

(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2011-197667

(P2011-197667A)

(43) 公開日 平成23年10月6日(2011.10.6)

(51) Int.Cl.
G02B 6/036 (2006.01)

F I
G02B 6/22

テーマコード(参考)
2H150

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2011-40603 (P2011-40603)
 (22) 出願日 平成23年2月25日(2011.2.25)
 (31) 優先権主張番号 特願2010-42300 (P2010-42300)
 (32) 優先日 平成22年2月26日(2010.2.26)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
 (74) 代理人 100088155
弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100108257
弁理士 近藤 伊知良
 (72) 発明者 山本 義典
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 (72) 発明者 平野 正晃
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 最終頁に続く

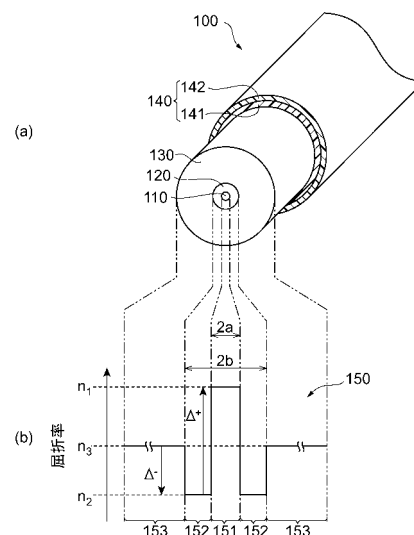
(54) 【発明の名称】 光ファイバ及びそれを含む光通信システム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 ラマン増幅を行う光通信システムに適用可能な、OSNRの改善と曲げ損失の抑制の両立を可能にする光ファイバを提供する。

【解決手段】 光ファイバ100は、コア110、低屈折率の内側クラッド120、外側クラッド130により構成されたディプレスト型屈折率プロファイルを持ち、波長1550nmにおいて $110\mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積 A_{eff} と、 $1.3\mu\text{m}$ 以上、かつ、 $1.53\mu\text{m}$ 以下のファイバカットオフ波長 c を有する石英系の光ファイバである。ディプレスト型屈折率プロファイルは、コア110の外径に対する内側クラッド120の外径の比 $R_a = 2b/2a$ が2.5以上、かつ、3.5以下に設定されるとともに、外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差 Δ_1 が、波長1550nmにおける曲げ損失が最小となる比屈折率差 Δ_{min} 以上、かつ、 $\Delta_{\text{min}} + 0.06\%$ 以下となる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長 1550 nm において 0.19 dB/km 以下の伝送損失と、波長 1550 nm において $110 \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積 A_{eff} と、 $1.3 \mu\text{m}$ 以上、かつ、 $1.53 \mu\text{m}$ 以下のファイバカットオフ波長 λ_c を有する石英系の光ファイバであって、

屈折率 n_1 、外径 $2a$ を有する純石英からなるコアと、前記コアの外周に設けられるとともに屈折率 n_2 、外径 $2b$ を有する内側クラッドと、前記内側クラッドの外周に設けられるとともに屈折率 n_3 を有する外側クラッドを備え、

前記屈折率 n_3 は、前記屈折率 n_1 よりも小さく、かつ、前記屈折率 n_2 よりも大きく、

前記コアの外径に対する前記内側クラッドの外径の比 $R_a (= 2b / 2a)$ は、2.5 以上、かつ、3.5 以下であり、

使用波長上限で基底モードが漏洩開始する際の対応する基底モード遮断波長を F_{CUP} とするとき、基底モード遮断波長 F_C は、 F_{CUP} を超える波長になるように設定され、

波長 1550 nm で曲げ損失が最小となる、前記外側クラッドに対する前記内側クラッドの比屈折率差 Δn ($= 100 \times (n_2 - n_3) / n_3$) を Δn_{min} とするとき、前記 Δn は、 Δn_{min} 以上、かつ、 $\Delta n_{\text{min}} + 0.06\%$ 以下となるように設計されている

ことを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】

前記 Δn は、 -0.12% 以上、かつ、 -0.06% 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】

波長 1550 nm における実効断面積 A_{eff} は、 $150 \mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の光ファイバ。

【請求項 4】

波長 1550 nm における実効断面積 A_{eff} は、 $120 \mu\text{m}^2$ 以上、かつ、 $140 \mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の光ファイバ。

【請求項 5】

基底モード遮断波長 F_C は、 2400 nm を越えていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の光ファイバ。

【請求項 6】

請求項 1 又は 2 記載の光ファイバを備えた光通信システム。

【請求項 7】

前記光ファイバ内において、伝搬光をラマン増幅することを特徴とする請求項 6 記載の光通信システム。

【請求項 8】

前記光ファイバは、 $1.45 \mu\text{m}$ 以下のファイバカットオフ波長を有することを特徴とする請求項 6 記載の光通信システム。

【請求項 9】

80 km 以上の中継スパンにおける 2 以上の箇所にも布設され、それぞれがクレーム 1 又は 2 の光ファイバと同じ構造を有する複数の第 1 光ファイバと、

前記中継スパン及びその両端における 4 以上の箇所でも前記第 1 光ファイバと接続された複数の第 2 光ファイバであって、それぞれが波長 1550 nm において $85 \mu\text{m}^2$ 以下の実効断面積 A_{eff} を有するとともに、少なくともいずれかは、前記中継スパンの両端にも布設されるか、又は、前記中継スパン中の 1 箇所に布設された複数の第 2 光ファイバと

を備えた光通信システムにおいて、

前記第 1 光ファイバそれぞれは、波長 1550 nm において 0.19 dB/km 以下の伝送損失と、波長 1550 nm において $110 \mu\text{m}^2$ 以上、かつ、 $150 \mu\text{m}^2$ 以下の実

10

20

30

40

50

効断面積 A_{eff} と、 $1.3 \mu\text{m}$ 以上、かつ、 $1.45 \mu\text{m}$ 以下のファイバカットオフ波長 λ_c を有し、

前記第 1 光ファイバそれぞれにおいて伝搬光をラマン増幅することを特徴とする光通信システム。

【請求項 10】

波長 1625 nm 以下の光を送送するための媒体として、波長 1550 nm において 0.19 dB/km 以下の伝送損失と、波長 1550 nm において $110 \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積 A_{eff} と、 $1.3 \mu\text{m}$ 以上、かつ、 $1.53 \mu\text{m}$ 以下のファイバカットオフ波長 λ_c を有する石英系の光ファイバであって、

屈折率 n_1 、外径 $2a$ を有する純石英からなるコアと、前記コアの外周に設けられるとともに屈折率 n_2 、外径 $2b$ を有する内側クラッドと、前記内側クラッドの外周に設けられるとともに屈折率 n_3 を有する外側クラッドを備え、

前記屈折率 n_3 は、前記屈折率 n_1 よりも小さく、かつ、前記屈折率 n_2 よりも大きく、

前記外側クラッドに対する前記内側クラッドの比屈折率差 Δn ($= 100 \times (n_2 - n_3) / n_3$) は、 -0.12% 以上、かつ、 -0.06% 以下であり、

前記コアの外径に対する前記内側クラッドの外径の比 R_a ($= 2b / 2a$) は、 2.5 以上、かつ、 3.5 以下である

ことを特徴とする光ファイバ。

【請求項 11】

波長 1550 nm における実効断面積 A_{eff} は、 $150 \mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする請求項 10 記載の光ファイバ。

【請求項 12】

波長 1550 nm における実効断面積 A_{eff} は、 $120 \mu\text{m}^2$ 以上、かつ、 $140 \mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする請求項 10 記載の光ファイバ。

【請求項 13】

基底モード遮断波長 λ_{fc} は、 2400 nm を越えていることを特徴とする請求項 10 記載の光ファイバ。

【請求項 14】

請求項 10 記載の光ファイバを備えた光通信システム。

【請求項 15】

前記光ファイバ内において、伝搬光をラマン増幅することを特徴とする請求項 14 記載の光通信システム。

【請求項 16】

前記光ファイバは、 $1.45 \mu\text{m}$ 以下のファイバカットオフ波長を有することを特徴とする請求項 14 記載の光通信システム。

【請求項 17】

80 km 以上の中継スパンにおける 2 以上の箇所 に 布設された複数の第 1 光ファイバと、前記中継スパン及びその両端における 4 以上の箇所 で前記第 1 光ファイバと接続された複数の第 2 光ファイバであって、それぞれが波長 1550 nm において $85 \mu\text{m}^2$ 以下の実効断面積 A_{eff} を有するとともに、少なくともいずれかは、前記中継スパンの両端に布設されるか、又は、前記中継スパン中の 1 箇所 に 布設された複数の第 2 光ファイバとを備えた光通信システムにおいて、

前記第 1 光ファイバそれぞれは、波長 1550 nm において 0.19 dB/km 以下の伝送損失と、波長 1550 nm において $110 \mu\text{m}^2$ 以上、かつ、 $150 \mu\text{m}^2$ 以下の実効断面積 A_{eff} と、 $1.3 \mu\text{m}$ 以上、かつ、 $1.45 \mu\text{m}$ 以下のファイバカットオフ波長 λ_c を有し、

前記第 1 光ファイバそれぞれにおいて伝搬光をラマン増幅することを特徴とする光通信システム。

【請求項 18】

10

20

30

40

50

前記第1光ファイバそれぞれは、屈折率 n_1 、外径 $2a$ を有する純石英からなるコアと、前記コアの外周に設けられるとともに屈折率 n_2 、外径 $2b$ を有する内側クラッドと、前記内側クラッドの外周に設けられるとともに屈折率 n_3 を有する外側クラッドを有し、前記屈折率 n_3 は、前記屈折率 n_1 よりも小さく、かつ、前記屈折率 n_2 よりも大きく

、前記コアの外径に対する前記内側クラッドの外径の比 R_a は、2.5以上、かつ、3.5以下であり、

使用波長上限で基底モードが漏洩開始する際の対応する基底モード遮断波長を F_{CUp} とするとき、基底モード遮断波長 F_C は、 F_{CUp} を超える波長になるように設定され、

波長 1550 nm で曲げ損失が最小となる、前記外側クラッドに対する前記内側クラッドの比屈折率差 Δn ($= 100 \times (n_2 - n_3) / n_3$) を Δn_{min} とするとき、前記 Δn は、 Δn_{min} 以上、かつ、 $\Delta n_{min} + 0.06\%$ 以下となるように設計されていることを特徴とする請求項17記載の光通信システム。

【請求項19】

前記第1光ファイバそれぞれは、波長 1625 nm 以下の光を伝搬するための媒体であって、屈折率 n_1 、外径 $2a$ を有する純石英からなるコアと、前記コアの外周に設けられるとともに屈折率 n_2 、外径 $2b$ を有する内側クラッドと、前記内側クラッドの外周に設けられるとともに屈折率 n_3 を有する外側クラッドを有し、

前記屈折率 n_3 は、前記屈折率 n_1 よりも小さく、かつ、前記屈折率 n_2 よりも大きく

、前記外側クラッドに対する前記内側クラッドの比屈折率差 Δn ($= 100 \times (n_2 - n_3) / n_3$) は、 -0.12% 以上、かつ、 -0.06% 以下であり、

前記コアの外径に対する前記内側クラッドの外径の比 R_a は、2.5以上、かつ、3.5以下であることを特徴とする請求項17記載の光通信システム。

【請求項20】

前記実効断面積 A_{eff} は、 $120\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上、かつ、 $140\text{ }\mu\text{m}^2$ 以下であることを特徴とする請求項17～19のいずれか一項記載の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ラマン増幅を用いた長中継距離の波長多重光通信システムにおいて、光信号雑音比（以下、OSNR: Optical Signal-to-Noise Ratioという）を改善する光ファイバ、及びこのような光ファイバが適用された光通信システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

光通信システムにおいては、近年、デジタルコヒーレント受信技術に代表されるように、受信機においてデジタル信号処理(DSP)を用いて分散による波形歪を補償する技術が進展している。これに伴い、光伝送路における分散値の改善よりは、むしろOSNRの改善要求が急速に高まってきている。通信システムにおける中継器間隔を固定した状態で、信号品質を劣化させずに伝送速度を高速化するには、OSNRを増加させなければならない。例えば、伝送速度を2倍に高速化するには、OSNRを2倍に増加(3dB増加)させる必要がある。また、伝送速度を維持した状態で中継距離を長くする場合も、OSNRを増加させなければならない。例えば、中継器間隔を5km長くするには、OSNRを1dB増加させる必要がある。

【0003】

光通信システムのOSNRを増加させるには、伝送媒体である光ファイバの実効断面積 A_{eff} を拡大すること、及び、伝送損失を低減することが効果的である。実効断面積 A_{eff} を大きくすることで、大きなパワーの信号光が光ファイバを伝搬しても非線形光学現象の発生を十分に抑制することができる。そのため、実効断面積 A_{eff} が拡大された

10

20

30

40

50

光ファイバは、より大きな入射信号光パワーを許容することができる。入射信号光パワーが大きいと、その分、受信信号光パワーも大きいので、OSNRを増加させることができる。

【0004】

また、伝送損失が低いと、入射信号光パワーが同じでも受信端でより大きな信号光パワーを受信することができる。この場合も、OSNRを増加させることができる。

【0005】

以下の特許文献1には、 $110\ \mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積 A_{eff} 、 $0.180\ \text{dB/km}$ 以下の伝送損失を有する光ファイバが開示されている。この光ファイバは、ディプレストクラッド型屈折率プロファイルを有し、光軸中心から順に、コア、内側クラッド、外側クラッドで構成されている。コア外径 $2a$ は $11.5 \sim 23.0\ \mu\text{m}$ 、コアに対する内側クラッドの外径比 $2b/2a$ は $1.1 \sim 7$ 、外側クラッドに対するコアの比屈折率差 $n_1^2 - n_2^2$ は $0.15\% \sim 0.30\%$ 、外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差 $n_2^2 - n_3^2$ は $-0.15\% \sim -0.01\%$ である。

10

【0006】

以下の非特許文献1には、 $120\ \mu\text{m}^2$ の実効断面積 A_{eff} 、 $0.183\ \text{dB/km}$ の伝送損失を有する光ファイバが開示されている。この光ファイバは、トレンチ型屈折率プロファイルを有している。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0007】

【特許文献1】特許第4293156号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】M. Bigot-Astruc et al., "Trench-Assisted Profiles for Large-Effective-Area Single Mode Fibers", Mo.4.B.1, ECOC2008

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

発明者らは、上述の従来技術について検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、実際の光通信システムでは、伝送用光ファイバの両端は中継器や送受信機などの機器と接続されている。機器の両端は汎用シングルモードファイバ（以下、SMF: Single-Mode Optical Fiberという）又は非ゼロ分散シフトファイバ（以下、NZDSF: Non-Zero Dispersion-Shifted Optical Fiberという）などの光ファイバで構成されており、このような光ファイバが融着やコネクタ接続などにより伝送用光ファイバに接続される。あるいは、伝送用光ファイバが、伝送路の途中で種類の異なる他の伝送用光ファイバと接続されることもある。伝送用光ファイバの実効断面積 A_{eff} が、機器両端の光ファイバや他の伝送用光ファイバに比べて大きすぎると、接続損失が大きくなるため、当該光通信システム全体のOSNRが劣化してしまう。

30

【0010】

また、長距離光通信システムでは分布ラマン増幅がよく適用されるが、伝送用光ファイバの実効断面積 A_{eff} が大きいとラマン増幅効率が低下してしまう。そのため、所望のゲインを得るために巨大なポンプ光パワーが必要になってしまう。以上のことから、伝送用光ファイバの実効断面積 A_{eff} は、大きければ大きいほど良いのではなく、最適な値に設定されなければならない。上述の先行技術では、接続損失も考慮してOSNRを改善できるように実効断面積 A_{eff} を最適化した光ファイバは報告されていない。

40

【0011】

一般に、光ファイバにおける実効断面積 A_{eff} の拡大は、曲げ損失の増加を伴う。上記特許文献1に開示された光ファイバでは、曲げ損失を抑制するためにディプレストクラッド型屈折率プロファイルを採用しているが、このプロファイルでは基底モード遮断によ

50

る漏洩損失が起こらないように注意してプロファイルを設計しなければならない。上記特許文献1は、「外側クラッドに対するコアの比屈折率差 n^+ 及び内側クラッドの比屈折率差 n^- それぞれの絶対値が互いに等しい場合には基底モード光が光ファイバを伝搬しない」旨、記載している（上記特許文献1の段落番号「0047」参照）。しかしながら、これは、使用波長で基底モード遮断が起きないようにしているだけである。実際には、基底モード遮断波長よりも短い波長で基底モード伝搬光の漏洩が始まり、伝送損失が増大する。使用波長帯域全体（1530nm～1625nm）で、基底モード遮断による漏洩損失を抑制する必要がある。

【0012】

本発明は上述のような課題を解決するためになされたものであり、機器や他種の光ファイバとの接続構造を有するとともにラマン増幅を行う光通信システムと、それに適用可能な光ファイバを提供することを目的としている。特に、目的の光ファイバは、OSNRの改善を可能にするための構造を有する光ファイバであって、ディプレストクラッド型屈折率プロファイルを持ち、基底モード遮断による漏洩損失を回避しつつ曲げ損失も抑制可能にする。なお、当該光通信システム全体としては、デジタルコヒーレント受信技術など、受信機で分散による波形歪を補償する技術を適用することで、光ファイバの分散値の改善を考慮する必要がなくなっている。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明に係る光ファイバは、光学特性として、波長1550nmにおいて0.19dB/km以下の伝送損失と、波長1550nmにおいて $110\mu\text{m}^2$ 以上の実効断面積 A_{eff} と、 $1.3\mu\text{m}$ 以上、かつ、 $1.53\mu\text{m}$ 以下のファイバカットオフ波長 λ_c を有する石英系の光ファイバである。また、当該光ファイバは、ディプレストクラッド型屈折率プロファイルを実現するため、屈折率 n_1 、外径 $2a$ を有する純石英からなるコアと、コアの外周に設けられるとともに屈折率 n_2 、外径 $2b$ を有する内側クラッドと、内側クラッドの外周に設けられるとともに屈折率 n_3 を有する外側クラッドを備える。

【0014】

本発明に係る光ファイバにおいて、屈折率 n_3 は、 $n_1 > n_3 > n_2$ （条件1）を満たすのが好ましい。外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差 Δn_{23} （ $=100 \times (n_2 - n_3) / n_3$ ）は、 -0.12% 以上、 -0.06% 以下（条件2）を満たすのが好ましい。また、コアの外径に対する内側クラッドの外径の比 R_a （ $=2b / 2a$ ）は、 $2.5 < R_a < 3.5$ （条件3）を満たすのが好ましい。

【0015】

なお、本発明に係る光ファイバは、波長1625nm以下の光を伝搬するための媒体に適用可能である。当該光ファイバは、低損失の純石英コアを有するとともに、曲げ損失に強いディプレストクラッド型屈折率プロファイルを有する。当該光ファイバは、基底モード遮断波長 λ_{fc} として、2400nm以上に設定することにより、漏洩損失の低減を実現する。

【0016】

本発明に係る光ファイバは、上記光学特性及びディプレストクラッド型屈折率プロファイルを備えるとともに、上記条件1及び条件3の他、以下の2条件を満たしてもよい。すなわち、使用波長上限での基底モードが漏洩開始する際の基底モード遮断波長を λ_{fcu} とすると、基底モード遮断波長 λ_{fc} は、 λ_{fcu} を超える波長になるように設定される（条件4）。また、波長1550nmにおける曲げ損失が最小となる、外側クラッドに対する内側クラッドの比屈折率差 Δn_{23} （ $=100 \times (n_2 - n_3) / n_3$ ）を Δn_{23min} とすると、 Δn_{23} は、 Δn_{23min} 以上、かつ、 $\Delta n_{23min} + 0.006\%$ 以下となるように設計される（条件5）。

【0017】

なお、本発明に係る光ファイバにおいて、上限波長として1625nmまでの伝送を可能にするため、波長1550nmにおける実効断面積 A_{eff} は、 $150\mu\text{m}^2$ 以下であ

10

20

30

40

50

ってもよい。当該光ファイバが適用される光通信システムの中継スパンでは、少なくとも2以上の箇所での接続を想定し、かつ、この中継スパンにおいてラマン増幅を行うことを想定しており、当該光通信システム全体において1 dB以上のOSNRが確保される。また、よりよいOSNRを確保するため、波長1550 nmにおける実効断面積 A_{eff} は、 $120 \mu m^2$ 以上、かつ、 $140 \mu m^2$ 以下であってもよい。

【0018】

本発明に係る光通信システムは、上述のような構造を備えた光ファイバ（本発明に係る光ファイバ）を備える。また、当該光通信システムは、この光ファイバ内において、伝搬光をラマン増幅する。この場合、ラマン増幅用の励起光をシングルモード伝搬させる条件として、光ファイバは、 $1.45 \mu m$ 以下のファイバカットオフ波長を有するのが好ましい。

10

【0019】

本発明に係る光通信システムは、複数の第1の光ファイバと複数の第2光ファイバにより、80 km以上の中継スパン（長中継スパン）を有する光通信システムを構成し得る。この場合、複数の第1光ファイバは、80 km以上の中継スパンにおける2以上の箇所に布設される。複数の第2光ファイバは、中継スパンにおける4以上の箇所で第1光ファイバと接続される。また、複数の第2光ファイバは、それぞれが波長1550 nmにおいて $85 \mu m^2$ 以下の実効断面積 A_{eff} を有する。複数の第2光ファイバの少なくともいずれかは、中継スパンの両端に布設されるか、又は、中継スパン中の1箇所に布設される。すなわち、当該光通信システムでは、第1光ファイバが、小さい実効断面積 A_{eff} が $85 \mu m^2$ 以下の第2光ファイバと4以上の箇所で接続されることを想定しており、この第1光ファイバが $110 \mu m^2 \sim 150 \mu m^2$ の大きな実効断面積 A_{eff} を有することにより、より高パワーのラマン増幅用の励起光の入力を可能にする一方、第1光ファイバが波長1550 nmにおいて 0.19 dB/km 以下の低伝送損失を有することにより、長中継スパンにおける光伝送が可能になる。その結果、当該光通信システム全体において1 dB以上のOSNRが達成可能になる。

20

【0020】

第1光ファイバそれぞれは、波長1550 nmにおいて 0.19 dB/km 以下の伝送損失と、波長1550 nmにおいて $110 \mu m^2$ 以上、かつ、 $150 \mu m^2$ 以下の実効断面積 A_{eff} と、 $1.3 \mu m$ 以上、かつ、 $1.45 \mu m$ 以下のファイバカットオフ波長 c を有するのが好ましい。この場合、当該光通信システムは、第1光ファイバそれぞれにおいて伝搬光をラマン増幅する。

30

【0021】

第1光ファイバそれぞれは、ディプレトクラッド型屈折率プロファイルを実現するため、屈折率 n_1 、外径 $2a$ を有する純石英からなるコアと、前記コアの外周に設けられるとともに屈折率 n_2 、外径 $2b$ を有する内側クラッドと、前記内側クラッドの外周に設けられるとともに屈折率 n_3 を有する外側クラッドを有してもよい。また、屈折率 n_3 は、上記条件1を満たすのが好ましい。コアの外径に対する内側クラッドの外径の比 R_a は、上記条件3を満たすのが好ましい。さらに、第1光ファイバそれぞれは、上記条件4及び条件5をともに満たすのが好ましい。

40

【0022】

さらに、本発明に係る光通信システムに適用される第1光ファイバそれぞれは、波長1625 nm以下の光を伝搬するための媒体であって、上記ディプレトクラッド型屈折率プロファイルを有し、上記条件1、条件2及び条件3を満たすのが好ましい。この場合、第1光ファイバそれぞれの実効断面積 A_{eff} は、 $120 \mu m^2$ 以上、かつ、 $140 \mu m^2$ 以下であるのが好ましい。

【発明の効果】**【0023】**

本発明によれば、ラマン増幅が行われる光通信システムにおけるOSNRが改善されるとともに、基底モード遮断による漏洩損失の回避と、曲げ損失の抑制の両立が可能になる

50

。すなわち、光通信システム全体としては、デジタルコヒーレント受信技術など、受信端で分散による波形歪を補償する技術を適用することで、分散値の改善を目的としない、OSNRの改善及び曲げ損失の抑制に特化した本願発明に係る光ファイバは有用となる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】実効断面積 A_{eff} と OSNR 改善量の関係を示す図である。

【図2】本発明に係る光ファイバの一実施形態の断面構造を示す図、及びその屈折率プロファイルである。

【図3】漏洩損失が発生し始める波長と基底モード遮断波長との関係を示すグラフである。

10

【図4】直径 20 mm での曲げ損失と基底モード遮断波長との関係を示すグラフである。

【図5】本実施形態に係る光ファイバ（実施例 1～15）と比較例に係る光ファイバの構造パラメータ及び光学特性を纏めた表である。

【図6】本実施形態に係る光ファイバの複数サンプルについて、被覆樹脂のヤング率及び実効断面積 A_{eff} を変えたときのマイクロベンドロスを纏めた表である。

【図7】中継スパンにおける接続状態の差に起因した、シングルモードファイバ（SMF）に対する OSNR 改善量を、実効断面積 A_{eff} と伝送損失の関係で示す図である。

【図8】本実施形態に係る光ファイバの構造決定動作を説明するためのフローチャートである。

【図9】本発明に係る光通信システムの各実施形態の構成を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、この発明に係る光ファイバ及び光通信システムの各実施形態を、図1～図9を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一符号を付して重複する説明を省略する。

【0026】

まず、光通信システムの伝送用光ファイバに適用可能な、本実施形態に係る光ファイバの実効断面積 A_{eff} の最適値について説明する。すなわち、光ファイバの特性の観点から、OSNRは近似的に以下の式(1)で表される。

【数1】

30

$$OSNR(dB) \propto 10 \log(A_{eff} \times \alpha(1/km)) - \alpha_{sp}(dB) \times N - \alpha(dB/km) \times L(km) \quad (1)$$

ここで、 A_{eff} は信号光波長における光ファイバの実効断面積、 α は信号光波長における伝送損失、 α_{sp} は接続損失、 N は1中継スパン当たりの接続箇所数（中継スパンの両端の接続箇所を含む）、 L は1中継スパン当たりの光ファイバの長さである。

【0027】

上記式(1)の第一項は、光ファイバ中で発生する非線形光学現象の一つである自己位相変調（SPM：Self-Phase Modulation）による非線形位相シフト量を一定としたときの許容入射光パワーに対応している。非線形位相シフト量 ϕ_{SPM} は以下の式(2)で与えられる。

40

【数2】

$$\phi_{SPM} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{n_2}{A_{eff}} \cdot L_{eff} \cdot P_{in} \quad \dots(2)$$

ここで、 λ は信号光波長、 n_2 は光ファイバの非線形屈折率、 L_{eff} は光ファイバの実効長、 P_{in} は入射光パワーである。

【0028】

実効長 L_{eff} は、十分にファイバ長が長ければ、例えば 50 km 以上であり、 L_{eff}

50

$\alpha_{sp} = 1 / (1 / km)$ で近似できる。上記式 (2) より、非線形屈折率 n_2 を一定、非線形位相シフト量 α_{sp} を一定としたときの許容入射パワーは、 $A_{eff} (\mu m^2) \times (1 / km)$ に比例して大きくなる。

【0029】

上記式 (1) の第二項は、光ファイバの接続損失に対応しており、接続される二種類の光ファイバ間におけるモードフィールド径 (以下、MFD: Mode Field Diameter という) の不整合のみ考慮すると、接続損失 (dB) は以下の式 (3) で見積もることができる。

【数3】

$$\alpha_{sp} (dB) = 10 \log \left[\left(\frac{2W_1 W_2}{W_1^2 + W_2^2} \right)^2 \right] \dots (3)$$

10

ここで、 W_1 は本実施形態に係る光ファイバの MFD、 W_2 は機器両端の光ファイバ又は他の伝送用光ファイバの MFD である。

【0030】

他種の伝送用光ファイバとしては、例えば、波長 1550 nm で、 $A_{eff} = 80 \mu m^2$ 、MFD = 10.1 μm のシングルモードファイバ (SMF: Single Mode Fiber)、又は $A_{eff} = 50 \sim 70 \mu m^2$ 、MFD = 8 ~ 10 μm の分散シフトファイバ (DSF: Dispersion-Shifted Fiber) や非ゼロ分散シフトファイバ (NZDSF: Non-Zero Dispersion Shifted Fiber) が用いられる。上記式 (1) の第二項より、 A_{eff} が機器両端の光ファイバや他の伝送用ファイバに比べて大きいと MFD 不整合が大きくなり、接続損失が大きくなる。なお、上記式 (1) の第三項は、光ファイバの伝送損失を示す。以下、波長に依存する特性は、特に波長を示さない限り、波長 1550 nm におけるものとする。

20

【0031】

図 1 は、実効断面積 A_{eff} と OSNR 改善量の関係を示す図である。なお、図 1 には、1 中継スパン中の接続箇所数 N が 0、2、4 箇所の各接続構成の OSNR を示すグラフが示されている。図 1 において、縦軸は、伝送用ファイバとして SMF ($A_{eff} = 80 \mu m^2$ 、伝送損失 = 0.190 dB/km) を使用した場合に対する OSNR の改善量を示す。なお、図 1 では、実効断面積 A_{eff} が OSNR 改善量に与える影響を評価するため、伝送損失は全て SMF と同じにしてある。また、上記式 (3) の W_2 は、SMF の MFD であって、具体的には 10.1 μm である。

30

【0032】

図 1 より、接続箇所が無い場合 ($N = 0$)、実効断面積 A_{eff} が大きいほど OSNR を改善させることができる。次に、1 中継スパンの両端に接続箇所が 2 箇所存在する場合 ($N = 2$) は、伝送用ファイバの両端の中継器などの機器内の光ファイバが接続されている状態にあたる (図 9 (a) 参照)。この場合、実効断面積 A_{eff} が 150 μm^2 以上のとき OSNR 改善量はほぼ飽和する。そのため、これ以上実効断面積 A_{eff} を拡大しても OSNR 改善効果は小さい。また、分布ラマン増幅のポンプ光パワーを実用的な範囲内 (数ワット以下) に抑えるためには、実効断面積 A_{eff} は 150 μm^2 以下としなければならない。したがって、OSNR 改善量を 1 dB 以上にするには、実効断面積 A_{eff} が 110 ~ 150 μm^2 の範囲にするのがよい。1 中継スパンにおける接続箇所が 4 箇所存在する場合は、さらに、中継スパンの途中で当該伝送用光ファイバと他種の伝送用ファイバとの接続が 2 箇所存在する場合に相当する (図 9 (b) 参照)。この場合、OSNR 改善量は、実効断面積 A_{eff} が 135 μm^2 のとき最大値となる。また、OSNR 改善量が 1 dB 以上となるのは、実効断面積 A_{eff} が 110 ~ 150 μm^2 の範囲である。これはラマン増幅のポンプ光パワーが実用的な範囲内である。

40

【0033】

50

図2は、本発明に係る光ファイバの一実施形態の断面構造を示す図、及びその屈折率プロファイルである。本実施形態に係る光ファイバ100は、図2(a)に示すように、所定軸に沿って伸びた、屈折率 n_1 、外径 $2a$ を有するコア110と、コア110の外周に設けられた、屈折率 n_2 ($< n_1$)、外径 $2b$ を有する内側クラッド120と、内側クラッド120の外周に設けられた、屈折率 n_3 ($< n_1$ 、 $> n_2$)を有する外側クラッド130と、外側クラッド130の外周に設けられた被覆樹脂140を備える。なお、被覆樹脂140は、外側クラッド140の外周に設けられたプライマリ被覆樹脂141と、プライマリ被覆樹脂141の外周に設けられたセカンダリ被覆樹脂142から構成されている。

【0034】

また、図2(b)には、図2(a)に示された光ファイバ100のうちガラス領域の屈折率プロファイル150が示されている。この屈折率プロファイル150において、領域151はコア110の屈折率を示し、領域152は内側クラッド120の屈折率を示し、領域153は外側クラッド130の屈折率を示す。

【0035】

このような屈折率プロファイル150の特徴として、同じ実効断面積 A_{eff} を有する光ファイバ間であれば、屈折率プロファイル150を有する光ファイバの方がステップインデックス型屈折率プロファイルを有する光ファイバよりも曲げ損失を低く抑えることができる。ところが、屈折率プロファイル150を有する光ファイバでは、波長が長くなると基底モード光がコアからクラッドへと漏洩し始め、ある波長で基底モード遮断を起こすことが知られている。なお、ステップインデックス型屈折率プロファイルを有する光ファイバでは、基底モード遮断は無いが、曲げ損失が大きい。

【0036】

図3は、漏洩損失が発生し始める波長 L_K (nm)と基底モード遮断波長 F_C (nm)との関係を示すグラフである。ここで、波長 L_K は、基底モードの漏洩損失が、ステップインデックス型屈折率プロファイルを有するとともに中心コアが実質的に純シリカである光ファイバにおける伝送損失(dB/km)の20%以上となる波長と定義する。光通信に利用されるCバンド~Lバンド(1530~1625nm:本実施形態に係る光通信システムにおける使用波長帯域)の波長帯全てで漏洩損失を起こさないようにする(波長 L_K を1625nm以上にする)ためには、図3より、規定モード遮断波長 F_C を少なくとも2400nm以上にする必要がある。なお、図3中に示された#1は、後述する図5の表中に示された比較例を示す。また、図3に示すように、伝送損失が実用的に低い領域で、漏洩損失が発生し始める波長と基底モード遮断波長との関係は、本願明細書において初めて特定されたものである。従来、基底モード遮断波長を長くする方が漏洩損失を回避するのに良いことは知られていたが、実際に漏洩損失がいくらの波長から出始めるかは、ファイバを作ってみないと分からなかった。これに対して本願発明によれば、使用波長範囲を設定した時に、具体的に基底モード遮断波長をいくら以上にすればよいかを特定できたので、従来と比較してファイバ設計が容易になったと言える。

【0037】

図4は、直径20mmでの曲げ損失と基底モード遮断波長との関係を示すグラフである。具体的には、外側クラッド130に対する内側クラッド120の比屈折率差 Δn 、コア110の外径に対する内側クラッド120の外径の比($2b/2a$)を変えたときの、基底モード遮断波長 F_C (nm)と直径20mmでの曲げ損失との関係が示されている。この図4では、内側クラッド120に対するコア110の比屈折率差 Δn 及びコア110の外径 $2a$ は、実効断面積 A_{eff} が $135\mu m^2$ 、LP11モードのカットオフ波長 c が1350nmとなるように調整されている。

【0038】

ラマン増幅の場合、励起光波長の場合でもシングルモードを実現するためには、ファイバカットオフ波長は $1.45\mu m$ 以下であることが好ましい。曲げ損失は、比 $2b/2a$ が3.0のときに最小となっており、曲げ損失をSMFと同等以下の $20dB/km$ 以下

10

20

30

40

50

に抑えるには、比 $2b/2a$ を $2.5 \sim 3.5$ とし、比屈折率差 Δn を -0.06% 以下にする必要がある。また、基底モード遮断波長 λ_{FC} を 2400 nm 以上にするためには、比 $2b/2a$ が 3.0 のとき、比屈折率差 Δn を -0.12% 以上にする必要がある。なお、従来、漏洩が発生する波長は、ファイバを作ってみないと分からなかった。これに対して本願発明によれば、基底モード遮断波長（計算値）で特定することができるようになったので、従来と比較してファイバ設計が容易になった。

【0039】

図5は、本実施形態に係る光ファイバ（実施例1～15）と比較例に係る光ファイバの構造パラメータ及び光学特性を纏めた表である。この図5の表に示された比較例では、基底モード遮断波長 λ_{FC} は 2263 nm と信号光波長よりも長いが、漏洩損失は 1441 nm （ $=\lambda_{LK}$ ）から発生しており、波長 1550 nm における伝送損失も 0.32 dB/km と高い。一方、実施例1～15は、何れも光通信波長帯で漏洩損失は発生していない。また、実施例1の実効断面積 A_{eff} は $134 \mu\text{m}^2$ 、曲げ損失は 8.0 dB/m と良好である。他の実施例2～15も比較例と比べてより良好な曲げ損失を有する。

10

【0040】

また、実効断面積 A_{eff} の拡大には、マイクロベンドロスの増加も伴う。図6は、本実施形態に係る光ファイバの複数サンプルについて、被覆樹脂のヤング率及び実効断面積 A_{eff} を変えたときのマイクロベンドロスを纏めた表である。この図6には、ガラス径（外側クラッド130の外径）、プライマリ被覆樹脂141のヤング率及び外径、セカンダリ被覆樹脂142のヤング率及び外径、光ファイバの A_{eff} 、 λ_{FC} に対するマイクロベンドロスが示されている。ここで、マイクロベンドロスは、直径 $50 \mu\text{m}$ 、間隔 $100 \mu\text{m}$ のワイヤメッシュで表面を覆われた直径 400 mm のポビンに、光ファイバを張力 80 g で巻いた時の損失増加量で表す。

20

【0041】

図6に示されたサンプル1～3とサンプル4～6との比較から、プライマリ被覆樹脂141のヤング率を小さくすることで、同じ実効断面積 A_{eff} を有する光ファイバ間であれば、サンプル4～6の光ファイバの方がマイクロベンドロスを低減することができることが分かる。また、サンプル5とサンプル7との比較から、セカンダリ被覆樹脂142のヤング率を大きくすることで同じ実効断面積 A_{eff} を有する光ファイバ間であれば、サンプル7の光ファイバの方がマイクロベンドロスを低減することができることが分かる。

30

【0042】

一般的に、プライマリ被覆樹脂141のヤング率が低く、かつ、セカンダリ被覆樹脂142のリヤング率が高い光ファイバの方が、マイクロベンドロスは低くなる。具体的には、プライマリ被覆樹脂141のヤング率は $0.3 \sim 0.6 \text{ MPa}$ 、セカンダリ被覆樹脂142のヤング率は $700 \sim 1500 \text{ MPa}$ の範囲で選定されるのが好ましい。

【0043】

マイクロベンドロスを低減する手段として、ガラス径又は被覆樹脂140（プライマリ被覆樹脂141及びセカンダリ被覆樹脂142を含む）の外径を拡大する手法もあるが、一般的に使用されている光ファイバ（ガラス径： $125 \mu\text{m}$ 、被覆外径： $245 \mu\text{m}$ ）との差が大きくなるため、実用的でない。そこで、本実施形態に係る光ファイバでは、ガラス径として $125 \pm 1 \mu\text{m}$ 、セカンダリ被覆樹脂142の外径として $240 \sim 250 \mu\text{m}$ を想定している。

40

【0044】

図7は、中継スパンにおける接続状態の差に起因した、SMFに対するOSNR改善量を、実効断面積 A_{eff} と伝送損失の関係で示す図である。特に、図7(a)は、SMFとの接続箇所を有しない伝送用光ファイバで構成された 80 km の中継スパン構成における、SMFに対するOSNR改善量を、実効断面積 A_{eff} （ μm^2 ）と伝送損失（ dB/km ）の関係を示し、図7(b)は、SMFと2箇所接続された伝送用光ファイバを含む 80 km の中継スパン構成における、SMFに対するOSNR改善量を、実効断面積 A_{eff} （ μm^2 ）と伝送損失（ dB/km ）の関係を示し、図7(c)は、SMFと4

50

箇所接続された伝送用光ファイバを含む80 kmの中継スパン構成における、SMFに対するOSNR改善量を、実効断面積 A_{eff} (μm^2)と伝送損失(dB/km)の関係を示す。

【0045】

なお、上述のように、図7(a)~図7(c)は、1中継スパン中、本実施形態に係る伝送用光ファイバとSMFとの接続箇所が0、2、4箇所存在する場合のOSNR改善量を、実効断面積 A_{eff} と伝送損失に対して等高線で示したグラフである。1中継スパンの長さは80 kmであり、上記式(3)の W_2 として、SMFのMFDは $10.1 \mu\text{m}$ とした。また、OSNR改善量は伝送用ファイバとしてSMFを使用した場合を基準としている。

10

【0046】

図7(a)~図7(c)から、実効断面積 A_{eff} が $110 \sim 150 \mu\text{m}^2$ 、伝送損失が $0.19 \text{ dB}/\text{km}$ 以下であれば、1中継スパン中の接続箇所が0~4箇所存在する場合もOSNR改善量を1 dB以上とすることができる。さらに、実効断面積 A_{eff} が $120 \sim 140 \mu\text{m}^2$ 、伝送損失が $0.18 \text{ dB}/\text{km}$ 以下であれば、1中継スパン中の接続箇所が0箇所又は2箇所存在する場合にOSNR改善量を2 dB以上とすることができる。さらに、実効断面積 A_{eff} が $120 \sim 140 \mu\text{m}^2$ 、伝送損失が $0.17 \text{ dB}/\text{km}$ 以下であれば、1中継スパン中に接続箇所が4箇所存在する場合でもOSNR改善量を2 dB以上とすることができる。

20

【0047】

なお、ファイバカットオフ波長 c は $1.3 \sim 1.53 \mu\text{m}$ の範囲内にするのが好ましい。この範囲を下回ると、曲げ損失が大きくなる。逆にこの範囲を上回ると、Cバンド($1530 \sim 1565 \text{ nm}$)で信号光がシングルモードとならない。さらに、ファイバカットオフ波長 c が 1450 nm 以下だとより好ましい。分布ラマン増幅で用いられるポンプ光の波長は 1450 nm 程度であるため、ポンプ光がシングルモードとなり、その結果、励起効率が劣化しないからである。

【0048】

本実施形態に係る光ファイバ100において、信号光パワーの大部分が伝搬するコア110は、実質的に不純物を含まない純シリカであることが、伝送損失を低くできる、より好ましい。ただし、コア110には、伝送損失を増加させない程度の微量の添加物が含まれてもよい。例えば、微量のハロゲン元素やアルカリ金属元素がコア110に含まれてもよい。具体的には、コア110は、2 mol%以下の塩素Cl、1 mol%以下のフッ素F、0.1 mol%以下のカリウムKを含んでもよい。

30

【0049】

また、純シリカコアを有する光ファイバは、非線形屈折率 n_2 が低く、非線形位相シフト量 S_{PM} を一定としたときの許容入射パワーをより大きくできる。そのため、OSNRをさらに増加させることができる。なお、コア110にGeが添加されたSMFの非線形屈折率 n_2 は $2.35 \times 10^{-20} (\text{m}^2/\text{W})$ であるのに対し、純シリカコアを有する光ファイバファイバの非線形屈折率 n_2 は $2.20 \times 10^{-20} (\text{m}^2/\text{W})$ である。

40

【0050】

次に、本実施形態に係る光ファイバの構造決定動作を、図8を用いて詳細に説明する。なお、図8は、本実施形態に係る光ファイバの構造決定動作を説明するためのフローチャートである。

【0051】

光ファイバ100の構造決定では、まず、コア110の材質を決める(ステップST1)。実質的に純シリカコアがより望ましい。内側クラッド120及び外側クラッド130は、フッ素添加が好ましい(純シリカコアで、伝送損失低減が低く、非線形屈折率 n_2 も低い)。

【0052】

ステップST2では、上記式(1)及び式(2)から、所望のOSNRを改善するため

50

の実効断面積 A_{eff} が決定される。また、ステップ ST3 では、使用波長帯でシングルモードとなるように、かつ曲げ損失が大きくならないように c が決定される。ステップ ST4 では、以上のように決定された A_{eff} 及び c となるように、内側クラッド 120 に対するコア 110 の比屈折率差 Δ 及びコア 110 の外径 $2a$ が決定される。

【0053】

一方、ステップ ST5 では、図3において L_K が使用波長帯よりも長くなるように F_C が決定される。また、ステップ ST6 では、目標とする曲げ損失が決定される。ステップ ST7 では、以上のように決定された F_C 、曲げ損失となるように、図4から外側クラッド 130 に対する内側クラッド 120 の比屈折率差 Δ 、比 $2b/2a$ が決定され、更に、ステップ ST8 において、マイクロベンドロスを低く抑えられるよう、プライマリ被覆樹脂 141 及びセカンダリ被覆樹脂 142 が決定される。

10

【0054】

図9は、本発明に係る光通信システムの各実施形態の構成を示す図である。なお、図9(a)は、1中継スパン中にSMFとの接続箇所が2箇所存在する光伝送システムの構成を示す。また、図9(b)は、1中継スパン中にSMFとの接続箇所が4箇所存在する光伝送システムの構成を示す。

【0055】

具体的には、図9(a)に示された光通信システム200Aは、信号光を出力する送信器210と、信号光を受信する受信器220を備え、これら送信器210と受信器220との間の伝送経路上に複数の中継器230A、230Bが配置されている。中継スパンは、これら中継器230A、230B間の光伝送区間であり、当該光通信システム200Aでは、この中継スパンが1本の伝送用光ファイバ100(本実施形態に係る光ファイバ)を含む。この伝送用光ファイバ100の両端は、それぞれ中継器230A、230Bの端部の他種の伝送用光ファイバ(図示せず)に接続されており、この図9(a)の光通信システム200Aにおいて、1中継スパン中には2箇所の接続箇所A1、A2が存在する。

20

【0056】

一方、図9(b)に示された光通信システム200Bも、信号光を出力する送信器210と、信号光を受信する受信器220を備え、これら送信器210と受信器220との間の伝送経路上に複数の中継器230A、230Bが配置されている。中継スパンは、これら中継器230A、230B間の光伝送区間であり、当該光通信システム200Bでは、さらに、この中継スパンが2本の伝送用光ファイバ100(本実施形態に係る光ファイバ)と他種の伝送用光ファイバ300を含む。この中継スパンは、中継器230A、230Bの端部との接続箇所B1、B4を含め、4箇所の接続箇所B1~B4を含む。すなわち、図9(b)の光通信システム200Bでは、1中継スパン中に4箇所の接続箇所B1~B4が存在している。

30

【0057】

なお、何れの光通信システム200A、200Bにおいても、中継器230A、230B両端の光ファイバ231は、標準的なSMF(一般的には、波長1550nmにおける実効断面積 A_{eff} は $80\mu m^2$ だが、 $85\mu m^2$ もある。他種の伝送用光ファイバ300の実効断面積 A_{eff} は標準的なSMFの実効断面積 A_{eff} (例えば、 $85\mu m^2$) より小さい。

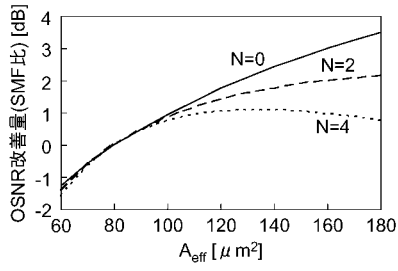
40

【符号の説明】

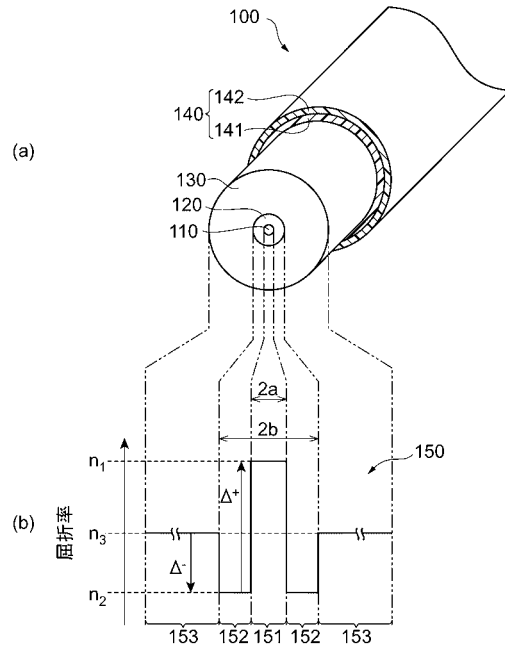
【0058】

100、100A、100B...光ファイバ、110...コア、120...内側クラッド、130...外側クラッド、140...被覆樹脂、141...プライマリ被覆樹脂、142...セカンダリ被覆樹脂、200A、200B...光通信システム。

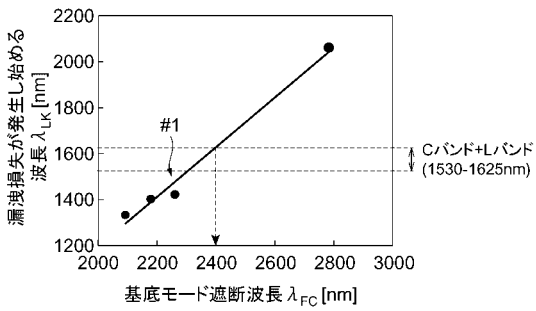
【 図 1 】



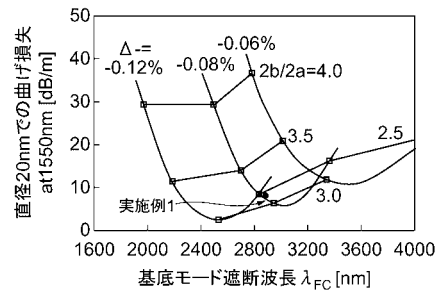
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



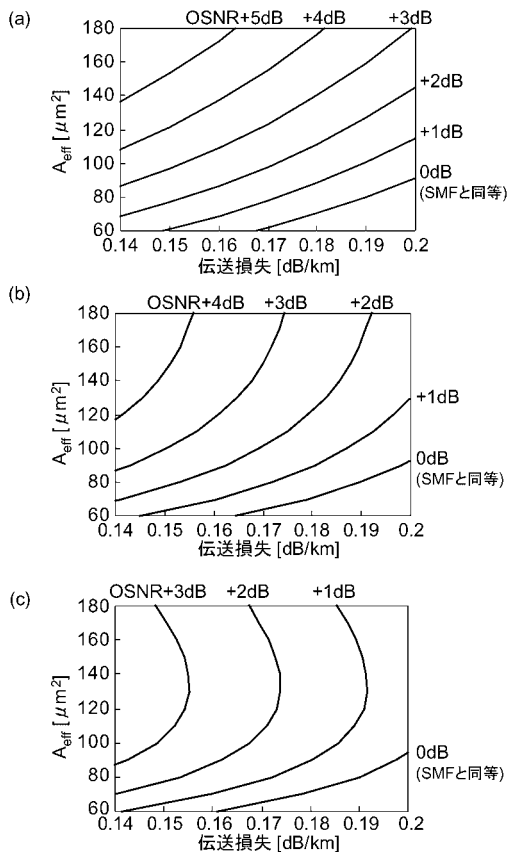
【図5】

パラメータ	単位	比較例	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5	実施例6	実施例7	実施例8	実施例9	実施例10	実施例11	実施例12	実施例13	実施例14	実施例15
$\Delta+$	%	0.28	0.29	0.31	0.3	0.28	0.29	0.3	0.31	0.3	0.31	0.34	0.345	0.345	0.32	0.305	0.265
$\Delta-$	%	-0.13	-0.08	-0.08	-0.06	-0.08	-0.08	-0.08	-0.12	-0.06	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12	-0.08
2a	μm	12.9	13.1	13.5	13.3	12.9	13.06	13.1	13.3	13.2	13.7	13.8	12	12.9	14.3	14.9	14.3
2b/2a	-	3.5	3	3	3	3	3	3	3.5	3	3	3	3	3	2.5	2.5	3
ガラス径	μm	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
伝送損失 at1550nm	dB/km	0.320	0.169	0.162	0.160	0.166	0.167	0.165	0.165	0.162	0.164	0.171	0.168	0.170	0.176	0.182	0.164
分散 at1550nm	ps/nm/km	20.6	20.9	21.0	21.0	20.7	20.8	20.9	21.0	20.9	21.3	21.3	20.6	21.1	21.3	21.4	21.1
公称コア径 at1550nm	μm	0.0605	0.0600	0.0610	0.0608	0.0599	0.06	0.0601	0.0603	0.0602	0.0607	0.0608	0.0596	0.0602	0.0608	0.061	0.0606
MFD at1550nm	μm	12.6	12.7	12.6	12.7	12.7	12.7	12.6	12.6	12.6	12.6	12.5	12.5	12.5	12.1	13.0	13.4
A_{eff} at1550nm	μm^2	132	134	133	131	131	130	129	130	130	130	131	111	120	141	151	151
λ_c	nm	1389	1341	1461	1473	1304	1356	1396	1460	1462	1474	1498	1399	1397	1400	1400	1392
挿入損失 at1550nm	dB/m	18.7	8.0	9.8	3.2	11.6	6.3	3.6	1.8	3.4	1.0	0.9	1.2	1.7	5.9	5.9	15.0
波長分散 at1550nm	ps/nm	2263	2894	3287	3794	2807	2954	3076	2622	3766	2900	2969	3068	2775	2906	2652	2900
波長分散の標準偏差 σ_{λ_c}	nm	1441	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	>2100	1762	>2100	>2100	>2100	>2100	2081	>2100	>2100

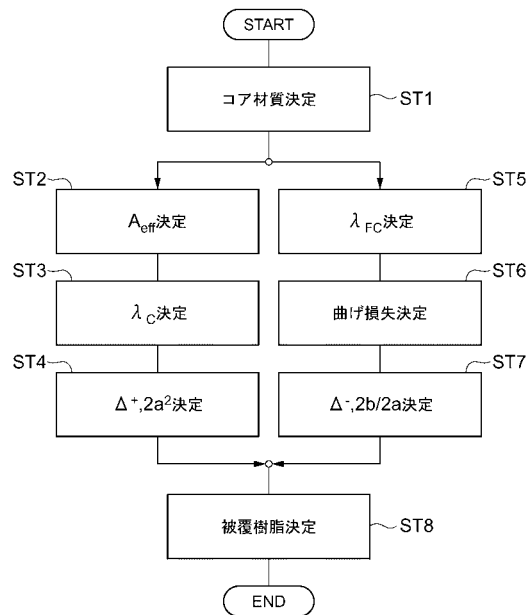
【図6】

ガラス径	プライマリ被覆樹脂		セカンダリ被覆樹脂		光ファイバ特性	
	ヤング率	外径	ヤング率	外径	A_{eff} at1550nm	λ_c
μm	MPa	μm	MPa	μm	μm^2	nm
サンプル1	0.66	200	800	245	116	1553
サンプル2	0.66	200	800	245	132	1314
サンプル3	0.66	200	800	245	146	1418
サンプル4	0.4	200	800	245	114	1433
サンプル5	0.4	200	800	245	134	1341
サンプル6	0.4	200	800	245	144	1408
サンプル7	0.4	200	1400	245	136	1411

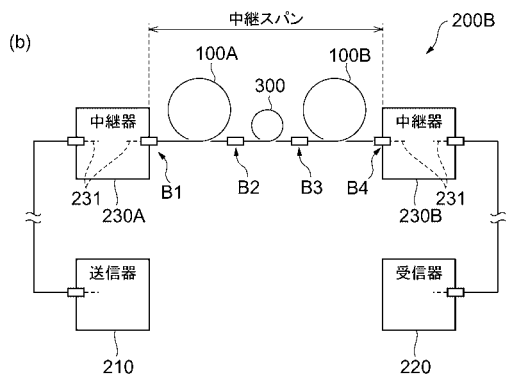
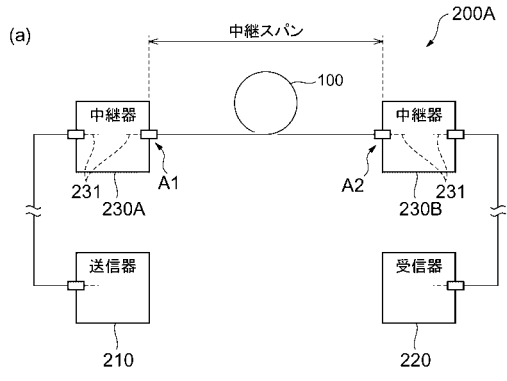
【図7】



【図8】



【 図 9 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H150 AB03 AB04 AD03 AD12 AD17 AD22 AD23 AD32 AE26 AE28
AE29 AE39 AE47 AH50 BB02 BC02