

(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2017-40568
(P2017-40568A)

(43) 公開日 平成29年2月23日(2017.2.23)

(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 N	5 K 1 0 2
HO 4 B 10/2581 (2013.01)	HO 4 B 9/00 2 6 8	
HO 4 B 10/07 (2013.01)	HO 4 B 9/00 1 7 0	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2015-162723 (P2015-162723)
(22) 出願日 平成27年8月20日 (2015.8.20)

(出願人による申告) 本出願は情報通信研究機構との平成25年8月27日付け委託契約に基づく研究開発課題「革新的光ファイバの実用化に関する研究開発」に係るもので、産業技術強化法第19条適用を受ける特許出願である。

(71) 出願人 504182255
国立大学法人横浜国立大学
神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号
(74) 代理人 100101915
弁理士 塩野入 章夫
(72) 発明者 園分泰雄
神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
(72) 発明者 渡邊 達彦
神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
Fターム(参考) 5K102 AA01 AD00 AH14 PA11 PH22
PH36 RB02

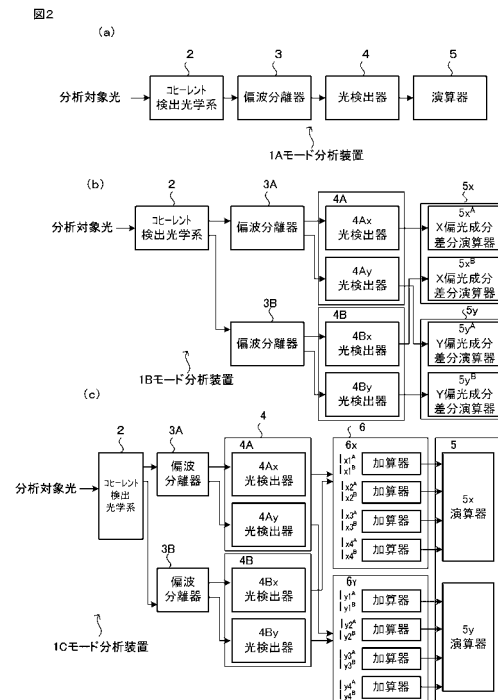
(54) 【発明の名称】 モード分析装置及びモード分析方法

(57) 【要約】

【課題】モード分析において、各モードの電界強度分布の振幅及び位相の検出に要する処理時間を短縮する。また、モード分析において、数値計算による近視野像からのモード分布の算出に代えて、直接に信号光から各モードの電界強度分布の振幅及び位相を検出する。

【解決手段】分析対象光を局部発振光と混合させた後に偏波分離及び4分割光検出器を用いたコヒーレント検出によって電気信号として検出することによって、各縮退直交偏光モードの振幅及び位相差を得る。各縮退直交偏光モードの振幅及び位相差の検出は、4分割光検出器で検出した交流成分の加減算で行う。偏波分離で得たx偏光波及びy偏光波を用いることによって、偏光成分が縮退したモードであっても振幅及び位相差を検出することができる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電磁界分布が伝搬定数について縮退した縮退直交偏光モードを含む複数のモードを伝搬させる光ファイバ伝送路からの出射光に含まれる各モード成分を分析するモード分析装置において、

分析対象光と局部発振光との干渉光を出力するコヒーレント検出光学系と、
前記干渉光を偏波分離して、前記縮退直交偏光成分の x 偏光成分及び y 偏光成分を分離する偏波分離器と、

各偏光成分に分離した干渉光を検出する光検出器と、

前記光検出器で検出した交流成分を加減算し、前記縮退直交偏光モードの振幅及び位相差を得る演算器を備えることを特徴とする、モード分析装置。

10

【請求項 2】

前記コヒーレント検出光学系は、分析対象光と局部発振光とを混合して干渉光を出力する混合器を備え、

前記混合器は、局部発振光を発する局部発振器と半透明鏡とを備え、前記半透明鏡の一方の入射端に前記光ファイバ伝送路の出射端の信号光を入射させ、前記半透明鏡の他方の入射端に前記局部発振器が発する局部発振光を入射させ、前記半透明鏡の出射端から信号光と局部発振光とを混合して得られる干渉光を出力し、

前記光検出器は、前記偏波分離器が分離した x 偏光成分の出射光を入射させる X 側 4 象限分割光検出器と、前記偏波分離器が分離した y 偏光成分の出射光を入射させる Y 側 4 象限分割光検出器とを備え、X 側 4 象限分割光検出器及び Y 側 4 象限分割光検出器はそれぞれ 4 つの各象限から位相を異にする出力信号を出力し、

20

前記演算器は、X 側 4 象限分割光検出器の 4 つの出力信号を入力させ、各出力信号を加減算して x 偏光成分の振幅及び位相差を演算する X 偏光成分演算器と、Y 側 4 象限分割光検出器の 4 つの出力信号を入力させ、各出力信号を加減算して y 偏光成分の振幅及び位相差を演算する Y 偏光成分演算器とを備えることを特徴とする、請求項 1 に記載のモード分析装置。

【請求項 3】

前記コヒーレント検出光学系は、分析対象光と局部発振光とを混合して干渉光を出力する混合器を備え、

30

前記混合器は、局部発振光を発する局部発振器と半透明鏡とを備え、前記半透明鏡の一方の入射端に前記光ファイバ伝送路の出射端の信号光を入射させ、前記半透明鏡の他方の入射端に前記局部発振器が発する局部発振光を入射させ、前記半透明鏡の出射端から信号光と局部発振光とを混合して得られる干渉光を出力し、

前記光検出器は、前記偏波分離器が分離した x 偏光成分の出射光を入射させる X 側 4 象限分割光検出器と、前記偏波分離器が分離した y 偏光成分の出射光を入射させる Y 側 4 象限分割光検出器とを備え、X 側 4 象限分割光検出器及び Y 側 4 象限分割光検出器はそれぞれ 4 つの各象限から位相を異にする出力信号を出力し、

前記偏波分離器と前記光検出器とからなる組を 2 つ備え、前記半透明鏡の透過光を一方の組の偏波分離器に入射させ、前記半透明鏡の反射光を他方の組の偏波分離器に入射させ

40

、
前記演算器は、前記 2 つの組の光検出器の出力信号について各偏光成分の差分信号を演算し、前記演算器に対する入力信号を出力する x 偏光成分の差分演算器及び y 偏光成分の差分演算器を備えることを特徴とする、請求項 1 に記載のモード分析装置。

【請求項 4】

分析対象光と局部発振光との干渉光を偏波分離して、縮退直交偏光成分の x 偏光成分及び y 偏光成分を分離し、

各偏光成分に分離した干渉光を検出して電気信号を出力し、

検出した前記電気信号の交流成分を加減算し、前記縮退直交偏光成分から各縮退直交偏光モードの振幅及び位相差を得ることを特徴とする、モード分析方法。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願発明は、光伝送路の電界強度分布を分析するモード分析に関し、数モードファイバのクロストーク特性の分析に適用することができる。

【背景技術】

【0002】

大容量光通信技術において、伝送媒体として単一モードファイバの他、より大きな通信容量を有したモード多重用数モードファイバが用いられようとしている。複数モードの伝送を可能とするファイバとして、コア径が太いマルチモードファイバや、コア径を単一モードファイバと多モードファイバとの中間とする数モードファイバがある。数モードファイバでは10個程度以下の複数の伝搬モードに異なる情報を載せてモード多重伝送を行う。なお、ここで、モード多重は複数の信号光を光ファイバの複数の異なる伝搬モードで伝送する多重伝送である。

10

【0003】

本出願の発明者は、数モードファイバのクロストーク特性の分析を目的として、縮退モードの偏光状態を含めたクロストークの分析が可能な偏光子回転強度分布測定法 (Intensity Profiles from Angled Polarizer: IPAP法) を提案している (非特許文献1)

【先行技術文献】

【非特許文献】

20

【0004】

【非特許文献1】森田晃平，渡邊達彦，國分泰雄：“3モードファイバの近視野像の偏光成分からのモード励振比算出法”，2015年電子情報通信学会総合大会論文集，立命館大学，B-10-20 (2015年3月13日発表)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記提案した偏光子回転強度分布測定法 (IPAP法) は、観測した近視野像の強度分布の数値計算によってモード分析を行うため、モード分析に長時間を要するという問題がある。

30

【0006】

そこで、本願発明は、前記した従来の問題点を解決し、モード分析において、各モードの電界強度分布の振幅及び位相の検出に要する処理時間を短縮することを目的とする。

【0007】

また、モード分析において、数値計算による近視野像からのモード分布の算出に代えて、直接に信号光から各モードの電界強度分布の振幅及び位相を検出することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本願発明のモード分析装置及びモード分析方法は、分析対象光をコヒーレント検出及び偏波分離によって電気信号として検出することによって、モードの縮退直交偏光成分から各縮退直交偏光モードの振幅及び位相差を得るものである。

40

【0009】

(縮退直交偏光モード)

光ファイバを伝搬する導波モードにおいて、伝搬定数がほぼ等しく、重ね合わせによって直線偏波を構成できるモード群はLPモードと呼ばれる。LPモードは基本モード (LP_{0,1}モード) 及び高次モードを備える。単一モードファイバはLP_{0,1}モードのみが伝搬し、数モードファイバはLP_{0,1}モードに加えてLP_{1,1}モード等の高次モードが伝搬する。

【0010】

50

LP₁₁モードには、電磁界分布において、x方向にモード関数の節を持つLP₁₁^{even}モードと、y方向にモード関数の節を持つLP₁₁^{odd}モードがあり、LP₁₁^{even}モードとLP₁₁^{odd}モードは伝搬定数が等しく縮退している。LP₁₁^{even}モードとLP₁₁^{odd}モードは、それぞれ偏光方向を90度異にする2つの電磁界分布が存在するため、x偏光及びy偏光を合わせて同じ伝搬定数を持つ4つの異なる電磁界分布によって4重縮退の状態となっている。

【0011】

したがって、LP_{μm} (μ > 0)モードのモード群は、モード関数において2つの回転対称なモード電磁界分布を有すると共に、偏光方向が直交する2つのモードの全4つの電磁界分布が4重縮退している。なお、LP_{0m}モードは電磁界分布が中心軸対称であるため直交する偏光の2つのモードが縮退している。

10

【0012】

以下ではLP₀₁モード、LP₁₁^{even}モード、LP₁₁^{odd}モードのそれぞれx偏光とy偏光を例として説明する。

【0013】

LPモードの各電磁界分布は以下の式で表すことができる。

光角周波数をωとし振幅をA_xとすると、LP₀₁モードのx偏光成分の電界分布（電界ベクトル）をE₀₁^(x)(x, y, z; t)は、

【数1】

$$E_{01}^{(x)}(x, y, z; t) = A_x f_{01}(x, y) \exp[j(\omega t - \beta_0 z)] \quad \dots (1)$$

20

で表され、LP₀₁モードのy偏光成分E₀₁^(y)(x, y, z; t)は、

【数2】

$$E_{01}^{(y)}(x, y, z; t) = A_y f_{01}(x, y) \exp[j(\omega t - \beta_0 z + \theta_0)] \quad \dots (2)$$

で表される。ここでf₀₁(x, y)は電界振幅関数であり、この関数はx偏光でもy偏光でも同じである。

【0014】

LP₁₁モードの場合も同様であり、LP₁₁モードは偏光方向がx偏光とy偏光の2種類に加えて、さらにモード関数がx方向に節を持つか（evenモード（偶モード））、y方向に節を持つか（oddモード（奇モード））の区別があるため、全部で4通りの縮退したモードが存在する。縮退モードでは、伝搬定数は同じで電界分布が異なる。これら4通りの縮退したモードは以下の式で表される。

30

【数3】

$$E_{11}^{(even,x)}(x, y, z; t) = B_x^{even} f_{11}^{(even)}(x, y) \exp[j(\omega t - \beta_1 z + \theta_1)] \quad \dots (3)$$

$$E_{11}^{(even,y)}(x, y, z; t) = B_y^{even} f_{11}^{(even)}(x, y) \exp[j(\omega t - \beta_1 z + \theta_2)] \quad \dots (4)$$

$$E_{11}^{(odd,x)}(x, y, z; t) = B_x^{odd} f_{11}^{(odd)}(x, y) \exp[j(\omega t - \beta_1 z + \theta_3)] \quad \dots (5)$$

40

$$E_{11}^{(odd,y)}(x, y, z; t) = B_y^{odd} f_{11}^{(odd)}(x, y) \exp[j(\omega t - \beta_1 z + \theta_4)] \quad \dots (6)$$

【0015】

なお、ここでは、φ₁, φ₂, φ₃, φ₄は全てLP₀₁モードのx偏光成分を基準とした相対位相で表している。

【0016】

図1は、LP₀₁モード、LP₁₁^{even}モード、及びLP₁₁^{odd}モードの振幅と位相を表している。図1において、モード電磁界分布は、強度分布と電界の向きを同時に表現している。また、LP₁₁モードにおいて、節の上下（あるいは左右）で電界振幅の符号が逆であり、図では逆方向のベクトルで表している。

50

【0017】

本願発明のモード分析は、分析点における縮退直交偏光モードの成分（振幅及び位相）をx座標とy座標を基準として求めるものであり、光ファイバによる伝搬状態の測定に適用することができる。

【0018】

光ファイバを伝搬する導波モードのLPモードでは、LP_{0,1}モードとLP_{1,1}モードの伝搬定数が異なっているため、入射端においてこれらのLPモードを全て同時に励振すると、数モードファイバ内においてモード間の電界分布の重ね合わせの関係は入射時点と異なる。また、各モードにおいても、伝搬に伴って座標軸そのものが回転座標変換を受け、また、偏光間位相差も発生する。

10

【0019】

このように、光ファイバによる伝搬では、入射端における各モードの励振状態は、光ファイバを伝搬中に生じるモード変換（クロストーク）や座標軸の回転によって変化を受け、光ファイバ内及び出射端での縮退直交モードの成分（振幅及び位相）は入射端と異なる状態となる。本願発明のモード分析で得られる縮退直交モードの成分（振幅及び位相）は、出射端での各モードの励振状態やクロストークの測定に適用することができる。

【0020】

なお、出射端での縮退直交モードの成分（振幅及び位相）は、光ファイバを伝搬中に生じるモード変換（クロストーク）や座標軸の回転によって変化を受け、入射端での各モードの励振状態から変化するが、本願発明のモード分析自体は、入射端での各モードの励振状態やクロストークに関わらず、分析点（出射端）における縮退直交偏光モードの成分（振幅及び位相）を取得するものである。

20

【0021】

図2は本願発明のモード分析装置及び分析方法を説明するための図であり、図2(a)は第1の形態を示し、図2(b)は第2の形態を示し、図2(c)は第3の形態を示している。

【0022】

（モード分析装置の第1の形態）

本願発明の第1の形態によるモード分析装置1Aは、光ファイバ伝送路から出射した分析対象光と局部発振光との干渉光を出力するコヒーレント検出光学系2と、コヒーレント検出光学系2から出力した干渉光を偏波分離して、直交偏光成分のx偏光成分及びy偏光成分を分離する偏波分離器3と、偏波分離器3で分離した各偏光成分を検出する光検出器4と、光検出器4で検出した電気信号の交流成分を加減算し、分析対象光から各縮退直交偏光モード成分の振幅及び位相差を得る演算器5を備える。

30

【0023】

本願発明のモード分析は、コヒーレント検出光学系2によって分析対象光と局部発振光との干渉光を出力し、偏波分離器3によって偏波分離し、光検出器4で各直交偏光成分を電気信号としてヘテロダイン検出する。ヘテロダイン検出では、信号光の光角周波数 ω_0 と局部発振器が発する局部発振光の角周波数 ω_1 との差の角周波数 $\omega_0 - \omega_1$ が電気信号の角周波数として検出される。なお、位相は周期 $2\pi / (\omega_0 - \omega_1)$ の数サイクル分の検出時間に基づいて検出されるが、従来の偏光フィルタを機械的に回転させる方法と比較して高速とすることができる。

40

【0024】

ヘテロダイン検出で検出された電気信号は、コヒーレント検出光学系2の出射端における混合されたモード電磁界分布を表している。このモード電磁界分布は縮退直交偏光成分が混合した状態になっており、数学的には線形結合で表され、数モードファイバを伝搬した高次の縮退モードの偏光成分の振幅及び位相差に応じた分布を有している。したがって、コヒーレント検出光学系2の出射端面における干渉光の強度は、混合している各縮退直交偏光モード電磁界の振幅の情報を含み、角周波数 $\omega_0 - \omega_1$ の電気信号の位相は混合している各縮退直交偏光モードの相対位相の情報を含んでいる。

50

【0025】

コヒーレント検出光学系2からの出力の干渉光はx偏光成分とy偏光成分とが合波された状態にあるため、偏波分離器3で各偏光成分を偏波分離してx偏光成分の光信号とy偏光成分の光信号を個別の光検出器4で検出することによって、x偏光成分のモード電磁界分布とy偏光成分のモード電磁界分布とを独立して検出することができる。

【0026】

光検出器4によるモード電磁界分布の検出は、干渉光の出射方向に対して直交する面上の複数箇所において電磁界の強度を検出することで行うことができる。ここで、モード電磁界分布を検出する検出点は電磁界の強度分布の対称性に基づいて定めることができる。

【0027】

演算器5は、光検出器で検出した電気信号の交流成分を加減算することによって、各縮退直交偏光モードの振幅及び位相差を算出することができる。演算器5が行う演算は単なる加減算であるため、従来の偏光子回転強度分布測定法(IPAP法)に必要な偏光子の回転操作および数値計算と比較して測定に要する時間を短縮することができる。

【0028】

コヒーレント検出光学系2は、光ファイバ伝送路から出射した分析対象光と局部発振光とを混合した干渉光を出力する混合器を備える。

【0029】

混合器は、局部発振光を発する局部発振器と半透明鏡とを備え、半透明鏡の一方の入射端に光ファイバ伝送路の出射端の信号光を入射させ、半透明鏡の他方の入射端に局部発振器が発する局部発振光を入射させ、半透明鏡の出射端から信号光と局部発振光とを混合して得られる干渉光を出力する。

【0030】

偏波分離器3は偏光ビームスプリッタで構成することができ、干渉光を偏波分離し、偏光ビームスプリッタの一方の出射端からx偏光成分を出射し、他方の出射端からy偏光成分を出射する。

【0031】

モード電磁界分布を検出する光検出器4は、モード電磁界分布のx軸とy軸に対する対称性から、干渉光の出射方向をz軸方向としたときx軸及びy軸に対称な位置を検出点とすることができ、LP₀₁モード、LP₁₁^{e v e n}モード、LP₁₁^{o d d}モードの3つのモードを検出するには、4つの光検出器を配置する構成の他に、4象限分割光検出器を用いることができる。

【0032】

光検出器4は、偏波分離器が分離したx偏光成分の出射光を入射させるX側4象限分割光検出器と、偏波分離器が分離したy偏光成分の出射光を入射させるY側4象限分割光検出器とを備える。X側4象限分割光検出器及びY側4象限分割光検出器は、それぞれ4つの各象限から出力信号を出力する。

【0033】

演算器5は、X側4象限分割光検出器の4つの出力信号を入力し、各出力信号を加減算してx偏光成分の振幅及び位相を演算するX偏光成分演算器と、Y側4象限分割光検出器の4つの出力信号を入力し、各出力信号を加減算してy偏光成分の振幅及び位相を演算するY偏光成分演算器とを備える。

【0034】

コヒーレント検出において、分析対象光と局部発振光とから干渉光を生成する混合器において、半透明鏡からは分析対象光が透過する方向と、分析対象光の反射する方向の2方向に干渉光が出射される。前記した第1の形態によるモード分析装置1Aは、2方向に進む干渉光の何れか一方の干渉光を用いてモード分析を行う構成である。

【0035】

本願発明の第2の形態によるモード分析装置1B、及び第3の形態によるモード分析装置1Cは、2方向に進む干渉光の2つの干渉光を用いてモード分析を行う構成である。

10

20

30

40

50

【0036】

(モード分析装置の第2の形態)

本願発明の第2の形態によるモード分析装置1Bは、第1の形態と同様に、分析対象光と局部発振光との干渉光を出力するコヒーレント検出光学系2と、コヒーレント検出光学系2から出力した干渉光を偏波分離して、直交偏光成分のx偏光成分及びy偏光成分を分離する偏波分離器3と、偏波分離器3で分離した各偏光成分を検出する光検出器4と、光検出器4で検出した検出信号のx偏光成分の差分からx偏光成分の振幅 A_x 、 B_x^e 、 B_x^o 及び位相を求めるX偏光成分差分演算器 5_x と、光検出器4で検出した検出信号のy偏光成分の差分からy偏光成分の振幅 A_y 、 B_y^e 、 B_y^o 及び位相を求めるY偏光成分差分演算器 5_y を備える。

10

【0037】

モード分析装置1Bは、2つの偏波分離器3A、3Bと4つの光検出器 4_{Ax} 、 4_{Ay} 、 4_{Bx} 、 4_{By} を備え、コヒーレント検出光学系2の混合器(半透明鏡)の透過光を一方の偏波分離器に入射させ、半透明鏡の反射光を他方の偏波分離器に入射させ、各偏波分離器3A、3Bで偏波分離した干渉光を4つの光検出器 4_{Ax} 、 4_{Ay} 、 4_{Bx} 、 4_{By} で検出する。4つの光検出器 4_{Ax} 、 4_{Ay} 、 4_{Bx} 、 4_{By} は、それぞれx偏光成分とy偏光成分の信号を検出する。

【0038】

モード分析装置1Bにおける偏波分離器3Aの出力を処理する検出系はX偏光成分差分演算器 5_x^A とY偏光成分差分演算器 5_y^A とを備える。X偏光成分差分演算器 5_x^A は光検出器 4_{Ax} が検出したx偏光成分の差分を演算し、Y偏光成分差分演算器 5_y^A は光検出器 4_{Ay} が検出したy偏光成分の差分を演算して求める。X偏光成分差分演算器 5_x^A で求めたx偏光成分は A_x 、 B_x^e 、 B_x^o を表し、Y偏光成分差分演算器 5_y^A で求めたy偏光成分の差分は、 A_y 、 B_y^e 、 B_y^o を表している。

20

【0039】

偏波分離器3Bの出力を処理する検出系のX偏光成分差分演算器 5_x^B 及びY偏光成分差分演算器 5_y^B においても、x偏光成分の差分及びy偏光成分の差分を求めることによって縮退直交偏光モードの振幅と位相を同様に検出することができるため、第2の形態によれば、数モードファイバからの出射光電力を無駄にせずにご利用することができる。

【0040】

(モード分析装置の第3の形態)

本願発明の第3の形態によるモード分析装置1Cは、第1の形態と同様に、分析対象光と局部発振光との干渉光を出力するコヒーレント検出光学系2と、コヒーレント検出光学系2から出力した干渉光を偏波分離して、縮退直交偏光成分のx偏光成分及びy偏光成分を分離する偏波分離器3と、偏波分離器3で分離した各偏光成分を検出する光検出器4と、光検出器4で検出したx偏光成分及びy偏光成分の各検出信号について平均値を求める加算器6と、加算器6で求めた検出信号の平均値を加減算し、分析対象光から各縮退直交偏光モード成分の振幅及び位相差を得る演算器5を備える。

30

【0041】

モード分析装置1Cは、2つの偏波分離器3A、3Bと4つの光検出器 4_{Ax} 、 4_{Ay} 、 4_{Bx} 、 4_{By} を備え、コヒーレント検出光学系2の混合器(半透明鏡)の透過光を一方の偏波分離器に入射させ、半透明鏡の反射光を他方の偏波分離器に入射させ、各偏波分離器3A、3Bで偏波分離した干渉光を4つの光検出器 4_{Ax} 、 4_{Ay} 、 4_{Bx} 、 4_{By} で検出する。4つの光検出器 4_{Ax} 、 4_{Ay} 、 4_{Bx} 、 4_{By} は、それぞれx偏光成分とy偏光成分の信号を検出する。

40

【0042】

モード分析装置1Cにおける偏波分離器3Aの出力を処理する検出系は、偏波分離器3Aで分離したX偏光成分と偏波分離器3Bで分離したX偏光成分の検出信号を加算してx偏光成分の平均信号を求める加算器 6_X と、偏波分離器3Aで分離したy偏光成分と偏波分離器3Bで分離したY偏光成分の検出信号を加算してY偏光成分の平均信号を求める加

50

算器 6 Y を備える。

【 0 0 4 3 】

演算器 5 は、X 偏光成分について加算器 6 で求めた 4 つの加算信号を入力し、各加算信号を加減算して縮退直交偏光モードの x 偏光成分の振幅及び位相を演算する X 偏光成分差分演算器 5 x と、y 偏光成分について加算器 6 で求めた 4 つの加算信号を入力し、各加算信号を加減算して縮退直交偏光モードの y 偏光成分の振幅及び位相を演算する Y 偏光成分差分演算器 5 y とを備える。

【 発明の効果 】

【 0 0 4 4 】

以上説明したように、本願発明によれば、モード分析において、各モードの電界強度分布の振幅及び位相の検出に要する処理時間を短縮することができる。

10

【 0 0 4 5 】

本願発明によれば、モード分析において、数値計算による近視野像からのモード分布の演算に代えて、直接に信号光から各モードの電界強度分布の振幅及び位相を検出することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 6 】

【 図 1 】 $LP_{0,1}$ モード、 $LP_{1,1}^{even}$ モード、及び $LP_{1,1}^{odd}$ モードの振幅と位相を表す図である。

【 図 2 】 本願発明のモード分析装置及び分析方法を説明するための図である。

20

【 図 3 】 本願発明のモード分析装置の第 1 の形態を説明するための図である。

【 図 4 】 本願発明のモード分析装置が備える演算器の構成例を説明するための図である。

【 図 5 】 本願発明のモード分析装置の第 2 の形態を説明するための図である。

【 図 6 】 本願発明のモード分析装置の第 3 の形態を説明するための図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 4 7 】

以下、本願発明の実施の形態について、図を参照しながら詳細に説明する。以下、図 3 を用いて本願発明のモード分析装置の第 1 の形態を説明し、図 4 を用いて本願発明のモード分析装置が備える演算器の構成例を説明し、図 5 を用いて本願発明のモード分析装置の第 2 の形態を説明し、図 6 を用いて本願発明のモード分析装置の第 3 の形態を説明する。

30

【 0 0 4 8 】

(モード分析装置の第 1 の形態)

図 3 は本願発明のモード分析装置の第 1 の形態の一構成例を説明するための図である。

【 0 0 4 9 】

モード分析装置 1 A は、コヒーレント検出光学系 2 と偏波分離器 3 と光検出器 4 と演算器 5 を備える。

【 0 0 5 0 】

コヒーレント検出光学系 2 は信号光の光角周波数 ω_0 と局部発振器が発する局部発振光の角周波数 ω_1 との合成干渉光を生成する機構であり、局部発振光を発する局部発振器 2 a と、 $\lambda/4$ 波長板 2 b と、信号光と局部発振光との干渉光を生成する混合器 (半透明鏡) 2 c とを備える。

40

【 0 0 5 1 】

局部発振器 2 a から発せられた局部発振光は、偏波面保持ファイバ 1 2 を介してレンズ 1 3 及び $\lambda/4$ 波長板 2 b に導かれる。なお、通常の単一モードファイバでは出射端での偏光状態が楕円偏光でありその偏光状態は不安定であるため、ここでは、局部発振光の偏光状態を保持したまま $\lambda/4$ 波長板 2 b に導くために偏波面保持ファイバ 1 2 を用いている。また、レンズ 1 3 は、局部発振光を平行光にして $\lambda/4$ 波長板 2 b に入射させるレンズである。

【 0 0 5 2 】

$\lambda/4$ 波長板 2 b は、局部発振光の直線偏光の偏光方向に対して 45° 回転させた状態

50

で設置して、局部発振光を円偏光に変換して混合器 2 c に入射させ、信号光の如何なる偏光成分にも干渉させるための構成である。なお、 $\lambda/4$ 波長板に代えて、 $\lambda/2$ 波長板を、その主軸が局部発振光の直線偏光の偏光方向とモード分析装置の座標系における x 軸との中間の角度をなすように回転させた状態で設置して、局部発振光の偏光方向がモード分析装置の座標系の x 軸に対して 45° 傾いた角度で混合器 2 c に入射させても良い。さらには、局部発振光からの光をレンズに導く偏波面保持ファイバの偏光主軸をモード分析装置の座標系の x 軸に対して 45° 傾けて配置して、局部発振光の偏光方向がモード分析装置の座標系の x 軸に対して 45° 傾いた角度で混合器 2 c に入射させても良い。

【0053】

半透明鏡 2 c の一方の入射端に伝送路（数モードファイバ 1 0）の出射端の信号光をレンズ 1 1 を介して入射させ、半透明鏡 2 c の他方の入射端に局部発振器 2 a が発する局部発振光を入射させ、出射端から信号光と局部発振光とを混合して得られる干渉光を出射する。

10

【0054】

なお、数モードファイバ 1 0 と半透明鏡 2 c の一方の入射端との間に設けるレンズ 1 1 は平行光を生成するためである。

【0055】

偏波分離器 3 は偏光ビームスプリッタで構成することができ、混合器 2 c で生成した干渉光を偏波分離して、縮退直交偏光成分の x 偏光成分及び y 偏光成分を分離する。

【0056】

モード分離について、 LP_{01} 、 LP_{11}^{ev} 、 LP_{11}^{od} の 3 つのモードを例にして説明する。

20

【0057】

光検出器 4 は、偏波分離器 3 で各偏光成分に分離した干渉光を検出する。光検出器 4 は、偏波分離器 3 が分離した x 偏光成分の干渉光を入射する X 側 4 象限分割光検出器 4 x と、偏波分離器 3 が分離した y 偏光成分の干渉光を入射する Y 側 4 象限分割光検出器 4 y とを備え、X 側 4 象限分割光検出器 4 x 及び Y 側 4 象限分割光検出器 4 y はそれぞれ 4 つの各象限から振幅と位相を異にする出力信号 I_{x1} 、 I_{x2} 、 I_{x3} 、 I_{x4} 、出力信号 I_{y1} 、 I_{y2} 、 I_{y3} 、 I_{y4} を出力する。

【0058】

演算器 5 は、光検出器 4 で検出した交流成分の加減算によって、各縮退直交偏光モードの振幅及び位相差を得る。演算器 5 は、X 側 4 象限分割光検出器 4 x の 4 つの出力信号を入力し、各出力信号を加減算して x 偏光成分の振幅及び位相を演算する X 偏光成分差分演算器 5 x と、Y 側 4 象限分割光検出器 4 y の 4 つの出力信号を入力し、各出力信号を加減算して y 偏光成分の振幅及び位相を演算する Y 偏光成分差分演算器 5 y とを備える。

30

【0059】

数モードファイバの出射端での信号光の LP_{01} 、 LP_{11}^{ev} 、 LP_{11}^{od} の 3 つのモードの x 偏光と y 偏光成分をすべて含む混合状態の電界振幅 (A_x 、 A_y 、 B_x^e 、 B_y^e 、 B_x^o 、 B_y^o) と、 LP_{01} モードの x 偏光を基準とする各モードの位相差 ($\theta_0 \sim \theta_4$) を以下の式 (7) で定義する。

40

【数 4】

$$E_{\text{total}} = \{A_x e_x + A_y e_y e^{j\theta_0}\} E_{LP_{01}}(x, y) \\ + \{B_x^e e^{j\theta_1} e_x + B_y^e e^{j\theta_2} e_y\} E_{LP_{11}^e}(x, y) \\ + \{B_x^o e^{j\theta_3} e_x + B_y^o e^{j\theta_4} e_y\} E_{LP_{11}^o}(x, y) \quad \dots (7)$$

【0060】

局部発振光（電界を E_{L0} とする）と干渉し、偏光ビームスプリッタ（通過する偏光方向の単位ベクトルを e_{p01} とする）を通過した後の信号光の光電力は式 (8) で表される。

50

【数5】

$$P = |(\mathbf{E}_{\text{total}} + \mathbf{E}_{\text{LO}}) \cdot \mathbf{e}_{\text{pol}}|^2 \quad \dots (8)$$

【0061】

ここで、干渉光の交流成分について、4象限分割光検出器の第 象限で生じる電流 I_{AC} は以下の式(9)で表される。

【数6】

$$I_{\nu AC} = \int_Q P_{AC} da = \xi A_x \cos(\Delta\omega t) + e^{j[\frac{\nu}{2}]_{\text{int}} \cdot \pi} \cdot \eta B_x^e \cos(\Delta\omega t - \theta_1) + e^{j[\frac{\nu-1}{2}]_{\text{int}} \cdot \pi} \cdot \eta B_x^o \cos(\Delta\omega t - \theta_3) \quad \dots (9)$$

10

ただし、係数 ξ と η は、

【数7】

$$\xi = \frac{DN_0^2 w_0^2 \pi}{2}, \quad \eta = D\sqrt{2\pi N_0 N_1} w_0^2 \quad \dots (10)$$

20

で表され、 w_0 は基本モードの LP_{01} モード電磁界分布をガウス関数で近似した場合のスポットサイズであり、 D は局部発振光を平面波近似した場合の電界振幅、 N_0 と N_1 はそれぞれ LP_{01} モードと LP_{11} モードの電磁界分布関数の規格化定数である。

【0062】

なお、規格化定数とは、式(1)から(6)に含まれる電磁界分布関数 $f_{01}(x, y)$ と $f_{11}(x, y)$ の2乗(電力なので電界の二乗)を断面内全体にわたって積分したときに値が1になるようにする係数である。

【0063】

また、縮退直交偏光モードの振幅及び位相差は、以下の表1で表されるように各象限の交流電流の加減算で求めることができる。

【表1】

30

	LP_{01}	LP_{11}^e	LP_{11}^o
x_{pol}	$A_x \leftarrow \sum_{\nu=1}^4 I_{\nu AC}^x$	$B_x^e \leftarrow I_1^x - I_2^x$ $\theta_1 \leftarrow \arg[I_1^x - I_2^x]$	$B_x^o \leftarrow I_1^x - I_4^x$ $\theta_3 \leftarrow \arg[I_1^x - I_4^x]$
y_{pol}	$A_y \leftarrow \sum_{\nu=1}^4 I_{\nu AC}^y$ $\theta_0 = \arg \left[\sum_{\nu=1}^4 I_{\nu AC}^y \right]$	$B_y^e \leftarrow I_1^y - I_2^y$ $\theta_2 \leftarrow \arg[I_1^y - I_2^y]$	$B_y^o \leftarrow I_1^y - I_4^y$ $\theta_4 \leftarrow \arg[I_1^y - I_4^y]$

40

【0064】

図4はX偏光成分演算器とY偏光成分演算器の構成例を説明するための図である。表1で示したように、縮退直交偏光モードの振幅及び位相差は、各象限の交流電流 I_{AC} の加減算で求めることができる。ここで、 θ_1, θ_3 は象限1~4に対応している。

【0065】

図4(a), (b)は、縮退直交偏光モードのx偏光成分の振幅 A_x, B_x^e, B_x^o 、及びx偏光成分の位相 θ_1, θ_3 を演算する構成例を示している。

50

【 0 0 6 6 】

図 4 (a) は、LP₀₁モードの x 偏光成分の振幅 A_x 及び x 偏光成分の位相は、4 象限分割光検出器 4 x の出力信号 I_{x1} , I_{x2} , I_{x3} , I_{x4} を加算器で加算し、ロックインアンプで通す構成例を示し、図 4 (b) は、LP₀₁モードの x 偏光成分の振幅 A_x 及び x 偏光成分の位相は、4 象限分割光検出器 4 x の出力信号 I_{x1} , I_{x2} , I_{x3} , I_{x4} を帯域透過フィルタで角周波数の交流成分のみを取り出した後に加算器で加算し、振幅及び位相検波器を通す構成例を示している。なお、ここでは、LP₀₁モードの x 偏光成分の位相を位相基準とするために “ 0 ” としている。

【 0 0 6 7 】

図 4 (a) の構成では、LP₁₁^{e v e n}モードの x 偏光成分の振幅 B_x^e 及び x 偏光成分の位相 θ_1 は、4 象限分割光検出器 4 x の出力信号 I_{x1} , I_{x2} , I_{x3} , I_{x4} の内、減算器で求めた出力信号 I_{x1} と I_{x2} との差分 ($I_{x1} - I_{x2}$) と、減算器で求めた出力信号 I_{x4} と I_{x3} との差分 ($I_{x4} - I_{x3}$) とを加算器で加算した後、ロックインアンプを通すことで得ることができる。

10

【 0 0 6 8 】

図 4 (a) の構成では、LP₁₁^{o d d}モードの x 偏光成分の振幅 B_x^o 及び x 偏光成分の位相 θ_3 は、4 象限分割光検出器 4 x の出力信号 I_{x1} , I_{x2} , I_{x3} , I_{x4} の内、減算器で求めた出力信号 I_{x1} と I_{x4} の差分 ($I_{x1} - I_{x4}$) と、減算器で求めた出力信号 I_{x2} と I_{x3} との差分 ($I_{x2} - I_{x3}$) とを加算器で加算した後、ロックインアンプを通すことで得ることができる。

20

【 0 0 6 9 】

図 4 (b) の構成では、LP₁₁^{e v e n}モードの x 偏光成分の振幅 B_x^e 及び x 偏光成分の位相 θ_1 は、4 象限分割光検出器 4 x の出力信号 I_{x1} , I_{x2} , I_{x3} , I_{x4} を帯域透過フィルタで角周波数の交流成分のみを取り出した後に、フィルタ及び減算器を通して得られた出力信号 I_{x1} と I_{x2} との差分 ($I_{x1} - I_{x2}$) と、フィルタ及び減算器を通して得られた出力信号 I_{x4} と I_{x3} との差分 ($I_{x4} - I_{x3}$) とを加算器で加算した後、振幅及び位相検波器を通すことで得ることができる。

【 0 0 7 0 】

図 4 (b) の構成では、LP₁₁^{o d d}モードの x 偏光成分の振幅 B_x^o 及び x 偏光成分の位相 θ_3 は、4 象限分割光検出器 4 x の出力信号 I_{x1} , I_{x2} , I_{x3} , I_{x4} を帯域透過フィルタで角周波数の交流成分のみを取り出した後に、フィルタ及び減算器を通して得られた出力信号 I_{x1} と I_{x4} との差分 ($I_{x1} - I_{x4}$) と、フィルタ及び減算器を通して得られた出力信号 I_{x2} と I_{x3} との差分 ($I_{x2} - I_{x3}$) とを加算器で加算した後、振幅及び位相検波器を通すことで得ることができる。

30

【 0 0 7 1 】

図 4 (c) , (d) は、縮退直交偏光モードの y 偏光成分の振幅 A_y , B_y^e , B_y^o 、及び y 偏光成分の位相 θ_2 , θ_4 を演算する構成例を示している。

【 0 0 7 2 】

図 4 (c) は、LP₀₁モードの y 偏光成分の振幅 A_y 及び y 偏光成分の位相は、4 象限分割光検出器 4 y の出力信号 I_{y1} , I_{y2} , I_{y3} , I_{y4} を加算器で加算し、ロックインアンプで通す構成例を示し、図 4 (d) は、LP₀₁モードの y 偏光成分の振幅 A_y 及び y 偏光成分の位相は、4 象限分割光検出器 4 y の出力信号 I_{y1} , I_{y2} , I_{y3} , I_{y4} を帯域透過フィルタで角周波数の交流成分のみを取り出した後に加算器で加算し、振幅および位相検波器を通す構成例を示している。なお、ここでは、LP₀₁モードの y 偏光成分の位相を x 偏光成分の位相基準に対して θ_0 としている。

40

【 0 0 7 3 】

図 4 (c) の構成では、LP₁₁^{e v e n}モードの y 偏光成分の振幅 B_{xy} 及び y 偏光成分の位相 θ_2 は、4 象限分割光検出器 4 x の出力信号 I_{y1} , I_{y2} , I_{y3} , I_{y4} の内、減算器で求めた出力信号 I_{y1} と I_{y2} との差分 ($I_{y1} - I_{y2}$) と、減算器で求めた出力信号 I_{y4} と I_{y3} との差分 ($I_{yy4} - I_{y3}$) とを加算器で加算した後、ロックインア

50

ンプを通すことで得ることができる。

【0074】

図4(c)の構成では、LP₁₁^{odd}モードのy偏光成分の振幅 B_y^o 及びy偏光成分の位相 ϕ_4 は、4象限分割光検出器4yの出力信号 I_{y1} 、 I_{y2} 、 I_{y3} 、 I_{y4} の内、減算器で求めた出力信号 I_{y1} と I_{y4} の差分($I_{y1} - I_{y4}$)と、減算器で求めた出力信号 I_{y2} と I_{y3} との差分($I_{y2} - I_{y3}$)とを加算器で加算した後、ロックインアンプを通すことで得ることができる。

【0075】

図4(d)の構成では、LP₁₁^{even}モードのy偏光成分の振幅 B_y^e 及びy偏光成分の位相 ϕ_2 は、4象限分割光検出器4yの出力信号 I_{y1} 、 I_{y2} 、 I_{y3} 、 I_{y4} を帯域透過フィルタで角周波数 ω の交流成分のみを取り出した後に、フィルタ及び減算器を通して得られた出力信号 I_{y1} と I_{y2} との差分($I_{y1} - I_{y2}$)と、フィルタ及び減算器を通して得られた出力信号 I_{y4} と I_{y3} との差分($I_{y4} - I_{y3}$)とを加算器で加算した後、振幅及び位相検波器を通すことで得ることができる。

【0076】

図4(d)の構成では、LP₁₁^{odd}モードのy偏光成分の振幅 B_y^o 及びy偏光成分の位相 ϕ_4 は、4象限分割光検出器4yの出力信号 I_{y1} 、 I_{y2} 、 I_{y3} 、 I_{y4} を帯域透過フィルタで角周波数 ω の交流成分のみを取り出した後に、フィルタ及び減算器を通して得られた出力信号 I_{y1} と I_{y4} との差分($I_{y1} - I_{y4}$)と、フィルタ及び減算器を通して得られた出力信号 I_{y2} と I_{y3} との差分($I_{y2} - I_{y3}$)とを加算器で加算した後、振幅及び位相検波器を通すことで得ることができる。

【0077】

(モード分析装置の第2の形態)

図5は本願発明のモード分析装置の第2の形態の一構成例を説明するための図である。

【0078】

本願発明の第2の形態によるモード分析装置1Bは、混合器から2方向に進む干渉光の両方の干渉光を用いてモード分析を行う構成である。

【0079】

本願発明の第2の形態によるモード分析装置1Bは、第1の形態と同様に、分析対象光と局部発振光との干渉光を検出するコヒーレント検出光学系2と、コヒーレント検出光学系2で検出した干渉光を偏波分離して、直交偏光成分のx偏光成分及びy偏光成分を分離する偏波分離器3と、偏波分離器3で分離した各偏光成分を検出する光検出器4とを備え、光検出器4の検出信号を用いて各偏光成分の差分を演算する演算器5を備える。演算器5は偏光成分差分演算器で構成することができる。

【0080】

モード分析装置1Bは、混合器の半透明鏡2cの2つの出射端に対して、偏波分離器3A及び光検出器4Aの組と、偏波分離器3B及び光検出器4Bの組からなる二組の光学系及び検出系を備え、コヒーレント検出光学系2の混合器(半透明鏡)2cの透過光を一方の組の偏波分離器3Aに入射させ、混合器(半透明鏡)2cの反射光を他方の偏波分離器3Bに入射させ、各偏波分離器3A、3Bで偏波分離した干渉光を4つの光検出器4Ax、4Ay、4Bx、4Byで検出する。4つの光検出器4Ax、4Ay、4Bx、4Byは、それぞれ偏波分離器3A、3Bによって分離されたx偏光成分とy偏光成分の信号を検出する。

【0081】

光検出器4Aは、混合器(半透明鏡)2cの透過光について、偏波分離器3Aで偏波分離したx偏光成分を検出する4象限分割光検出器4Axと、偏波分離器3Aで偏波分離したy偏光成分を検出する4象限分割光検出器4Ayを備える。

【0082】

4象限分割光検出器4Axは、x偏光成分のモード電磁界分布を表す出力信号 I_{x1}^A 、 I_{x2}^A 、 I_{x3}^A 、 I_{x4}^A を出力し、4象限分割光検出器4Ayは、y偏光成分のモ

10

20

30

40

50

ード電磁界分布を表す出力信号 I_{y1}^A , I_{y2}^A , I_{y3}^A , I_{y4}^A を出力する。

【0083】

一方、光検出器4Bは、混合器(半透明鏡)2cの反射光について、偏波分離器3Bで偏波分離したx偏光成分を検出する4象限分割光検出器4Bxと、偏波分離器3Bで偏波分離したy偏光成分を検出する4象限分割光検出器4Byを備える。

【0084】

4象限分割光検出器4Bxは、x偏光成分のモード電磁界分布を表す出力信号 I_{x1}^B , I_{x2}^B , I_{x3}^B , I_{x4}^B を出力し、4象限分割光検出器4Byは、y偏光成分のモード電磁界分布を表す出力信号 I_{y1}^B , I_{y2}^B , I_{y3}^B , I_{y4}^B を出力する。

【0085】

さらに、モード分析装置1BはX偏光成分差分演算器5xとY偏光成分差分演算器5yとを備える。X偏光成分差分演算器5xは光検出器4Ax, 4Byが検出したx偏光成分の差分を演算し、Y偏光成分差分演算器5yは光検出器4Ay, 4Byが検出したy偏光成分の差分を演算する。

【0086】

X偏光成分差分演算器5xは、出力信号 I_{x1}^A , I_{x2}^A , I_{x3}^A , I_{x4}^A から光検出器4Axのx偏光成分の差分を演算するX偏光成分差分演算器5xA、及び出力信号 I_{x1}^B , I_{x2}^B , I_{x3}^B , I_{x4}^B から光検出器4Bxのy偏光成分の差分を演算するY偏光成分差分演算器5xBを備える。

【0087】

また、Y偏光成分差分演算器5yは、出力信号 I_{y1}^A , I_{y2}^A , I_{y3}^A , I_{y4}^A から光検出器4Ayのx偏光成分の差分を演算するY偏光成分差分演算器5yA、及び出力信号 I_{y1}^B , I_{y2}^B , I_{y3}^B , I_{y4}^B から光検出器4Byのy偏光成分の差分を演算するY偏光成分差分演算器5yBを備える。

【0088】

X偏光成分差分演算器5x及びY偏光成分差分演算器5yの出力から、LP₀₁、LP_{11^eveⁿ}、LP_{11^odd}の3つのモードのx偏光とy偏光成分の電界振幅(Ax, Ay, Bx^e, By^e, Bx^o, By^o)と、LP₀₁モードのx偏光を基準とする各モードの位相差(ϕ_{0-4})を得ることができる。

【0089】

(モード分析装置の第3の形態)

図6は本願発明のモード分析装置の第3の形態の一構成例を説明するための図である。

【0090】

本願発明の第3の形態によるモード分析装置1Cは、第2の形態と同様に、混合器から2方向に進む2つの干渉光を用いてモード分析を行う構成である。

【0091】

本願発明の第3の形態によるモード分析装置1Cは、第2の形態と同様に、分析対象光と局部発振光との干渉光を出射するコヒーレント検出光学系2と、コヒーレント検出光学系2から出射した干渉光を偏波分離して、縮退直交偏光成分のx偏光成分及びy偏光成分を分離する偏波分離器3と、偏波分離器3で分離した各偏光成分を検出する光検出器4とを備え、光検出器4の検出信号を用いて、混合器で分岐された2系列の各偏光成分の和を求める加算器6と、加算器6で得た各偏光成分の和を加減算し、分析対象光の各縮退直交偏光モードの振幅及び位相差を得る演算器5を備える。演算器5は第2の態様の演算器5と同様の機能である。

【0092】

モード分析装置1Cは、混合器の半透明鏡2cの2つの出射端に対して、偏波分離器3A及び光検出器4Aの組と、偏波分離器3B及び光検出器4Bの組からなる二組の光学系及び検出系を備え、コヒーレント検出光学系2の混合器(半透明鏡)2cの透過光を一方の組の偏波分離器3Aに入射させ、混合器(半透明鏡)2cの反射光を他方の偏波分離器3Bに入射させ、各偏波分離器3A, 3Bで偏波分離した干渉光を4つの光検出器4Ax

10

20

30

40

50

、 $4A_y$ 、 $4B_x$ 、 $4B_y$ で検出する。4つの光検出器 $4A_x$ 、 $4A_y$ 、 $4B_x$ 、 $4B_y$ は、それぞれ偏波分離器3A、3Bによって分離されたx偏光成分とy偏光成分の信号を検出する。

【0093】

光検出器4Aは、混合器（半透明鏡）2cの透過光について、偏波分離器3Aで偏波分離したx偏光成分を検出する4象限分割光検出器 $4A_x$ と、偏波分離器3Aで偏波分離したy偏光成分を検出する4象限分割光検出器 $4A_y$ を備える。

【0094】

4象限分割光検出器 $4A_x$ は、x偏光成分のモード電磁界分布を表す出力信号 $I_{x_1}^A$ 、 $I_{x_2}^A$ 、 $I_{x_3}^A$ 、 $I_{x_4}^A$ を出力し、4象限分割光検出器 $4A_y$ は、y偏光成分のモード電磁界分布を表す出力信号 $I_{y_1}^A$ 、 $I_{y_2}^A$ 、 $I_{y_3}^A$ 、 $I_{y_4}^A$ を出力する。

10

【0095】

一方、光検出器4Bは、混合器（半透明鏡）2cの反射光について、偏波分離器3Bで偏波分離したx偏光成分を検出する4象限分割光検出器 $4B_x$ と、偏波分離器3Bで偏波分離したy偏光成分を検出する4象限分割光検出器 $4B_y$ を備える。

【0096】

4象限分割光検出器 $4B_x$ は、x偏光成分のモード電磁界分布を表す出力信号 $I_{x_1}^B$ 、 $I_{x_2}^B$ 、 $I_{x_3}^B$ 、 $I_{x_4}^B$ を出力し、4象限分割光検出器 $4B_y$ は、y偏光成分のモード電磁界分布を表す出力信号 $I_{y_1}^B$ 、 $I_{y_2}^B$ 、 $I_{y_3}^B$ 、 $I_{y_4}^B$ を出力する。

【0097】

さらに、モード分析装置1Cは、4象限分割光検出器 $4A_x$ 及び4象限分割光検出器 $4B_x$ で検出した2系列のx偏光成分を加算して和を求める加算器6Xと、4象限分割光検出器 $4A_y$ 及び4象限分割光検出器 $4B_y$ で検出した2系列のy偏光成分を加算して和を求める加算器6Yを備える。

20

【0098】

加算器6Xは、 $I_{x_1}^A$ と $I_{x_1}^B$ との和、 $I_{x_2}^A$ と $I_{x_2}^B$ との和、 $I_{x_3}^A$ と $I_{x_3}^B$ との和、及び $I_{x_4}^A$ と $I_{x_4}^B$ との和を算出する。加算器6Yは、 $I_{y_1}^A$ と $I_{y_1}^B$ との和、 $I_{y_2}^A$ と $I_{y_2}^B$ との和、 $I_{y_3}^A$ と $I_{y_3}^B$ との和、及び $I_{y_4}^A$ と $I_{y_4}^B$ との和を算出する、

【0099】

偏波分離器3A及び偏波分離器3Bのそれぞれの後段の検出系から得られる出力は、同じ偏波同士の信号であり、通常は同一の出力信号になるが、一般には光学系の中心軸のずれや、4象限分割光検出器の中心軸のずれによって必ずしも同一とならない。

30

【0100】

第3の形態では、混合器後の2つの系列の和をとって平均化することによって、誤差を低減する。

【0101】

したがって、第3の形態によれば、数モードファイバからの出力光が混合器で半分となることで生じる電力の半減を解消し、同じ信号を2系列から取得して平均化することによって誤差を低減するという効果を奏することができる。

40

【0102】

上記した第1～第3の形態において、偏波分離器3で分離したx偏光成分及びy偏光成分の座標軸は $LP_{11}^{ev}e^n$ モードや $LP_{11}^{od}d^d$ モードの電磁界分布の基準となるx軸及びy軸と対応し、 $LP_{11}^{ev}e^n$ モード及び $LP_{11}^{od}d^d$ モードは90度回転対称であることに基づいて、光検出器4の4象限分割光検出器を偏波分離器3の偏光成分及びy偏光成分の座標軸に合わせて軸合わせさせている。

【0103】

第1～第3の形態では、4象限分割光検出器を用いて、 LP_{01} モード、 $LP_{11}^{ev}e^n$ モード及び $LP_{11}^{od}d^d$ モードの分析に適用する例を示しているが、 $LP_{21}^{ev}e^n$ モード、及び $LP_{21}^{od}d^d$ モードは45度回転対称であるため、4分割光検出器に

50

代えて8分割光検出器を用いることで対応してもよい。

【0104】

なお、本願発明は前記各実施の形態に限定されるものではない。本願発明の趣旨に基づいて種々変形することが可能であり、これらを本願発明の範囲から排除するものではない。

【産業上の利用可能性】

【0105】

本願発明のモード分析装置は、数モードファイバの伝搬モードの分析に適用することができる。

【符号の説明】

10

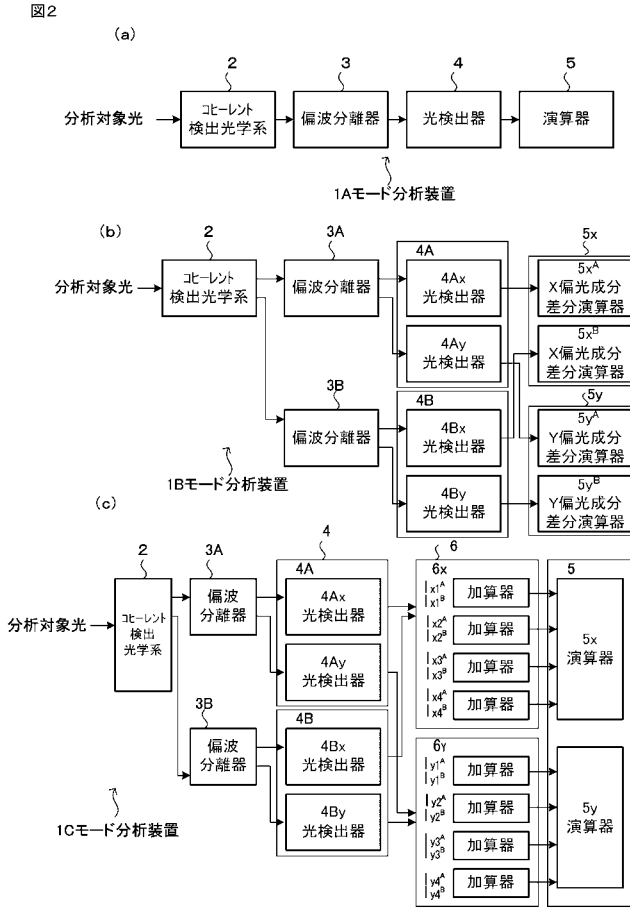
【0106】

- 1 モード分析装置
- 1 A モード分析装置
- 1 B モード分析装置
- 2 偏波分離部
- 2 a 局部発振器
- 2 b 波長板
- 2 c 混合器（半透明鏡）
- 3 偏波分離器
- 3 A , 3 B 偏波分離器
- 4 光検出器
- 4 x 象限分割光検出器
- 4 y 象限分割光検出器
- 4 A , 4 B 光検出器
- 4 A x 4象限分割光検出器
- 4 A y 4象限分割光検出器
- 4 B x 4象限分割光検出器
- 4 B y 4象限分割光検出器
- 5 演算器
- 5 x X偏光成分演算器
- 5 y Y偏光成分演算器
- 6 , 6 x , 6 y 加算器
- 10 数モードファイバ
- 11 レンズ
- 12 偏波面保持ファイバ
- 13 レンズ

20

30

【 図 2 】



【 図 1 】

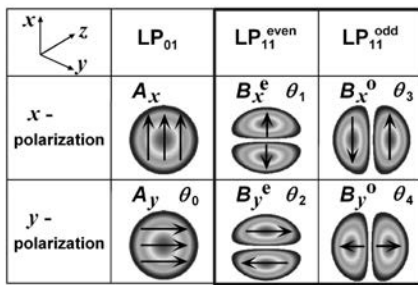
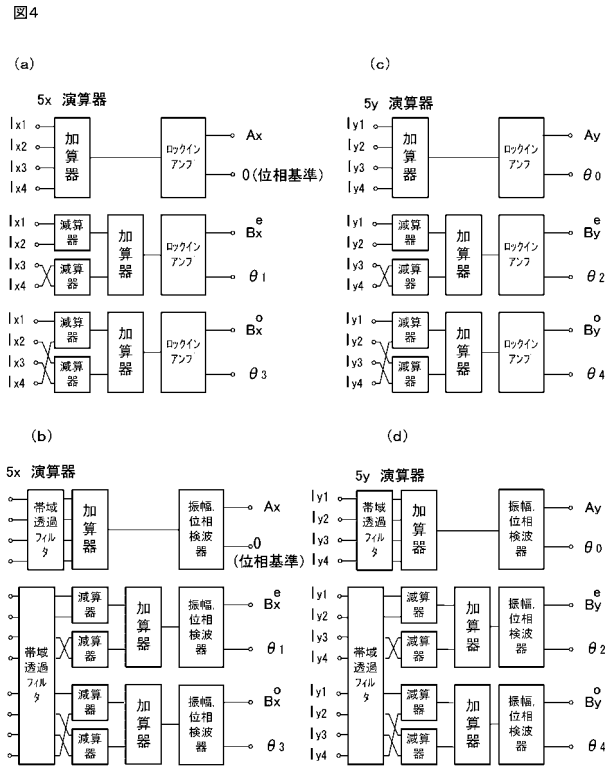


図1

【 図 4 】



【 図 3 】

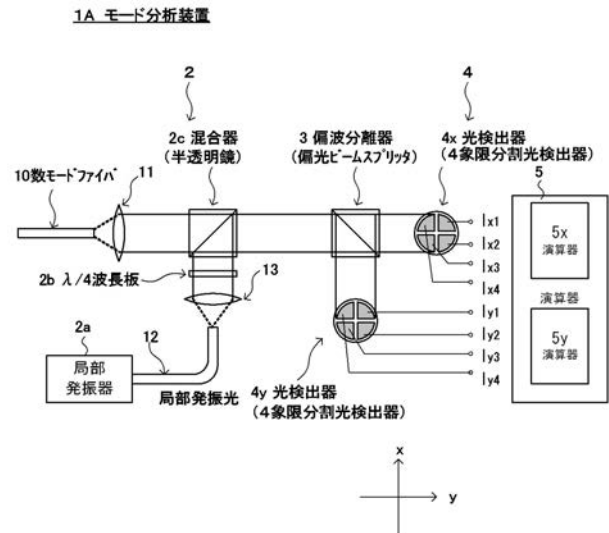


図3

【 図 5 】

1B モード分析装置

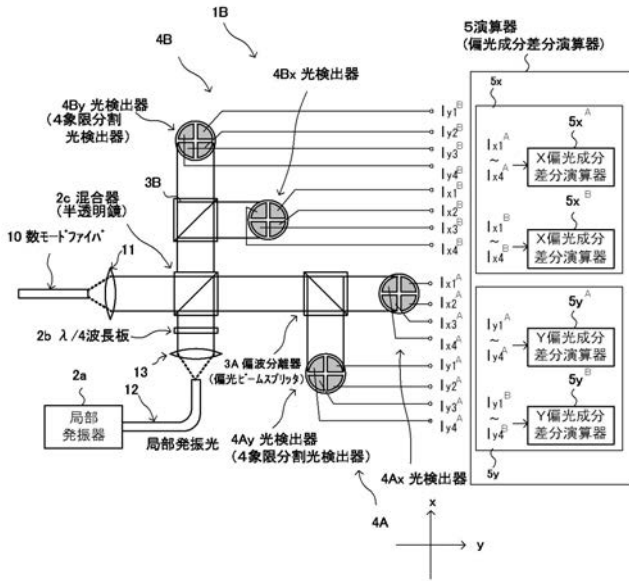


図5

【 図 6 】

1C モード分析装置

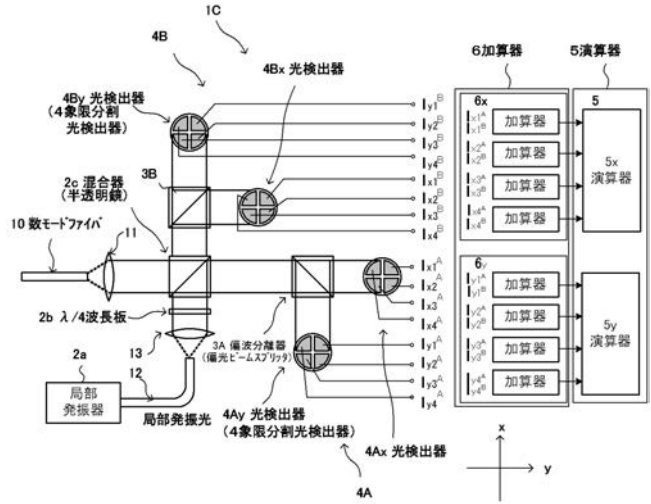


図6