(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 5 月 31 日(31.05.2012)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/070295 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/024 (2006.01) *G02F 1/365* (2006.01)
G02B 6/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2011/070815

(22) 国際出願日: 2011 年 9 月 13 日(13.09.2011)

(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 2010-264084 2010 年 11 月 26 日(26.11.2010) 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): 高橋　正典 **(TAKAHASHI, Masanori)** [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). 権田　智洋 **(GONDA, Tomohiro)** [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). 杉崎　隆一 **(SUGIZAKI, Ryuichi)** [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, QA, RO, RS, RU, RW, 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.

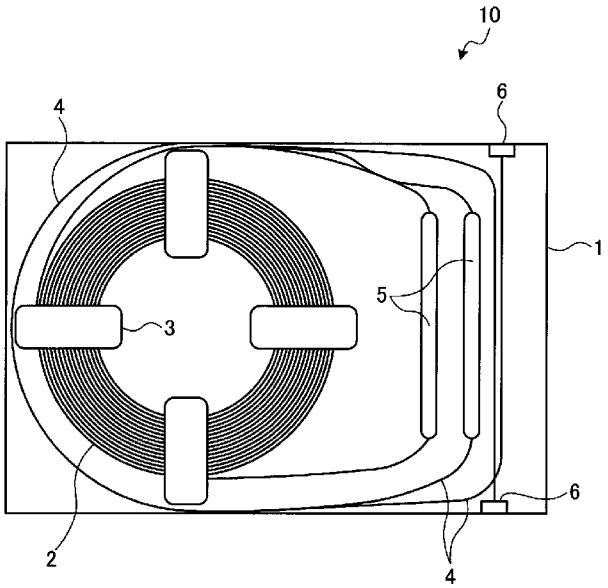
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: OPTICAL FIBER MODULE

(54) 発明の名称 : 光ファイバモジュール

[図1]



(57) **Abstract**: Provided is an optical fiber module which is provided with: a polarization maintaining highly nonlinear optical fiber which comprises a core, a cladding that surrounds the core and is provided with two stress-applying parts that are formed along the core so as to sandwich the core, and a covering that covers the cladding; and a case in which the polarization maintaining highly nonlinear optical fiber is contained while being wound into a ring coil form. The polarization maintaining highly nonlinear optical fiber has a bending loss at a wavelength of 1550 nm of 0.01 dB/turn or less when wound at a diameter of 20 mm, a nonlinear coefficient (γ) at a wavelength of 1550 nm of 10 $W^{-1}km^{-1}$ or more, a cutoff wavelength (λc) of 1530 nm or less and a zero dispersion wavelength of 1400-1650 nm (inclusive).

(57) 要約:　コアと、前記コアを取り囲むとともに、前記コアを挟んで該コアに沿って形成された２つの応力付与部を有するクラッドと、前記クラッドを覆う被覆と、を有する偏波保持型高非線形光ファイバと、前記偏波保持型高非線形光ファイバがリングコイル状に巻かれて収容される筐体と、を備え、前記偏波保持型高非線形光ファイバは、直径２０ｍｍにて曲げたときの波長１５５０ｎｍにおける曲げ損失が０．０１ｄＢ／ターン以下であり、波長１５５０ｎｍにおける非線形係数γが１０W^{-1}ｋm^{-1}以上であり、カットオフ波長λｃが１５３０ｎｍ以下であり、零分散波長が１４００ｎｍ以上、１６５０ｎｍ以下である光ファイバモジュールを提供する。

WO 2012/070295 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 光ファイバモジュール

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバモジュールに関するものである。

背景技術

[0002] 近年、高い光学非線形性を有する高非線形光ファイバ（High Non-Linear optical Fiber：ＨＮＬＦ）を使用したアプリケーションの実用化が進んでいる。様々なアプリケーションにおいて広く使用されるためには、高非線形光ファイバには多くの場合偏波保持（polarization maintaining：ＰＭ）型とすることが求められる。この需要に対しては偏波保持型の高非線形光ファイバ（ＰＭ-ＨＮＬＦ）が提案されており（たとえば特許文献１参照）実用的なアプリケーションに使用される事が期待されている。

[0003] 高非線形光ファイバの実用化には、偏波保持型化の他に、光ファイバを収納してモジュール化した場合に小型化することも重要となる（たとえば特許文献２参照）。小型の高非線形光ファイバモジュールに関しては、外径を細くした細径高非線形光ファイバを使用した超小型光ファイバモジュールが報告されている。この光ファイバモジュールでは、長さ２００ｍの高非線形光ファイバが外径２５ｍｍのボビンに巻付けられて筐体に収容されており、超小型化が実現されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００２－２０７１３６号公報

特許文献2：特許第３８１３４９６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上述したように、実用化の観点からは、偏波保持型の高非線形光ファイバを小型の光ファイバモジュールとすることが強く望まれている。

[0006] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、偏波保持型の高非線形光ファイバをモジュール化した小型の光ファイバモジュール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モジュールは、コアと、前記コアを取り囲むとともに、前記コアを挟んで該コアに沿って形成された２つの応力付与部を有するクラッドと、前記クラッドを覆う被覆と、を有する偏波保持型高非線形光ファイバと、前記偏波保持型高非線形光ファイバがリングコイル状に巻かれて収容される筐体と、を備え、前記偏波保持型高非線形光ファイバは、直径２０ｍｍにて曲げたときの波長１５５０ｎｍにおける曲げ損失が０．０１ｄＢ／ターン以下であり、波長１５５０ｎｍにおける非線形係数γが１０$W^{-1}km^{-1}$以上であり、カットオフ波長λｃが１５３０ｎｍ以下であり、零分散波長が１４００ｎｍ以上、１６５０ｎｍ以下であることを特徴とする。

[0008] また、本発明に係る光ファイバモジュールは、上記の発明において、前記偏波保持型高非線形光ファイバは、波長１５５０ｎｍにおいて、偏波消光比がー２５ｄＢ／ｋｍ以下であり、かつビート長が５．０ｍｍ以下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モジュールは、上記の発明において、前記偏波保持型高非線形光ファイバの前記応力付与部の中心と前記コアの中心との距離が１２μｍ以上、３５μｍ以下であり、前記クラッドの外径に対する前記応力付与部の外径の比が０．２以上、０．３以下であり、前記応力付与部の前記クラッドに対する比屈折率差がー０．７％以上、ー０．５％以下であることを特徴とする。

[0010] また、本発明に係る光ファイバモジュールは、上記の発明において、前記偏波保持型高非線形光ファイバの前記コアは、第１コアと前記第１コアを取り囲む第２コアとを含み、前記クラッドの屈折率は、前記第１コアの屈折率より低く、かつ前記第２コアの屈折率より高く、前記第１コアの前記クラッ

ドに対する比屈折率差が１．８％以上、３．０％以下であり、前記第２コアの前記クラッドに対する比屈折率差が－１．０％以上、－０．５％以下であり、前記第２コアのコア径が、６．０μｍ以上、１０．０μｍ以下であり、前記第２コアのコア径に対する前記第１コアのコア径の比が、０．３５以上、０．６５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モジュールは、上記の発明において、前記偏波保持型高非線形光ファイバの前記クラッドの径が、４０μｍ以上、８０μｍ以下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モジュールは、上記の発明において、前記偏波保持型高非線形光ファイバは、内径が１０ｍｍ以上、６０ｍｍ以下のリングコイル状に巻かれていることを特徴とする。

[0013] また、本発明に係る光ファイバモジュールは、上記の発明において、前記偏波保持型高非線形光ファイバは、内径が１０ｍｍ以上、４０ｍｍ以下のリングコイル状に巻かれていることを特徴とする。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、偏波保持型の高非線形光ファイバをモジュール化した小型の光ファイバモジュールを実現できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]図１は、実施の形態１に係る光ファイバモジュールを模式的に示す図である。

[図2]図２は、図１に示す偏波保持型高非線形光ファイバの模式的な断面および屈折率プロファイルを示す図である。

[図3]図３は、図２に示す偏波保持型高非線形光ファイバの構造パラメータの設定と、これによって実現される光学特性を例示的に示す図である。

[図4]図４は、図２に示す偏波保持型高非線形光ファイバの構造パラメータの設定と、これによって実現される光学特性を例示的に示す図である。

[図5]図５は、図２に示す偏波保持型高非線形光ファイバの構造パラメータの設定と、これによって実現される光学特性を例示的に示す図である。

[図6]図６は、実施例１、比較例１の光ファイバモジュールにおける偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径と正規化クロストークとの関係を示す図である。

[図7]図７は、実施例２、比較例２の光ファイバモジュールにおける偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径と正規化クロストークとの関係を示す図である。

[図8]図８は、実施例３、比較例３の光ファイバモジュールにおける偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径と正規化クロストークとの関係を示す図である。

[図9]図９は、偏波保持型高非線形光ファイバの被覆径、ファイバ長、および巻き径を設定した場合に実現される束外径および束高さを示す図である。

[図10]図１０は偏波保持型高非線形光ファイバの被覆径、ファイバ長、および巻径を設定した場合に実現される束外径および束高さを示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下に、図面を参照して本発明に係る光ファイバモジュール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。

[0017] （実施の形態１）

図１は、実施の形態１に係る光ファイバモジュールを模式的に示す図である。図１に示すように、この光ファイバモジュール１０は、筐体１内に、偏波保持型高非線形光ファイバ２がリングコイル状に巻かれて収容されているものである。なお、巻き径は１０ｍｍ以上であり、６０ｍｍ以下であることが好ましく、４０ｍｍ以下がより好ましい。

[0018] 偏波保持型高非線形光ファイバ２は結束具３によって結束され、かつ筐体１に固定されている。また、偏波保持型高非線形光ファイバ２の両端には、シングルモード光ファイバ４が融着接続されている。シングルモード光ファイバ４は、たとえばＩＴＵ－Ｔ（国際電気通信連合） Ｇ．６５２に規定されるシングルモード光ファイバであるが、特に限定はされない。なお、偏波

保持型高非線形光ファイバ２とシングルモード光ファイバ４との融着接続箇所は補強スリーブ５によって保護されている。また、シングルモード光ファイバ４の融着接続箇所とは反対側の端部は、光コネクタ６に接続している。したがって、この光ファイバモジュール１０は、外部の光コネクタ付光ファイバと光コネクタ６を介して接続できるようになっている。

[0019] つぎに、偏波保持型高非線形光ファイバ２について説明する。図２は、図１に示す偏波保持型高非線形光ファイバの模式的な断面および屈折率プロファイルを示す図である。図２に示すように、偏波保持型高非線形光ファイバ２は、第１コア２ａａと第１コア２ａａを取り囲む第２コア２ａｂとを含むコア２ａと、コア２ａを取り囲むとともに、コア２ａを挟んでコア２ａに沿って形成された２つの応力付与部２ｂａを有するクラッド２ｂと、クラッド２ｂを覆う第１被覆２ｃａと第２被覆２ｃｂとからなる、樹脂製の被覆２ｃとを備えている。このように、偏波保持型高非線形光ファイバ２は、コア２ａを挟んで形成された２つの応力付与部２ｂａがコア２ａに応力を付与することによって、偏波保持型の高非線形光ファイバとなっている。

[0020] 第１コア２ａａはたとえば屈折率を高めるドーパントであるゲルマニウムを添加した石英ガラスからなり、第２コア２ａｂはたとえば屈折率を低めるドーパントであるフッ素を添加した石英ガラスからなる。また、クラッド２ｂは、応力付与部２ｂａ以外の部分は屈折率を調整するためのドーパントを含まない純石英ガラスからなり、応力付与部２ｂａはコア２ａに応力を与えるためにボロンを添加した石英ガラスからなる。その結果、この偏波保持型高非線形光ファイバ２は、クラッド２ｂの屈折率が第１コア２ａａの屈折率より低く、第２コア２ａｂの屈折率より高い、いわゆるW型の屈折率プロファイルを有している。

[0021] 第１コア２ａａのクラッド２ｂに対する比屈折率差をΔ１、第２コア２ａｂのクラッド２ｂに対する比屈折率差をΔ２、応力付与部２ｂａのクラッド２ｂに対する比屈折率差をΔ４とする。比屈折率差Δ１、Δ２、Δ４は、第１コア２ａａの最大屈折率をｎ１、第２コア２ａｂの屈折率をｎ２、クラッ

ド２ｂの屈折率をｎｃ、応力付与部２ｂａの屈折率をｎ４とすると、下記式（１）～（３）で定義される。

Δ１={(ｎ１－ｎｃ)／ｎｃ}×１００　[%]・・・・・（１）

Δ２={(ｎ２－ｎｃ)／ｎｃ}×１００　[%]・・・・・（２）

Δ４={(ｎ４－ｎｃ)／ｎｃ}×１００　[%]・・・・・（３）

[0022] また、第１コア２ａａのコア径（第１コア径）ａは、第１コア２ａａと第２コア２ａｂとの境界領域でΔ１の１／２の比屈折率差を有する位置における径として定義する。第２コア２ａｂのコア径（第２コア径）ｂは、第２コア２ａｂとクラッド２ｂとの境界領域でΔ２の１／２の比屈折率差を有する位置における径として定義する。また、クラッド２ｂの外径をクラッド径Ｄ１とし、被覆２ｃの外径を被覆径Ｄ２とする。また、応力付与部２ｂａの外径をｃとし、応力付与部２ｂａの中心とコア２ａの中心との距離をＬとする。

[0023] つぎに、偏波保持型高非線形光ファイバ２の比屈折率差Δ１、Δ２、Δ４、第１コア径ａ、第２コア径ｂ、クラッド径、被覆径などの構造パラメータの設定と、これによって実現される偏波保持型高非線形光ファイバ２の光学特性の例について説明する。

[0024] 図３～５は、偏波保持型高非線形光ファイバの構造パラメータの設定と、これによって実現される光学特性を例示的に示す図である。なお、図３～５において、「λ_0」は零分散波長を示し、「ＭＦＤ」はモードフィールド径を示し、「γ」は非線形係数を示している。また、曲げ損失は、直径２０ｍｍにて曲げたときの波長１５５０ｎｍにおける曲げ損失である。その他、（１５５０ｎｍ）の記載がある項目は、波長１５５０ｎｍにおける値である。ここで１ターンとはある直径で光ファイバを３６０度屈曲した状態を示す。

[0025] 図３に示す例では、比屈折率差Δ１を２．８%、Δ２を－０．５５%、Δ４を－０．５３%、第２コア径ｂに対する第１コア径ａの比であるａ／ｂを０．６、第２コア径ｂを６．７μｍにしている。さらに、巻き径を小さくしてモジュールを小型化するためにクラッド径を８０μｍから４０μｍの細径

にするとともに、応力付与部の外径ｃをクラッド径に応じて２１．６μｍから１０．８μｍまでの値に設定している。また、応力付与部の中心とコアの中心との距離Ｌは、２１．５μｍから１２．４μｍまでの値に設定している。

[0026] また、図４に示す例では、比屈折率差Δ１を２．８％、Δ２を－１．０％、Δ４を－０．６８％、比ａ／ｂを０．４、第２コア径ｂを９．１μｍにしている。さらに、クラッド径を８０μｍから４０μｍの細径にするとともに、応力付与部の外径ｃをクラッド径に応じて２１．６μｍから１０．８μｍまでの値に設定している。また、応力付与部の中心とコアの中心との距離Ｌは、２５．３μｍから１２．６μｍまでの値に設定している。

[0027] また、図５に示す例では、比屈折率差Δ１を２．０％、Δ２を－０．５５％、Δ４を－０．５３％、比ａ／ｂを０．５７、第２コア径ｂを７．８μｍにしている。さらに、クラッド径を８０μｍから４０μｍの細径にするとともに、応力付与部の外径ｃをクラッド径に応じて２１．６μｍから１０．８μｍまでの値に設定している。また、応力付与部の中心とコアの中心との距離Ｌは、２３．２μｍから１２．６μｍまでの値に設定している。

[0028] 図３～５に示す偏波保持型高非線形光ファイバは、いずれも、波長１５５０ｎｍにおける曲げ損失が０．０１ｄＢ／ターン以下であり、波長１５５０ｎｍにおける非線形係数γが１０$W^{-1}km^{-1}$以上と高非線形であり、カットオフ波長λｃが１５３０ｎｍ以下であり、零分散波長λ_0が１４００ｎｍ以上、１６５０ｎｍ以下である。したがって、光ファイバ通信で使用される１５３０ｎｍ～１６５０ｎｍの波長帯にて、高非線形光ファイバとして好適に使用することができる。さらに、図３～５に示す偏波保持型高非線形光ファイバは、いずれも、波長１５５０ｎｍにおいて、偏波消光比が－２５ｄＢ／ｋｍ以下であり、ビート長が５．０ｍｍ以下であるため、偏波保持特性にも優れており、非線形光学現象を用いた光信号処理をはじめとした様々なアプリケーションにおいて広く使用することができる。

[0029] なお、偏波保持型高非線形光ファイバ２の構造パラメータは、図３～５に

示すものに限られない。たとえば、比屈折率差Δ１が１．８％以上、３．０％以下であり、Δ２が－１．０％以上、－０．５％以下であり、第２コア径ｂが６．０μｍ以上、１０．０μｍ以下であり、第２コア径ｂに対する第１コア径ａの比であるａ／ｂが０．３５以上、０．６５以下である場合に、波長１５５０ｎｍにおける曲げ損失が０．０１ｄＢ／ターン以下であり、波長１５５０ｎｍにおける非線形係数γが１０$W^{-1}km^{-1}$以上であり、カットオフ波長λｃが１５３０ｎｍ以下であり、零分散波長が１４００ｎｍ以上、１６５０ｎｍ以下であるという好ましい光学特性が実現される。

[0030] さらに、応力付与部２ｂａの中心とコア２ａの中心との距離Ｌが１２μｍ以上、３５μｍ以下であり、クラッド径に対する応力付与部２ｂａの外径ｃの比が０．２以上、０．３以下であり、比屈折率差Δ４が－０．７％以上、－０．５％以下であれば、偏波消光比が－２５ｄＢ／ｋｍ以下であり、ビート長が２．５ｍｍ以上、５．０ｍｍ以下であるという好ましい偏波保持特性が実現される。

[0031] ここで、この光ファイバモジュール１０では、偏波保持型高非線形光ファイバ２は、内径が１０ｍｍ以上、６０ｍｍ以下、好ましくは４０ｍｍ以下のリングコイル状に巻いてある。この偏波保持型高非線形光ファイバ２は、クラッド径が４０μｍ以上、８０μｍ以下であるため、このような小さい内径で巻いても破断率が低く、十分な機械的強度を有するものとなる。

[0032] また、この光ファイバモジュール１０では、偏波保持型高非線形光ファイバ２が、リングコイル状に巻いてあることによって、小さい内径で巻いているにもかかわらず、偏波消光比の劣化が起こらないものである。なお、偏波保持型高非線形光ファイバ２をこのような小さい内径でボビンに巻き付けた場合には、ボビンから受ける側圧によって偏波消光比の劣化がする。したがって、この光ファイバモジュール１０では、偏波保持型高非線形光ファイバ２の偏波保持特性が、このように小さい内径に巻いてもモジュール化される前の状態での特性とほとんど同じである。このように、この光ファイバモジュール１０は、偏波保持型高非線形光ファイバ２が小さい内径で巻かれて収

容された小型のものでありながら、偏波保持特性が高いものとなる。

[0033] 以上説明したように、本実施の形態１に係る光ファイバモジュール１０は、偏波保持型高非線形光ファイバ２をモジュール化した小型の光ファイバモジュールであり、かつ偏波保持特性が高いものとなる。

[0034] つぎに、本発明の実施例により本発明をより具体的に説明する。なお、この実施例によりこの発明が限定されるものではない。

[0035]（実施例１、比較例１）

本発明の実施例１として、図３に示すクラッド径が８０μｍの偏波保持型高非線形光ファイバにおいて被覆径を１２８μｍとしたものをリングコイル状に巻き、図１に示す光ファイバモジュールを製造した。なお、偏波保持型高非線形光ファイバの長さ（ファイバ長）は１００ｍとした。また、偏波保持型高非線形光ファイバはリングコイルの内径を１５ｍｍ、３０ｍｍ、４０ｍｍ、４５ｍｍ、６０ｍｍ、８０ｍｍ、１００ｍｍ、１２０ｍｍ、１６０ｍｍとした。また、比較例１として、実施例１と同じ偏波保持型高非線形光ファイバを実施例１の各内径と同じ外径を有するボビンに巻き付け、光ファイバモジュールを製造した。

[0036] つぎに、この実施例１、比較例１の光ファイバモジュールの偏波消光比（クロストーク、ＣＴ）を測定した。ここでＣＴは偏波保持光ファイバの偏波保持能力を表す量である。ＣＴは、所定の長さの偏波保持光ファイバの片端から、直交するＸＹ偏波モードのうちＹ偏波モードの直線偏波の光を入射したときの、他の片端の出射側での、Ｙ偏波モードの光の強度と、これに直交するＸ偏波モードに漏洩した光の強度との比を使って表すことができる。ＣＴは、通常は以下の式（４）を使ってｄＢ単位で表す。

$$\eta = 10\log(P_X/P_Y) \cdots\cdots (4)$$

ただし、

ηはＣＴを、P_XはＸ偏波モードの直線偏波の光の強度を、P_YはＹ偏波モードの直線偏波の光の強度をそれぞれ示す。Ｘ若しくはＹ偏波モードに入射された光は、偏波保持光ファイバ内を伝搬するにつれＣＴに応じて偏波モー

ド間での結合が生じるので、偏波保持性が求められる用途ではＣＴを小さい値に保つ事はきわめて重要となる。

[0037] 図６は、実施例１、比較例１の光ファイバモジュールにおける偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径と正規化クロストークとの関係を示す図である。図６において、横軸の巻き径は実施例１においては偏波保持型高非線形光ファイバを巻いたときの内径を示し、比較例１においてはボビンの外径を示している。また、縦軸の正規化ＣＴとは、実施例１、比較例１の各クロストークを、比較例１の外径が１６０ｍｍのボビンに巻き付けた場合のクロストークで正規化したものを示している。なお、縦軸はクロストークの値が増加する向きを負の向きとしている。すなわち、正規化クロストークが小さくなるほどクロストーク特性は劣化することを示している。

[0038] 図６に示すように、比較例１の光ファイバモジュールは、巻き径が１００ｍｍ程度より小さくなるにつれて正規化クロストークが急激に小さくなり、クロストーク特性が劣化している。これに対して、実施例１の光ファイバモジュールは、巻き径が小さくなっても正規化クロストークは略一定であり、偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径を小さくして小型化しても高い偏波保持性を有することが確認された。

[0039]（実施例２、比較例２）

本発明の実施例２として、図３に示すクラッド径が６０μｍの偏波保持型高非線形光ファイバにおいて被覆径を１０５μｍとしたものをリングコイル状に巻き、図１に示す光ファイバモジュールを製造した。なお、偏波保持型高非線形光ファイバの内径は実施例１の各内径と同じとした。また、比較例２として、実施例２と同じ偏波保持型高非線形光ファイバを実施例２の各内径と同じ外径を有するボビンに巻き付け、光ファイバモジュールを製造した。

[0040] つぎに、この実施例２、比較例２の光ファイバモジュールのクロストークを測定した。図７は、実施例２、比較例２の光ファイバモジュールにおける偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径と正規化クロストークとの関係を示

す図である。

[0041] 図７に示すように、比較例２の光ファイバモジュールは、巻き径が１００ｍｍ程度より小さくなるにつれて正規化クロストークが急激に小さくなり、クロストーク特性が劣化している。これに対して、実施例２の光ファイバモジュールは、巻き径が小さくなっても正規化クロストークは略一定であり、偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径を小さくして小型化しても高い偏波保持性を有することが確認された。

[0042] （実施例３、比較例３）

本発明の実施例３として、図３に示すクラッド径が４０μｍの偏波保持型高非線形光ファイバにおいて被覆径を８３μｍとしたものをリングコイル状に巻き、図１に示す光ファイバモジュールを製造した。なお、偏波保持型高非線形光ファイバの内径は実施例１の各内径と同じとした。また、比較例３として、実施例３と同じ偏波保持型高非線形光ファイバを実施例３の各内径と同じ外径を有するボビンに巻き付け、光ファイバモジュールを製造した。

[0043] つぎに、この実施例３、比較例３の光ファイバモジュールのクロストークを測定した。図８は、実施例３、比較例３の光ファイバモジュールにおける偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径と正規化クロストークとの関係を示す図である。

[0044] 図８に示すように、比較例３の光ファイバモジュールは、巻き径が１００ｍｍ程度より小さくなるにつれて正規化クロストークが急激に小さくなり、クロストーク特性が劣化している。これに対して、実施例２の光ファイバモジュールは、巻き径が小さくなっても正規化クロストークは略一定であり、偏波保持型高非線形光ファイバの巻き径を小さくして小型化しても高い偏波保持性を有することが確認された。

[0045] なお、上記実施例１～３、比較例１～３に用いた偏波保持型高非線形光ファイバは、クラッド径および被覆径は異なるが、被覆の厚さは２１．５μｍ～２４μｍとほぼ同じである。図６～図８では、クラッド径および被覆径の違いにかかわらず、いずれも巻き径が１００ｍｍ程度より小さくなるとクロ

ストーク特性の劣化が起こっている。

[0046] つぎに、本発明において、偏波保持型高非線形光ファイバの被覆径、ファイバ長、およびリングコイル状に巻く場合の内径を設定した場合に、偏波保持型高非線形光ファイバを巻いた束として実現される大きさについて説明する。

[0047] 図９、１０は、偏波保持型高非線形光ファイバの被覆径、ファイバ長、およびリングコイルの内径を設定した場合に実現される、偏波保持型高非線形光ファイバの巻き束の束外径および束高さを示す図である。

[0048] たとえば、図９に示すように被覆径が１２５μｍ、ファイバ長が５０ｍの場合、リングコイルの内径（巻内径）を１５ｍｍとすると、束外径２０ｍｍ、束高さが５ｍｍの小型の巻き束とできるので、小型の光ファイバモジュールを実現できる。また、図１０に示すように被覆径を７５μｍとすると、ファイバ長が５０ｍ、内径が１５ｍｍとした場合に、束外径は１７ｍｍにまで小型にできるので、さらに小型の光ファイバモジュールを実現できる。なお、実施例１～３に示すように、偏波保持型高非線形光ファイバの内径を１５ｍｍと小さくしても、高い偏波保持性を維持することが可能である。

[0049] なお、上記実施の形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせて構成したものも本発明に含まれる。その他、上記実施の形態に基づいて当業者等によりなされる他の実施の形態、実施例及び運用技術等は全て本発明に含まれる。

産業上の利用可能性

[0050] 本発明に係る光ファイバモジュールは、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

[0051] １ 筐体

２ 偏波保持型高非線形光ファイバ

２ａ コア

２ａａ 第１コア

２ａｂ　第２コア

２ｂ　クラッド

２ｂａ　応力付与部

２ｃ　被覆

２ｃａ　第１被覆

２ｃｂ　第２被覆

３　結束具

４　シングルモード光ファイバ

５　補強スリーブ

６　光コネクタ

１０　光ファイバモジュール

請求の範囲

[請求項1] コアと、

前記コアを取り囲むとともに、前記コアを挟んで該コアに沿って形成された２つの応力付与部を有するクラッドと、

前記クラッドを覆う被覆と、

を有する偏波保持型高非線形光ファイバと、

前記偏波保持型高非線形光ファイバがリングコイル状に巻かれて収容される筐体と、

を備え、

前記偏波保持型高非線形光ファイバは、直径２０ｍｍにて曲げたときの波長１５５０ｎｍにおける曲げ損失が０．０１ｄＢ／ターン以下であり、波長１５５０ｎｍにおける非線形係数γが１０$W^{-1}km^{-1}$以上であり、カットオフ波長λｃが１５３０ｎｍ以下であり、零分散波長が１４００ｎｍ以上、１６５０ｎｍ以下であることを特徴とする光ファイバモジュール。

[請求項2] 前記偏波保持型高非線形光ファイバは、波長１５５０ｎｍにおいて、偏波消光比が－２５ｄＢ／ｋｍ以下であり、かつビート長が５．０ｍｍ以下であることを特徴とする請求項１に記載の光ファイバモジュール。

[請求項3] 前記偏波保持型高非線形光ファイバの前記応力付与部の中心と前記コアの中心との距離が１２μｍ以上、３５μｍ以下であり、前記クラッドの外径に対する前記応力付与部の外径の比が０．２以上、０．３以下であり、前記応力付与部の前記クラッドに対する比屈折率差が－０．７％以上、－０．５％以下であることを特徴とする請求項１または２に記載の光ファイバモジュール。

[請求項4] 前記偏波保持型高非線形光ファイバの前記コアは、第１コアと前記第１コアを取り囲む第２コアとを含み、

前記クラッドの屈折率は、前記第１コアの屈折率より低く、かつ前

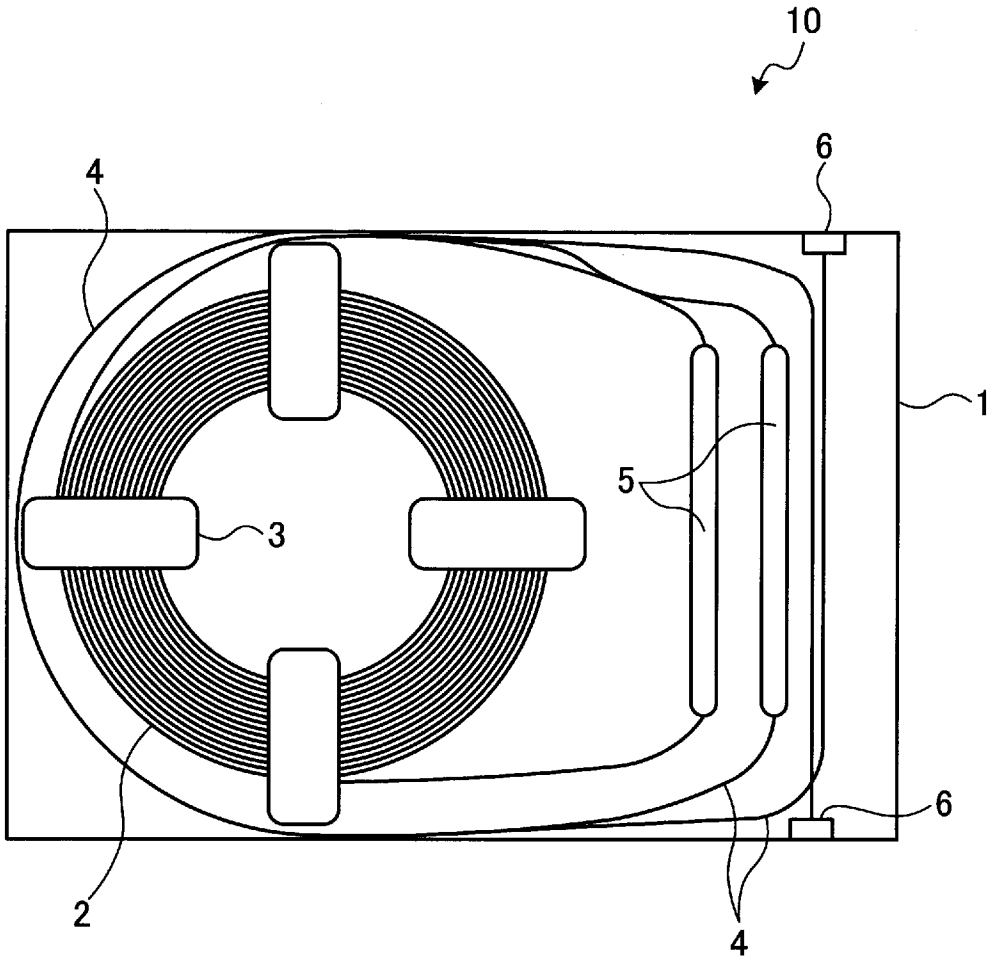
記第２コアの屈折率より高く、前記第１コアの前記クラッドに対する比屈折率差が１．８％以上、３．０％以下であり、前記第２コアの前記クラッドに対する比屈折率差がー１．０％以上、－０．５％以下であり、前記第２コアのコア径が、６．０μｍ以上、１０．０μｍ以下であり、前記第２コアのコア径に対する前記第１コアのコア径の比が、０．３５以上、０．６５以下であることを特徴とする請求項１～３のいずれか一つに記載の光ファイバモジュール。

［請求項5］ 前記偏波保持型高非線形光ファイバの前記クラッドの径が、４０μｍ以上、８０μｍ以下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モジュール。

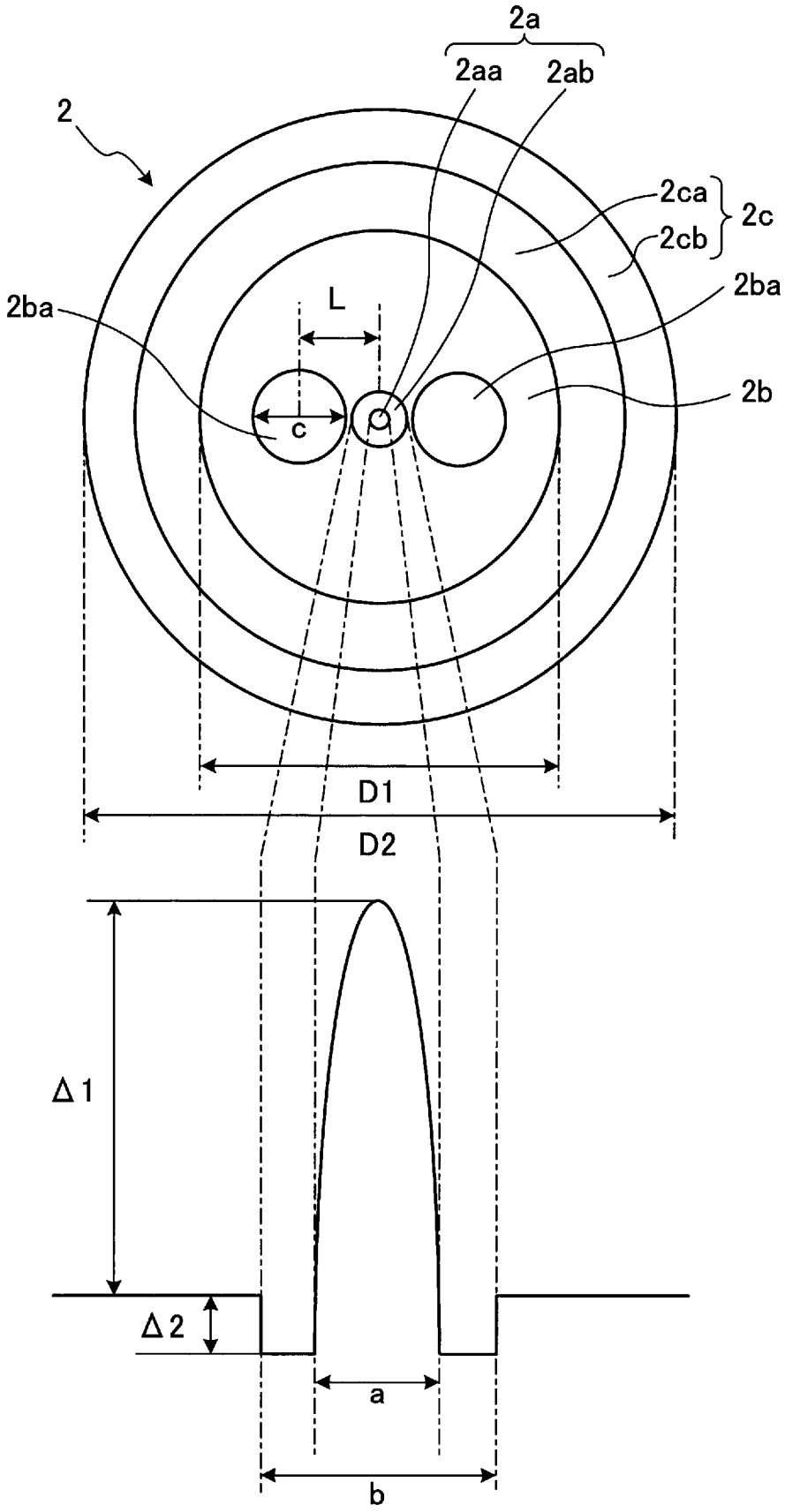
［請求項6］ 前記偏波保持型高非線形光ファイバは、内径が１０ｍｍ以上、６０ｍｍ以下のリングコイル状に巻かれていることを特徴とする請求項１～５のいずれか一つに記載の光ファイバモジュール。

［請求項7］ 前記偏波保持型高非線形光ファイバは、内径が１０ｍｍ以上、４０ｍｍ以下のリングコイル状に巻かれてい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モジュール。

[図1]



[図2]



[図3]

Δ1:2.8% Δ2:−0.55%、Δ4:−0.53%、a/b:0.6、b=6.7μm

クラッド径	μm	80	70	60	50	40
被覆径	μm	128	117	105	94	83
伝送損失(1550nm)	dB/km	1.50	1.40	1.41	1.43	1.42
波長分散値(1550nm)	ps/(nm·km)	0.09	0.87	0.11	1.02	0.25
分散スロープ(1550nm)	ps/(nm^2·km)	0.017	0.017	0.016	0.018	0.024
λ_0	nm	1544.7	1500.2	1543.5	1491.5	1539.7
カットオフ波長	nm	1436	1370	1433	1383	1424
MFD(1550nm)	μm	4.1	4.0	4.1	4.1	4.2
Aeff(1550nm)	μm^2	11.1	11.3	11.4	11.2	11.8
偏波消光比(1550nm)	dB/100m	−41	−38	−30	−29	−32
ビート長(1550nm)	mm	3.1	2.8	3.0	2.9	3.2
曲げ損失 (Φ20mm、1550nm)	dB/ターン	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
γ(1550nm)	1/W/km	19.0	20.9	19.6	17.9	18.3
応力付与部外径	μm	21.6	18.9	16.2	13.5	10.8
距離L	μm	21.5	19.2	16.9	14.7	12.4

[図4]

Δ1:2.8% Δ2:−1.0%、Δ4:−0.68%、a/b:0.4、b=9.1μm

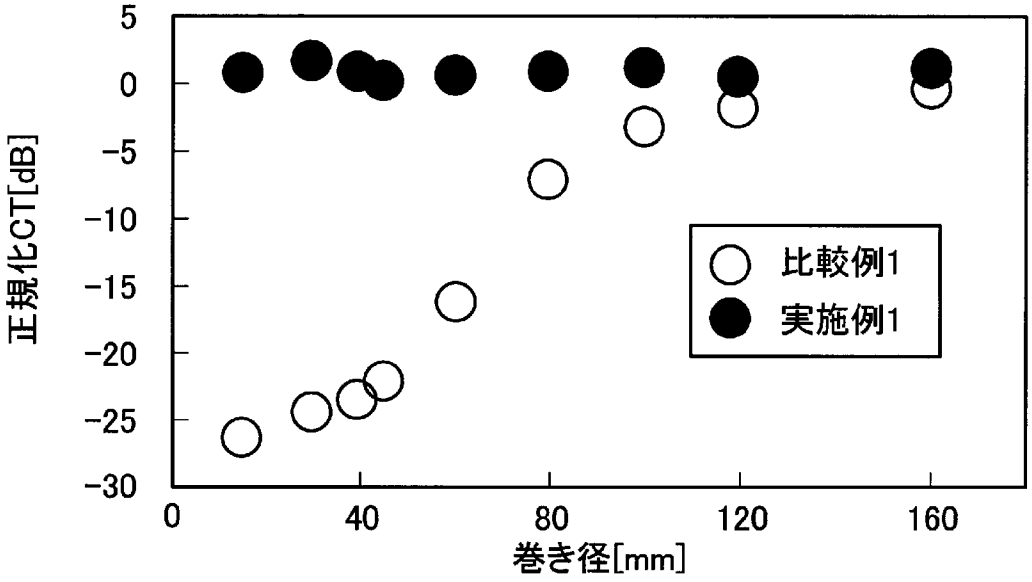
クラッド径	μm	80	70	60	50	40
被覆径	μm	128	116	105	93	82
伝送損失(1550nm)	dB/km	2.29	2.18	2.10	2.09	2.06
波長分散値(1550nm)	ps/(nm·km)	−0.56	−0.08	−0.18	1.12	0.24
分散スロープ(1550nm)	ps/(nm^2·km)	0.011	0.011	0.010	0.014	0.010
λ_0	nm	1603.5	1557.0	1567.5	1467.4	1525.7
カットオフ波長	nm	1370	1354	1239	1224	1359
MFD(1550nm)	μm	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Aeff(1550nm)	μm^2	10.3	10.1	10.2	10.3	10.2
偏波消光比(1550nm)	dB/100m	−38	−28	−33	−37	−35
ビート長(1550nm)	mm	2.9	3.0	2.7	2.8	2.9
曲げ損失 (Φ20mm、1550nm)	dB/ターン	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
γ(1550nm)	1/W/km	22.5	24.6	22.5	24.5	23.3
応力付与部外径	μm	21.6	18.9	16.2	13.5	10.8
距離L	μm	25.3	21.5	18.9	15.7	12.6

[図5]

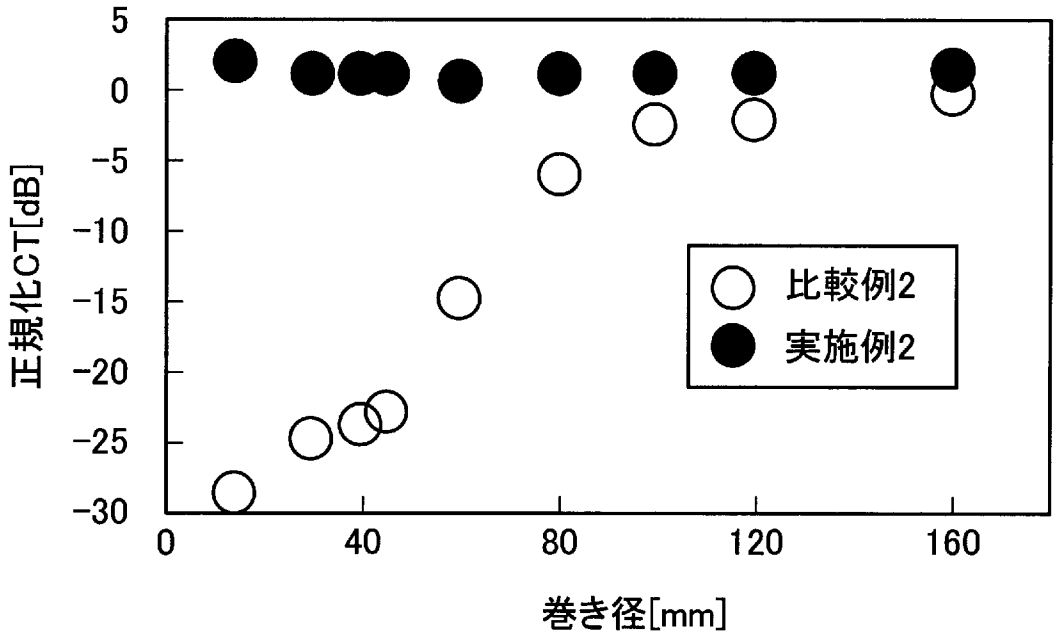
Δ1:2.0% Δ2:−0.55%、Δ4:−0.53%、a/b:0.57、b=7.8μm

クラッド径	μm	80	70	60	50	40
被覆径	μm	127	116	105	93	83
伝送損失(1550nm)	dB/km	0.89	0.88	0.85	0.85	0.85
波長分散値(1550nm)	ps/(nm·km)	−0.28	0.13	0.16	0.18	−0.18
分散スロープ(1550nm)	ps/(nm^2·km)	0.023	0.023	0.017	0.018	0.008
λ_0	nm	1562.0	1544.3	1540.6	1540.3	1573.5
カットオフ波長	nm	1195	1190	1160	1217	1110
MFD(1550nm)	μm	4.4	4.4	4.7	4.4	4.7
Aeff(1550nm)	μm^2	14.4	13.6	14.8	14.1	14.6
偏波消光比(1550nm)	dB/100m	−38	−36	−36	−29	−33
ビート長(1550nm)	mm	4.1	4.4	4.5	4.5	4.3
曲げ損失 (Φ20mm、1550nm)	dB/ターン	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
γ(1550nm)	1/W/km	12.2	12.8	11.1	12.4	11.9
応力付与部外径	μm	21.6	18.9	16.2	13.5	10.8
距離L	μm	23.2	21.5	17.8	15.4	12.6

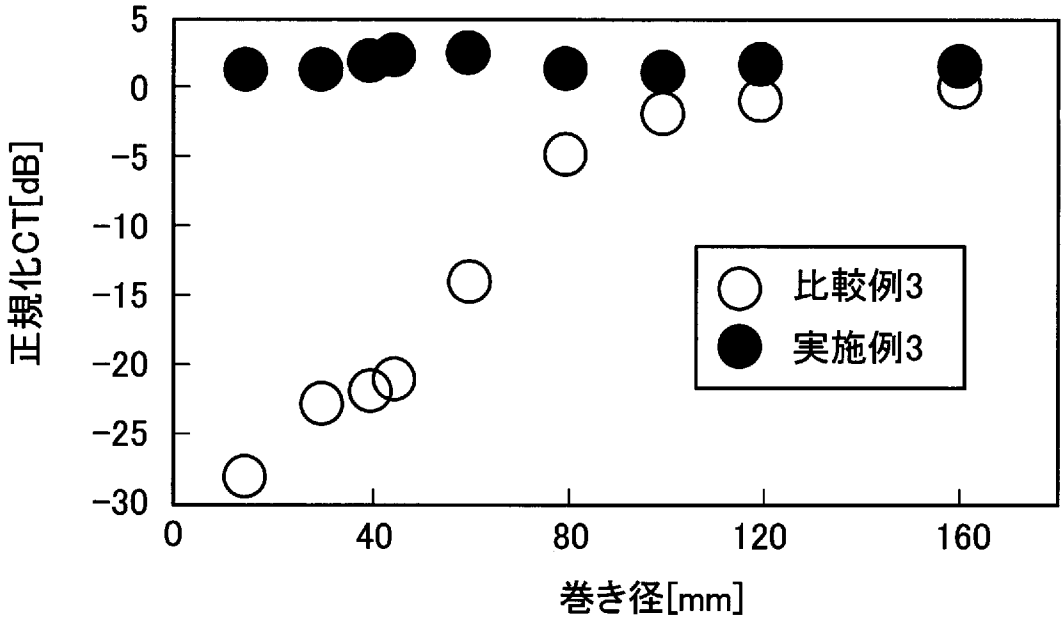
[図6]



[図7]


5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
正規化CT[dB]
0
40
80
120
160
巻き径[mm]
比較例2
実施例2

[図8]


5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
正規化CT[dB]
0
40
80
120
160
巻き径[mm]
比較例3
実施例3

[図9]

被覆径	ファイバ長	巻内径	束外径	束高さ	被覆径	ファイバ長	巻内径	束外径	束高さ	被覆径	ファイバ長	巻内径	束外径	束高さ
μm	m	mm	mm	mm	μm	m	mm	mm	mm	μm	m	mm	mm	mm
125	50	15	20	5	115	50	15	19	5	105	50	15	18	5
		30	33	5			30	32	5			30	32	5
		45	47	5			45	47	5			45	46	5
		60	61	5			60	61	5			60	61	5
		80	81	5			80	81	5			80	81	5
		100	101	5			100	101	5			100	101	5
		120	121	5			120	121	5			120	120	5
		160	161	5			160	160	5			160	160	5
125	100	15	24	5	115	100	15	22	5	105	100	15	21	5
		30	35	5			30	34	5			30	34	5
		45	49	5			45	48	5			45	48	5
		60	63	5			60	62	5			60	62	5
		80	82	5			80	82	5			80	81	5
		100	102	5			100	101	5			100	101	5
		120	121	5			120	121	5			120	121	5
		160	161	5			160	161	5			160	161	5
125	200	15	30	5	115	200	15	28	5	105	200	15	26	5
		30	39	5			30	38	5			30	37	5
		45	52	5			45	51	5			45	50	5
		60	65	5			60	64	5			60	64	5
		80	84	5			80	83	5			80	83	5
		100	103	5			100	103	5			100	102	5
		120	123	5			120	122	5			120	122	5
		160	162	5			160	162	5			160	161	5
125	500	15	43	5	115	500	15	40	5	105	500	15	37	5
		30	50	5			30	48	5			30	45	5
		45	61	5			45	58	5			45	56	5
		60	72	5			60	71	5			60	69	5
		80	90	5			80	88	5			80	87	5
		100	108	5			100	107	5			100	106	5
		120	127	5			120	126	5			120	125	5
		160	165	5			160	164	5			160	164	5

[図10]

被覆径	ファイバ長	巻内径	束外径	束高さ	被覆径	ファイバ長	巻内径	束外径	束高さ	被覆径	ファイバ長	巻内径	束外径	束高さ
μm	m	mm	mm	mm	μm	m	mm	mm	mm	μm	m	mm	mm	mm
95	50	15	18	5	85	50	15	17	5	75	50	15	17	5
		30	32	5			30	31	5			30	31	5
		45	46	5			45	46	5			45	46	5
		60	61	5			60	61	5			60	60	5
		80	81	5			80	80	5			80	80	5
		100	100	5			100	100	5			100	100	5
		120	120	5			120	120	5			120	120	5
		160	160	5			160	160	5			160	160	5
95	100	15	20	5	85	100	15	19	5	75	100	15	19	5
		30	33	5			30	32	5			30	32	5
		45	47	5			45	47	5			45	46	5
		60	62	5			60	61	5			60	61	5
		80	81	5			80	81	5			80	81	5
		100	101	5			100	101	5			100	101	5
		120	121	5			120	121	5			120	120	5
		160	161	5			160	160	5			160	160	5
95	200	15	25	5	85	200	15	23	5	75	200	15	21	5
		30	36	5			30	35	5			30	34	5
		45	49	5			45	48	5			45	48	5
		60	63	5			60	62	5			60	62	5
		80	82	5			80	82	5			80	81	5
		100	102	5			100	102	5			100	101	5
		120	122	5			120	121	5			120	121	5
		160	161	5			160	161	5			160	161	5
95	500	15	34	5	85	500	15	31	5	75	500	15	29	5
		30	43	5			30	41	5			30	39	5
		45	55	5			45	53	5			45	51	5
		60	67	5			60	66	5			60	65	5
		80	86	5			80	85	5			80	84	5
		100	105	5			100	104	5			100	103	5
		120	124	5			120	123	5			120	122	5
		160	163	5			160	162	5			160	162	5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/070815

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02B6/024(2006.01)i, *G02B6/00*(2006.01)i, *G02F1/365*(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)
G02B6/024, G02B6/00, G02F1/365

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-020854 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 January 2004 (22.01.2004), paragraphs [0004] to [0009], [0039], [0074], [0079]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-7
Y	JP 2005-055795 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 03 March 2005 (03.03.2005), paragraphs [0023] to [0056]; fig. 1, 2, 7 to 9 & US 2005/0213907 A1 & WO 2005/015303 A1 & CN 1711500 A & CN 101174001 A & CN 101174002 A & CN 101174003 A	1-7

☒ 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
26 October, 2011 (26.10.11)	08 November, 2011 (08.11.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2011/070815

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 2002-207136 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 26 July 2002 (26.07.2002), paragraphs [0144] to [0150], [0157], [0164] to [0165]; fig. 15, 18 & US 2002/0057880 A1 & EP 1209497 A2 & AU 8941301 A & CA 2361856 A & AU 775453 B & TW 226464 B & KR 10-2002-0037294 A & CN 1359013 A & CN 1651945 A	5,6
Y	JP 2007-072182 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 March 2007 (22.03.2007), paragraphs [0068] to [0069] & US 2007/0053641 A1 & EP 1762868 A1 & CN 1928596 A	5-7
A	JP 2007-010896 A (Fujikura Ltd.), 18 January 2007 (18.01.2007), paragraph [0006]; fig. 1 & US 2007/0116417 A1 & EP 1739464 A1 & CN 1892268 A	1-7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１１／０７０８１５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B6/024(2006.01)i, G02B6/00(2006.01)i, G02F1/365(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B6/024, G02B6/00, G02F1/365

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	１９７１－２０１１年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１１年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１１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）

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
Y	JP 2004-020854 A (住友電気工業株式会社) 2004.01.22, 【0004】-【0009】, 【0039】, 【0074】, 【0079】, 図 1,2 (ファミリーなし)	1-7
Y	JP 2005-055795 A (古河電気工業株式会社) 2005.03.03, 【0023】-【0056】, 図 1,2,7-9 & US 2005/0213907 A1 & WO 2005/015303 A1 & CN 1711500 A & CN 101174001 A & CN 101174002 A & CN 101174003 A	1-7

☑　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	国際調査報告の発送日
２６．１０．２０１１	０８．１１．２０１１

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）　２Ｘ　４７５２
奥村　政人
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９４

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
Y	JP 2002-207136 A (住友電気工業株式会社) 2002.07.26, 【0144】-【0150】, 【0157】, 【0164】-【0165】, 図 15,18 & US 2002/0057880 A1 & EP 1209497 A2 & AU 8941301 A & CA 2361856 A & AU 775453 B & TW 226464 B & KR 10-2002-0037294 A & CN 1359013 A & CN 1651945 A	5,6
Y	JP 2007-072182 A (住友電気工業株式会社) 2007.03.22, 【0068】-【0069】 & US 2007/0053641 A1 & EP 1762868 A1 & CN 1928596 A	5-7
A	JP 2007-010896 A (株式会社フジクラ) 2007.01.18, 【0006】, 図 1 & US 2007/0116417 A1 & EP 1739464 A1 & CN 1892268 A	1-7