

(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2019-15584

(P2019-15584A)

(43) 公開日 平成31年1月31日(2019.1.31)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 M 11/02 (2006.01) GO 1 M 11/02 P 2 H 1 5 O
GO 2 B 6/02 (2006.01) GO 2 B 6/02 4 6 1

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2017-132561 (P2017-132561)	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成29年7月6日(2017.7.6)		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
(出願人による申告)平成25年度、国立研究開発法人 情報通信研究機構「高度通信・放送研究開発委託研究／ 革新的光ファイバの実用化に向けた研究開発」、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	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	100136722
			弁理士 ▲高▼木 邦夫
		(74) 代理人	100174399
			弁理士 寺澤 正太郎
		(74) 代理人	100110582
			弁理士 柴田 昌聰

最終頁に続く

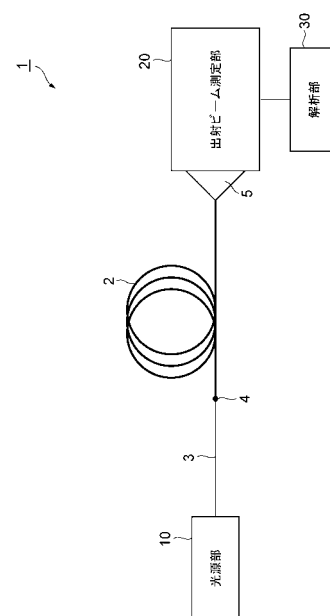
(54) 【発明の名称】 光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 RC-MCFの出射ビームプロファイルを測定することができる方法および装置を提供する。

【解決手段】 光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置1は、光源部10、測定部20および解析部30を備える。光源部10から出力された光は、RC-MCFである測定対象光ファイバ2の入射端において該測定対象光ファイバ2の1以上の空間モードに入射される。測定部20は、測定対象光ファイバ2の出射端において複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を測定する。解析部30は、測定部20による光の強度プロファイルの和の測定の結果に基づいて、測定対象光ファイバ2の出射ビーム評価指標(MFD、Aeff)を算出する。

【選択図】 図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いにランダムに結合する複数の空間モードを有するランダム結合型マルチコア光ファイバである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する方法であって、

前記測定対象光ファイバの入射端において、光源部から出力された光を該測定対象光ファイバの 1 以上の空間モードに入射させ、前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を N F P として測定する測定ステップと、

その測定された N F P を、個々のスーパーモードから出射されたビームの N F P の平均とみなして、全スーパーモード平均のビーム評価指標を算出する解析ステップと、

を有する光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 2】

互いにランダムに結合する複数の空間モードを有するランダム結合型マルチコア光ファイバである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する方法であって、

前記測定対象光ファイバの入射端において、光源部から出力された光を該測定対象光ファイバの 1 以上の空間モードに入射させ、前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を N F P として測定する測定ステップと、

その測定された N F P を、コアを 1 つずつ含む領域に分割した際の各領域が含むコア単独での N F P とみなして、各コアについてのビーム評価指標を算出する解析ステップと、

を有する光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 3】

互いにランダムに結合する複数の空間モードを有するランダム結合型マルチコア光ファイバである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する方法であって、

前記測定対象光ファイバの入射端において、光源部から出力された光を該測定対象光ファイバの 1 以上の空間モードに入射させ、前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を F F P として測定する測定ステップと、

その測定された F F P を、個々のコアから出射されたビームの F F P の平均とみなして、全コア平均のビーム評価指標を算出する解析ステップと、

を有する光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 4】

前記測定ステップにおいて、

前記ビームプロファイルの波長平均をとることにより、

前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化する、

請求項 1～3 の何れか 1 項に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 5】

前記測定ステップにおいて、

前記測定対象光ファイバのモード分散 τ [s] と前記光源部の線幅 Δf [s^{-1}] との積 ($\tau \cdot \Delta f$) が 9 以上となるように前記光源部の線幅または前記測定対象光ファイバの長さ若しくは曲げ径を調整した状態で前記ビームプロファイルの波長平均をとることにより、

前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化する、

請求項 1～3 の何れか 1 項に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 6】

前記測定ステップにおいて、

前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに前記光源部から互いに相関のない光が入射されることにより、

前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化する、

請求項 1～3 の何れか 1 項に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 7】

前記測定ステップにおいて、

互いに独立に動作する複数の発光素子それぞれから出力された光を用いることにより、

前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させる、

請求項 6 に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 8】

前記測定ステップにおいて、

1 つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、その光の線幅を Δf [s^{-1}] としたとき全ての空間モードについて相互に $1 \cdot$

$1 / \Delta f$ [s] 以上異なる量の遅延を各入力光に付与することにより、

前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させる、

請求項 6 に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 9】

前記測定ステップにおいて、

1 つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、各空間モードへの入力光の偏波状態を互いに異なるパターンで時間的に変動させることにより、

前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させる、

請求項 6 に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法。

【請求項 10】

互いにランダムに結合する複数の空間モードを有するランダム結合型マルチコア光ファイバである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する装置であって、

光を出力し、前記測定対象光ファイバの入射端において前記光を該測定対象光ファイバの 1 以上の空間モードに入射させる光源部と、

前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を測定する測定部と、

前記測定部による前記光の強度プロファイルの和の測定の結果に基づいて、前記測定対象光ファイバの出射ビーム評価指標を算出する解析部と、

を備え、

前記測定部は、前記光の強度プロファイルの和を NFP として測定し、

前記解析部は、その測定された NFP を、個々のスーパーモードから出射されたビームの NFP の平均とみなして、全スーパーモード平均のビーム評価指標を算出する、

光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【請求項 11】

互いにランダムに結合する複数の空間モードを有するランダム結合型マルチコア光ファイバである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する装置であって、

光を出力し、前記測定対象光ファイバの入射端において前記光を該測定対象光ファイバの 1 以上の空間モードに入射させる光源部と、

前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間

10

20

30

40

50

モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を測定する測定部と、
前記測定部による前記光の強度プロファイルの和の測定の結果に基づいて、前記測定対象光ファイバの出射ビーム評価指標を算出する解析部と、
を備え、

前記測定部は、前記光の強度プロファイルの和をNFPとして測定し、

前記解析部は、その測定されたNFPを、コアを1つずつ含む領域に分割した際の各領域が含むコア単独でのNFPとみなして、各コアについてのビーム評価指標を算出する、
光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【請求項12】

互いにランダムに結合する複数の空間モードを有するランダム結合型マルチコア光ファイバである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する装置であって、

光を出力し、前記測定対象光ファイバの入射端において前記光を該測定対象光ファイバの1以上の空間モードに入射させる光源部と、

前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を測定する測定部と、

前記測定部による前記光の強度プロファイルの和の測定の結果に基づいて、前記測定対象光ファイバの出射ビーム評価指標を算出する解析部と、
を備え、

前記測定部は、前記光の強度プロファイルの和をFFPとして測定し、

前記解析部は、その測定されたFFPを、個々のコアから出射されたビームのFFPの平均とみなして、全コア平均のビーム評価指標を算出する、
光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【請求項13】

前記測定部は、

前記ビームプロファイルの波長平均をとることにより、

前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化する、

請求項10～12の何れか1項に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【請求項14】

前記測定部は、

前記測定対象光ファイバのモード分散 τ [s]と前記光源部の線幅 Δf [s^{-1}]との積($\tau \cdot \Delta f$)が9以上となるように前記光源部の線幅または前記測定対象光ファイバの長さ若しくは曲げ径を調整した状態で前記ビームプロファイルの波長平均をとることにより、

前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化する、

請求項10～12の何れか1項に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【請求項15】

前記測定部は、

前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに前記光源部から互いに相関のない光が入射されることにより、

前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化する、

請求項10～12の何れか1項に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【請求項16】

前記光源部は、

互いに独立に動作する複数の発光素子それぞれから出力された光を用いることにより、

前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させる、

10

20

30

40

50

請求項 15 に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【請求項 17】

前記光源部は、

1 つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、その光の線幅を Δf [s^{-1}] としたとき全ての空間モードについて相互に $1 \cdot 1 / \Delta f$ [s] 以上異なる量の遅延を各入力光に付与することにより、

前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させる、

請求項 15 に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【請求項 18】

前記光源部は、

1 つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、各空間モードへの入力光の偏波状態を互いに異なるパターンで時間的に変動させることにより、

前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させる、

請求項 15 に記載の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、互いにランダムに結合する複数の空間モードを有するランダム結合型マルチコア光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する方法および装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

1 本の光ファイバの中に複数の空間モード（複数のコアおよび／または複数の導波モード）を有する空間分割多重光ファイバは、情報伝送量の空間密度を高くすることができるので、地中管路および海底ケーブルなどの限られた通信路の面積の利用効率を高める技術として期待される。

【0003】

そのうち、複数のコアの間で導波モードが互いに結合する結合型マルチコア光ファイバ（C-MCF: Coupled Multi-Core Fiber）は、コア間の距離が短いことから、情報伝送量の空間密度を高める効果が高い。それ故、C-MCF は、結合したコアを伝搬した複数の導波モードの信号を区別するための MIMO（Multi-InputMulti-Output）信号処理技術を併用することで、高密度で大容量の信号伝送が可能となる。

【0004】

C-MCF のうちでも特にランダム結合型マルチコア光ファイバ（RC-MCF: Randomly-Coupled Multi-Core Fiber）は、コア間の結合の強さが適切に設定されていることで、光ファイバの曲がり及び捻れによってランダムなモード結合を生じさせ、これによりモード間の遅延時間差（DMD: Differential Mode Delay）の蓄積の速度をファイバ長の $1/2$ 乗に低減することができる。それ故、RC-MCF は、MIMO 信号処理の計算量コストを低く抑えることができる。このような RC-MCF は、非特許文献 1～3 に記載されている。RC-MCF は、典型的には $1[1/m]$ 以上のコア間モード結合係数、または、 $10[1/km]$ 以上のコア間パワー結合係数を有する。

【0005】

現在広く用いられているシングルコア光ファイバと比べると、RC-MCF は、コアの空間密度がより高い点において重要であるだけでなく、モード結合によって光が複数のコアに分散して存在することによって光学的非線形性が低下することも重要である。RC-MCF は、非線形性の低下により、光強度の高い光を伝搬させた際に非線形干渉により生じる光雑音を低減することができる。

10

20

30

40

50

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】Tetsuya Hayashi, et al, "Coupled-Core Multi-Core Fibers: High-Spatial-Density Optical Transmission Fibers with Low Differential Modal Properties," ECOC2015, We.1.4.1 (2015).

【非特許文献2】Taiji Sakamoto, et al, "Fiber Twisting- and Bending-Induced Adiabatic/Nonadiabatic Super-Mode Transition in Coupled Multicore Fiber," JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol.34, No.4, pp.1228-1237(2016).

【非特許文献3】Tetsuya Hayashi, et al, "Record-Low Spatial Mode Dispersion and Ultra-Low Loss Coupled Multi-Core Fiber for Ultra-Long-Haul Transmission," JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol.35, No.3, pp.450-457 (2017). 10

【非特許文献4】Rob Billington, "Effective Area of Optical Fibres - Definition and Measurement Techniques," National Physical Laboratory.

【非特許文献5】Recommendation ITU-T G.650.1, "Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable," (2010).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

一般に光ファイバの性能を評価することは重要である。光ファイバの性能には、実際の伝送系に組み込まれた際に実現できる伝送容量、および、光ファイバ同士を接続した際に見込まれる接続損失などが含まれる。また、一般に光ファイバの性能を評価する上では、光ファイバの空間モードの出射ビームプロファイル（電界分布または強度分布）を測定して、これを性能指標として定量化することも重要である。 20

【0008】

シングルモード光ファイバ（SMF：Single Mode Fiber）においては、モードフィールド径（MFD：Mode Field Diameter）および実効断面積（ A_{eff} ）が重要な性能指標となっている。MFDは、光ファイバ同士を接続した際の接続損失に関係した指標である。MFDが大きいほど、かつ、光ファイバ間でMFDの差が小さいほど、接続損失を低減できる。 A_{eff} は、非線形性に関係した指標である。非線形雑音のパワーは A_{eff} の2乗に反比例する（すなわち、 A_{eff} が大きいほど非線形雑音を小さくできる）。 30

【0009】

シングルモードファイバ伝送における非線形雑音は、その他にも信号光の強度、信号光の帯域、光ファイバの伝送損失、光ファイバの波長分散にも影響を受ける。しかし、光ファイバの非線形性に関する性能を定量化するうえで、 A_{eff} は非常に重要な指標である。SMFのMFDおよび A_{eff} の定義および測定方法は非特許文献4および非特許文献5に記載されている。

【0010】

SMFのMFDまたは A_{eff} を測定する従来の方法では、SMFの出射ビームプロファイルをニアフィールドパターン（NFP：Near Field Pattern）またはファーフィールドパターン（FFP：Far Field Pattern）として測定して、その測定結果に基づいてMFDまたは A_{eff} を求める。しかし、従来の測定方法では、ランダムなモード結合が生じるRC-MCFにおける各コアまたは各空間モードのMFDおよび A_{eff} を定量的に求めることができない。 40

【0011】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、RC-MCFの出射ビームプロファイルを測定することができる方法および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】

【0012】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、RC-MCFである測定対象 50

光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する方法である。本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、一態様として、(1) 前記測定対象光ファイバの入射端において、光源部から出力された光を該測定対象光ファイバの1以上の空間モードに入射させ、前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和をNFPとして測定する測定ステップと、(2) その測定されたNFPを、個々のスーパーモードから出射されたビームのNFPの平均とみなして、全スーパーモード平均のビーム評価指標を算出する解析ステップと、を有する。

【0013】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置は、RC-MCFである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する装置である。本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置は、(1) 光を出力し、前記測定対象光ファイバの入射端において前記光を該測定対象光ファイバの1以上の空間モードに入射させる光源部と、(2) 前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を測定する測定部と、(3) 前記測定部による前記光の強度プロファイルの和の測定の結果に基づいて、前記測定対象光ファイバの出射ビーム評価指標を算出する解析部と、を備える。本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、一態様として、前記測定部は、前記光の強度プロファイルの和をNFPとして測定し、前記解析部は、その測定されたNFPを、個々のスーパーモードから出射されたビームのNFPの平均とみなして、全スーパーモード平均のビーム評価指標を算出する。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、RC-MCFの出射ビームプロファイルを測定することができる。また、この測定結果に基づいてRC-MCFの各コアのMFDおよびAeffを求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、FFP測定系を説明する図である。

【図2】図2は、NFP測定系を説明する図である。

【図3】図3は、RC-MCFのNFPの電界分布の一例を示す図である。

【図4】図4は、RC-MCFのNFPの強度分布の一例を示す図である。

【図5】図5は、0.5秒間隔で測定したRC-MCFのNFPの強度分布の時間的変化の一例を示す図である。

【図6】図6は、本実施形態の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法を説明するフローチャートである。

【図7】図7は、本実施形態の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置1の構成例を示す図である。

【図8】図8は、4コアのRC-MCFを測定対象光ファイバ2とした場合の光強度のNFPの全スーパーモード平均の一例を示す図である。

【図9】図9は、VARと $\tau \cdot \Delta f$ との関係を示すグラフである。

【図10】図10は、VARと $\tau \cdot \Delta f$ との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0016】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、RC-MCFである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する方法である。

【0017】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、一態様として、(1) 前記測定

10

20

30

40

50

対象光ファイバの入射端において、光源部から出力された光を該測定対象光ファイバの 1 以上の空間モードに入射させ、前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を N F P として測定する測定ステップと、(2) その測定された N F P を、個々のスーパーモードから出射されたビームの N F P の平均とみなして、全スーパーモード平均のビーム評価指標を算出する解析ステップと、を有する。

【0018】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、他の態様として、(1) 前記測定対象光ファイバの入射端において、光源部から出力された光を該測定対象光ファイバの 1 以上の空間モードに入射させ、前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を N F P として測定する測定ステップと、(2) その測定された N F P を、コアを 1 つずつ含む領域に分割した際の各領域が含むコア単独での N F P とみなして、各コアについてのビーム評価指標を算出する解析ステップと、を有する。

【0019】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、更に他の態様として、(1) 前記測定対象光ファイバの入射端において、光源部から出力された光を該測定対象光ファイバの 1 以上の空間モードに入射させ、前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を F F P として測定する測定ステップと、(2) その測定された F F P を、個々のコアから出射されたビームの F F P の平均とみなして、全コア平均のビーム評価指標を算出する解析ステップと、を有する。

【0020】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、前記測定ステップにおいて、前記ビームプロファイルの波長平均をとることにより、前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化するのが好適である。

【0021】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、前記測定ステップにおいて、前記測定対象光ファイバのモード分散 τ [s] と前記光源部の線幅 Δf [s^{-1}] との積 ($\tau \cdot \Delta f$) が 9 以上となるように前記光源部の線幅または前記測定対象光ファイバの長さ若しくは曲げ径を調整した状態で前記ビームプロファイルの波長平均をとることにより、前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化するのが好適である。

【0022】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、前記測定ステップにおいて、前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに前記光源部から互いに相関のない光が入射されることにより、前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化するのが好適である。

【0023】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、前記測定ステップにおいて、互いに独立に動作する複数の発光素子それぞれから出力された光を用いることにより、前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させるのが好適である。

【0024】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、前記測定ステップにおいて、

1つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、その光の線幅を Δf [s^{-1}]としたとき全ての空間モードについて相互に $1.1/\Delta f$ [s]以上異なる量の遅延を各入力光に付与することにより、前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させるのが好適である。

【0025】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法は、前記測定ステップにおいて、1つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、各空間モードへの入力光の偏波状態を互いに異なるパターンで時間的に変動させることにより、前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させるのが好適である。

10

【0026】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置は、RC-MCFである測定対象光ファイバの出射ビームプロファイルを測定する装置である。

【0027】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置は、(1) 光を出力し、前記測定対象光ファイバの入射端において前記光を該測定対象光ファイバの1以上の空間モードに入射させる光源部と、(2) 前記測定対象光ファイバの出射端において前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、前記複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を測定する測定部と、(3) 前記測定部による前記光の強度プロファイルの和の測定の結果に基づいて、前記測定対象光ファイバの出射ビーム評価指標を算出する解析部と、を備える。

20

【0028】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、一態様として、前記測定部は、前記光の強度プロファイルの和をNFPとして測定し、前記解析部は、その測定されたNFPを、個々のスーパーモードから出射されたビームのNFPの平均とみなして、全スーパーモード平均のビーム評価指標を算出する。

【0029】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、他の態様として、前記測定部は、前記光の強度プロファイルの和をNFPとして測定し、前記解析部は、その測定されたNFPを、コアを1つずつ含む領域に分割した際の各領域が含むコア単独でのNFPとみなして、各コアについてのビーム評価指標を算出する。

30

【0030】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、更に他の態様として、前記測定部は、前記光の強度プロファイルの和をFFPとして測定し、前記解析部は、その測定されたFFPを、個々のコアから出射されたビームのFFPの平均とみなして、全コア平均のビーム評価指標を算出する。

【0031】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、前記測定部は、前記ビームプロファイルの波長平均をとることにより、前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化するのが好適である。

40

【0032】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、前記測定部は、前記測定対象光ファイバのモード分散 τ [s]と前記光源部の線幅 Δf [s^{-1}]との積($\tau \cdot \Delta f$)が9以上となるように前記光源部の線幅または前記測定対象光ファイバの長さ若しくは曲げ径を調整した状態で前記ビームプロファイルの波長平均をとることにより、前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化するのが好適である。

50

【0033】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、前記測定部は、前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに前記光源部から互いに相関のない光が入射されることにより、前記複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化するのが好適である。

【0034】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、前記光源部は、互いに独立に動作する複数の発光素子それぞれから出力された光を用いることにより、前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させるのが好適である。

10

【0035】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、前記光源部は、1つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、その光の線幅を Δf [s^{-1}] としたとき全ての空間モードについて相互に $1.1 / \Delta f$ [s] 以上異なる量の遅延を各入力光に付与することにより、前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させるのが好適である。

【0036】

本発明の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置において、前記光源部は、1つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、各空間モードへの入力光の偏波状態を互いに異なるパターンで時間的に変動させることにより、前記測定対象光ファイバの前記入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させるのが好適である。

20

【0037】

以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。本発明は、これらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0038】

先ず、SMFのMFDおよびAeffの一般的な測定技術について説明する。通常、SMFの出射ビームのFFPを測定し、このFFPに基づいてMFDを算出する。FFPは、光ファイバ出射端を中心とする十分大きな半径（FFP測定距離）を持つ半球面上（FFP: Far Field）における電界振幅分布または強度分布である。理論的にはFFP測定距離は無限とすべきであるが、ITU-T G.651.1によれば、MFDを $2w$ とし、受光器の直径を b とし、波長を λ とすると、実際上の光ファイバ測定におけるFFP測定距離は $40wb / \lambda$ 以上であれば、十分な精度の測定が可能とされている。

30

【0039】

図1は、FFP測定系を説明する図である。測定対象光ファイバ2の入射端に光源部10が光学的に結合される。測定対象光ファイバ2の出射端の中心に $x-y$ 直交座標系の原点が設定される。 (x, y) は、測定対象光ファイバ2の出射端の端面における局所直交座標である。 (r, θ) は、 (x, y) に対応する極座標系である。 ϕ_x は、 x 軸に対応するFFPへの発散角である。 ϕ_y は、 y 軸に対応するFFPへの発散角である。

40

【0040】

SMFにおいては、空間モードの電界分布が円対称であることを前提として、下記(1)式でMFDを計算できる。ここで、 $F_\phi(\phi)$ は放射角 ϕ における電界振幅のFFPを表す。SMFの場合は、モードの電界振幅分布が円対称であることを前提としているので、 $F_\phi(\phi)$ は θ に無依存である。よって、 $F_\phi(\phi)$ は、任意の θ でFFPを ϕ について1次元で測定したものと考えればよい。

【0041】

【数 1】

$$\text{MFD} = \sqrt{2} \frac{\lambda}{\pi} \left[\frac{\int_0^{\pi/2} |F_\phi(\phi)|^2 \sin \phi \cos \phi d\phi}{\int_0^{\pi/2} |F_\phi(\phi)|^2 \sin^3 \phi \cos \phi d\phi} \right]^{1/2} \quad (1)$$

【0042】

A_{eff}は、その定義上、光ファイバのモードの電界振幅分布をEとすると、下記(2)式で表すことができる。特にモードの電界振幅分布が円対称である場合は、A_{eff}は、下記(3)式の様に表すことができる。したがって、光ファイバのモードの強度分布 $|E|^2$ からA_{eff}を算出することができる。

【0043】

【数 2】

$$A_{\text{eff}} = \frac{\left(\iint |E|^2 dx dy \right)^2}{\iint |E|^4 dx dy} \quad (2)$$

【0044】

【数 3】

$$A_{\text{eff}} = \frac{\left(\int_0^\infty \int_0^{2\pi} |E|^2 d\theta dr \right)^2}{\int_0^\infty \int_0^{2\pi} |E|^4 d\theta dr} \quad (3)$$

【0045】

モードの電界分布Eは、光ファイバの出射ビームのNFPの強度分布と等しいものとみなすことができるので、NFPの強度分布からA_{eff}を算出することができる。NFPは、光ファイバ出射端面上(NF: NearField Pattern)における電界分布または強度分布である。

【0046】

図2は、NFP測定系を説明する図である。光ファイバのNFPは極めて小さなサイズであるので、直接正確に測定することは困難である。そこで、図2に示されるように、レンズ21、22を含む拡大光学系を用いてNFPをカメラ観察する方法など採用される。しかし、光学系の回折限界、カメラのダイナミックレンジおよびリニアリティの問題があることから、十分なNFP測定精度は得られない。

【0047】

このことから、SMFにおける実際の測定においては、先ずFFPを高精度に測定し、このFFPからNFPを求め、このNFPを用いてA_{eff}を算出する。電界振幅のNFPからFFPへの変化はフラウンホーファー回折で説明できる。したがって、モードの電界分布が円対称であることを前提とすると、電界振幅のNFPのrについての関数E_r(r)と、電界振幅のFFPのφについての関数F_φ(φ)とは、0次のハンケル変換を用いて下記(4)式の様に相互に変換することができる。

【0048】

【数 4】

$$\begin{cases} F_\phi(\phi) \propto \int_0^\infty E_r(r) J_n(rk \sin \phi) r dr, \\ E_r(r) \propto \int_0^\infty F_\phi(\phi) J_n(rk \sin \phi) \sin 2\phi d\phi \end{cases} \quad (4)$$

【0049】

SMFは空間モードを1つのみ有し、その空間モードの電界分布は円対称である。それ

故、SMFの場合は、上記の様にして簡単かつ正確にMFDおよびAeffの測定・評価を行うことができる。

【0050】

これに対して、RC-MCFは複数の空間モードを有する。また、RC-MCF中を光が伝搬する際に、複数の空間モードの相互間でランダムに光が結合してしまう。それ故、RC-MCFの場合は、SMFの場合と同様の方法ではMFDおよびAeffの評価を行うことができない。

【0051】

また、MFDおよびAeffは、光ファイバの各モードの電界振幅分布を定量化する性能指標である。このことから、RC-MCFのMFDおよびAeffを評価する場合、評価したい1つのモードのみから光が出射する様にしてNFPおよびFFPの測定を行う必要がある。しかし、前述の通り、空間モード間でランダムに光が結合してしまい、しかも、その結合の仕方は時間的に変化する。

【0052】

例えば、RC-MCFにおいて結合した4コアの空間モードは、いわゆるスーパーモードとなる。スーパーモードは、すべてのコアにまたがるモードである。このときの4つの空間モードそれぞれに対してNFPの電界分布は図3に示されるようなパターンとなり、強度分布は図4に示されるようなパターンとなる。図3は、RC-MCFのNFPの電界分布の一例を示す図である。図4は、RC-MCFのNFPの強度分布の一例を示す図である。ここで用いたRC-MCFでは、4つのコアはコア中心間隔 $20\mu\text{m}$ で正方格子状に配置されており、各コア独立でのMFDは約 $10\mu\text{m}$ であった。NFPの強度分布を見ると、空間モード間の差異は殆ど見られない。

【0053】

RC-MCFでは、このような空間モードの何れか1つのみから光を出射させて当該出射ビームプロファイルを測定する必要がある。しかし、実際に同様の設計のRC-MCFから出射される光のNFPの強度は、図5に示されるように時間的に変動している。図5は、0.5秒間隔で測定したRC-MCFのNFPの強度分布の時間的変化の一例を示す図である。また、図4に示されるように、全コアから同等の強度の光が出射されているのではないので、複数のモードがランダムに混じって出射されていることが分かる。

【0054】

以下に説明する本実施形態の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法および光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置は、RC-MCFの出射ビームプロファイルを測定することができるものであり、さらに、この測定結果に基づいてRC-MCFの各コアのMFDおよびAeffを求めることができるものである。

【0055】

RC-MCFにおいて全てのモードが励起されている場合のNFPの強度 I_{NFP} は、下記(5)式のように表すことができる。ここで、 E_n はモード n のNFにおける電界の複素振幅のプロファイルである。 E_n^* は E_n の複素共役である。 $\text{Re}[x]$ は複素数 x の実部である。また、 $I_{\text{NFP},n}$ はモード n のNFにおける電界強度のプロファイルを表す。

【0056】

【数 5】

$$\begin{aligned}
 I_{\text{NFP}}(x, y) &= \left| \sum_n E_n(x, y) \right|^2 \\
 &= \left[\sum_n E_n(x, y) \right] \left[\sum_n E_n^*(x, y) \right] \\
 &= \sum_n |E_n(x, y)|^2 + 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{n \neq m} E_n(x, y) E_m^*(x, y) \right] \\
 &= \sum_n I_{\text{NFP}, n}(x, y) + 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{n \neq m} E_n(x, y) E_m^*(x, y) \right]
 \end{aligned} \tag{5}$$

10

【0057】

同様に、RC-MCFにおいて全てのモードが励起されている場合のFFPの強度 I_{FFP} は、下記(6)式のように表すことができる。ここで、 F_n はモード n のFFにおける電界の複素振幅のプロファイルである。 F_n^* は F_n の複素共役である。また、 $I_{\text{FFP}, n}$ はモード n のFFにおける電界強度のプロファイルを表す。

【0058】

【数 6】

$$\begin{aligned}
 I_{\text{FFP}}(\varphi_x, \varphi_y) &= \left| \sum_n F_n(\varphi_x, \varphi_y) \right|^2 \\
 &= \left[\sum_n F_n(\varphi_x, \varphi_y) \right] \left[\sum_m F_m^*(\varphi_x, \varphi_y) \right] \\
 &= \sum_n |F_n(\varphi_x, \varphi_y)|^2 + 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{n \neq m} F_n(\varphi_x, \varphi_y) F_m^*(\varphi_x, \varphi_y) \right] \\
 &= \sum_n I_{\text{FFP}, n}(\varphi_x, \varphi_y) + 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{n \neq m} F_n(\varphi_x, \varphi_y) F_m^*(\varphi_x, \varphi_y) \right]
 \end{aligned} \tag{6}$$

20

30

【0059】

RC-MCFでは、モード間の位相関係などがランダムに変化すると、NFの(5)式およびFFの(6)式の何れも最終行右辺第2項のモード間干渉により生じる光強度の変化の成分(干渉成分)がランダムに変化してしまうことから、安定した測定が行えない。

【0060】

そこで、この干渉成分を十分に平均化して0に近づけることで、(5)式は下記(7)式のようになり、(6)式は下記(8)式のようになって、 I_{NFP} および I_{FFP} を安定的に測定で得ることができるようになる。

【0061】

【数 7】

$$I_{\text{NFP}}(x, y) \cong \sum_n I_{\text{NFP}, n}(x, y) \tag{7}$$

40

【0062】

【数 8】

$$I_{\text{FFP}}(\varphi_x, \varphi_y) \cong \sum_n I_{\text{FFP}, n}(\varphi_x, \varphi_y) \tag{8}$$

【0063】

このような測定を実現するため、本実施形態の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法および光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置は、以下に説明する構成を備える。図6は、本実施形態の光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法を説明するフローチ

50

ャートである。図 7 は、本実施形態の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置 1 の構成例を示す図である。

【0064】

光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置 1 は、光源部 10、測定部 20 および解析部 30 を備える。測定対象光ファイバ 2 は RC-MCF である。入射用光ファイバ 3 は、光源部 10 と測定対象光ファイバ 2 とを光学的に結合するものであり、SMF であってよい。入射用光ファイバ 3 の第 1 端は光源部 10 と光学的に接続され、入射用光ファイバ 3 の第 2 端は測定対象光ファイバ 2 の入射端と接続点 4 において光学的に接続される。測定対象光ファイバ 2 の出射端から出力される光 5 は測定部 20 により受光される。

【0065】

測定ステップ S11 において、光源部 10 は、測定用の光を出力する。光源部 10 から出力された光は、入射用光ファイバ 3 により導光された後、RC-MCF である測定対象光ファイバ 2 の入射端において該測定対象光ファイバ 2 の 1 以上の空間モードに入射される。測定対象光ファイバ 2 の複数の空間モードのうち光を入射させる空間モードは、接続点 4 における入射用光ファイバ 3 と測定対象光ファイバ 2 との間の光結合状態により設定される。光源部 10 は、例えば発光ダイオードおよびレーザダイオードなどの任意の発光素子を備えて構成される。

【0066】

測定ステップ S11 において、測定部 20 は、測定対象光ファイバ 2 の出射端において複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を測定する。測定部 20 は、例えばフォトダイオードなどの任意の受光素子を備え、また、所要のレンズ系を備えて構成される。

【0067】

解析ステップ S12 において、解析部 30 は、測定部 20 による光の強度プロファイルの和の測定の結果に基づいて、測定対象光ファイバ 2 の出射ビーム評価指標 (MFD、 A_{eff}) を算出する。解析部 30 は、例えば、CPU などの演算素子およびメモリなどの記憶素子を備えて構成され得る。

【0068】

本実施形態の光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置 1、および、この装置を用いた光ファイバ出射ビームプロファイル測定方法において、測定部 20 および解析部 30 の動作として次の 3 つの測定態様がある。これら 3 つの測定態様のうちの何れか 2 以上の測定態様を組み合わせてもよい。

【0069】

第 1 測定態様では、測定部 20 は、測定対象光ファイバ 2 の複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を NFP として測定する。そして、解析部 30 は、その測定された NFP を、個々のスーパーモードから出射されたビームの NFP の平均とみなして、全スーパーモード平均のビーム評価指標を算出する。

【0070】

第 2 測定態様では、測定部 20 は、測定対象光ファイバ 2 の複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を NFP として測定する。そして、解析部 30 は、その測定された NFP を、コアを 1 つずつ含む領域に分割した際の各領域が含むコア単独での NFP とみなして、各コアについてのビーム評価指標を算出する。

【0071】

第 3 測定態様では、測定部 20 は、測定対象光ファイバ 2 の複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を FFP として測定する。そして、解析部 30 は、その測定された FFP を、個々のコアから出射されたビームの FFP の平均とみなして、全コア平均のビーム評価指標を算出する。

【0072】

4 コアの RC-MCF を測定対象光ファイバ 2 とした場合、光強度の NFP の全スーパ

10

20

30

40

50

ーモード平均は図 8 に示されるようになる。この図に示されるように、測定対象光ファイバ 2 の出射端の中心に対して 4 つの象限に区分したときに各象限において光強度のピークが存在することから、上記の第 1 ～第 3 の測定態様それぞれにおいて解析部 30 は具体的には次のような処理をすることができる。

【0073】

第 1 測定態様では、4 つの象限の全領域の強度プロファイルを用いて上記 (2) 式により “Aeff” を算出することができる。この値は、物理的な意味では各スーパーモードの Aeff の平均値ではなく、各スーパーモードの平均 NFP から算出した “Aeff” となるが、評価指標として十分用いることができる。算出した “Aeff” をコアモード数で除算することで、コアモードの Aeff に相当する値を算出することができる。

10

【0074】

第 2 測定態様では、4 つの象限それぞれに限られた領域において上記 (2) 式により Aeff を算出することで、各コアの Aeff を算出することができる。また、各象限において、強度のピーク地点または重心点などを原点とする極座標系を用いることで、上記 (3) 式により各コアの Aeff を算出することができる。また、コアごとの強度のピーク地点または重心点を結ぶ線分の垂直二等分線を、コアごとに領域を切り分ける境界線としてもよい。

【0075】

第 3 測定態様では、上記 (8) 式から分かるように、測定される強度の FFP は各モードの強度の FFP の和になる。各モードを各コアのモードとみなした場合、FFP 測定距離が十分に大きければ、測定される強度の FFP は単純に各コアの強度の FFP の和とみなせばよい。このとき、各コアの FFP は、NFP の様に強度のピークが別の位置に現れるのではなく、測定対象光ファイバ 2 の出射端面がコアの中心軸に対して直交する場合には放射角 0 度の位置でピークが重なる。したがって、単純に強度の FFP の測定を行うことで、各コアの強度の FFP の平均をとることができる。この測定した FFP は、各コアの FFP の平均であることから、当然円対称である。このことから、上記 (1) 式により各コアの MFD を算出することができ、また、上記 (4) 式により NFP に変換したうえで上記 (3) 式により各コアの Aeff を算出することができる。

20

【0076】

第 1 ～第 3 の測定態様の何れにおいても、測定部 20 は、測定対象光ファイバ 2 の出射端において複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化して、複数の空間モードそれぞれから出射された個別の光の強度プロファイルの和を測定する。この空間モード間の干渉成分の平均化については次のような態様がある。

30

【0077】

ビームプロファイルの波長平均をとることにより、複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化することができる。例えば、光源部 10 は、出力光波長が可変である発光素子を用いて波長を時間的に変化させ、或いは、出力光波長が互いに異なる複数の発光素子を順次に発光させてもよく、この場合、解析部 30 は、複数の波長それぞれにおいて測定部 20 により測定されたビームプロファイルの波長平均をとればよい。或いは、光源部 10 は、出力光が広帯域である発光素子（例えばスーパーluminescentダイオード（SLD：Superluminescent diode）など）を含んでいてもよく、この場合、解析部 30 は、測定部 20 により測定されたビームプロファイルの時間平均をとればよい。

40

【0078】

また、測定対象光ファイバ 2 の入射端において全ての空間モードそれぞれに光源部 10 から互いに相関のない光が入射されることにより、複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化することもできる。この場合、光源部 10 は、互いに独立に動作する複数の発光素子それぞれから出力された光を用いることにより、測定対象光ファイバ 2 の入射端において全ての空間モードそれぞ

50

れに互いに相関のない光を入射させることができる。或いは、光源部 10 は、1 つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、各空間モードへの入力光の偏波状態を互いに異なるパターンで時間的に変動させることにより、測定対象光ファイバ 2 の入射端において全ての空間モードそれぞれに互いに相関のない光を入射させることができる。

【0079】

測定対象光ファイバ 2 の出射端において複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分の平均化の程度は、光強度の変動幅と平均値との比 ($VAR = \text{変動幅} / \text{平均値}$) により評価することができる。測定対象光ファイバ 2 のモード分散を τ [s] とする。また、光源部 10 の線幅を Δf [s^{-1}] とする。VAR は積 ($\tau \cdot \Delta f$) に依存する。

10

【0080】

ビームプロファイルの波長平均をとることにより空間モード間の干渉成分を平均化する場合には、VAR と $\tau \cdot \Delta f$ とは、図 9 に示されるような関係を有する。図 9 は、この場合の VAR と $\tau \cdot \Delta f$ との関係を示すグラフである。

【0081】

この図に示されるように、 $\tau \cdot \Delta f$ が 9 以上であれば VAR は 0.05 以下になる。 $\tau \cdot \Delta f$ が 22.5 以上であれば VAR は 0.02 以下になる。 $\tau \cdot \Delta f$ が 45 以上であれば VAR は 0.01 以下になる。 $\tau \cdot \Delta f$ が 90 以上であれば VAR は 0.005 以下になる。 $\tau \cdot \Delta f$ が 225 以上であれば VAR は 0.002 以下になる。 $\tau \cdot \Delta f$ が 450 以上

20

【0082】

したがって、光源部 10 の線幅または測定対象光ファイバ 2 の長さ若しくは曲げ径を調整することにより、 $\tau \cdot \Delta f$ が 9 以上となるようにして測定を行うことが望ましい。 $\tau \cdot \Delta f$ が 22.5 以上となるようにして測定を行うことが更に望ましい。 $\tau \cdot \Delta f$ が 45 以上となるようにして測定を行うことが更に望ましい。 $\tau \cdot \Delta f$ が 90 以上となるようにして測定を行うことが更に望ましい。 $\tau \cdot \Delta f$ が 225 以上となるようにして測定を行うことが更に望ましい。 $\tau \cdot \Delta f$ が 450 以上となるようにして測定を行うことが最も望ましい。

【0083】

測定対象光ファイバ 2 の入射端において全ての空間モードそれぞれに光源部 10 から互いに相関のない光が入射されることにより、複数の空間モードから出射された一体の光のビームプロファイルにおける空間モード間の干渉成分を平均化する場合には、光源部 10 において 1 つの発光素子から出力された光を分岐して得られた各分岐光を各空間モードへの入力光とし、全ての空間モードについて相互に τ [s] 以上異なる量の遅延を各入力光に付与することが望ましい。図 10 は、この場合の VAR と $\tau \cdot \Delta f$ との関係を示すグラフである。

30

【0084】

この図に示されるように、 τ が $1.10 / \Delta f$ [s] 以上であれば VAR が 0.05 以下になる。 τ が $1.26 / \Delta f$ [s] 以上であれば VAR が 0.02 以下になる。 τ が $1.37 / \Delta f$ [s] 以上であれば VAR が 0.01 以下になる。 τ が $1.47 / \Delta f$ [s] 以上であれば VAR が 0.005 以下になる。 τ が $1.59 / \Delta f$ [s] 以上であれば VAR が 0.002 以下になる。 τ が $1.67 / \Delta f$ [s] 以上であれば VAR が 0.001 以下になる。

40

【0085】

したがって、 τ は $1.10 / \Delta f$ [s] 以上であることが望ましい。 τ は $1.26 / \Delta f$ [s] 以上であることが更に望ましい。 τ は $1.37 / \Delta f$ [s] 以上であることが更に望ましい。 τ は $1.47 / \Delta f$ [s] 以上であることが更に望ましい。 τ は $1.59 / \Delta f$ [s] 以上であることが更に望ましい。 τ は $1.67 / \Delta f$ [s] 以上であることが最も望ましい。

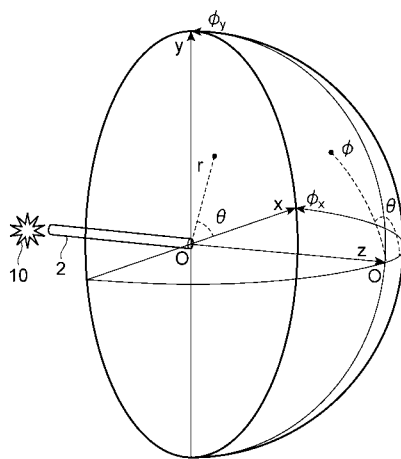
50

【符号の説明】

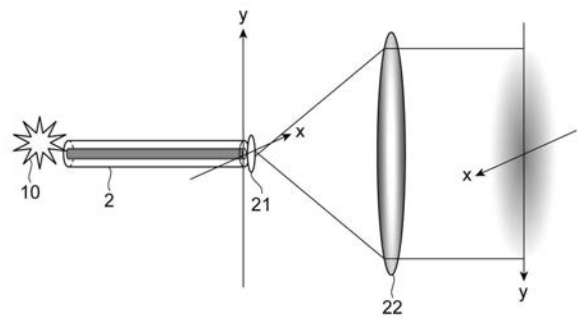
【0086】

1…光ファイバ出射ビームプロファイル測定装置、2…測定対象光ファイバ、3…入射用光ファイバ、10…光源部、20…測定部、30…解析部。

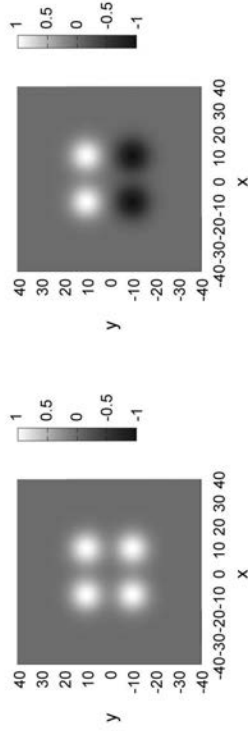
【図1】



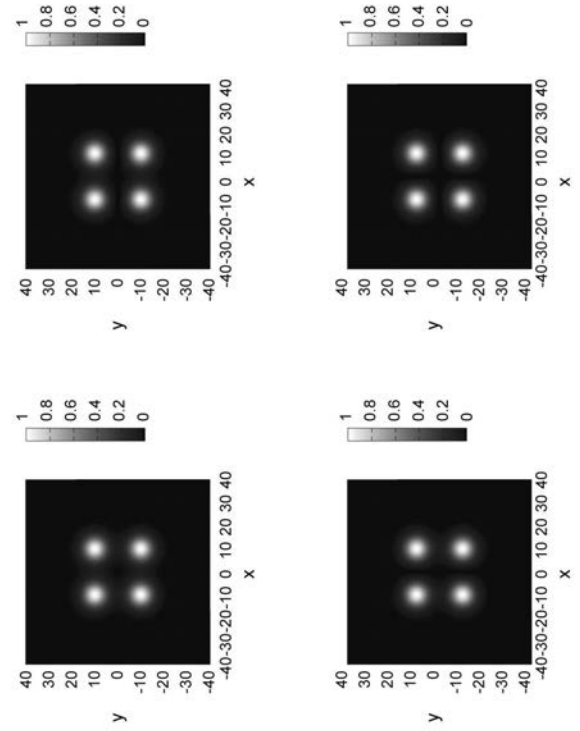
【図2】



【図 3】



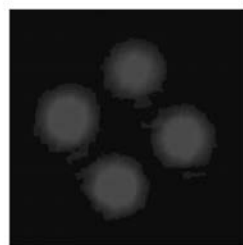
【図 4】



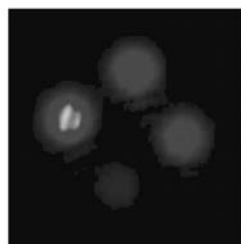
【図 5】



[0.0sでのNFP]



[0.5sでのNFP]

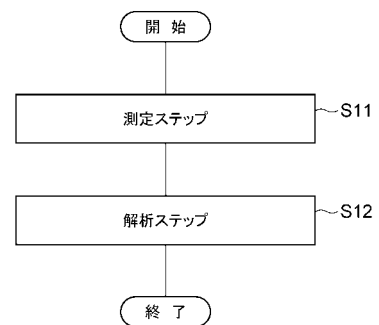


[1.0sでのNFP]

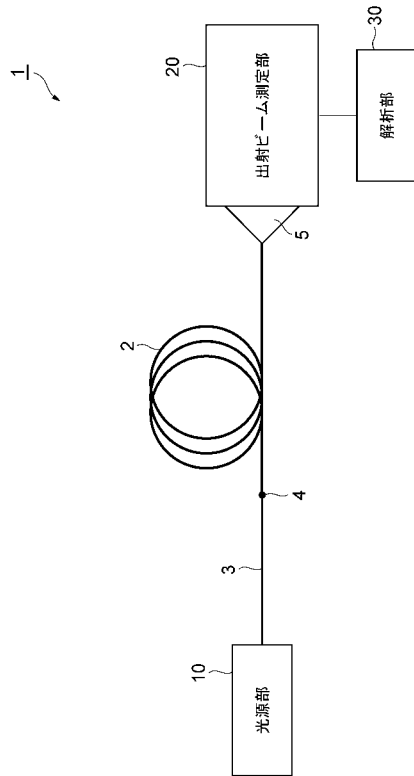


[1.5sでのNFP]

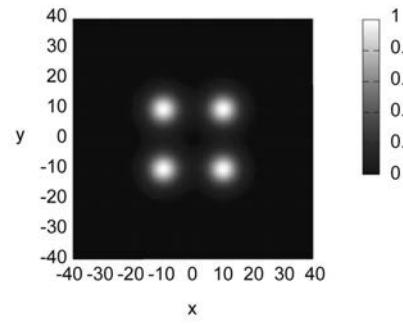
【図 6】



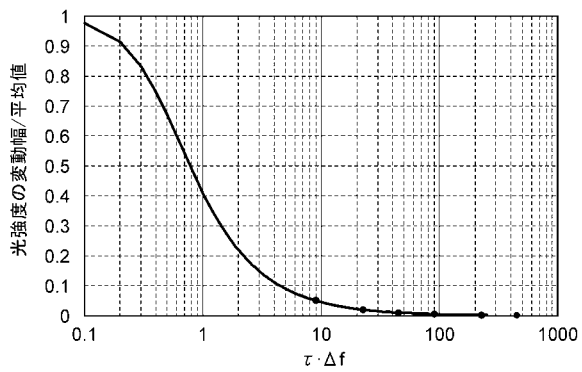
【図 7】



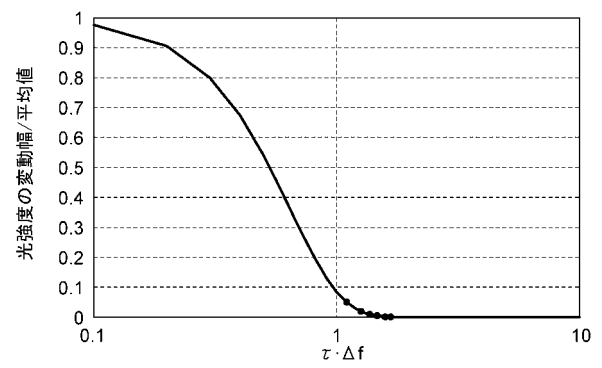
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 林 哲也

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内

(72)発明者 永島 拓志

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 住友電気工業株式会社内

Fターム(参考) 2H150 AC57