10.5	45	4.79×10^{-4}	2.15×10^{-3}	1.46×10^{-2}	2515	418.6

【図 22】



【図 23】



フロントページの続き

- (72)発明者 武笠 和則
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
- (72)発明者 八木 健
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

審査官 大石 敏弘

- (56)参考文献 特開2003-021759 (JP, A)
飯澤謙人他, 大きな実効コア断面積を有する低曲げ損失単一モード Leakage Channel Fiber の設計, 2008年電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス1, 2008年 3月5日, 第275頁, C-3-94

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 6/00
G02B 6/02-6/036
IEEE Xplore
CiNii
JST7580 (JDreamII)
JSTPlus (JDreamII)