

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5768090号
(P5768090)

(45) 発行日 平成27年8月26日(2015.8.26)

(24) 登録日 平成27年6月26日(2015.6.26)

(51) Int. Cl.		F I			
GO2B	6/04	(2006.01)	GO2B	6/04	A
GO2B	6/02	(2006.01)	GO2B	6/02	411

請求項の数 3 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2013-127015 (P2013-127015)	(73) 特許権者	000005186
(22) 出願日	平成25年6月17日(2013.6.17)		株式会社フジクラ
(65) 公開番号	特開2015-1673 (P2015-1673A)		東京都江東区木場1丁目5番1号
(43) 公開日	平成27年1月5日(2015.1.5)	(73) 特許権者	504173471
審査請求日	平成26年4月10日(2014.4.10)		国立大学法人北海道大学
			北海道札幌市北区北8条西5丁目
(出願人による申告)平成23年度、独立行政法人情報通信研究機構、「高度通信・放送研究開発委託研究/革新的光通信インフラの研究開発」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100106909
			弁理士 棚井 澄雄
		(74) 代理人	100126882
			弁理士 五十嵐 光永
		(74) 代理人	100160093
			弁理士 小室 敏雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のコアと前記複数のコアの周囲を覆う共通のクラッドとを有するマルチコアファイバの端部に接続されるファンイン/ファンアウトデバイスであって、

前記複数のコアにそれぞれ接続される複数のシングルコアファイバを備え、

前記複数のシングルコアファイバは、少なくとも一部が長さ方向に縮径しつつ延出する延伸部を有し、

前記延伸部は、延出方向の端部で前記マルチコアファイバの端部に接続され、

前記シングルコアファイバの屈折率分布は、単峰型とされ、

前記シングルコアファイバのクラッドに対するコアの比屈折率差は、0.8%以上であり、

前記延伸部の端部におけるモードフィールド径は、前記マルチコアファイバの端部のモードフィールド径より大きく、

前記シングルコアファイバのクラッドに対するコアの比屈折率差は、1.1%以下であり、

前記シングルコアファイバの延伸前のコアの半径は、2.7~3.2 μmであり、

前記延伸部における前記シングルコアファイバの最小外径と最大外径との比率(最小外径/最大外径)は、1/1.5~1/2.5であることを特徴とするマルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイス。

【請求項2】

前記延伸部の端部における前記シングルコアファイバのモードフィールド径は、 $10\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載のマルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイス。

【請求項3】

前記延伸部は、シングルコアファイバを溶融させ延伸させることによって形成されたものであることを特徴とする請求項1または2に記載のマルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

近年の伝送容量の急激な増大、および光ファイバ1本あたりの伝送容量限界に対応するため、マルチコアファイバの研究が行われている。

マルチコアファイバの実用化のためには、マルチコアファイバの各コアと外部光ファイバとを接続するための入出力デバイスとして、ファンイン/ファンアウトデバイスが必要となる。

【0003】

図11は、ファンイン/ファンアウトデバイスの一例を用いた入出力装置を示すもので、ここに示す入出力装置は、マルチコアファイバ1と、マルチコアファイバ1の両端部にそれぞれ接続されたファンイン/ファンアウトデバイス20、20と、デバイス20、20に接続された外部光ファイバ3、3とを備えている。

【0004】

デバイス20は、複数のシングルコアファイバ22と、これらを保持する保持部8とを有する。

シングルコアファイバ22は、太径部24と、太径部24から延出する延伸部27とを有する。

延伸部27は、太径部24から縮径しつつ延出する縮径部25と、縮径部25から延出する細径部26とを有する。縮径部25では、延出方向にコア径は小さくなる。

延伸部27は、シングルコアファイバ22の一部を加熱し、溶融延伸することで形成することができる。

【0005】

太径部24は、接続点C1において外部光ファイバ3に接続されている。細径部26は、接続点C2においてマルチコアファイバ1の各コアに接続されている。

デバイス20は、外部光ファイバ3から、シングルコアファイバ22を介して、光をマルチコアファイバ1のコアに入射させるか、または、マルチコアファイバ1のコアから、シングルコアファイバ22を介して、光を外部光ファイバ3に入射させることができる。

【0006】

シングルコアファイバ22は、コア径が小さくなると光の閉じ込めが弱くなり、モードフィールド径は大きくなる。そのため、マルチコアファイバ1とデバイス20との接続点でモードフィールド径の不整合が生じ、接続損失が増加しやすい。

【0007】

この課題に対する解決策として、コアを2重構造とすることが提案されている（非特許文献1を参照）。

2重構造のコアを用いたデバイスを、図11に加えて、図12～図13(b)を参照して説明する。

図12は、デバイス20のシングルコアファイバ22の構造を示す模式図である。図13(a)は、延伸されていないシングルコアファイバの屈折率分布と光の電磁界分布を模式的に示す図であり、図13(b)は、延伸されたシングルコアファイバの屈折率分布と

10

20

30

40

50

光の電磁界分布を模式的に示す図である。

【0008】

図11および図12示すように、デバイス20は、2重構造のコア22aと、その周囲を覆うクラッド22bとを有するシングルコアファイバ22を備えている。コア22aは、高屈折率の中央部22a1と、その周囲を覆う低屈折率の外周部22a2とからなる。

【0009】

図13(a)に示すように、延伸されていないシングルコアファイバ22では、中央部22a1の径が大きいため、中央部22a1に強く局在するモードが存在する。

一方、図13(b)に示すように、延伸されたシングルコアファイバ22では、中央部22a1が細径化するため中央部22a1を伝播するモードは存在しないが、中央部22a1に収まらない光も外周部22a2内に存在するモードとして伝播する。このため、この構造のデバイスは、延伸後のモードフィールド径の変化を小さくする設計がしやすい。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】“PROFA Pitch Reducing Optical Fiber Array”、[平成25年6月6日検索]、インターネット<<http://www.chiralphotonics.com/Web/profa.html>>

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

デバイス20では、光が中央部22a1から外周部22a2に移行する際にモードフィールド径が大きくなるため、近接する他の光ファイバ22との間で電磁界の重なりが起こり、大きなクロストークが発生するという問題がある。

単峰型の屈折率分布を有する光ファイバを用いれば、このような問題は生じないため、電磁界の重なりを抑制でき、クロストークを低減できる。

しかし、縮径部でコア径が変化することでモードフィールド径は急激に変化するため、接続点C1、C2の両方について、接続相手(外部光ファイバ3、またはマルチコアファイバ1)との間のモードフィールド径の差を小さくすることは難しい。このため、接続点C1、C2のいずれかで接続損失が大きくなり、全体として接続損失が増大するという課題がある。

本発明は、前記事情に鑑みてなされたもので、クロストークを低減でき、かつ全体として接続損失を低減できるマルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイス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】

【0012】

本発明は、複数のコアと前記複数のコアの周囲を覆う共通のクラッドとを有するマルチコアファイバの端部に接続されるファンイン/ファンアウトデバイスであって、前記複数のコアにそれぞれ接続される複数のシングルコアファイバを備え、前記複数のシングルコアファイバは、少なくとも一部が長さ方向に縮径しつつ延出する延伸部を有し、前記延伸部は、延出方向の端部で前記マルチコアファイバの端部に接続され、前記シングルコアファイバの屈折率分布は、単峰型とされ、前記シングルコアファイバのクラッドに対するコアの比屈折率差は、0.8%以上であり、前記延伸部の端部におけるモードフィールド径は、前記マルチコアファイバの端部のモードフィールド径より大きく、前記シングルコアファイバのクラッドに対するコアの比屈折率差は、1.1%以下であり、前記シングルコアファイバの延伸前のコアの半径は、 $2.7 \sim 3.2 \mu\text{m}$ であり、前記延伸部における前記シングルコアファイバの最小外径と最大外径との比率(最小外径/最大外径)は、 $1/1.5 \sim 1/2.5$ であるマルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイスを提供する。

前記延伸部の端部における前記シングルコアファイバのモードフィールド径は、 $10 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

前記延伸部は、シングルコアファイバを溶融させ延伸させることによって形成されたものであることが好ましい。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、シングルコアファイバのクラッドに対するコアの比屈折率差が大きい
ため、シングルコアファイバの屈折率分布が単峰型であるにもかかわらず、延伸部でのモ
ードフィールド径の拡大を抑制でき、マルチコアファイバとの間の接続損失を低減できる
。

また、前記屈折率分布が単峰型であるため、コア内に存在するモードは変化しないので、
モードの移動に起因するモードフィールド径の変化が起こらず、近接する他のシングル
コアファイバとの間の電磁界の重なりが小さい。このため、クロストークを低減できる。

さらに、延伸部におけるモードフィールド径がマルチコアファイバのモードフィールド
径より大きくされるため、延伸側で接続損失が生じることがあるが、非延伸側での接続損
失を抑制できることから、全体としては接続損失を低減できる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明のファンイン/ファンアウトデバイスの一実施形態を有する入出力装置を
示す模式図である。

【図2】図1に示すデバイスを示す斜視図である。

【図3】図1に示すデバイスに使用可能なシングルコアファイバの一例を示す断面図であ
る。

【図4】図1に示すデバイスを適用可能なマルチコアファイバの一例を示す断面図である
。

【図5】(a)延伸されていないシングルコアファイバの屈折率分布と光の電磁界分布を
模式的に示す図である。(b)延伸されたシングルコアファイバの屈折率分布と光の電磁
界分布を模式的に示す図である。

【図6】シングルコアファイバのコア径変化率とモードフィールド径の変化率との関係
を示す図である。

【図7】シングルコアファイバのコア半径とモードフィールド径との関係を示す図である
。

【図8】シングルコアファイバのコア半径と、コアの比屈折率差と、延伸後のモードフ
ィールド径との関係を示す図である。

【図9】コアの比屈折率差と、合計接続損失との関係を示す図である。

【図10】デバイスの製造方法を説明する模式図である。

【図11】デバイスの一例を有する入出力装置を示す模式図である。

【図12】デバイスの一例の構造を示す斜視図である。

【図13】(a)延伸されていないシングルコアファイバの屈折率分布と光の電磁界分布
を模式的に示す図である。(b)延伸されたシングルコアファイバの屈折率分布と光の電
磁界分布を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

図1は 本発明のマルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイス(以下、単
にデバイスということがある)の一実施形態を用いた入出力装置を示すものである。

ここに示す入出力装置は、マルチコアファイバ1と、マルチコアファイバ1の両端部1
cにそれぞれ接続されたデバイス10、10と、デバイス10、10に接続された外部光
ファイバ3、3とを備えている。

デバイス10は、マルチコアファイバ1と外部光ファイバ3、3とを中継接続している
。外部光ファイバ3は、デバイス10の外部接続先である。

【0016】

10

20

30

40

50

図 1 および図 2 に示すように、デバイス 10 は、複数のシングルコアファイバ 2 と、これらを束ねた状態で保持する保持部 8 とを有する。

図 3 に示すように、シングルコアファイバ 2 は、コア 2 a とコア 2 a の周囲を覆うクラッド 2 b とを有する。クラッド 2 b はコア 2 a に比べて屈折率が低い。

【 0 0 1 7 】

図 1 および図 2 に示すように、シングルコアファイバ 2 は、一端側部分である太径部 4 と、太径部 4 から長さ方向に延出する他端側部分である延伸部 7 とを有する。

太径部 4 は、延伸されていない部分であって、その外径は長さ方向に一定である。

太径部 4 の端部 4 a は、それぞれ外部光ファイバ 3 の端部 3 a に、接続点 C 1 にて接続される。太径部 4 は、外部光ファイバ 3 と融着接続してもよい。図示例では、7本のシングルコアファイバ 2 の太径部 4 は、それぞれ 7本の外部光ファイバ 3 に接続されている。

【 0 0 1 8 】

延伸部 7 は、太径部 4 から長さ方向に縮径しつつ延出する縮径部 5 と、縮径部 5 から延出する細径部 6 とを有する。

縮径部 5 では、延出方向にコア径は徐々に小さくなる。

縮径部 5 におけるシングルコアファイバ 2 の最小外径と最大外径との比率（最小外径 / 最大外径）は、例えば $1 / 1.5 \sim 1 / 2.5$ としてよい。縮径部 5 の最大外径は太径部 4 の外径と同じとしてよい。

【 0 0 1 9 】

細径部 6 は、縮径部 5 の延出方向の端部 5 a から、さらに同方向に延出して形成された一定径の部分である。

細径部 6 の延出方向の端部 6 a は、接続点 C 2 において、マルチコアファイバ 1 のコア 1 a（図 4 参照）に接続される。細径部 6 は、マルチコアファイバ 1 と融着接続してもよい。

図示例では、7本のシングルコアファイバ 2 の細径部 6 は、それぞれマルチコアファイバ 1 の 7つのコア 1 a に接続されている。細径部 6 の外径は縮径部 5 の最小外径と同じとしてよい。

【 0 0 2 0 】

なお、図示例のデバイス 10 のシングルコアファイバ 2 は、太径部 4 と延伸部 7 とを有し、延伸部 7 は縮径部 5 と細径部 6 とを有する構造であるが、本発明のデバイスは、太径部 4 と細径部 6 のうち一方または両方を省いた構造も可能である。細径部 6 がない場合には、延伸部 7 は縮径部 5 のみからなる。

【 0 0 2 1 】

延伸部 7 は、溶融延伸によって形成されるため、「延伸側部分」（または単に「延伸側」と呼ぶことがある。太径部 4 については「非延伸側部分」（または単に「非延伸側」と呼ぶことがある。

【 0 0 2 2 】

図 2 に示すように、保持部 8 は、複数のシングルコアファイバ 2 を略束ねた状態で保持するものであって、ガラスなどからなる。

保持部 8 は、シングルコアファイバ 2 の長さ方向の一部または全部に設けられている。保持部 8 は、太径部 8 a と、太径部 8 a から延出する延伸部 8 d とを有する。延伸部 8 d は、太径部 8 a から長さ方向に縮径しつつ延出する縮径部 8 b と、縮径部 8 b から延出する細径部 8 c とを有する。

太径部 8 a は、シングルコアファイバ 2 の太径部 4 の一部に形成することができる。縮径部 8 b、細径部 8 c は、それぞれシングルコアファイバ 2 の縮径部 5、細径部 6 に相当する位置に形成される。

【 0 0 2 3 】

図 5 (a) は、延伸されていないシングルコアファイバの屈折率分布と光の電磁界分布を模式的に示す図であり、図 5 (b) は、延伸されたシングルコアファイバの屈折率分布と光の電磁界分布を模式的に示す図である。なお、屈折率分布は、光ファイバの光軸に対

10

20

30

40

50

して垂直な面における屈折率分布であることが好ましい。

【0024】

図5(a)および図5(b)に示すように、シングルコアファイバ2には、単峰型の屈折率分布を有するものが使用される。これらの図では、横軸はシングルコアファイバ2の径方向の距離であり、縦軸は屈折率である。

コア2aに相当する中央領域における屈折率は、クラッド2bの屈折率より高く、単一のピークP1を形成する。図示例ではコア2aの屈折率はコア2aの全域にわたり一定値であるため、ピークP1は矩形(または略矩形)である。

なお、単峰型の屈折率分布とは、屈折率が単一のピークを有する分布をいう。

【0025】

単峰型の屈折率分布を有するシングルコアファイバ2では、2重構造のコアを有するデバイス20のシングルコアファイバ22(図12参照)とは異なり、コア2a内に存在するモードは変化しないので、モードの移動に起因するモードフィールド径の変化が起らず、近接する他のシングルコアファイバ2との間の電磁界の重なりが小さい。このため、クロストークを低減できる。

【0026】

単峰型の屈折率分布を有するシングルコアファイバ2には、延伸後のモードフィールド径が拡大しやすいという問題があるが、本願発明者の検討により、単峰型の屈折率分布を有するシングルコアファイバ2を用いる場合でも、クラッド2bに対するコア2aの比屈折率差を大きくすれば、延伸部7におけるモードフィールド径の広がりを抑制できることが明らかになった。

【0027】

図6は、延伸によるコア径の変化率(延伸後のコア径/延伸前のコア径)と、モードフィールド径の変化率(MFD変化率)との関係を示す図である。

この図に示すように、クラッド2bに対するコア2aの比屈折率差が0.9の場合には、比屈折率差が0.35の場合に比べて、コア径が変化した時のモードフィールド径の変化率が小さくなる。

このことから、比屈折率差を大きくすれば、延伸部7のモードフィールド径の広がりを抑制できることがわかる。

すなわち、比屈折率差を大きくすることによって、延伸部7の端部6aのモードフィールド径とマルチコアファイバ1のモードフィールド径との差を小さくでき、デバイス10とマルチコアファイバ1との間の接続損失を低減できる。また、モードフィールド径を小さくできるため、近接する他のコアとの電磁界の重なりを小さくでき、クロストークを低減できる。

【0028】

クラッド2bに対するコア2aの比屈折率差は、0.8%以上(好ましくは0.9%以上)とされる。

比屈折率差をこの範囲とすることによって、クロストーク特性が良好であり、かつ延伸部7でのモードフィールド径の拡大を抑制できるデバイス10が得られる。

【0029】

クラッド2bに対するコア2aの比屈折率差は、大きくし過ぎると、非延伸側(太径部4の端部4a)のモードフィールド径が小さくなり外部光ファイバ3との接続損失が増大する、カットオフ波長が長波長側にシフトするため波長1550nmでマルチモードが励起される、などの問題が生じるおそれがある。

このため、コア2aの比屈折率差は、所定の値以下とすることが好ましい。この比屈折率差は、例えば1.1%以下(好ましくは1.0以下)とすることができる。

比屈折率差をこの範囲とすることによって、非延伸側での接続損失を抑制できるため、延伸側で接続損失が生じたとしても、全体としては接続損失を低減できる。また、カットオフ波長を1550nm以下とすることができる。

【0030】

10

20

30

40

50

デバイス10の延伸側(延伸部7の端部6a)のモードフィールド径は、接続相手であるマルチコアファイバ1の端部1cのモードフィールド径と同じとする必要はなく、デバイス10の延伸側の接続損失と非延伸側の接続損失との合計(合計接続損失)を小さくすることを指標として適宜設計することができる。

上述のように、クラッド2bに対するコア2aの比屈折率差は、大きくなれば、延伸側でモードフィールド径の広がりを抑制できる半面、非延伸側での接続損失が大きくなる。

このため、延伸側のモードフィールド径(延伸部7の端部6aのモードフィールド径)を、あえてマルチコアファイバ1のモードフィールド径より大きくすることによって、前述の合計接続損失を小さくすることができる。

10

また、デバイス10の延伸部7のモードフィールド径がマルチコアファイバ1のモードフィールド径より大きくなると、デバイス10とマルチコアファイバ1との間の位置ずれが生じて、接続損失の増加が起こりにくいという利点もある。

【0031】

延伸部7の端部6aのモードフィールド径は、10 μ m以下であることが好ましい。モードフィールド径をこの範囲とすることによって、接続相手であるマルチコアファイバ1のモードフィールド径との差を小さくし、接続損失を抑制できる。

【0032】

光ファイバのモードフィールド径は、コア径に応じて変化する。

図7は、シングルコアファイバ2のクラッドに対するコアの比屈折率差を0.9%としたときの、コアの半径とモードフィールド径との関係を示す図である。図中、MCFは、接続相手となるマルチコアファイバ1の端部のモードフィールド径である。

20

この図に示すように、コア半径を小さくしていくと、モードフィールド径はいったん徐々に小さくなり、コア半径をさらに小さくすると、逆に急激に大きくなる。

【0033】

非延伸側(太径部4の端部4a)のコア2aの半径(延伸前のコア2aの半径)は、例えば2.7~3.2 μ mとすることができる。コア2aの半径をこの範囲とすることによって、モードフィールド径を適切な範囲とすることができるため、マルチコアファイバ1の端部1cとのモードフィールド径の差を小さくできる。

よって、前述の合計接続損失を小さくすることができる。また、カットオフ波長を1550nm以下とすることができる。

30

【0034】

図4に示すように、マルチコアファイバ1は、複数のコア1aとコア1aの周囲を覆う共通のクラッド1bとを有する。図示例のマルチコアファイバ1では、コア1aは7つあり、そのうち1つは中央に配置され、残りの6つは中央のコア1aを中心として同心円状に配置されている。

外部光ファイバ3は、シングルモード光ファイバが好ましい。

【0035】

デバイス10は、外部光ファイバ3から、シングルコアファイバ2を介して、光をマルチコアファイバ1のコア1aに入射させるか、または、マルチコアファイバ1のコア1aから、シングルコアファイバ2を介して、光を外部光ファイバ3に入射させることができる。光はシングルモードで伝播することが好ましい。

40

【0036】

次に、デバイス10を製造する方法の一例を説明する。

図10に示すように、複数の一定径のシングルコアファイバ2Aと、これを保持する円筒状の保持部8Aとからなる光ファイバユニット10Aを用意する。シングルコアファイバ2Aは、保持部8Aに軸方向に挿通している。保持部8Aはガラスなどからなる。

光ファイバユニット10Aの一端側部分11を残して他の部分12を加熱し溶融させ、この溶融部分12を、シングルコアファイバ2Aの長さ方向に延伸させる。

これによって、一端側部分11は太径部4となり、溶融部分12は延伸部7となり、図

50

2等を示すデバイス10を得る。

【0037】

デバイス10では、シングルコアファイバ2のクラッド2bに対するコア2aの比屈折率差が大きいため、シングルコアファイバ2の屈折率分布が単峰型であるにもかかわらず、延伸部7でのモードフィールド径の拡大を抑制でき、マルチコアファイバ1との間の接続損失を低減できる。

また、前記屈折率分布が単峰型であるため、コア2a内に存在するモードは変化しないので、モードの移動に起因するモードフィールド径の変化が起こらず、近接する他のシングルコアファイバ22との間の電磁界の重なりが小さい。このため、クロストークを低減できる。

10

さらに、上記の特性のシングルコアファイバ2を用いることで、延伸部7におけるモードフィールド径がマルチコアファイバ1のモードフィールド径より大きくなるため、延伸側（延伸部7の端部6a）で接続損失が生じることがあるが、非延伸側（太径部4の端部4a）での接続損失を抑制できることから、全体としては接続損失を低減できる。

【実施例】

【0038】

（実施例1）

図1に示すデバイス10を有する入出力装置を作製した。

マルチコアファイバ1とデバイス10との間の接続損失を小さくするには、延伸側におけるモードフィールド径を、マルチコアファイバ1のモードフィールド径と同じとするようにシングルコアファイバ2の熔融延伸を行うことが、一般的には有効である。

20

しかし、デバイス10の非延伸側、延伸側の両方で、波長1550nmでシングルモード動作させるには、カットオフ波長に制限がある。そのため、モードフィールド径は自由には設定できない。

光ファイバのカットオフ波長 λ_c は、コア半径 r 、コアの比屈折率差 Δ 、コアの屈折率 n とすると、次の式(1)で求められる。

【0039】

【数1】

$$\lambda_c = \frac{2\pi \cdot r}{2.405} \cdot n \cdot \sqrt{2\Delta} \quad \dots (1)$$

30

【0040】

図8は、シングルコアファイバ2のコア半径 r と、コアの比屈折率差 Δ と、モードフィールド径（計算値）との関係を示す図である。

図中、「カットオフ波長」とは、式(1)で求められたカットオフ波長1550nmを示す。矢印で示すように、「カットオフ波長」の線（太い実線）より左下の領域は、カットオフ波長1550nm以下の領域である。

なお、延伸側におけるカットオフ波長は、式(1)においてコア半径 r が小さくなるのと同様であり、非延伸側に比べて短くなる。

40

【0041】

入出力装置全体としての接続損失は、マルチコアファイバ1とデバイス10との間の接続損失（延伸側の接続損失）と、デバイス10と外部光ファイバ3との間の接続損失（非延伸側の接続損失）との合計に依存する。デバイス10の延伸側と非延伸側の接続損失の合計を合計接続損失という。

例として、コア半径 r が3μmであるときの、クラッドに対するコアの比屈折率差 Δ と、合計接続損失との関係を図9に示す。

【0042】

この図より、コア2aの比屈折率差 Δ が比較的小さい範囲では、比屈折率差 Δ の増加と

50

ともに延伸側での接続損失が小さくなって合計接続損失は小さくなるが、比屈折率差 が比較的大きい範囲では、比屈折率差 の増加とともに、非延伸側での接続損失が大きくなって合計接続損失が増大することがわかる。

この例では、コアの比屈折率差 を 0.9% としたときに合計接続損失が最小化できることがわかる。

【0043】

これらの結果に基づいて、コアの比屈折率差 を 0.9% とし、コア半径 r を 3.15 μm としたシングルコアファイバ 2 を作製し、このシングルコアファイバ 2 を用いてデバイス 10 を作製した。

マルチコアファイバ 1 のコア 1 a の数は 7 であり、デバイス 10 のシングルコアファイバ 2 の数も 7 である。

シングルコアファイバ 2 の最小外径と最大外径との比率（最小外径 / 最大外径）は、1 / 1.9 とした。

外部光ファイバ 3（シングルモードファイバ）、シングルコアファイバ 2 の非延伸側（太径部 4 の端部 4 a）、シングルコアファイバ 2 の延伸側（延伸部 7 の端部 6 a）、およびマルチコアファイバ 1 について、モードフィールド径（波長 1550 nm）の計算値を表 1 に示す。

【0044】

【表 1】

	モードフィールド径(計算値) (μm)
外部光ファイバ	10.2
シングルコアファイバの非延伸側	6.6
シングルコアファイバの延伸側	7.5
マルチコアファイバ	6.0

【0045】

表 1 の結果を基にして、接続損失を計算したところ、デバイス 10 と外部光ファイバ 3 との間（図 1 の接続点 C 1）で 0.8 dB、マルチコアファイバ 1 とデバイス 10 との間（図 1 の接続点 C 2）で 0.2 dB の損失（モードフィールド径の不整合による損失）が発生すると予想された。

この結果より、このデバイス 10 では、延伸側におけるモードフィールド径がマルチコアファイバ 1 のモードフィールド径より大きいため、延伸側（接続点 C 2）で接続損失が生じるが、非延伸側（接続点 C 1）での接続損失を抑制できることにより、全体としては接続損失を低くできたことがわかる。

【0046】

デバイス 10 をマルチコアファイバ 1 の両端部にそれぞれ融着接続し、クロストークと挿入損失を評価した。結果を表 2 に示す。

表 2 には、各結果について、7 つのシングルコアファイバ 2 のうち最も悪かった値を示した。

【0047】

【表 2】

	実施例 1	比較例 1
クロストーク (dB)	-53.0	-42.0
挿入損失 (dB)	2.2	2.1

【0048】

【 図 5 】

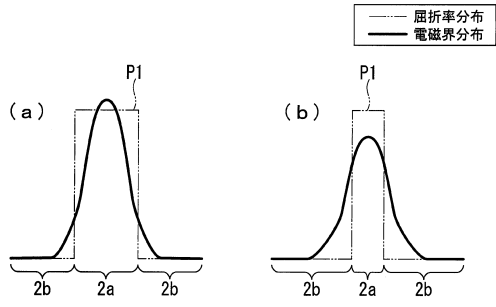


図5

【 図 7 】

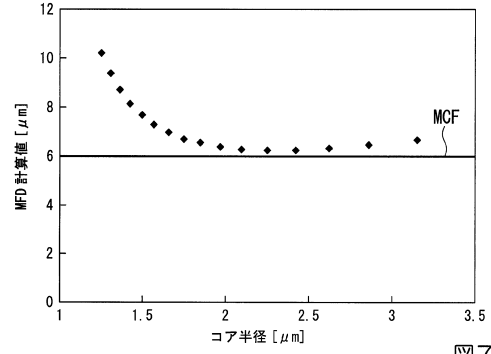


図7

【 図 6 】

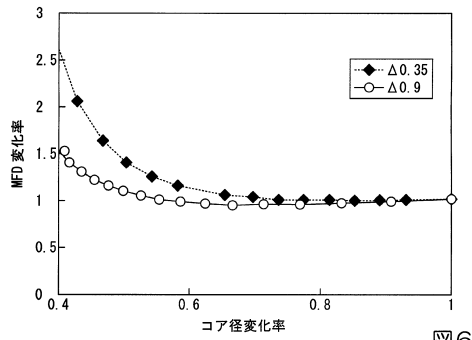


図6

【 図 8 】

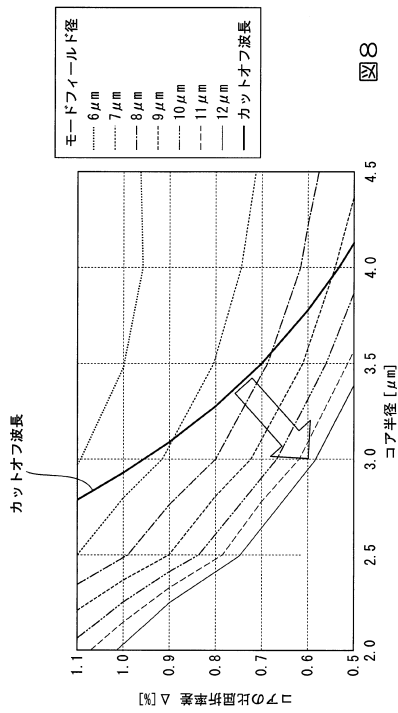


図8

【 図 9 】

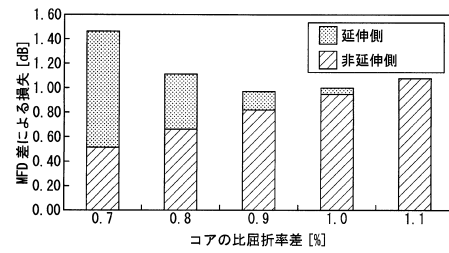


図9

【 図 10 】

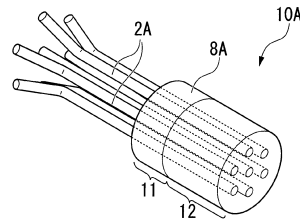
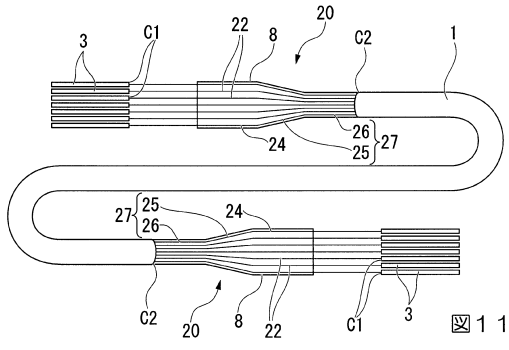
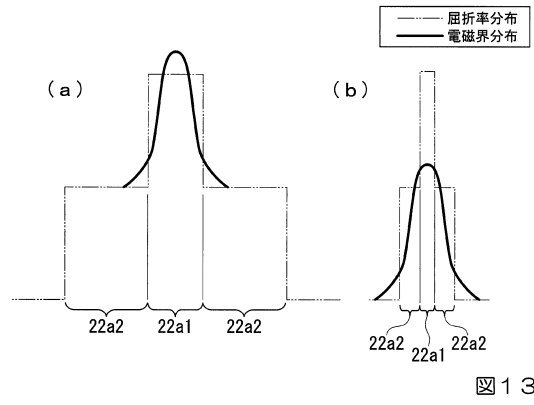


図10

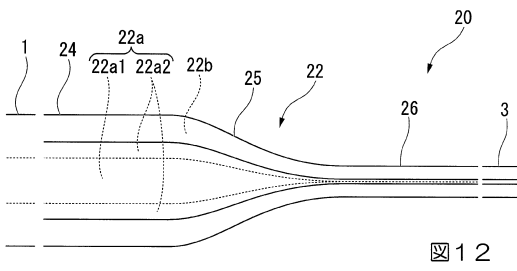
【 図 1 1 】



【 図 1 3 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100169764
弁理士 清水 雄一郎
- (72)発明者 植村 仁
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内
- (72)発明者 大道 浩児
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内
- (72)発明者 竹永 勝宏
千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内
- (72)発明者 齊藤 晋聖
北海道札幌市北区北14条西9丁目 国立大学法人北海道大学内

審査官 吉田 英一

- (56)参考文献 特開平03-130705(JP,A)
特開平06-250042(JP,A)
特開平04-219706(JP,A)
特開平02-108009(JP,A)
植村仁、竹永勝宏、小里貞二郎、松尾昌一郎、齊藤晋聖、小柴正則、溶融延伸型マルチコアファイバ用ファンイン/ファンアウトデバイス、2013年電子情報通信学会総合大会講演論文集、日本、一般社団法人電子情報通信学会、2013年3月5日、通信2、pp. 342
増本浩平、植松卓威、齊藤晋聖、小柴正則、竹永勝宏、松尾昌一郎、融着延伸マルチコアファイバコアのMFDに関する検討、2013年電子情報通信学会総合大会講演論文集、日本、一般社団法人電子情報通信学会、2013年3月5日、通信2、pp. 480
Hitoshi Uemura, Katsushiro Take naga, Teijiro Ori, Shoichiro Matsuo, Kunimasa Saitoh, and Masanori Koshiba, Fused Taper Type Fan-in/Fan-out Device for Multicore EDF, OptoElectronics and Communications Conference held jointly with 2013 International Conference on Photonics in Switching (OECC/PS), 2013 18th, 2013年6月30日

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/04
G02B 6/02
G02B 6/26
JSTPlus(JDreamIII)
JST7580(JDreamIII)