

(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8月30日(30.08.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/115162 A1

- (51) 国際特許分類:
G01M 11/02 (2006.01) *G02B 6/04* (2006.01)
G01M 11/00 (2006.01) *G02B 6/26* (2006.01)
G02B 6/036 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/054306
- (22) 国際出願日: 2012年2月22日(22.02.2012)
- (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 2011-040526 2011年2月25日(25.02.2011) JP
特願 2012-000258 2012年1月4日(04.01.2012) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 林 哲也(HAYASHI Tetsuya) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市長谷区田谷町1番地 住友電気工業株式会社

横浜製作所内 Kanagawa (JP). 島川 修(SHI-MAKAWA Osamu) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市長谷区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiaki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 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.

[続葉有]

(54) Title: LIGHT RECEIVING METHOD FOR LIGHT OUTPUT FROM MULTI-CORE OPTICAL FIBER, AND SEPARATION APPARATUS

(54) 発明の名称: マルチコア光ファイバから出力される光の受光方法、及び、分離装置

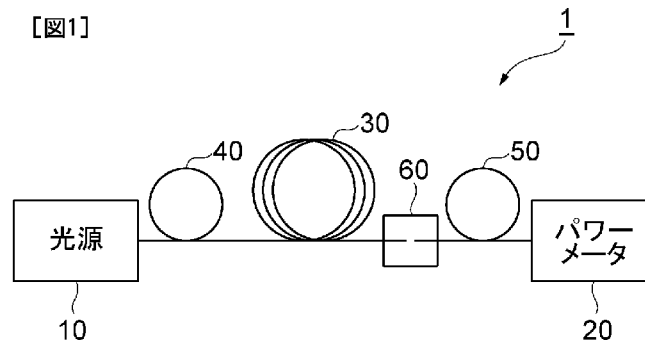


FIG. 1:
10 LIGHT SOURCE
20 POWER METER

(57) Abstract: In the present invention a light reception waveguide that has been provided, in a manner similar to a depressed type or a trench type, with a layer having a lower refractive index than the cladding on the periphery of the core is used in a light receiving means that receives light output from multi-core optical fiber, and this low refractive index layer can thereby suppress the propagation of noise and the like from the cladding side to the core. As a result, even when the crosstalk between cores is small, components differing from components that originated in the crosstalk are reduced, enabling accurate measurement of the crosstalk between cores.

(57) 要約: 本発明によれば、ディプレスト型あるいはトレンチ型のように、コア周囲にクラッドよりも屈折率が低い層が設けられた受光用導波路をマルチコア光ファイバから出力される光の受光手段に用いることで、この屈折率の低い層がクラッド側からコアへのノイズ等の伝搬を抑制することができる。その結果、コア間クロストークが小さい場合であってもクロストーク由来とは異なる成分が低減されてコア間クロストークを精度よく測定することが可能になる。



(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, RW, 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))

明 細 書

発明の名称：

マルチコア光ファイバから出力される光の受光方法、及び、分離装置 技術分野

[0001] 本発明は、マルチコア光ファイバから出力される光の受光方法、及び、マルチコア光ファイバから出力される光を分離するための分離装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、複数のコアを有するマルチコア光ファイバが盛んに研究されている。マルチコア光ファイバは、例えば、その長手方向に垂直な断面において複数のコアが二次元状に分散配置された構成を有し、複数のコア間でクロストークが発生することが知られている。このマルチコア光ファイバにおけるコア間クロストークの測定方法と、測定時のマルチコア光ファイバから出力される光の受光方法が、例えば非特許文献1～3等の開示されている。具体的には、クロストークの測定は、結合元コアから結合先コアへの光パワーの移行率の測定として行われる。

先行技術文献

非特許文献

- [0003] 非特許文献1：Proc. ECOC' 10, We. 8. F. 6 (2010).
非特許文献2：Proc. OFC' 09 OTuc3(2009).
非特許文献3：Proc. OFC' 10 OWK7(2010).

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 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、入射光伝搬に起因したコア間クロストークが極めて低いマルチコア光ファイバにおいてそのクロストークを測ろうとすると、ノイズ光や、受光用光ファイバとの結合時のクロストークの方が大きく、正確な測定ができない場合がある。具体的には、マルチコア光ファイバの出射端で

、結合先コアと出射側の受光用光ファイバのコアとを調芯すると、結合先コアからの出力光より遙かに大きな結合元コアからの出力光が、受光用光ファイバのクラッドに入射する。ここで、ファイバ端部の状態や、ファイバ構造によっては、受光用光ファイバのクラッドに入射した光が受光用光ファイバのコアに結合してしまい、測定時のノイズになってしまう。

[0005] 本発明は上記を鑑みてなされたものであり、コア間クロストークが小さい場合であっても精度よく該コア間クロストークの測定を可能にするマルチコア光ファイバから出力される光の受光方法、及び、分離装置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

[0006] 上記目的を達成するため、本発明に係るマルチコア光ファイバから出力される光の受光方法は、第1態様として、マルチコア光ファイバの出射端側に特徴的な構造を有する受光用導波路を配置し、マルチコア光ファイバの第1の端面において第1のコアに測定光を入射し、マルチコア光ファイバの第1の端面に対向する第2の端面において第1のコアと異なる第2のコアから出射される光に受光用導波路内を導波させ、そして、受光用導波路を導波した光を受光する。ここで、受光用導波路は、マルチコア光ファイバから出力される光が到達する位置に配置され、マルチコア光ファイバのコアから出力される光を導波する導波路であって、コア周囲をクラッドよりも屈折率が低い層で囲まれたディプレスト型あるいはトレンチ型の屈折率構造を持つ。

[0007] なお、ディプレスト層およびトレンチ層の少なくともいずれかは、全てが固体で構成されている必要はなく、空孔により、平均的な屈折率がクラッドより低くなっている構造でも良い。

[0008] 上記第1態様の受光方法によれば、ディプレスト型あるいはトレンチ型のように、コア周囲にクラッドよりも屈折率が低い層が設けられた受光用導波路を用いることで、この屈折率の低い層がクラッド側からコアへのノイズ等の伝搬を抑制することができる。その結果、コア間クロストークが小さいマルチコア光ファイバに対する測定であってもクロストーク由来とは異なる成

分が低減されてコア間クロストークを精度よく測定することが可能になる。

[0009] ここで、上記作用を効果的に奏する構成としては、以下の態様（第1態様に適用可能な第2態様）が挙げられる。具体的に受光用導波路は、その表面が被覆によって覆われた、ガラス材料からなる受光用光ファイバを含む。マルチコア光ファイバの第2のコアと受光用光ファイバのコアとが調芯された後、マルチコア光ファイバと受光用光ファイバとは、接着剤を用いて接着されることなく保持される。マルチコア光ファイバの第2のコアに対面する端面を含む受光用光ファイバの端部は、被覆が除去されたガラス部が露出しているか、あるいは、ガラス部が被覆によって覆われている。以上の第2態様において、マルチコア光ファイバの第2のコアから出力された光は、受光用光ファイバの端部にフェルールが実装されていない状態で受光用光ファイバのコアへ入射する。

[0010] 上記作用を効果的に奏する他の構成としては、以下の態様（上記第1態様に適用可能な第3態様）が挙げられる。具体的に受光用導波路は、その表面が被覆で覆われた、ガラス材料からなる受光用光ファイバを含む。マルチコア光ファイバの第2のコアと受光用光ファイバのコアとが調芯された後、マルチコア光ファイバと受光用光ファイバとは接着剤を用いて接着される。マルチコア光ファイバの第2のコアに対面する端面を含む受光用光ファイバの端部には、被覆が除去されたガラス部が露出した状態で、透明なフェルールが接着剤で実装される。なお、フェルール実装用の接着剤の屈折率は、前記受光用光ファイバのクラッド部の屈折率よりも高い。以上の第3態様において、マルチコア光ファイバの第2のコアから出力された光は、受光用光ファイバの端部に透明なフェルールが実装された状態で受光用光ファイバのコアへ入射する。

[0011] また、本発明に係るマルチコア光ファイバから出力される光の受光方法は、第4態様として、マルチコア光ファイバの出射端側に特徴的な構造を有する受光用導波路を配置し、マルチコア光ファイバの第1の端面において1又はそれ以上のコアそれぞれに測定光、あるいは信号光を入射し、マルチコア

光ファイバの第1の端面と対向する第2の端面においてコアそれぞれから出力される光に受光用導波路内を導波させることで、第2の端面におけるコアそれぞれから出力される光を分離し、そして、受光用導波路の複数のコアを導波した光を個別に受光しても良い。

[0012] この第4態様において、受光用導波路は、マルチコア光ファイバから出力される光が到達する位置に配置され、マルチコア光ファイバのコアから出力される光を導波する導波路であって、複数のコアを有し、各コア周囲をクラッドよりも屈折率が低い層で囲まれたディプレスト型あるいはトレンチ型の屈折率構造を持つ。また、ディプレスト層およびトレンチ層の少なくともいずれかは、クラッドよりも屈折率が低い固体のみによって形成され、あるいは、固体内に空孔を有することにより平均的な屈折率がクラッドより低い層として形成される。

[0013] 第4態様に適用可能な第5態様として、受光用導波路は、ディプレスト層あるいはトレンチ層より外側に、クラッドよりも屈折率の高いトラップ層を有する屈折率構造を有しても良い。

[0014] また、第5態様として、本発明に係るマルチコア光ファイバから出力される光の分離装置は、マルチコア光ファイバのコアから出射された光を導波する受光用導波路であって、特徴的な構造を有するとともにマルチコア光ファイバから出力された光が到達する位置に配置された受光用導波路を備える。受光用導波路は、複数のコアを有し、各コア周囲をクラッドよりも屈折率が低い層で囲まれたディプレスト型あるいはトレンチ型の屈折率構造を持つ。また、ディプレスト層およびトレンチ層の少なくともいずれかは、クラッドよりも屈折率が低い固体のみによって形成され、あるいは、固体内に空孔を有することにより平均的な屈折率がクラッドより低い層として形成されても良い。

[0015] この第5態様において、マルチコア光ファイバの第1の端面において1又はそれ以上のコアそれぞれに測定光、あるいは信号光が入射される。マルチコア光ファイバの第1の端面に対向する第2の端面においてコアそれぞれが

ら出力される光に受光用導波路内を導波させることで、第2の端面におけるコアそれぞれから出力される光が分離される。その結果、受光用導波路の複数のコアを導波した光が個別に受光される。

[0016] 上記第5態様の作用を効果的に奏する構成としては、以下の態様（第5態様に適用可能な第6態様）が挙げられる。具体的には、受光用導波路は、一端が束ねられた複数本の単芯コア光ファイバにより構成される。この受光用導波路の一端は、複数本の単芯コア光ファイバがマルチコアファイバのコア配置に合わせて配列された状態でフェルール化、あるいは、コネクタ化される。一方、受光用導波路の他端は、複数本の単芯コア光ファイバが個別に分離可能な状態になっている。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、コア間クロストークが小さいマルチコア光ファイバに対する測定であっても精度よくコア間クロストークの測定を可能にするマルチコア光ファイバから出力される光の受光方法等の提供が可能になる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]は、マルチコア光ファイバのコア間クロストークを測定し、また、測定時のマルチコア光ファイバから出力される光の受光する際の装置構成の一例を示す図である。

[図2]は、マルチコア光ファイバと受光用光ファイバの光学的接続状態を説明する図である。

[図3]は、受光用光ファイバの屈折率分布の例を示す図である。

[図4]は、マッチドクラッド型のシングルモード光ファイバ同士を結合した際の結合パワープロファイルである。

[図5]は、トレンチ型のシングルモード光ファイバ同士を結合した際の結合パワープロファイルである。

[図6]は、軸ズレ量の絶対値が30～50 μm の範囲に於ける、規格化受光パワー平均値を示す図である。

[図7]は、受光用光ファイバの屈折率分布として、トラップ層を有するトレン

チ型構造とディプレスト型構造の屈折率分布を説明する図である。

[図8]は、受光用導波路の構成の一例を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための最良の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0020] 図1は、マルチコア光ファイバのコア間クロストークを測定し、また、測定時のマルチコア光ファイバから出力される光の受光する際の装置構成の一例を示す図である。マルチコア光ファイバのコア間クロストークを測定するとき、測定対象のマルチコア光ファイバの特定のコアのみに測定光を入射させ、そのコアや別のコアなどのある特定のコアからの出射光を測定する必要がある。よって、図1に示されたように、コア間クロストーク測定装置1は、光源10、一端が測定対象であるマルチコア光ファイバ30の入射端におけるいずれかのコアと光学的に接続されたシングルモード光ファイバ40（送光用光ファイバ）、シングルモード光ファイバ50（受光用導波路としての受光用光ファイバ）、マルチコア光ファイバ30の出射端とシングルモード光ファイバ50とを光学的に結合させるための光学部品60と、パワーメータ20を備える。すなわち、当該測定装置1においては、一例として、光源10とパワーメータ20との間に、測定対象であるマルチコア光ファイバ30が配置される。マルチコア光ファイバ30の入射端側にはシングルモード光ファイバ40、出射端側にはシングルモード光ファイバ50がそれぞれ配置される。マルチコア光ファイバ30とシングルモード光ファイバ50との間は、コア同士を接続する光学部品60で接続される。また、シングルモード光ファイバ40、50に替えて、光導波路等が用いられることもある。

[0021] ここで、測定対象であるマルチコア光ファイバ30から出力される光を導波させるための、該マルチコア光ファイバ30より後段（出力端側）に配置されるシングルコアの光ファイバや光導波路を、本実施形態では受光用導波路と呼ぶ。また、シングルモード光ファイバ40、50は、その表面が被覆

で覆われた、ガラス材料からなる。

[0022] マルチコア光ファイバ30とシングルモード光ファイバ40のコア同士の結合は、例えば図2に示された構成により実現可能である。図2(A)には一例として、非接触による光結合を実現する構成が示されている。また、図2(B)に示された例では、マルチコア光ファイバ30とシングルモード光ファイバ40のコア同士が接着剤を用いて固定される構成が示されている。なお、測定光は、測定対象であるマルチコア光ファイバ30の第1のコア31に導入される。シングルモード光ファイバ50は、当該マルチコア光ファイバ30におけるコア間クロストークを測定するため、出射端面30aにおいて第1のコア31とは異なる第2のコア32に対して光学的に結合される(第2のコア32から出力される光がシングルモード光ファイバ50を導波する)。

[0023] 図2(A)において、シングルモード光ファイバ50の端部は、V溝が形成された下側部材と上側部材で構成された保持具61に設置されている。この保持具61は、図中の矢印 S_{1a} 、 S_{1b} で示された水平方向に移動することにより、また、図中の矢印 S_{2a} 、 S_{2b} で示された垂直方向に移動する。シングルモード光ファイバ50の端部が設置された保持具61が、マルチコア光ファイバ30における第2のコア32に対し、シングルモード光ファイバ50のコアを相対的に移動させることで、マルチコア光ファイバ30における第2のコア32とシングルモード光ファイバ50のコアとの調芯が行われる。なお、この図2(A)の例では、調芯後、マルチコア光ファイバ30とシングルモード光ファイバ50とは、接着剤を用いて接着されることなく保持される。また、マルチコア光ファイバ30の第2のコア32に対面する端面を含むシングルモード光ファイバ50の端部は、被覆が除去されたガラス部が露出している(ガラス部は被覆によって覆われていてもよい)。シングルモード光ファイバ50の端部には、フェルールは実装されていない。この構成により、マルチコア光ファイバ30の第2のコア32から出力された光は、端部にフェルールが実装されていないシングルモード光ファイバ50のコ

アへ入射する。

[0024] 一方、図2（B）では、マルチコア光ファイバ30の第2のコア32とシングルモード光ファイバ50のコアとが調芯された後、マルチコア光ファイバ30とシングルモード光ファイバ50とが接着剤63を用いて接着される。続いて、マルチコア光ファイバ30の第2のコア32に対面する端面を含むシングルモード光ファイバ50の端部には、被覆が除去されたガラス部が露出した状態で、透明なフェルール62が接着剤64で実装される（フェルール62は、矢印S3に沿ってシングルモード光ファイバ50の端部に沿って移動）。なお、フェルール実装用の接着剤の屈折率は、シングルモード光ファイバ50のクラッド部の屈折率よりも高い。この構成により、マルチコア光ファイバ30の第2のコア32から出力された光は、透明フェルールが端部に実装されたシングルモード光ファイバ50のコアへ入射する。

[0025] 受光用導波路をマルチコア光ファイバ30の後段に配置し、マルチコア光ファイバ30から出力された測定光に受光用導波路内を導波させることで、測定光の伝搬中に生じるコア間クロストークが極めて低いマルチコア光ファイバにおけるコア間クロストークの測定を考える。このような条件下においては、理論値から予測される光伝搬によるコア間クロストークよりも大きなクロストークが測定されることが確認された。そして、この値について、従来の突き合わせ結合の結合効率の式（岡本勝就、光導波路の基礎、コロナ社）である以下の数式（1）から予測されるマルチコア光ファイバと受光用導波路の結合部におけるコア間クロストークを考慮に入れても説明できないことを発明者は発見した。

[数1]

$$C_{pq} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u_z \cdot \left(\mathbf{E}_p^* \times \mathbf{H}_q + \mathbf{E}_q \times \mathbf{H}_p^* \right) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u_z \cdot \left(\mathbf{E}_p^* \times \mathbf{H}_p + \mathbf{E}_p \times \mathbf{H}_p^* \right) dx dy} \quad (1)$$

[0026] なお、上記数式（１）において、 E は電界のベクトル、 H は磁界のベクトル、 p が添え字（下付き文字）として付いているパラメータは突き合わせ結合の出力側の成分で、 q が添え字（下付き文字）として付いているパラメータは入射側の成分であり、 U_z は光の伝搬方向の単位ベクトルである。

[0027] 上記式（１）をスカラー表示の電界で簡単に書き直すと、以下の数式（２）となり、光強度の結合係数としては以下の数式（３）と表すことができる。

[数2]

$$c_{pq} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_p E_q dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_p^2 dx dy} \quad (2)$$

[数3]

$$\mu_{pq} = c_{pq}^2 = \left(\frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_p E_q dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_p^2 dx dy} \right)^2 \quad (3)$$

[0028] 通常、シングルモード光ファイバでは、基底モードの電界分布は、コアの中心から離れるにつれて単調減少である。

[0029] ここで、光伝搬中のコア間クロストークが非常に小さく無視できるマルチコア光ファイバと受光用導波路の結合部におけるクロストークについて調べることを目的とし、単芯コア光ファイバ（シングルモード光ファイバ：SMF）同士を結合させた場合の結合部における、コアの軸ズレ量と結合パワーとの関係（結合パワープロファイル）を、実際のシングルモード光ファイバを用いて調べた。結合パワーについては、軸ズレ量無し的时候が0 dBになる様に規格化してある。

[0030] 図3に、シングルモード光ファイバの屈折率分布の例を示す。図3（A）は、クラッド層Aとクラッド層Aよりも屈折率の高いコア層Bのみを有するマッチドクラッド型、図3（B）は、クラッド層Aの内部に屈折率の低いト

レンチ層Cを有するトレンチ型、図3（C）は、クラッド層Aとコア層Bとの間にディプレスト層Dを有するディプレスト型の屈折率分布である。そして、図4に、マッチドクラッド型のシングルモード光ファイバ同士の結合損失プロファイルを、図5に、トレンチ型のシングルモード光ファイバ同士の結合損失プロファイルを示す。

[0031] ここで、図4および5において、「角型ガラス」、「金属付き円柱ガラス」、「ジルコニア」は、それぞれシングルモード光ファイバ50の端部に実装されているフェルールの材料を表している。具体的に、「角型ガラス」は断面角型の棒状ガラスフェールを表し、「金属付き円柱ガラス」は金属筐体とその表面に取り付けられたガラスフェールを表し、「ジルコニア」はジルコニアからなるフェールを表している。また、「ベアファイバ」(bare fiber)はシングルモード光ファイバ50の端部における被覆が除去され、ガラス部がむき出しになっている状態を表す。

[0032] 図4および5の双方において、綺麗な単峰型の部分であって軸ズレ量の絶対値がおおよそ $25 \sim 30 \mu\text{m}$ 以下の範囲で見られる部分が上記数式（1）～（3）で説明可能な部分である。一方、軸ズレ量の絶対値が $25 \sim 30 \mu\text{m}$ よりも大きい範囲で見られる波打った部分が数式（1）～（3）で説明できない部分である。単峰型の部分が図4より図5の方が鋭い形状になっているのは、後者の方がコアの伝搬モードの広がりが小さいためである。

[0033] ここで、図4および5の軸ズレ量の絶対値が $30 \sim 50 \mu\text{m}$ の範囲（数式（1）～（3）で説明できない範囲）の結合パワーの平均値を図6に示す。

[0034] 図6の結果によれば、ファイバに関しては、マッチドクラッド型シングルモード光ファイバ、トレンチ型シングルモード光ファイバの順で結合パワーの平均値が高い。フェールに関しては、ジルコニアフェール、ガラスフェール（形状や金属部の有無問わず）、ベアファイバの順で結合パワーの平均値が高いことが分かる。このうち、特に、マッチドクラッド型シングルモード光ファイバ同士と突き合わせ結合させた場合に比べて、トレンチ型シングルモード光ファイバ同士を突き合わせ結合させた場合の、結合パワーの

平均値の低減が著しいことが確認される。

[0035] 上記の結果が得られた理由は、定性的に以下のように説明できる。

[0036] (A) まず、上記数式(1)～(3)は、ファイバ端面の突き合わせ部分のみで起こる結合を表している。ところが、実際には、軸ズレが大きくなると、突き合わせ結合での出力側光ファイバのコアへの結合パワーが小さくなると共に、クラッドに殆どのパワーが結合する様になる。クラッドの伝搬モードは不安定であって伝搬損失が大きい、クラッドモードからコアモードへの伝搬しながらの結合があり、突き合わせ結合でのコアへの結合が大きい際には無視できるが、突き合わせ結合でのコアへの結合が小さくなると無視できなくなる。

[0037] (B) また、トレンチ型シングルモード光ファイバは、コアの周囲に屈折率の低いトレンチ層が存在するため、クラッドモードからコアモードへの結合をトレンチ層が障壁となって小さく押さえている。

[0038] (C) クラッド外に抜けるはずの光が、フェルルール及びフェルルールと光ファイバを接着する接着剤により、散乱又は反射される。そのため、クラッド外に抜けるはずの光がクラッド内に閉じ込められ、クラッドモードからコアモードへ結合する光のパワーを大きくする。

[0039] 以上の分析に基づいて、測定対象であるマルチコア光ファイバにおけるコア間クロストークを測定するための測定系に用いられる受光用導波路として望ましい屈折率分布形状は、下記の特徴を有していることであることが分かった。

[0040] (1) トレンチ型の屈折率分布やディプレスト型の屈折率分布など、コアとクラッドの間にクラッドより屈折率の低い部分が存在すること。

[0041] (2) トレンチ層やディプレスト層が、十分にクラッドモードからコアモードへの結合を阻害するだけの、厚みとクラッドに対する屈折率差を有すること。

[0042] (3) 上記の前提で、コア中心からトレンチ層とクラッド層の界面までの半径(トレンチ外径)、あるいは、ディプレスト層とクラッド層の界面まで

の半径（ディプレスト層）は、なるべく小さいこと。この理由は、マルチコア光ファイバにおけるコア間クロストークを測定する場合、結合先コアからの出力光を受光用導波路で受光する際に、マルチコア光ファイバと受光用導波路の突き合わせ面において、結合元コアからの出力光のパワーの大部分を、受光用導波路のクラッド外径やディプレスト外径の外側に結合させるためである。これは、受光用導波路のコアへの結合を阻害すべき成分が、阻害する障壁の内側に結合しないことを目的としている。

[0043] また、受光用導波路が光ファイバ（受光用光ファイバ）である場合には、マルチコア光ファイバ30との突き合わせ端部が以下の特徴を有していることが好ましい。

[0044] （４）マルチコア光ファイバと受光用光ファイバの接着する必要がある場合（融着を行う場合や調芯機上での測定など）は、被覆が除去されてガラス部分がむき出しの状態が望ましい。ただし、被覆の屈折率がクラッドより高い場合で、かつ、被覆を残したままでも受光用光ファイバの端面を綺麗にカットできるのであれば、ガラス部は被覆で覆われていてもよい。

[0045] （５）マルチコア光ファイバと受光用光ファイバを接着する必要がある場合は、受光用光ファイバとフェルルールとの接着面はある程度の面積が必要であるため、受光用光ファイバはフェルルールに接着された状態であることが好ましい。また、フェルルールに散乱された光が受光用光ファイバに戻ってこない様に、フェルルールは測定に用いる波長帯の光を散乱せずに透過する材質であることが好ましい。さらに、クラッドモードのパワーがフェルルールに逃げやすいように、フェルルール、及び、フェルルールとファイバを接着する接着剤は、受光用光ファイバのクラッドより高い屈折率を有することが好ましい。

[0046] （６）フェルルール、及び、フェルルールと受光用光ファイバを接着する接着剤の屈折率が、受光用光ファイバのクラッドより低い場合は、トレンチ界面やディプレスト界面の外側のクラッド内に、クラッドより屈折率の高い層（トラップ層）を設けて、クラッドモードをトラップ層に結合させても良い。このとき、トラップ層の外側に更にクラッドがあっても、トラップ層の外側

界面がガラスと空気の界面でもよい。トラップ層を設けた受光用光ファイバの屈折率分布の例を図7に示す。図7（A）は、トラップ層Eを有するトレレンチ型の屈折率分布であり、図7（B）は、トラップ層Eを有するディプレスト型の屈折率分布である。なお、図7（A）の屈折率分布は、コア層Bの外周にクラッド層Aが設けられており、このクラッド層A内に、コアBから近い順にトレレンチ層C、トラップ層Eが設けられている。また、図7（B）の屈折率分布は、コア層Bとクラッド層Aの間にディプレスト層Dが設けられており、クラッド層A内であってディプレスト層Dよりもコア層Bから遠い位置にトラップ層Eが設けられている。

[0047] 以上のように、本実施形態にかかるマルチコア光ファイバから出力される光の受光方法によれば、ディプレスト型の屈折率分布あるいはトレレンチ型の屈折率分布のように、コア周囲にクラッドよりも屈折率が低い層が設けられた受光用導波路を用いることで、この屈折率の低い層がクラッド側からコアへのノイズ等の伝搬を抑制する。この結果、コア間クロストークが小さいマルチコア光ファイバに対する測定においてもクロストーク由来とは異なる成分が低減されてコア間クロストークを精度よく測定することが可能になる。

[0048] 以上、主にクロストークの測定に関連した説明を行ってきたが、上述の受光用導波路は複数のコアを有しても良く、本実施形態に係るマルチコア光ファイバから出力される光の受光方法は、マルチコアファイバの複数コアから信号光を、同時かつ個別に取り出す際に用いても、コア間クロストークを抑制し、ノイズの少ない信号光を取り出すことができる。これにより、クロストーク測定以外のクロストークの影響が懸念される測定方法（例えば、伝送損失、カットオフ波長などの測定）や、伝送システム中のマルチコア光ファイバに対する受光器での信号光の受光に対しても適用可能となる。

[0049] 上記複数のコアを有する受光用導波路の具体的構成を図8に示す。図8に示された受光用導波路70は、それぞれがコア71aを有しかつ本発明の特徴を満たす複数本の単芯コア光ファイバ71を備え、その一方の端部において複数本の単芯コア光ファイバ71が束ねられている。この一方の端部は、

マルチコア光ファイバ30のコア配置に合う様に、単芯コア光ファイバ71が配列して状態でフェルール化あるいはコネクタ化されている（図8では、フェルール72により片端が固定された例を示す）。一方、受光用導波路70の他方の端部では、単芯コア光ファイバが1本1本分離した状態となっている。このように図8に示された受光用導波路70は、一方の端部において複数本の単芯コア光ファイバ71が所定配置を維持した状態で束ねられる一方、他方の端部において複数本の単芯コア光ファイバ71がそれぞれ分離している、ファンアウトデバイスである。このような受光用導波路70をマルチコア光ファイバ30の出射端面30aにおけるコアそれぞれから出力された光を導波する受光用導波路として用いることもできる。

符号の説明

- [0050] 1…コア間クロストーク測定装置、10…光源、20…パワーメータ、30…マルチコア光ファイバ、40…シングルモード光ファイバ（送光用導波路）、50…シングルモード光ファイバ（受光用導波路）、60…光学部品、61…保持具、62…フェルール、70…受光用導波路。

請求の範囲

[請求項1]

マルチコア光ファイバから出力される光の受光方法であって、

前記マルチコア光ファイバのコアから出力される光を導波する受光用導波路であって、コア周囲をクラッドよりも屈折率が低い層で囲まれたディプレスト型あるいはトレンチ型の屈折率構造を持つ受光用導波路を、前記マルチコア光ファイバから出力される光が到達する位置に配置し、

前記ディプレスト層あるいは前記トレンチ層は、前記クラッドよりも屈折率が低い固体のみによって形成され、あるいは、固体内に空孔を有することにより平均的な屈折率が前記クラッドより低い層として形成され、

前記マルチコア光ファイバの第1の端面において第1のコアに測定光を入射し、

前記マルチコア光ファイバの前記第1の端面に対向する第2の端面において前記第1のコアと異なる第2のコアから出射される光に前記受光用導波路内を導波させ、そして、

前記受光用導波路を導波した光を受光する、マルチコア光ファイバから出力される光の受光方法。

[請求項2]

請求項1記載の受光方法において、

前記受光用導波路は、その表面が被覆によって覆われた、ガラス材料からなる受光用光ファイバを含み、

前記マルチコア光ファイバの前記第2のコアと前記受光用光ファイバのコアとが調芯された後、前記マルチコア光ファイバと前記受光用光ファイバとは、接着剤を用いて接着されることなく保持され、

前記マルチコア光ファイバの前記第2のコアに対面する端面を含む前記受光用光ファイバの端部は、被覆が除去されたガラス部が露出しているか、あるいは、前記ガラス部が被覆によって覆われており、

前記マルチコア光ファイバの前記第2のコアから出力された光は、

前記受光用光ファイバの端部にフェルルールが実装されていない状態で前記受光用光ファイバの前記コアへ入射する。

[請求項3] 請求項1記載の受光方法において、

前記受光用導波路は、その表面が被覆で覆われた、ガラス材料からなる受光用光ファイバを含み、

前記マルチコア光ファイバの前記第2のコアと前記受光用光ファイバのコアとが調芯された後、前記マルチコア光ファイバと受光用光ファイバとは接着剤を用いて接着され、

前記マルチコア光ファイバの前記第2のコアに対面する端面を含む前記受光用光ファイバの端部には、前記被覆が除去された前記ガラス部が露出した状態で、透明なフェルルールが接着剤で実装されており、

前記フェルルール実装用の接着剤の屈折率は、前記受光用光ファイバのクラッド部の屈折率よりも高く、

前記マルチコア光ファイバの前記第2のコアから出力された光は、前記受光用光ファイバの端部に前記透明なフェルルールが実装された状態で前記受光用光ファイバの前記コアへ入射する。

[請求項4] マルチコア光ファイバから出力される光の受光方法であって、

前記マルチコア光ファイバのコアから出射された光を導波する受光用導波路であって、複数のコアを有し、各コア周囲をクラッドよりも屈折率が低い層で囲まれたディプレスト型あるいはトレンチ型の屈折率構造を持つ受光用導波路を、前記マルチコア光ファイバから出力された光が到達する位置に配置し、

前記ディプレスト層あるいは前記トレンチ層は、前記クラッドよりも屈折率が低い固体のみによって形成され、あるいは、固体内に空孔を有することにより平均的な屈折率が前記クラッドより低い層として形成され、

前記マルチコア光ファイバの第1の端面において1又はそれ以上のコアそれぞれに測定光、あるいは信号光を入射し、

前記マルチコア光ファイバの前記第1の端面と対向する第2の端面においてコアそれぞれから出力される光に前記受光用導波路内を導波させることで、前記第2の端面におけるコアそれぞれから出力される光を分離し、そして、

前記受光用導波路の前記複数のコアを導波した光を個別に受光する、マルチコア光ファイバから出力される光の受光方法。

[請求項5] 請求項1または4記載の受光方法において、

前記受光用導波路は、前記ディプレスト層あるいは前記トレンチ層より外側に、クラッドよりも屈折率の高いトラップ層を有する屈折率構造を有する。

[請求項6] マルチコア光ファイバから出力される光の分離装置であって、

前記マルチコア光ファイバのコアから出射された光を導波する受光用導波路であって、複数のコアを有し、各コア周囲をクラッドよりも屈折率が低い層で囲まれたディプレスト型あるいはトレンチ型の屈折率構造を持つ受光用導波路を備え、

前記受光用導波路は、前記マルチコア光ファイバから出力された光が到達する位置に配置され、

前記ディプレスト層あるいは前記トレンチ層は、前記クラッドよりも屈折率が低い固体のみによって形成され、あるいは、固体内に空孔を有することにより平均的な屈折率が前記クラッドより低い層として形成され、

前記マルチコア光ファイバの第1の端面において1又はそれ以上のコアそれぞれに測定光、あるいは信号光が入射され、

前記マルチコア光ファイバの前記第1の端面に対向する第2の端面においてコアそれぞれから出力される光に前記受光用導波路内を導波させることで、前記第2の端面におけるコアそれぞれから出力される光が分離され、

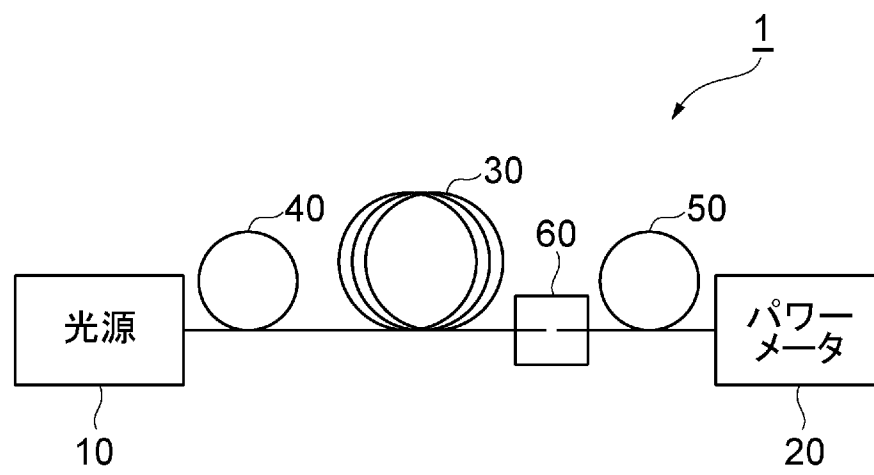
前記受光用導波路の前記複数のコアを導波した光が個別に受光され

る、マルチコア光ファイバから出力される光の分離装置。

[請求項7] 請求項6の分離装置において、

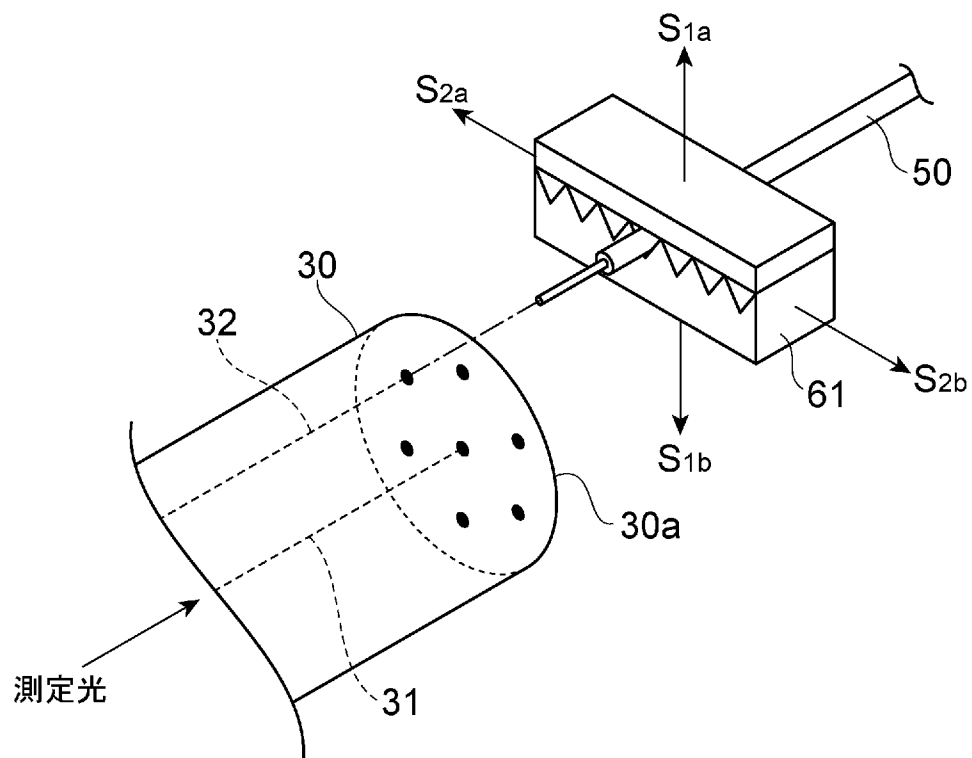
前記受光用導波路は、一端が束ねられた複数本の単芯コア光ファイバにより構成され、前記一端は、前記複数本の単芯コア光ファイバが前記マルチコアファイバのコア配置に合わせて配列された状態でフェルール化、あるいは、コネクタ化される一方、他端は、前記複数本の単芯コア光ファイバが個別に分離可能な状態になっている。

[図1]

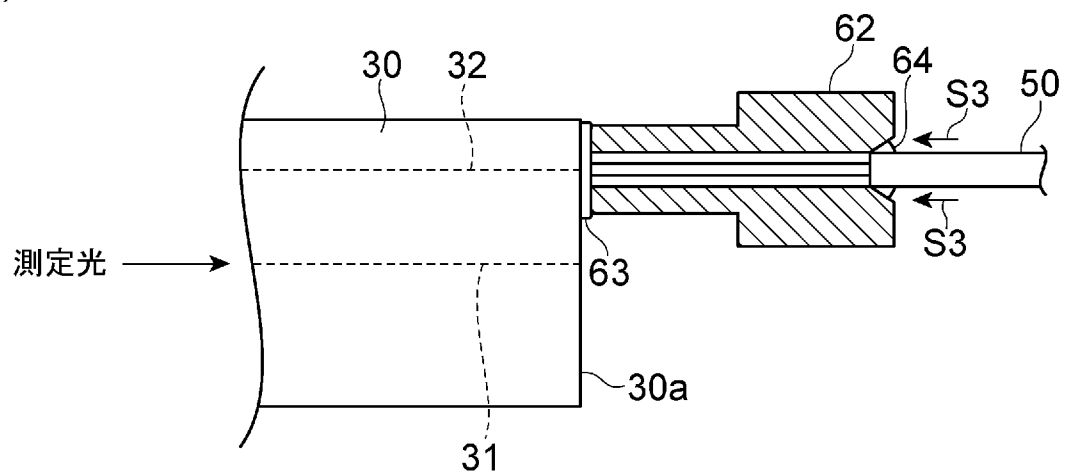


[図2]

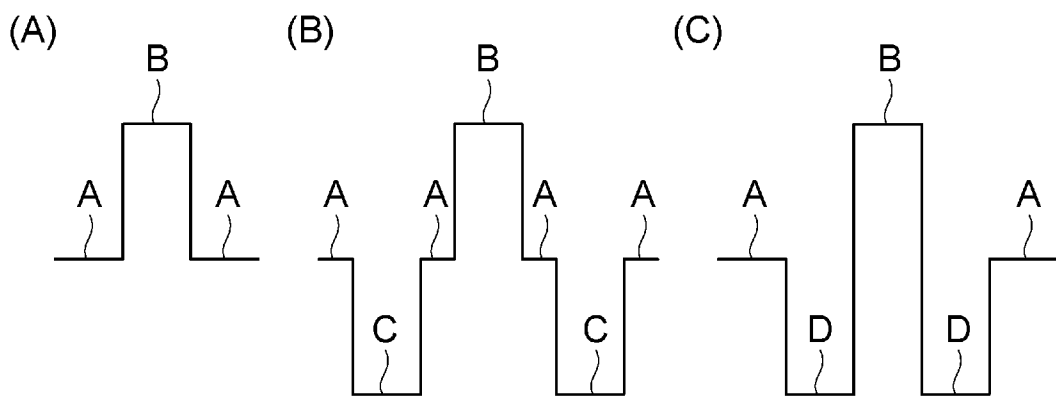
(A)



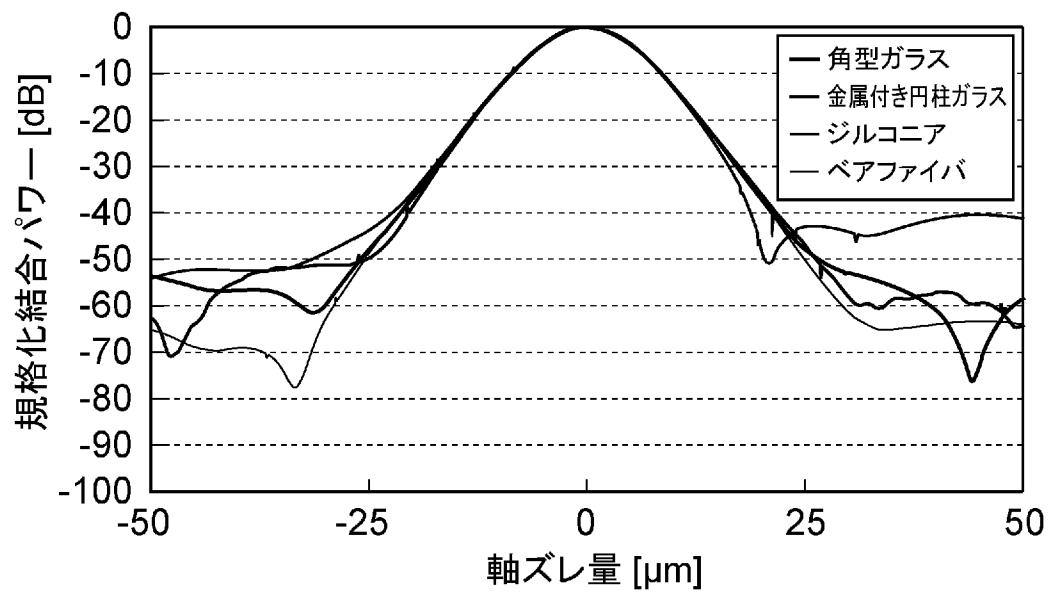
(B)



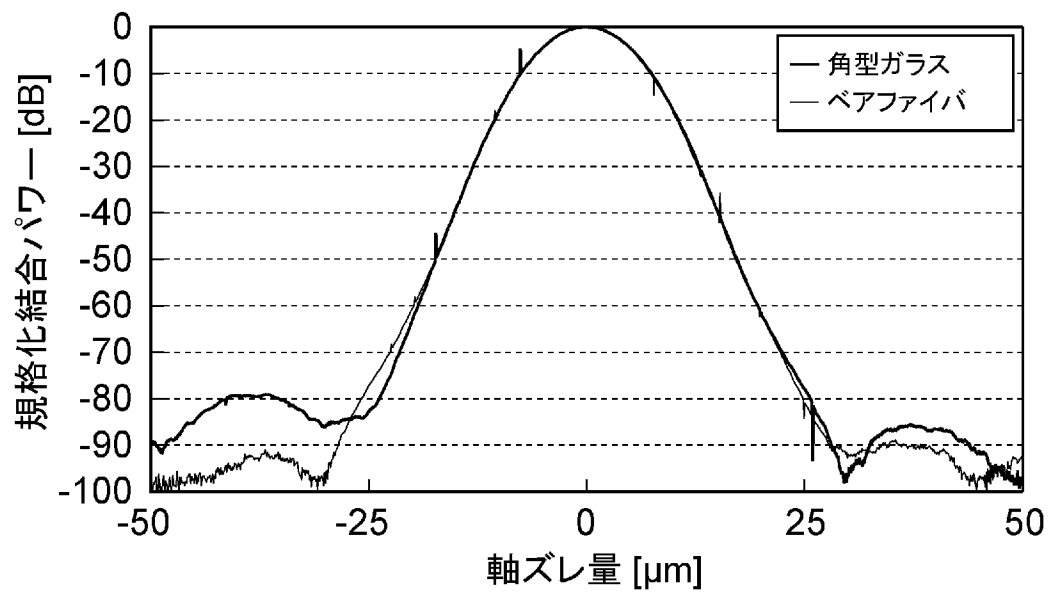
[図3]



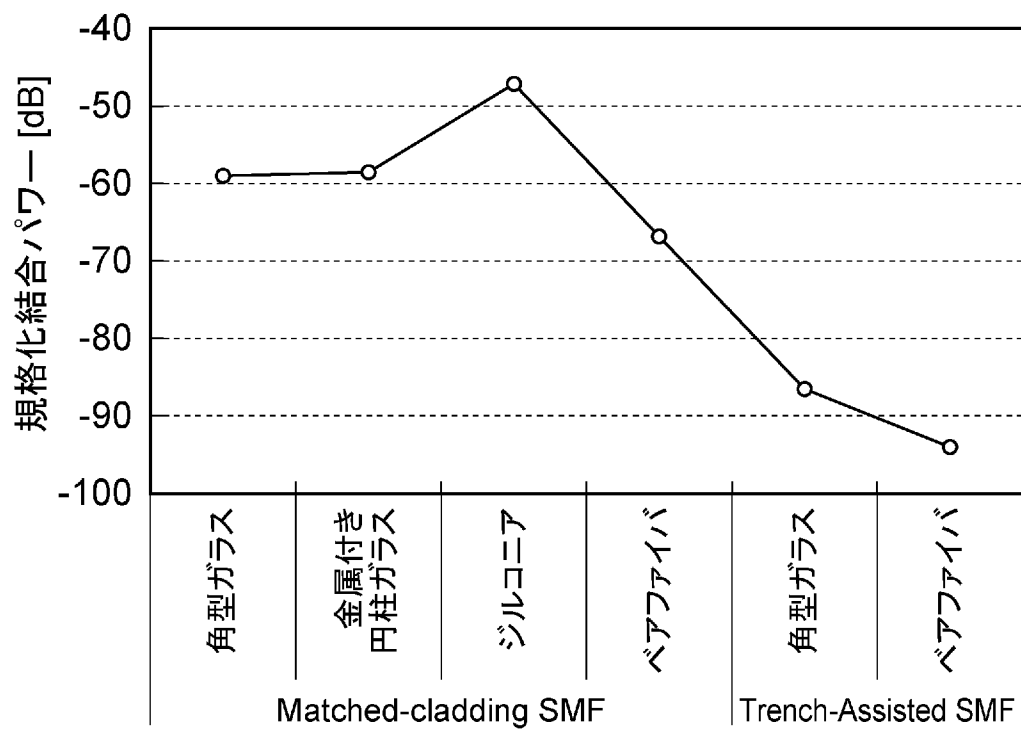
[図4]



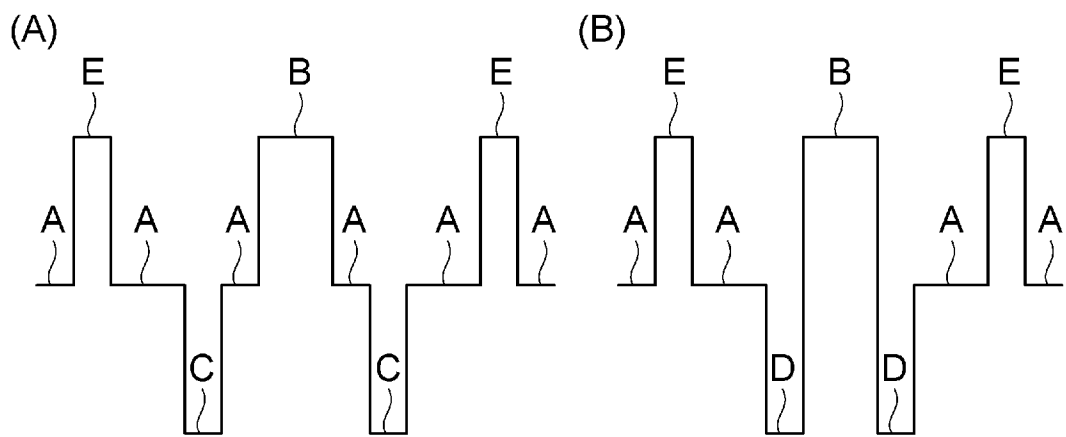
[図5]



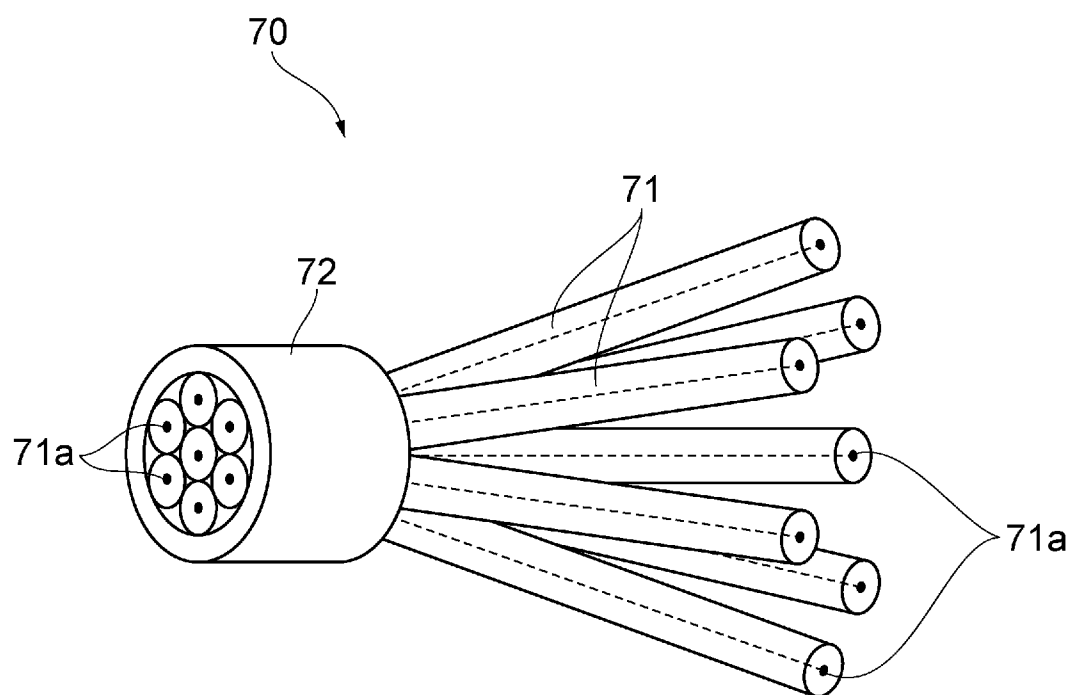
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/054306

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M11/02(2006.01)i, G01M11/00(2006.01)i, G02B6/036(2006.01)i, G02B6/04(2006.01)i, G02B6/26(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)

G01M11/00-11/02, G02B6/00, G02B6/036-6/08, G02B6/24-6/26, G02B6/36-6/40, H04B3/46-3/48, H04B10/02-10/12, H04B17/00-17/02, H04J1/12

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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.
A	WO 2009/107414 A1 (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 03 September 2009 (03.09.2009), paragraph [0069] & US 2009/0324242 A1	1-7
A	JP 63-049707 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 March 1988 (02.03.1988), page 3, upper right column, lines 3 to 9; fig. 3 (Family: none)	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
21 May, 2012 (21.05.12)

Date of mailing of the international search report
05 June, 2012 (05.06.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/054306

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2011-242204 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 01 December 2011 (01.12.2011), paragraphs [0056] to [0061]; fig. 1, 4 (Family: none)	1-7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01M 11/02(2006.01)i, G01M 11/00(2006.01)i, G02B 6/036(2006.01)i,
G02B 6/04(2006.01)i, G02B 6/26(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. G01M 11/00-11/02, G02B 6/00, G02B 6/036-6/08, G02B 6/24-6/26,
G02B 6/36-6/40, H04B 3/46-3/48, H04B 10/02-10/12, H04B 17/00-17/02,
H04J 1/12

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 2 年
日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 2 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
A	WO 2 0 0 9 / 1 0 7 4 1 4 A 1 (古河電気工業株式会社) 2 0 0 9 . 0 9 . 0 3 , 段落番号【0 0 6 9】 & US 2 0 0 9 / 0 3 2 4 2 4 2 A 1	1 - 7
A	JP 6 3 - 0 4 9 7 0 7 A (住友電気工業株式会社) 1 9 8 8 . 0 3 . 0 2 , 第3頁右上欄第3行-同頁同欄第9行, 第3図 (ファミリーなし)	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

2 1 . 0 5 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 5 . 0 6 . 2 0 1 2

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)

平田 佳規

2 W

9 8 0 7

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

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
P, A	J P 2011-242204 A (住友電気工業株式会社) 2011. 12. 01, 段落番号【0056】－【0061】, 第1図, 第4図 (ファミリーなし)	1-7