

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3998460号  
(P3998460)

(45) 発行日 平成19年10月24日(2007.10.24)

(24) 登録日 平成19年8月17日(2007.8.17)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 M 11/00 (2006.01)

GO 1 M 11/00

T

GO 1 M 11/02 (2006.01)

GO 1 M 11/02

K

請求項の数 28 外国語出願 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2001-349780 (P2001-349780)  
 (22) 出願日 平成13年11月15日(2001.11.15)  
 (65) 公開番号 特開2002-243585 (P2002-243585A)  
 (43) 公開日 平成14年8月28日(2002.8.28)  
 審査請求日 平成16年11月4日(2004.11.4)  
 (31) 優先権主張番号 00125089.3  
 (32) 優先日 平成12年11月17日(2000.11.17)  
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)  
 (31) 優先権主張番号 940741  
 (32) 優先日 平成13年8月28日(2001.8.28)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 399117121  
 アジレント・テクノロジーズ・インク  
 AGILENT TECHNOLOGIES, INC.  
 アメリカ合衆国カリフォルニア州サンタクラ  
 ラ スティーブンス・クリーク・ブルー  
 バード 5301  
 (74) 代理人 100105913  
 弁理士 加藤 公久  
 (72) 発明者 ハロルド・ローゼンフェルド  
 ドイツ連邦共和国 ハンベルグ イム・ウ  
 インケル2

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学装置の特性を決定する方法及び検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

テストを受ける光学装置の特性を決定する方法において、  
 入射光束を第1の光束と第2の光束に分割する工程と、  
 所定の偏光を備えた前記第1の光束を前記テストを受ける光学装置に接続する工程と、  
 前記第2の光束を前記第1の光束とは異なる路に進行させる工程と、  
 前記光学装置からの前記第1の光束と前記第2の光束を重ね合わせ、重ね合わせられた  
 光束における前記第1の光束と前記第2の光束間に干渉を行わせる工程と、  
 前記重ね合わせられた光束を偏光に依存するようにして第3の光束と第4の光束に分割  
 する工程と、  
 前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数と  
 して前記第3の光束と前記第4の光束のパワーを検出する工程と、  
 検出されたパワーの周波数依存性から、前記テストを受ける光学装置の特性に係る複数  
 の要素を取り出す工程と、  
 前記所定の偏光に関して前記第1の光束の偏光を変化させ、変化させられた偏光につい  
 て、上記各工程を再度行う工程と、  
 前記複数の要素から前記テストを受ける光学装置の特性を決定する工程とを有すること  
 を特徴とする方法。

【請求項2】

更に、検出された前記パワーの周波数依存性から前記テストを受ける光学装置における

ジョーンズマトリックスの要素を取り出す工程を有することを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

更に、前記入射光束を分割した後で、前記第 1 の光束の偏光を設定する工程、あるいは、前記分割の前に前記入射光束の偏光を設定する工程を有することを特徴とする、請求項 1 または請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

更に、前記第 1 の光束の偏光を直交する偏光に変化させる工程を有することを特徴とする、請求項 1 から請求項 3 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 5】

更に、前記所定の偏光を直線偏光とする工程を有することを特徴とする、請求項 1 から請求項 4 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

更に、入射光束を第 1 の初期光束と第 2 の初期光束に分割する工程と、前記第 1 の初期光束を用いて請求項 1 に記載の過程を行う工程と、前記第 2 の初期光束を第 5 の光束と第 6 の光束に分割する工程と、前記光束のそれぞれが異なる路を進行した後、前記第 5 の光束と前記第 6 の光束を重ね合わせ、重ね合わせられた光束における前記第 5 の光束と前記第 6 の光束間に干渉を行わせる工程と、前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記重ね合わせられた光束のパワーを検出する工程と、所定の周波数範囲にわたる前記入射光束に対して同調する周波数の勾配における非直線性を検出する工程と、非直線性を検出するとき、検出された前記非直線性の情報を用いて前記非直線性から生じた前記第 3 の光束と前記第 4 の光束の前記検出されたパワーへの作用を補正する工程とを有することを特徴とする、請求項 1 から請求項 5 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

更に、前記テストを受ける装置のジョーンズマトリックス要素として表現される測定によって得られた情報から前記テストを受ける装置の偏光モード分散を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置の色分散を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置の偏光における基本的な状態を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置の偏光依存性の損失を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置の偏光における基本的な状態に連携する群遅延を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置の挿入損失を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置の透過率及び反射率を取り出す工程、あるいは前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリックス要素から周波数に関する異なる群遅延の変化率のような高次の偏光モード分散を取り出すという工程のうち少なくとも 1 つを備えたことを特徴とする、請求項 1 から請求項 6 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 8】

テストを受ける光学装置の特性を決定する方法において、  
入射光束を第 1 の光束と第 2 の光束に分割する工程と、  
前記第 2 の光束を前記第 1 の光束とは異なる路に進行させる工程と、  
前記第 1 の光束を、第 1 の部分と第 2 の部分に分割する工程と、  
前記第 2 の部分を前記第 1 の部分に対して遅延させる工程と、  
異なる偏光を有する前記第 1 の部分と前記第 2 の部分とを結合して、結合された第 1 の光束を形成する工程と、

結合された前記第 1 の光束を前記テストを受ける光学装置に接続する工程と、

前記光学装置からの結合された前記第 1 の光束と前記第 2 の光束を重ね合わせ、重ね合わせられた光束における結合された前記第 1 の光束と前記第 2 の光束間に干渉を行わせる

10

20

30

40

50

工程と、

前記重ね合わせられた光束を偏光に依存するようにして第 3 の光束と第 4 の光束に分割する工程と、

前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記第 3 の光束と前記第 4 の光束のパワーを検出する工程と、

検出されたパワーの周波数依存性から、前記テストを受ける光学装置の特性に係る複数の要素を取り出す工程と、

前記複数の要素から前記テストを受ける光学装置の特性を決定する工程とを有することを特徴とする方法。

【請求項 9】

前記第 1 の部分と前記第 2 の部分とは、偏光として、互いに直交することを特徴とする、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記第 1 の部分及び前記第 2 の部分の各々は、コヒーレントな光束のパワーの少なくとも 50 % を有することを特徴とする、請求項 8 または請求項 9 のいずれかに記載の方法。

【請求項 11】

更に、検出された前記パワーのスペクトルのピークをフィルタリングする工程と、前記複数の要素を取り出すために、前記スペクトルにおける前記ピークを前記第 1 及び第 2 部分のそれぞれに対して位置決め工程とを有することを特徴とする、請求項 8 から請求項 10 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 12】

更に、前記重ね合わせられた光束における再び結合された前記第 1 及び第 2 の部分間に干渉を生じさせる工程と、前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記重ね合わせられた光束のパワーを連続的に検出する工程と、前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、同調する周波数の勾配における非直線性を検出する工程と、非直線性を検出するとき、検出された前記非直線性の情報を用いて前記非直線性によって生じさせられた前記第 3 の光束と前記第 4 の光束の検出されたパワーへの作用を補正する工程とを有することを特徴とする、請求項 8 から請求項 11 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 13】

更に、再び結合された前記第 1 及び第 2 の部分を偏光させることで、前記再び結合された部分を重ね合わせて干渉を生じさせる工程を有することを特徴とする、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

更に、前記テストを受ける装置のジョーンズマトリクス要素として表現される測定によって得られた情報から前記テストを受ける装置の偏光モード分散を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリクス要素から前記テストを受ける装置の色分散を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリクス要素から前記テストを受ける装置の偏光における基本的な状態を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリクス要素から前記テストを受ける装置の偏光依存性の損失を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリクス要素から前記テストを受ける装置の偏光における前記基本的な状態に連携する群遅延を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリクス要素から前記テストを受ける装置の挿入損失を取り出す工程、前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリクス要素から前記テストを受ける装置の透過率及び反射率を取り出す工程、あるいは前記テストを受ける装置の前記ジョーンズマトリクス要素から周波数に関する異なる群遅延の変化率のような高次の偏光モード分散を取り出すという工程のうち少なくとも 1 つを備えたことを特徴とする、請求項 8 から請求項 13 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 15】

更に、前記第 1 の光束を偏光依存性の仕方で前記第 1 の部分と前記第 2 の部分に分割す

10

20

30

40

50

る工程を有することを特徴とする、請求項 8 から請求項 14 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 16】

テストを受ける装置の光学特性を決定する装置において、

入射光束の路を第 1 の路を進行する第 1 の光束と第 2 の路を進行する第 2 の光束に分割する第 1 のビームスプリッタにして、その際前記テストを受ける光学装置は、前記第 1 の路に接続されて所定の偏光を備えた前記第 1 の光束に接続するようにし、前記所定の偏光を変化させ得る第 1 のビームスプリッタと、

前記第 2 の光束が第 1 の光束とは異なる路を進行した後、前記第 1 の光束と前記第 2 の光束を重ね合わせて得られた路を進行する重ね合わせられた光束内での前記第 1 の光束と前記第 2 の光束間に干渉を生じさせる、前記第 1 の路と前記第 2 の路に配置された第 2 のビームスプリッタと、

10

偏光依存性の仕方で前記重ね合わせられた光束を第 3 の路を進行する第 3 の光束と第 4 の路を進行する第 4 の光束に分割するための前記得られた路内の偏光ビームスプリッタと、

前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記第 3 の光束の前記パワーを検出するための前記第 3 の路内の第 1 のパワーディテクタと、

前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記第 4 の光束の前記パワーを検出するための前記第 4 の路内の第 2 のパワーディテクタと、

20

検出された前記パワーから前記テストを受ける光学装置の光学特性を取り出すための評価ユニットと

を有するようにしたことを特徴とする装置。

【請求項 17】

検出された前記パワーの周波数依存性から前記テストを受ける光学装置のジョーンズマトリックス要素を取り出すための評価ユニットを有するようにしたことを特徴とする、請求項 16 に記載の装置。

【請求項 18】

前記第 1 のビームスプリッタと前記第 2 のビームスプリッタは、マッハツェンダー干渉計及び / あるいはマイケルソン干渉計を含むようにしたことを特徴とする、請求項 16 または請求項 17 のいずれかに記載の装置。

30

【請求項 19】

更に、前記第 1 の光束の偏光を前記所定の偏光に対して調節するための前記第 1 の路内の偏光設定ツールを有し、その際前記偏光設定ツールが、前記第 1 のビームスプリッタの前後の前記入射光束の前記路に配置されているようにしたことを特徴とする、請求項 16 から請求項 18 までのいずれかに記載の方法。

【請求項 20】

前記偏光設定ツールが、前記光束を直線偏光となるよう調節するようにしたことを特徴とする、請求項 16 から請求項 19 までのいずれかに記載の方法。

40

【請求項 21】

更に、前記入射光束を第 1 の初期路を進行する第 1 の初期光束と第 2 の初期路を進行する第 2 の初期光束に分割するために前記入射光束に配置された第 3 のビームスプリッタと、前記第 2 の初期光束を第 5 の路を進行する第 5 の光束と第 6 の路を進行する第 6 の光束に分割する前記第 2 の初期路に配置された第 4 のビームスプリッタと、前記光束のそれぞれが異なる路を進行した後、前記第 5 の光束と前記第 6 の光束とを重ね合わせて第 2 の得られた路を進行する前記生じた重ね合わせられた光束における前記第 5 の光束と前記第 6 の光束間に干渉を生じさせる前記第 5 の路及び前記第 6 の路に配置された第 5 のビームスプリッタと、前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記生じた重ね合わせられた光束の前記パワーを検出するために前記第 2

50

の得られた路内に配置された第3のパワーディテクタとを有し、これによって、前記パワーディテクタの出力は、前記評価ユニットに接続され、前記コヒーレント光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、同調する周波数の勾配におけるいかなる非直線性も検出し、及び、前記評価ユニットがいずれかの非直線性を検出したとき、前記評価ユニットが、前記検出された非直線性の情報を用いて前記非直線性によって生じさせられた前記第3の光束と前記第4の光束の前記検出されたパワーへの作用を補正するようにしたことを特徴とする、請求項16から請求項20までのいずれかに記載の方法。

【請求項22】

テストを受ける装置の光学特性を決定する装置において、

入射光束の路を第1の路を進行する第1の光束と第2の路を進行する第2の光束に分割する第1のビームスプリッタと、 10

前記第1の光束を第1の部分と第2の部分に分割し、前記第1の部分に対して前記第2の部分を遅延させ、互いに異なる偏光を有する前記第1の部分と前記第2の部分を再び結合し、再び結合された前記第1及び第2の部分より成る前記第1の光束を前記テストを受ける光学装置に接続するようにした偏光遅延ユニットと、

前記第2の光束が第1の光束とは異なる路を進行した後、前記第1の光束と前記第2の光束を重ね合わせて得られた路を進行する重ね合わせられた光束内での前記第1の光束と前記第2の光束間に干渉を生じさせる、前記第1の路と前記第2の路に配置された第2のビームスプリッタと、

偏光依存性の仕方で前記重ね合わせられた光束を第3の路を進行する第3の光束と第4の路を進行する第4の光束に分割するための前記得られた路内の偏光ビームスプリッタと 20

、  
前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記第3の光束の前記パワーを検出するための前記第3の路内の第1のパワーディテクタと、

前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記第4の光束の前記パワーを検出するための前記第4の路内の第2のパワーディテクタと、

検出された前記パワーから前記テストを受ける光学装置の光学特性を取り出すための評価ユニットと 30

を有するようにしたことを特徴とする装置。

【請求項23】

前記偏光遅延ユニットは、前記第1の光束を第1の部分と第2の部分に分割する第1の偏光ビームスプリッタを有するようにしたことを特徴とする、請求項22に記載の装置。

【請求項24】

前記偏光遅延ユニットは、前記第1の部分と前記第2の部分を再び結合する第2の偏光ビームスプリッタを有するようにしたことを特徴とする、請求項22または請求項23に記載の装置。

【請求項25】

前記偏光遅延ユニットは、前記第1の部分のための第1の光路と前記第1の光路よりも長い光路長を備えている前記第2の部分のための第2の光路とを有して前記第1の部分に対して前記第2の部分を遅延させるようにしたことを特徴とする、請求項22から請求項24までのいずれかに記載の装置。 40

【請求項26】

前記偏光遅延ユニットは、偏光装置を有して異なる偏光を備えた前記再び結合される部分に前記テストを受ける光学装置を接続するようにしたことを特徴とする、請求項22から請求項25までのいずれかに記載の装置。

【請求項27】

前記偏光遅延ユニットは、装置を有し異なる偏光を備えた前記再び結合される部分をポラライザに与えて得られた路を進行する重ね合わせられた光束内で前記路間に干渉を生じ 50

させ、前記装置が更に、前記得られた路にパワーディテクタを有して前記コヒーレント光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき周波数の関数として前記生じた重ね合わせられた光束のパワーを検出し、これによって、前記パワーディテクタの出力が、前記評価ユニットに接続されて前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき同調する周波数の勾配に係る関数における非直線性を検出し、及び、評価ユニットがなんらかの非直線性を検出するとき、前記評価ユニットが、検出された前記非直線性を用いて前記非直線性によって生じた前記第3の光束と前記第4の光束の前記検出されたパワーへの作用を補正するようにしたことを特徴とする、請求項22から請求項26までのいずれかに記載の装置。

【請求項28】

10

前記装置は、前記テストを受ける光学装置には接続されない前記第2の偏光ビームスプリッタの出力ポート、あるいは、前記テストを受ける光学装置に接続される前記第2の偏光ビームスプリッタの前記出力ポートに接続される偏光維持カプラ、あるいは、前記テストを受ける光学装置に接続される前記第2の偏光ビームスプリッタの前記出力ポートに接続される少なくとも1つのビームスプリッタであるようにしたことを特徴とする、請求項27に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光学装置を検査する方法及びその方法に使用される装置に関する。特に、本発明は、検査される光学装置の特性を決定すること、例えば光学装置のジョーンズマトリクスの要素を決定することに関するものである。

20

【0002】

【従来技術及び解決すべき課題】

ジョーンズマトリックスは、光ファイバ或いは光学的な部品であることができるテストを受ける装置の光学特性についての情報を含んでいる。光学部品のジョーンズマトリックスを知ることは、挿入損失、反射率或いは透過率、偏光依存性の損失(PDL)、及び、偏光モード分散(PMD)のような成分の多くの重要な光学特性の決定を可能にする。

【0003】

PMDは、所定の波長における信号エネルギーが伝播速度のわずかに異なる2つの直交する偏光モードに分解されるような単一モード光ファイバと部品の基本的な特性である。偏光モード間の伝播における生じた差は、差動的な群遅延、或いは、DGDと呼ばれる。用語PMDは、一般的には物理現象を示し、特に、DGDの平均値或いは期待値を意味するように使われる。PMDを規定する特性が、DGDであり、偏光の基本的な状態(PSP)である。共に、通常は、単一モード光ファイバシステムにおける波長の関数である。長い光ファイバは、一般的に、ランダムな偏光接続を示し、従って、結果としてPMDは、数キロメートルよりも長い光ファイバに対するファイバ長の平方根で評価できる。従来周知の光ファイバは、ルートキロメートルあたりDGDの数十分の一ピコセカンドに制限される。更に、このようなファイバ通信システムに対する従来周知の部材は、DGDの十分の一ピコセカンドのみを示すことができる。

30

40

【0004】

PMDは、パルス拡大を含む多数の重要な容量の減損作用を引き起こす。この点に関して、色分散の損傷に類似した作用を有するが、重大な差がある。色分散は、光ファイバ材料の相互作用と寸法によって生じる波長に対する伝播遅延の変化から発生するので、比較的安定した現象である。通信システムにおける総合的な色分散は、その部分の和から計算できるが、分散コンペンセータの位置と値は、あらかじめ設定できる。これに対して、いずれかの与えられた信号波長における単一モード光ファイバのPMDは、安定なものではなく、通信システム設計者にPMDの作用の統計学的な予測を強要するとともに補正を行うことを不可能にする。その上、PMDは、色分散が十分に小さくされても制限因子となる。

50

## 【0005】

これは、チャンネルPMD、すなわち、波長と時間にわたる光ファイバに対するDGDの平均値が、 $20\text{ ps}$ をしばしば超えることがあるからである。この値は $40\text{ Gbit/s}$ 通信システムのビット解像力の範囲内にあるので、結果として、通信システムは、PMDによって悪影響を受けることになる。更に、従来周知の技術において、通信システム部品は、しばしば、カスケードに導かれ、例えば、光ファイバ中におけるブラッグ格子の多数のカスケードに導かれる。このようなカスケードの単一部材はDGDとして十分の一ピコ秒程度のみを示すにもかかわらず、カスケード全体では、透過率の解像力に達するDGDを示すことがある。従って、単一の部材のそれぞれにおいてPMDに関する正確な情報を得ることができるという必要性が非常に大きくなっている。

10

## 【0006】

上述した問題は、PMD測定に対する多くの測定方法の開発に影響を与えてきた。以下に、周知の方法のいくつかを説明する。

## 【0007】

固定アナライザPMD測定法において、PMDは、波長が走査されときのポラライザを介して光学パワー透過率におけるピークと谷の数から統計学的に決定される。ディテクタの直前に配置されたポラライザは、名称によって方法を理解できるようアナライザと呼ばれる。固定アナライザの応答は、フーリエ変化されることが可能であって、モード接続の程度を示すスペクトルを生じてガウスフィットから或いは第2のモーメントアルゴリズムからPMDを計算することを可能にする。固定アナライザ方法における問題は、波長にわたる光学パワー透過率の変化よりも小さな帯域幅を示すPMDの成分を測定することが不可能なことにある。

20

## 【0008】

別の方法は、干渉計的方法であって、広い帯域源を用いて電界自己相関機能からPMDを決定する。PMDの値は、第2のモーメントに基づいてアルゴリズムを用いて計算される。この方法における問題は、PMDが純粋な複屈折によって引き起こされたとき、PMDの正確な値を発生させるのみであることにある。しかしながら、この方法は、PMDが波長依存性であるとき、有効なPMD値を発生できないことにある。

## 【0009】

別の方法は、ポアンカレーク或いはSOP（偏光の状態）と呼ばれ、偏光計を用いて一連の波長の増分にわたってテスト装置の出力偏光によってポアンカレ球を移動したアークを捕捉するものである。しかしながら、偏光がテスト装置の主偏光状態と偶然結合したときは、PMDは測定できない。他の問題は、非常に高価になる傾向のある種類の偏光計である高解像力偏光計が、必要であるということにある。その上、この方法では、色分散は測定できない。

30

## 【0010】

別の方法は、いわゆるジョーンズマトリックス固有分析或いはJME方法である。この方法は、一連の波長における透過マトリックスの測定から波長の関数としてDGDとPSPを決定する。この方法も高価な偏光計を用いる。この方法は、色分散に関する情報を与えない。

40

## 【0011】

最後に、多かれ少なかれ直接的にPMDを測定する周知の方法がある。これらの方法は、例えば、変調位相方法及びパルス遅延方法であって、それぞれ、偏光の主要な状態間から変調位相の変化の測定、及び、パルス到達時間の変化の測定からPMDを測定するものである。これらの方法の欠点は、得られた結果のパルス形状依存性にある。

## 【0012】

従って、本発明の目的は、光学装置における特性の決定を改善することにある。

## 【0013】

## 【課題を解決するための手段】

本発明は、特許請求の範囲に記載された発明によって解決される。本発明の利点は、透過

50

特性及び反射特性を引き出し得ることにあり、例えば、高価な偏光計を用いることを必要とせず、テストを受ける装置(DUT)のジョーンズマトリックス(これは、以下に更に詳細に説明される)の要素をまさに決定することによってDUTのPMDを引き出し得ることにあり、及び、DUTの色分散の同時測定できることにある。そのために、従来周知の技術における上述した欠点のすべてが、本発明によって解決される。その上、DUTの取り出されたジョーンズマトリックスから追加の情報を引き出すことが可能になる。測定されたジョーンズマトリックスから、挿入損失、反射率と透過率、依存性の損失(PDL)、群遅延、色分散、差動的な群遅延、偏光の主要な状態、及び、高次のPMDパラメータを決定することが可能になる。

【0014】

ジョーンズマトリックスを用いることが好ましい。ジョーンズマトリックスにおける情報は、いくつかの異なるやり方で表現することが可能であり、一つの選択肢は、すべての実際の要素を $4 \times 4$ のマトリックスを内容とするジョーンズマトリックスとしてほぼ同一の情報を担持するミューラマトリックスと呼ばれるものである。しかしながら、絶対的な位相特性、その結果、色分散は、ミューラマトリックスでは記述できない。同じ目的を達成するためにいくつかのやり方がある。本発明の1つの主題は、PMD、PDL、PSP、DGD、群遅延、色分散などを記述されている干渉計的な方法と装置で測定するやり方である。しかしながら、ジョーンズマトリックス以外のテンソルにより創造性のある展開を行うことが可能である。

【0015】

この出願における用語「コヒーレント」は、入射光束の可干渉距離が重ね合わせられる光束の路の異なる長さよりも大きなことを意味している。

【0016】

本発明の好ましい実施例において、装置は、第1のマッハツェンダ干渉計を有しており、これによって、偏光設定ツールが、測定アーム内に配置され、レーザ光が、所定の偏光を備えたDUTと接続する。偏光のこの方向は、次いでジョーンズマトリックス計算の座標系における $x$ 軸と定められる。従って、ジョーンズマトリックスにおける最初の2つの要素は、容易に取り出すことができる。この創造性のある第2の実施において、ジョーンズマトリックスの他の2つの要素が、DUTに入射する光束の偏光の方向を変化させることによって同じ干渉計から取り出される。結果の評価を容易にするために、偏光を前の偏光に関して直交する偏光に変化させることが好ましい。この点に関して、最初の偏光が、直線であり、変化された偏光が、この最初の偏光に関して $90^\circ$ だけ変化されることが更に好ましい。

【0017】

更に好ましい実施例において、ジョーンズマトリックスのこの他の2つの要素を決定する創造的な方法の第2の実施は、必要ではない。ジョーンズマトリックスは、ちょうど1回の実施で完全に決定できる。ジョーンズマトリックスの完全な捕捉のために、DUTを2つの直交する入力偏光を用いてテストする必要がある。従って、この好ましい実施例において、いわゆる「単一走査」測定の概念が提案される。この概念において、偏光遅延過程が、互いに関して遅延している2つの好ましくは直交している偏光信号を発生する。偏光遅延過程は、同時にDUTに導かれるとともに異なる伝播遅延によって「コード化」された2つの偏光状態を提供する。好ましくは、互いに関して2つの信号を遅延させるために、第1の信号光束は、この偏光遅延過程において2つの遅延されない光束と第1の遅延された光束に分割される。引き続いて、第1の光束における偏光或いはその一部分は、ローカルな発振器の光と、すなわち、第2の光束と重ね合わせられる。好ましくは、第1の光束の2つの部分は、互いに関して直交して偏光され、それらが重ね合わせられるとき干渉しない。しかしながら、2つの偏光は、第2の光束と重ね合わせられるとき干渉パターンを発生する。偏光遅延過程によって導かれた遅延のために、検出された干渉信号は、2つの異なる周波数を備えている。これらの干渉周波数は、電子的な或いはデジタル的なフィルタを用いることによって個々に分離するとともに分析することが可能である。実行さ

10

20

30

40

50

れた分析は、光学装置におけるジョーンズマトリックスの要素の決定を可能にする。単一走査概念の上述した実施例に関連して多数の利点を得られる。まず、実施例において2つの走査が実行されてDUTが走査間の時間中その光学特性を変化することができる。従って、DUTに必要な安定性が、非常に高いことになる。その上、2つの走査の実行には多くの時間が費やされるので、単一走査概念によれば、測定速度が、劇的に増加できることになる。更に、測定精度は、測定間の振動雑音、位相雑音或いは光源の障害により損なわれる。これはまた、この実施例によって回避できる。本発明のそれ以上の利点として、データのそれぞれが割り当てられている周波数について必要な精度は、この実施例においては2つの走査が同時に実行されるとともに両者がレーザ光源のある周波数に関係するので、2つの走査を行う他の実施例において必要とされる精度を下回る。

10

#### 【0018】

第1の光束を分割し、ある部分を他の部分に対して遅延させ、それらを異なる好ましくは直交している偏光に再び結合する多数の他の方法を創造できることは当業者には明らかなことである。

#### 【0019】

偏光遅延ユニットのそれぞれにおいて、偏光遅延過程を実行するために2つの偏光ビームスプリッタを使うことが好ましく、その一方は、第1の光束を第1の遅延光束と第1の非遅延光束に分割し、及び、その他方は、前記第1の遅延光束と第1の非遅延光束に再び結合するものである。それぞれ2つの口を備えたこの2つの偏光ビームスプリッタは、偏光維持光ファイバによって互いに接続されている。これらの2つの光ファイバの一方は、他方よりも長くて分割された第1の光束の一方の部分を上述したように遅延させる。或いは、再び結合を行うビームスプリッタは、偏光維持カプラと置き換えられても良い。

20

#### 【0020】

2重或いは単一走査方法のいずれかである他の好ましい実施例において、第1のものに平行に第2のマッハツェンダ干渉計が用いられる。この第2の干渉計において、レーザ光源の同じコヒーレントレーザ光束が、これらの干渉計の前方でビームスプリッタによって接続される。その測定アームに光学装置を備えないこの第2の干渉計の助けで、このレーザを走査するとき、走査速度における非直線性によって発生される第1の干渉計の得られた光束の検出されたパワーにおける誤差が除去できる。

#### 【0021】

第2の干渉計を使う代わりに、波長測定に使われる信号を出力するように第1の光束の2つの部分を再び結合する第2の偏光ビームスプリッタの第2の口を使うことが可能である。これは、この口を直接第1の光束の2つの口間に干渉を生じさせるポラライザに接続し、干渉パターンが発生され、レーザ光源の周波数を走査するときの走査速度を評価することによって行われる。DUTは偏光遅延ユニットの他の口に接続されるので、この口は、DUTの影響を受けず、従って、基準として使える。本発明の利点は、第2の干渉計を必要とせずに、コストを低減し、必要な維持管理と創造的な装置の床面積を減らすことにある。

30

#### 【0022】

本発明が、いずれかのデータキャリアに記憶されたり、或いは別途供給され、いずれかの適当なデータ処理ユニットにおいて実行できる1或いはそれ以上の適当なソフトウェアプログラムによって実現されるものであり、或いは、一部分支援されるものであることは明らかである。ソフトウェアプログラムは、測定されたデータから光学特性を評価できるように使われることが好ましい。

40

#### 【0023】

#### 【発明の実施の形態】

本発明の他の目的及び多数の付随する利点は、添付された図面との関係を考慮しつつ詳細な説明を参照することによって、容易に認識できるものであり、より良く理解できるものであろう。図面中の構成要素は、同一の縮尺を持つ必要はないので、その代わりに本発明の原理を明快に示す目的で強調して配置されている。基本的に或いは機能的に同一或いは

50

類似した構成は、同じ参照記号で述べられている。

【0024】

以下では、添付図面を参照して詳細について説明するが、図1は、本発明によるテストを受ける光学的な透過装置(DUT)2の周波数依存性ジョーンズマトリックスの干渉計的な決定のための装置1における第1の好ましい実施例の概略の説明図である。以下に説明される図1による装置1とそれぞれの方法は、本発明を実施する1つのモードである。他のモードが、図4～図8に関して述べられている。図1に示される装置によって、光学的な成分であり、光ファイバ、ブラッグ格子或いはなんらかの他の光学成分或いは空気であることすらできるDUT2は、その色分散とそのPMDによって特徴付けられるべきものである。装置1は、周波数に関して連続的に同調させられる信号源として同調可能なレーザ4を含む。レーザ4は、コヒーレントなレーザ光束6を射出する。レーザ光束6は、第1の入射光束10と第2の入射光束12にコヒーレントなレーザ光束6を分割する第1のビームスプリッタ8に接続されている。第1の入射光束10は、第2のビームスプリッタ14に接続されている。第2の入射光束12は、第3のビームスプリッタ16に接続されている。この第2のビームスプリッタ14は、第1の入射光束10を第3のレーザ光束18と第4のレーザ光束20に分割する。第3のビームスプリッタ16は、第2のレーザ光束12を第5のレーザ光束22と第6のレーザ光束24に分割する。

10

【0025】

第3のレーザ光束18は、3つのサブユニット26a、26b及び26cを備えた偏光コントローラ26(ヒューレット・パッカード社のHP8169Aであることができる)に接続されている。この偏光コントローラ26を通過することによって、19で示されるレーザ光束は、その偏光を調節され、DUT2に接続される。DUT2を通過した後、レーザ光束19は、第4のレーザ光束20に再び結合される。第4のレーザ光束20は、第2のビームスプリッタ14から第4のビームスプリッタ28に向かう第3のレーザ光束18と偏光されたレーザ光束19に比較すると異なる光路長(例えば、7メートル)を進行する。第4のビームスプリッタ28において、偏光されたレーザ光束19と第4のレーザ光束20は、重ね合わせられ、偏光されたレーザ光束19と第4のレーザ光束20に干渉を生じて第1の重ね合わせられたレーザ光束30を生じる。第1の重ね合わせられたレーザ光束30は、次いで光束30を第7の光束34と第8の光束36に分割する偏光ビームスプリッタ32に接続される。光束34は、次いで第1のフォトダイオード38に接続される。光束36は、第2のフォトダイオード40に接続される。偏光ビームスプリッタ32、第1のフォトダイオード38及び第2のフォトダイオード40は、偏光分岐レシーバを構成する。第1のフォトダイオード38及び第2のフォトダイオード40は、それらの出力を評価ユニット(図示せず)に接続されたアナログ/デジタルコンバータ(ADC)42(National InstrumentsのAT-MIO-16DE-10であることができる)に伝達して検出されたデータが評価されるようにする。

20

30

【0026】

第2のビームスプリッタ14、第3のレーザ光束18、偏光されたレーザ光束19、第4のレーザ光束20及び第4のビームスプリッタ28は、マッハツェンダ干渉計44を構成する。第3のレーザ光束18と偏光されたレーザ光束19は、マッハツェンダ干渉計44の測定アームを構成する。第4のレーザ光束20は、マッハツェンダ干渉計44の基準アームを構成する。DUT2は、マッハツェンダ干渉計44の測定アームに配置されている。

40

【0027】

第5のレーザ光束22と第6のレーザ光束24は、光束24がループ25によって象徴される長い距離を進行するので、それらが第5のビームスプリッタ46と重ね合わせられる前に異なる光路を進行する。第5のビームスプリッタ46を射出するのは、第3のフォトダイオード50によって検出される第2の重ね合わせられる光束48である。第3のフォトダイオード50は、それぞれの信号をアナログ/デジタルコンバータ(ADC)42に出力する。第3のビームスプリッタ16、第5のレーザ光束22、第6のレーザ光束2

50

4 及び第 5 のビームスプリッタ 4 6 は、測定干渉計 4 4 に対する基準干渉計 5 2 を構成する。この基準干渉計 5 2 は、レーザ 4 の同調速度に調子を合わせて可能な非直線性を回避するように装置 1 の一部分として支援を行う。この目的のために、フォトダイオード 5 0 の出力は、A D C 4 2 の入力である。A D C 4 2 は、従って、レーザ 4 における走査速度の非直線性の発生に関する情報を取得する。この情報に基づいて、この非直線性は、評価ユニットによって測定干渉計 4 4 の測定結果から引き算される。

【 0 0 2 8 】

同調可能なレーザ 4 は、A D C 4 2 をトリガするための A D C 4 2 への入力となるトリガ出力 5 を有する。

【 0 0 2 9 】

本発明による創造的な過程は、以下のごとく行なわれる。

【 0 0 3 0 】

偏光コントローラ 2 6 によって、第 3 のレーザ光束 1 8 は、所定の偏光を得て、偏光されたレーザ光束 1 9 となる。この所定の偏光によって、偏光されたレーザ光束 1 9 は、D U T 2 に接続される。D U T 2 を通過した後、偏光されたレーザ光束 1 9 は、マッハツェンダ干渉計 4 4 の基準アームを構成する第 4 のレーザ光束 2 0 と重ね合わせられる。生じた第 1 の重ね合わせられた光束 3 0 は、次いで光束 3 0 の直交する偏光させられた成分である第 7 のレーザ光束 3 4 と第 8 のレーザ光束 3 6 を生じる偏光ビームスプリッタ 3 2 に接続される。これらの直交する光束 3 4 と 3 6 は、フォトダイオード 3 8 と 4 0 によって検出され、フォトダイオード 3 8 と 4 0 のそれぞれの出力信号は、A D C 4 2 によって受け取られる。A D C 4 2 によって信号が受け取られると、評価ユニットは、D U T 2 におけるジョーンズマトリックスの以下に述べられる 2 つ（複合）の要素を計算して決定できる。D U T 2 におけるジョーンズマトリックスの他の 2 つの要素は、偏光コントローラ 2 6 を用いて偏光されたレーザ光束 1 9 の偏光を変化させてこの方法における第 2 の実施の上述した過程を実行することによって得られる（或いは以下に述べられる偏光遅延過程を用いることによって）。このようにして生じた偏光されたレーザ光束の変化させられた偏光（図示せず）は、この方法の最初の実施において偏光されたレーザ光束 1 9 の偏光に直交することが好ましい。従って、D U T 2 におけるジョーンズマトリックスの欠如した 2 つの要素を計算することが可能である。完全なジョーンズマトリックスを持つと、D U T 2 の透過率或いは反射率、D G D、P M D、P S P、P D L 或いは色分散を取り出すことが非常にやさしくなる。

【 0 0 3 1 】

ジョーンズマトリックスによって差動的な群遅延（D G D）の決定を説明するために、以下の説明が、この決定を実行するために使われた計算を示している。

【 0 0 3 2 】

ジョーンズマトリックス U は、D U T 2 の入力  $E_a$  と出力  $E_b$  におけるジョーンズベクトル間の関係を与えるものである。

【 0 0 3 3 】

【数 1】

$$\vec{E}_b = U(\omega) \vec{E}_a$$

【 0 0 3 4 】

ここで、 $\omega$  は入力光の光学的な周波数である。ジョーンズマトリックスそれ自身から、作動的な群遅延（D G D）、偏光の 2 つの主要な状態（P S P）、反射率と屈折率、及び、偏光依存性の損失（P D L）を決定できる。従来周知の偏光計を用いて、上記の式の左項と右項の間の位相関係は、不明瞭であり、この不明瞭さは、群遅延、色分散などの決定を妨げる。本発明は、しかしながら、ジョーンズマトリックスと同様にこの式の両項間の正しい位相関係の決定を可能にする。以下に、この情報が用いられて装置の 2 つの P S P のそれぞれに関連する群遅延が計算される。

【 0 0 3 5 】

10

20

30

40

50

$E_{a\pm}$  と  $E_{b\pm}$  とがそれぞれ DUT 2 の入力と出力における主要な状態（未知の）であるとき、本発明によれば、以下の関係を確立することが可能となる。

【 0 0 3 6 】

【 数 2 】

$$\vec{E}_{b\pm} = e^{+j\tau_{\pm}\omega} \cdot U \cdot \vec{E}_{a\pm}$$

【 0 0 3 7 】

$E_{a\pm}$  と  $E_{b\pm}$  とは、それらの平均位相が消えるように正規化される。 $\text{Im}\{E_x \cdot E_y\} = 0$  ここで、主要な状態は、周波数には関係しない第 1 近似である。従って、以下が適用できる。

【 0 0 3 8 】

【 数 3 】

$$\frac{d\vec{E}_{b\pm}}{d\omega} = j \left( \tau_{\pm} + \omega \frac{d\tau_{\pm}}{d\omega} \right) e^{j\tau_{\pm}\omega} \cdot U \cdot \vec{E}_{a\pm} + e^{j\tau_{\pm}\omega} \cdot \dot{U} \cdot \vec{E}_{a\pm} = 0$$

【 0 0 3 9 】

装置の群遅延、 $\tau_g$  は、以下のように定義され、

【 数 4 】

$$\tau_g = \tau + \omega \frac{d\tau}{d\omega},$$

【 0 0 4 0 】

従って、上記の表現は、一般化された固有値の問題として書き替えられる。

【 0 0 4 1 】

【 数 5 】

$$\dot{U} \cdot \vec{E}_{a\pm} = j \cdot \tau_{g\pm} \cdot U \cdot \vec{E}_{a\pm}$$

【 0 0 4 2 】

固有値  $\lambda_{\pm}$  は、以下のとおりである。

【 0 0 4 3 】

【 数 6 】

$$\lambda_{\pm} = j \cdot \tau_{g\pm}$$

【 0 0 4 4 】

このようにして、2つの群遅延は、まさに固有値の虚数部分となる。差動的な群遅延（DGD）は、以下の式に従って直接、計算できる。

【 0 0 4 5 】

【 数 7 】

$$DGD = \tau_+ - \tau_-$$

【 0 0 4 6 】

ジョーンズマトリックス  $U$  を決定できるようにするためには、偏光されたレーザ光束 19 のそれぞれ直交する入力偏光  $E_{a1}$  及び  $E_{a2}$  とを用いて 2 つの部分的な計算を実行する必要がある。それらの 2 つの入力偏光がジョーンズ表現の基本ベクトルとして使われるときは、これは、以下の入力ベクトルに対応することになるであろう。

【 0 0 4 7 】

【 数 8 】

$$\vec{E}_{a1} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot E_0, \quad \vec{E}_{a2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot E_0$$

【 0 0 4 8 】

対応するベクトルは、以下のように読める。

【 0 0 4 9 】

【 数 9 】

$$\vec{E}_{b1} = \begin{pmatrix} u_{11} \\ u_{21} \end{pmatrix} \cdot E_0, \quad \vec{E}_{b2} = \begin{pmatrix} u_{21} \\ u_{22} \end{pmatrix} \cdot E_0$$

【 0 0 5 0 】

この場合における記号  $U_{mn}$  は、ジョーンズマトリックスにおける 4 要素を示している。基準アームからの光 20 は、以下のようなジョーンズベクトルによって記述できる。

【 0 0 5 1 】

【 数 1 0 】

$$\vec{E}_r = \begin{pmatrix} \cos \varphi \cdot e^{-j\phi} \\ \sin \varphi \cdot e^{+j\phi} \end{pmatrix} \cdot e^{-j\tau_r \omega} \cdot E_0$$

【 0 0 5 2 】

その場合、 $\tau_r$  は、基準アーム 20 の群遅延を示している。単純化のために、パワーは 2 つの基本的な状態に対して均一に分布され、それらの間には相対的な位相差はないものと今後想定する（直線偏光は、偏光ビームスプリッタ 32 上に 45° の角度で入射する）。

【 0 0 5 3 】

【 数 1 1 】

$$\vec{E}_r = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-j\tau_r \omega} \cdot E_0$$

【 0 0 5 4 】

ディテクタに入射する光は、次いで測定信号との重ね合わせにより以下の関係を与える。

【 0 0 5 5 】

【 数 1 2 】

$$\vec{E}_{Det1} = \begin{pmatrix} E_{Det11} \\ E_{Det21} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{11} + \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-j\tau_r \omega} \\ u_{21} + \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-j\tau_r \omega} \end{pmatrix} \cdot E_0$$

$$\vec{E}_{Det2} = \begin{pmatrix} E_{Det12} \\ E_{Det22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{12} + \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-j\tau_r \omega} \\ u_{22} + \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-j\tau_r \omega} \end{pmatrix} \cdot E_0$$

$$\text{with } u_{mn} = U_{mn} e^{j\varphi_{mn}}$$

【 0 0 5 6 】

以下は、ディテクタパワーに関して適用される。

【 0 0 5 7 】

【 数 1 3 】

$$P_{mn} \sim |E_{Det,mn}|^2 / E_0 = \frac{1}{2} + U_{mn}^2 + \sqrt{2} U_{mn} \cos(\varphi_{mn} + \tau_r \omega)$$

【 0 0 5 8 】

大きさ  $U_{mn}$  が項  $\cos(\varphi_{mn} + \tau_r \omega)$  よりも非常にゆっくりと周波数を変化させると考えると、 $U_{mn}(\omega)$  も  $\varphi_{mn}(\omega)$  もディテクタ 38、40 に存在する基準信号から決定可能になる。マトリックス  $U(\omega)$  から微分を数値的に計算して上記の DGD から取り出すことが可能となる。現実の測定の場合、誤差が、特に  $U(\omega)$  の絶対位相項を決定する際に生じる。この点に関して、基準アーム 20 の光は、偏光ビームスプリッタ 32 と直線的にではなくて楕円的に遭遇することができ（図 0）。更に、測定がレーザ光源 4 の 2 つの波長走査から構成されるかどうか疑わしい。この問題は、偏光遅延ユニッ

10

20

30

40

50

トを用いる図4～8の実施例によって解決できる。上記の不確かさのために、ジョーンズマトリックスUにおける第1の列において位相誤差  $\phi_a$  と第2列において  $\phi_b$  がある。マトリックスUに代えて、以下のマトリックスが測定される。

【0059】

【数14】

$$\tilde{U} = \begin{pmatrix} e^{j\phi} & 0 \\ 0 & e^{-j\phi} \end{pmatrix} \cdot U \cdot \begin{pmatrix} e^{j\phi_a} & 0 \\ 0 & e^{j\phi_b} \end{pmatrix}$$

【0060】

これは上流において接続された或いは下流において接続された偏光コントローラ26に等価であるので、取り出されたDGDにはなんら変化は生じない。生じた主要な状態は、しかしながら異なる。従って、それ以上の補正はDGDの決定には必要がない。

【0061】

最初の試みとして、上記の方法が、図1の装置を用いて上記のように使われてDUT2として高度な複屈折光ファイバ(HiBi-fiber)が測定された。結果は、図2に明らかである。

【0062】

図2において、上のプロットは、2つの主要な軸の群遅延を示している。横座標は、nmで波長を示し、縦座標は、psで群遅延を示している。下のプロットは、2つの群遅延間の差を示し、nm波長にわたるpsでのDGDを示している。DGDは、絶対値が波長にまたがって大きく変動しているが、10psにおいて非常に良いことが明らかである。その1つの理由は、DUTに加えて測定アームにおいて存在したフリーな光束の光学偏光コントローラ26におけるファブリ・ペロー干渉であろう(図1参照)。いくつかの状況下で、偏光コントローラ26を第2のビームスプリッタ14の上流に配置して群遅延の変動がどのような役割も演じないようにすることが可能である。これはまた、しかしながら、評価手続きにおいて考慮されなければならない基準アーム20における偏光に影響を与える。

【0063】

図3は、図1の装置におけるDUTを備えない上記の方法を用いた測定を示すものである。

【0064】

図3において、上のプロットは、2つの主要な軸の群遅延を示している。横座標は、nmで波長を示し、縦座標は、psで群遅延を示している。下のプロットは、2つの群遅延間の差を示し、nm波長にわたるpsでのDGDを示している。期待通りに、DGDは、0に近い。理想値からの大きなずれが認められるが、数ピコセカンドであるこの発明における装置1の測定精度の評価は可能である。これらの部分の記述の都合上、図1の実施例1の記述が参照される。

【0065】

図4は、本発明における第2の実施例100の概略の説明図である。図4の実施例100と図1の実施例1との間の主な差は、第3のレーザ光束18の路への偏光遅延ユニット(PDU)102の導入にある。PDU102は、第2のビームスプリッタ14とDUT2間の第3のレーザ光束18の路に配置される。PDU102は、第1の偏光ビームスプリッタ(PBS)104と第2のPBS106を備えている。第1のPBS104は、第3のレーザ光束18を第1の部分18aと第2の部分18bに分割する。2つの部分18a、18bの路は、それぞれ、それぞれの部分18a、18bの偏光を維持する偏光維持光ファイバ(PMF)によって用意される。引き続いて、第1の部分18aと第2の部分18bは、第2のPBS106によって再び結合される。PBS104、106の両方は、PMFの2つの口と単一モード光ファイバ(SMF)の2つの口により製造されると考える。装置104、106が標準整合コネクタを用いて接続されるとき、光は完全に第2のPBS106の一方の口に導かれ、第2のPBS106の他方の口から射出する光はな

10

20

30

40

50

い。従って、それぞれの光束 18 a、18 b の P M F は、45° 回転されて第 2 の P B S 106 の両方の口に出力を発生させる。

#### 【0066】

しかしながら、第 1 の部分 18 a と第 2 の部分 18 b は、光束 18 b がループ 108 で示されている長い距離を進行するので、第 1 の P B S 104 と第 2 の P B S 106 間の異なる光学距離を進行する。これは、第 2 の部分 18 b が第 1 の部分 18 a に関して遅延されていることを意味している。その上、両方の部分 18 a、18 b は互いに直交しているので、第 2 の P B S 106 によって再び結合されるときこれらが干渉することはない。

#### 【0067】

第 2 の P B S 106 は、2 つの出口 112 と 114 を備えている。2 つの出口 112 と 114 において、両方の部分 18 a、18 b は、互いに干渉しないので存在している。出口 112 を出る光束 18 a、18 b の路には、ビームスプリッタ 116、シャッタ 118、D U T 2、ビームスプリッタ 28 及び最終的にディテクタ 38 と 40 に接続された P B S 32 が、配置されている。D U T 2 の光学特性は、透過率で測定される。ビームスプリッタ 28 において、2 つの部分 18 a、18 b の光は、図 1 の実施例と同様にローカルな発振光 20 と重ね合わせられる。ローカルな発振光 20 は、ビームスプリッタ 120 を介してビームスプリッタ 28 に到達する。従って、両方の部分 18 a、18 b と従って光束 18 の 2 つの偏光は、ローカルな発振器の光 20 と重ね合わせられる。従って、偏光の両方が、同時に偏光分岐ディテクタ 38 と 40 において干渉パターンを創り出す。2 つの入力偏光の異なる伝播遅延のために、2 つの干渉パターンは、電気的なスペクトルが異なる。そのために、評価ユニット中のデジタルフィルタ(図示せず)が、それぞれの入力偏光に属する情報を分割できる。結果として、直交する偏光光束 18 に関して図 1 の実施例 1 において必要であった第 2 の走査は、好都合なことに実施例 100 においては必要ではない。

#### 【0068】

その上、D U T 2 はまた、反射率で測定できる。この目的を達成するために、反射光束 122 の路にビームスプリッタ 116 が設けられる。反射光束 122 は、部分 18 a と 18 b のそれらの反射部分を含んでいる。部分 18 a と 18 b におけるそれらの反射部分を含む光束 122 は、ビームスプリッタ 116 においてローカルな発振器の光 20 と重ね合わせられる。この重ね合わせられた光 124 は、次いで光を光束 128 と光束 130 に分割する P B S 126 に導かれる。光束 128 は、ディテクタ 132 に接続され、光束 130 は、ディテクタ 134 に接続される。ディテクタ 132 と 134 によって、D U T 2 の光学特性は、反射率で測定できる。その上、P D U 102 の導入に基づいて、この重ね合わせられた光 124 がローカルな発振光と部分 18 a の重ね合わせの部分とローカルな発振光 20 と第 1 の部分 18 a に関して遅延されている部分 18 b の重ね合わせの部分という 2 つの部分を含んでいるので、レーザ光源 4 の単一走査だけで反射率によって D U T 2 の光学特性を測定することができる。そのために、デジタルフィルタが、透過率測定のためにディテクタ 38 と 40 を用いて行ったのと同じようにしてそれぞれの部分 18 a と 18 b のそれぞれの入力偏光に属する情報を分割することができる。

#### 【0069】

基準干渉計 52 の代わりに、部分 18 a と 18 b を互いに干渉させて P M F 接続されたポラライザ 136 を介して射出する光 18 a と 18 b を検出するように P B S 106 の第 2 の口 114 が、基準干渉計として使われ、ポラライザ 136 に接続されるディテクタ 140 によって検出できる干渉パターンを示す重ね合わせられた光束 138 が発生される。従って、図 1 の実施例を劇的に簡素化することができる。

#### 【0070】

実施例 100 において、システムの入力偏光は、測定性能に厳しく影響する。好ましくは、入力偏光は、ローカルな発振路 6 の光が 4 つのディテクタ 38、40、132、134 に均等に分割されるように選択されるべきである。従って、それぞれ、P B S 104、32、126 に入射する光は、ほぼ偏光され、好ましくは 50% の分割比を達成しなければならない。効果的な偏光状態は、ポアンカレ球上の大きな円に配置される。通常、この円

10

20

30

40

50

の位置は、それぞれのPBS104、32、126について異なる。対応するPBS上で50%の分割比を発生させるこれらの円の各々の2つに2つの交差があることが保証されている。ほとんどの場合、すべての3つの円は交差しない。従って、PBS104、32、126すべてにおける50%の分割比は、保証できない。換言すれば、最悪の状況においても、50%ではない分割比で妥協することができるということである。この最悪の状況は、PDU102の入力偏光が22.5°の整合ミスをした直線偏光状態に対応する。この最悪の状況において、 $\sin^2(22.5^\circ) = 15\%$ の最小の分割比が生じ、これは、干渉パターンにおける十分に受け入れ可能なコントラストを導く。PDU102の最適な入力偏光は、初期化手続き中に見出されるべきものである(下記参照)。

【0071】

10

図5は、本発明の第3の実施例300を示している。

【0072】

図5の実施例300における図4の実施例100に対する差として、PBS106が、偏光維持カブラ302に置き換えられている。従って、両方の出力ポート112と114は、同じ信号を射出する。出力ポート112、114出力信号の使用は、図4における実施例100におけるものと同じである。PDU102において、偏光維持カブラ302を使っているために、長い路18bのみが記号304で示されているように90°だけ回転させられなければならない。

【0073】

図6は、本発明の第4の実施例400を示している。図6において、偏光遅延ユニットの設定は、図4の実施例100のものと同一である。図4の実施例100とは異なって、PBS106の第2の口114は、ローカルな発振器の波長測定には使われていない。その代わりに、図4の実施例100には使われていないビームスプリッタ120の口402が、図6の実施例400に使われてDUT2の入力光を分岐している。口402から信号を伝達するために使われる光ファイバ404は単一モード光ファイバ(SMF)であるので、偏光は維持されず、どのような場合にもポラライザ136を適切に方向付けして置くことはできない。従って、第1のポラライザ136に関して45°だけ回転される第2のポラライザ406が、どのような場合にも干渉パターンを提供するために使用される。第2のポラライザ406の使用を可能にするために、ビームスプリッタ408が、光ファイバ404に配置されている。第2のポラライザ406によって伝達される信号は第2のデ

20

30

【0074】

図7は、本発明による第5の実施例500の概略の説明図を示している。実施例500は、図4の実施例400に類似している。しかしながら、図7の実施例500において、PDU102は、異なる設定を示している。第2のPBS106の代わりに、2つのファラディ反射鏡502と504が設けられている。ファラディ反射鏡502、504の使用は、偏光がPMFの軸と適切に整合しないときに問題を生じる可能性のあるPDU102内部におけるPMFの長い部材を避けるためである。入力光束18は、第1のPBS104によって2つの直線偏光状態(SOP)に分割され、ファラディ反射鏡502、504によってそれぞれ反射される前にSMFに沿って進行する。通常の反射鏡とは異なって、ファラディ反射鏡502、504は、入射してくるSOPのそれぞれを直交する反射された偏光状態に変換する。このようにして、光は、サーキュレータを必要とせず

40

【0075】

PBS104の出力ポート506は、PMF508に接続されて部分18a、18bを図4に示されている実施例100における場合と同じようにDUT2に伝達する。

50

## 【0076】

P M C 5 1 0 は、ポラライザ 1 3 6 を介して導かれる少しの光を伝えて波長基準信号を発生するように使われる。45°接続も90°接続も2つのP M F間には必要がないので、この設定は、共通して整合された偏光維持コネクタを用いるようにしている。

## 【0077】

更に、パワーがそれぞれの通路 1 8 a、1 8 b に均等に分布されるときは、図 7 の実施例 5 0 0 の P D U 1 0 2 にそれぞれの通路 1 8 a、1 8 b 内のパワーディテクタに導いて測定を行うことが可能である（図 7 には示されていない）。

## 【0078】

D U T 2 が図 7 の装置 5 0 0 に接続される前に、2つのフォトディテクタ 3 8、4 0 が、使われて P B S 3 2 によるローカルな発振光 6 のそれぞれの分割を確保するためにフィードバック回路（図示せず）に共に接続される。これは、光学的なシャッタ 1 1 8 を開いて制御回路を用いて偏光コントローラ 2 6 を適正に調節することによって行われる。

10

## 【0079】

D U T 2 に入射する偏光 1 8 a、1 8 b のそれぞれのパワーを測定するために、D U T 2 は、標準の単一モード光ファイバに置き換えられ、実験が、前述したように行われる。偏光 1 8 a、1 8 b のそれぞれにおける総合的なパワーは、2つのフォトダイオード 3 8、4 0 の信号を加算することにより決定できる。標準の単一モード光ファイバは、偏光依存性の損失（P D L）には関係しないと考えられるので、干渉信号におけるそれぞれの周波数のパワーは、部分 1 8 a、1 8 b の偏光の1つにおけるパワーを示す。

20

## 【0080】

図 8 は、本発明による第 6 の実施例 6 0 0 の概略の説明図を示すものである。実施例 6 0 0 における実施例 5 0 0 との差は、すべての基準路と P D U 1 0 2 に対する路が P M F によって設定されていることにある。その上、ローカルな発振光 2 0 は、ビームスプリッタ 1 1 6 において反射された部分 1 8 a、1 8 b と重ね合わせられない。この実施例 6 0 0 において、ローカルな発振光 2 0 は、光がビームスプリッタ 1 2 6 に入射する前にビームスプリッタ 6 0 2 において反射された部分 1 8 a、1 8 b と重ね合わせられる。実施例 6 0 0 において、偏光分岐レシーバ 6 0 4、6 0 6 は、D U T 路における P M F との問題を回避するためにバルク光学系で実現されることが好ましい。

## 【0081】

30

図 9 は、本発明による第 7 の実施例 7 0 0 の概略の説明図を示すものである。実施例 7 0 0 の図 4 における実施例 1 0 0 との差は、以下のごとくである。P D U 1 0 2 は、P B S 1 0 4 を含んでいない。その代わりに、P D U 1 0 2 は、P D U 1 0 2 の路 1 8 a、1 8 b に偏光設定ツール 7 0 2 と 7 0 4 を含んでいる。路 1 8 は、ビームスプリッタ 7 0 6 によって路 1 8 a、1 8 b に分割されている。それぞれの路 1 8 a、1 8 b にはスイッチ 7 0 8、7 1 0 が設けられている。路 1 8 a、1 8 b は、P B S 1 0 6 によって結合される。

## 【0082】

更に、実施例 7 0 0 は、位相校正ユニット（P C U）7 1 2 を有している。P C U 7 1 2 は、ビームスプリッタ 7 1 4 によって供給される部分 1 8 a、1 8 b をビームスプリッタ 7 1 8 の助けで第 3 のビームスプリッタ 7 1 6 によって供給される基準信号 2 0 と重ね合わせる。この重ね合わせられた信号は、再びビームスプリッタ 7 1 8 によって分割され、P C U 7 1 2 のフォトダイオード 7 2 0 と 7 2 2 によって検出される。

40

## 【0083】

ビームスプリッタ 2 8、路 3 0、ビームスプリッタ 3 2 及びディテクタ 3 8 と 4 0 は、透過レシーバ 7 3 4 を構成する。ビームスプリッタ 7 3 6、路 7 3 7、ビームスプリッタ 1 2 6 及びディテクタ 1 3 2 と 1 3 4 は、反射レシーバ 7 3 8 を構成する。

## 【0084】

スイッチ 7 2 4 が、基準アーム 2 0 に設けられて基準信号を遮断する。スイッチ 7 0 8、7 1 0 及び 7 2 4 は、この創造的な方法を実行するためには必要でない。

50

## 【 0 0 8 5 】

P C U 7 1 2 を用いる 1 つの利点が、以下に説明される。「単一走査」技術を用いると、多数の干渉周波数（数は、どのアーキテクチャが選ばれたかによって決まる）が、受け取られたデータのパワースペクトルにおいて見出されることが可能になる。個々にピークのそれぞれの回りに帯域を与えることによって、その干渉ピークに関連するジョーンズマトリックスの要素に関する情報を取り出すことができる。例えば、第 1 のジョーンズマトリックス要素に関連するフィルタリングされた干渉ピークは、次式によって与えられる振幅と位相を備えている。

## 【 0 0 8 6 】

## 【 数 1 5 】

$$|U_{xx}| |E_x| |E_{L\alpha}| \cos(\omega\tau_{xx} + \phi_{xx}).$$

10

## 【 0 0 8 7 】

しかしながら、第 2 のジョーンズマトリックス要素に関連するフィルタリングされた干渉ピークは、次式によって与えられる異なる振幅と位相を備えている。

## 【 0 0 8 8 】

## 【 数 1 6 】

$$|U_{yx}| |E_y| |E_{L\alpha}| \cos(\omega\tau_{yx} + \phi_{yx}).$$

## 【 0 0 8 9 】

遅延  $\tau_{xx}$  と  $\tau_{yx}$  が異なるために相違が生じる。

20

## 【 0 0 9 0 】

ジョーンズマトリックスは、 $\tau_{xx}$  が任意の遅延であるとして、以下の構造を備えていなければならない。

## 【 0 0 9 1 】

## 【 数 1 7 】

$$e^{j\omega\tau} \begin{pmatrix} U_{xx} e^{j\phi_{xx}} & U_{yx} e^{j\phi_{yx}} \\ U_{xy} e^{j\phi_{xy}} & U_{yy} e^{j\phi_{yy}} \end{pmatrix}$$

30

## 【 0 0 9 2 】

しかしながら、これを達成するために他の事項に混じって差  $(\tau_{xx} - \tau_{yx})$  を知らなければならぬ。これは、測定の最大の精度を維持するために数フェムト秒の精度で知らなければならぬ。これを実現する最良のやり方は、2 つの遅延信号が D U T 2 を通過する前に L O を用いてこれらの 2 つの遅延信号の ビート周波数 を測定することである。これは、P C U 7 1 2 によって行われる。その場合（例えば、図 9 と図 1 0 におけるアーキテクチャ 7 0 0 と 8 0 0 の場合のような）に、上述したそれらの実施例に対応する干渉信号は、大きな P M D が無いとして、それぞれ  $\cos(\omega\tau_{xx})$  と  $\cos(\omega\tau_{yx})$  に少なくともほぼ比例するであろう。これらの信号から、差  $(\tau_{xx} - \tau_{yx})$  を決定することが可能となる。これにより、

40

## 【 0 0 9 3 】

## 【 数 1 8 】

$$|U_{yx}| |E_y| |E_{L\alpha}| \cos(\omega\tau_{yx} + \phi_{yx})$$

を、以下の修正された信号で置換することが可能となる。

## 【 0 0 9 4 】

## 【 数 1 9 】

$$|U_{yx}| |E_y| |E_{L\alpha}| \cos(\omega\tau_{xx} + \phi_{yx}).$$

## 【 0 0 9 5 】

50

干渉信号全てについて同じ手続きを実行することにより、上に示された様式によって、ジョーンズマトリックスを作り出すことが可能となる。

【 0 0 9 6 】

【 数 2 0 】

$$e^{j\omega\tau_{xx}} \begin{pmatrix} U_{xx} e^{j\phi_{xx}} & U_{yx} e^{j\phi_{yx}} \\ U_{xy} e^{j\phi_{xy}} & U_{yy} e^{j\phi_{yy}} \end{pmatrix}.$$

【 0 0 9 7 】

少なくとも以下の理由で、実行される測定と同時に P C U 7 1 2 によって差 (  $U_{xx} - U_{yy}$  ) を測定することが好ましい。その理由は、1) 温度或いは応力変形のために、1 回目に測定される値が、他のときに異なる。実際、なんらかの不正確さが比較的小さくても、P M D 測定を悪くしてしまうことがあること、2) これらのシステムにおいて発生する可能性のある誤差の多くが、干渉計を混乱させ、雑音の多い位相測定結果を与えることになる音響的な或いは振動的な雑音によるものであることである。光は P C U 7 1 2 による位相の校正とディテクタ 3 8、4 0 による透過レシーバ測定の両方に対して非常に類似した路を進行するので、両方の位置において測定される音響的な雑音は、類似したものになり得る。その結果、位相校正レシーバ 7 1 2 を用いて D U T 2 の測定における振動的な雑音と音響的な雑音とを補正することが可能となる。

【 0 0 9 8 】

図 1 0 は、本発明による第 8 の実施例 8 0 0 の概略の説明図を示すものである。実施例 8 0 0 は、基準アーム 2 0 に第 2 の P D U 1 0 2 - 2 を用いている。この第 2 の P D U 1 0 2 - 2 は、P D U 1 0 2 と同じように部分 2 0 a、2 0 b が互いに関して遅延される基準信号 2 0 の 2 つの部分 2 0 a、2 0 b を発生させる。しかしながら、P D U 1 0 2 - 2 は、遅延された部分 2 0 b を遅延されない部分 2 0 a を倍にする異なるループ 1 0 8 - 2 を含んでいる。L O 路において第 2 の P D U 1 0 2 - 2 を設ける利点は、以下のごとくである。ジョーンズマトリックスを決定するための図 1 におけるダブルスweep技術において、偏光ビームスプリッタ 3 2 が、透過レシーバ 3 8 の前方に使われて出力 x、y 軸を定める。換言すれば、D U T 2 からの出力光の x 成分は、レシーバ 3 8 へと向けられ、そこでは干渉が記録されるとともにそれがジョーンズマトリックス要素を決定するために使われる。同様に、D U T 2 からの出力光の y 成分は、他のレシーバ 4 0 に導かれて測定される。x 軸方向に偏光された光が最初に D U T 2 へ入力されたものであるとき、x 軸方向に偏光された出力ディテクタ 3 8 は、 $U_{xx}$  ジョーンズマトリックスに関する情報を提供することになる。同様に、y 軸方向に偏光された出力ディテクタ 4 0 は、要素  $U_{xy}$  に関する情報を提供することになる。

【 0 0 9 9 】

実施例 8 0 0 におけるように第 2 の P D U を L O 路に導くとき、2 つの直交するように進行させられる偏光は、出力 x、y 軸を定めるように使われることができる。換言すれば、短い L O P D U 1 0 2 - 2 路 2 0 a を通過する光は、レシーバにおいて x 軸方向に偏光されて定められ、長い路 2 0 b を通過する光は、出力において y 軸方向の偏光を有するように定められる。D U T 2 P D U 1 0 2 から伝えられる 2 つの直交する光波の両方は、L O P D U 1 0 2 - 2 からの 2 つの光波のそれぞれと干渉する。適切に実行されると、これは、4 つの明確な干渉周波数を作り出す。これらの干渉のそれぞれは、ジョーンズマトリックスにおける 1 つの要素に関する情報を含んでいる。

【 0 1 0 0 】

更に、図 1 0 における実施例 8 0 0 は、上述したように第 2 の P D U 1 0 2 - 2 を用いるとき、もはや P B S 3 2 と 1 2 6 を必要としないので、これらを備えていない。

【 0 1 0 1 】

その他に、図 1 0 における実施例 8 0 0 は、それぞれのレシーバに 2 つのフォトダイオードを用いている。これは、実施例 8 0 0 の透過レシーバ 8 0 2 が、ビームスプリッタ 2 8

10

20

30

40

50

、得られた路 3 0 及び第 2 の得られた路 8 0 4 を設定して 2 つのダイオード 8 0 6 と 8 0 8 によって両方の路 3 0、8 0 4 を検出することを意味している。同様に、ビームスプリッタ 8 1 2 によって設定された反射レシーバ 8 1 0 が、それぞれのフォトダイオード 8 1 8 と 8 2 0 によってビームスプリッタ 8 1 2 によって与えられた両方の路 8 1 4、8 1 6 を検出する。

#### 【 0 1 0 2 】

レシーバ 7 1 2、8 0 2、8 1 0 における 2 つのフォトダイオード 7 2 0、7 2 2、8 0 6、8 0 8、8 1 8、8 2 0 の利点の 1 つは、以下のごとくである。ほとんどの測定において、同調可能なレーザ 4 から発生されたレーザパワーは、相対的な強度雑音 (R I N) と呼ばれる低雑音変動を有している。これらの雑音変動は、測定が試みられる周波数の範囲内に拡張できる広い周波数内容を有することができる。最終的な結果は、群遅延、挿入損失、P D L などの測定における単純な雑音変動であることができる。これはかなり小さな作用であるが、この小さな作用が重要であり得るので、非常に精密に測定されることが望ましい。この雑音は、2 つのフォトダイオード 7 2 0、7 2 2、8 0 6、8 0 8、8 1 8、8 2 0 を含む創造的な解決方法を用いることによって除去できる。この創造的な解決方法は、2 つの光波  $E_1 = E_{01} e^{j \omega t}$  及び  $E_2 = E_{02} e^{j (\omega t + \tau)}$  がカブラ内で混合して第 1 の出力ポートにおいて強度  $I_1 (\tau)$  を得るように働き、この場合、強度は以下のように表わされる。

#### 【 0 1 0 3 】

##### 【数 2 1】

$$I_1 = |E_1 + E_2|^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2|E_1||E_2|\cos\omega\tau$$

#### 【 0 1 0 4 】

他のアームにおける強度は、以下のようになるであろう。

##### 【数 2 2】

$$I_2 = |E_1 - E_2|^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 - 2|E_1||E_2|\cos\omega\tau$$

#### 【 0 1 0 5 】

ここで、R I N は、 $N_1$  を光波 1 の相対的な強度雑音としたとき  $E_1 = (E_{01} + N_1) e^{j \omega t}$  として及び  $N_2$  を光波 2 の相対的な強度雑音としたとき  $E_2 = (E_{02} + N_2) e^{j (\omega t + \tau)}$  として 2 つの光波を書き直すことにより説明される。2 つの光波がカブラ内で加えられたとき、一方のアームフォトダイオードによって測定された強度は、以下のようになる。

#### 【 0 1 0 6 】

##### 【数 2 3】

$$I_1 = |E_1 + E_2|^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2|E_1||E_2|\cos\omega\tau + 2E_{01}N_1 + 2E_{02}N_2 + N_1^2 + N_2^2$$

#### 【 0 1 0 7 】

カブラが光に働く作用のために、他のアームにおける光の強度は、以下のようになる。

#### 【 0 1 0 8 】

##### 【数 2 4】

$$I_2 = |E_1 - E_2|^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 - 2|E_1||E_2|\cos\omega\tau + 2E_{01}N_1 + 2E_{02}N_2 + N_1^2 + N_2^2$$

#### 【 0 1 0 9 】

次いで明らかに、雑音は、カブラの 2 つの出力アームにおいて測定された強度の単純な引き算によって除去できる。結果は、以下のようになる。

#### 【 0 1 1 0 】

##### 【数 2 5】

$$I_1 - I_2 = 4|E_1||E_2|\cos\omega\tau$$

#### 【 0 1 1 1 】

これらの干渉計的な技術において、干渉項が関心事項であるので、引き算が、R I Nを除くための常套的なやり方である。

【 0 1 1 2 】

両方の実施例 7 0 0 と 8 0 0 は、ビームスプリッタ 1 4 の上流に配置されるとともにビームスプリッタ 7 3 2 によって光束 6 の路に接続された波長基準ユニット ( W R U ) 7 3 0 を備えている。W R U 7 3 0 は、評価結果の精度を更に高めるための本発明における評価過程の基準として光束 6 の波長を測定する。しかしながら、W R U は、本発明の実施に必須のものではない。

【 0 1 1 3 】

本発明を上述の実施形態に即して説明すると、本発明は、テストを受ける光学装置 ( 2 ) の特性を決定する方法において、入射光束 ( 6 ) を第 1 の光束 ( 1 8 、 1 9 ) と第 2 の光束 ( 2 0 ) に分割する工程と、所定の偏光を備えた前記第 1 の光束 ( 1 8 、 1 9 ) を前記テストを受ける光学装置 ( 2 ) に接続する工程と、前記第 2 の光束 ( 2 0 ) を前記第 1 の光束 ( 1 8 、 1 9 ) とは異なる路に進行させる工程と、前記第 1 の光束 ( 1 8 、 1 9 ) と前記第 2 の光束 ( 2 0 ) を重ね合わせ、生じた重ね合わせられた光束における前記第 1 の光束 ( 1 8 、 1 9 ) と前記第 2 の光束 ( 2 0 ) 間に干渉を行わせる工程と、前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数と偏光の関数として前記重ね合わせられた光束 ( 3 0 ) のパワーを検出する工程と、検出されたパワーの周波数依存性から前記テストを受ける光学装置の特性を取り出す工程とを有する方法を提供する。

【 0 1 1 4 】

好ましくは、本発明による方法は、更に、前記重ね合わせられた光束 ( 3 0 ) を偏光依存状態で第 3 の光束 ( 3 4 ) と第 4 の光束 ( 3 6 ) に分割する工程と、前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記第 3 の光束 ( 3 4 ) と前記第 4 の光束 ( 3 6 ) のパワーを検出する工程とを有する。

【 0 1 1 5 】

好ましくは、本発明による方法は、更に、検出された前記パワーの周波数依存性から前記テストを受ける光学装置 ( 2 ) におけるジョーンズマトリックスの要素を取り出す工程を有する。

【 0 1 1 6 】

好ましくは、本発明による方法は、更に、前記所定の偏光に関して前記第 1 の光束 ( 1 8 、 1 9 ) の偏光を変化させられた偏光に変化させる工程と、前記変化させられた偏光に関して前記請求項 1 に記載の過程を 2 度目に実行する工程とを有する。

【 0 1 1 7 】

好ましくは、本発明による方法は、更に、前記入射光束 ( 6 ) を分割した後、前記第 1 の光束 ( 1 8 、 1 9 ) の偏光を設定する工程、或いは、前記分割の前に前記入射光束 ( 6 ) の偏光を設定する工程とを有する。

【 0 1 1 8 】

好ましくは、本発明による方法は、更に、前記第 1 の光束 ( 1 8 、 1 9 ) の偏光を直交する偏光に変化させる工程を含む。

【 0 1 1 9 】

好ましくは、本発明による方法は、更に、前記所定の偏光を直線偏光にする工程を有する。

【 0 1 2 0 】

好ましくは、本発明による方法は、更に、入射光束 ( 6 ) を第 1 の初期光束 ( 1 0 ) と第 2 の初期光束 ( 1 2 ) に分割する工程と、前記第 1 の初期光束 ( 1 0 ) を用いて請求項 1 に記載の過程を行う工程と、前記第 2 の初期光束 ( 1 2 ) を第 5 の光束 ( 2 2 ) と第 6 の光束 ( 2 4 ) に分割する工程と、前記光束 ( 2 2 、 2 4 ) のそれぞれが異なる路を進行した後、前記第 5 の光束 ( 2 2 ) と前記第 6 の光束 ( 2 4 ) を重ね合わせ、生じた重ね合わせられた光束 ( 4 8 ) における前記第 5 の光束 ( 2 2 ) と前記第 6 の光束 ( 2 4 ) 間に干渉を行わせる工程と、前記入射光束 ( 6 ) の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調さ

10

20

30

40

50

せるとき、周波数の関数として前記重ね合わせられた光束（４８）のパワーを検出する工程と、所定の周波数範囲にわたる前記入射光束（６）の同調率の非直線性を検出する工程と、非直線性を検出するとき、前記検出された前記非直線性の情報を用いて前記非直線性から生じた前記第３の光束と前記第４の光束の前記検出されたパワーへの作用を補正する工程とを有する。

【０１２１】

好ましくは、更に、本発明による方法は、前記第１の光束（１８、１９）を第１の部分（１８ａ）と第２の部分（１８ｂ）とに分割する工程と、前記第２の部分（１８ｂ）を前記第１の部分（１８ａ）に対して遅延させる工程と、前記第１の部分（１８ａ）と前記第２の部分（１８ｂ）とを再び結合する工程と、異なる偏光を備えた前記再び結合された部分

10

【０１２２】

好ましくは、本発明による方法は、前記部分（１８ａ、１８ｂ）の偏光が、互いに少なくともほぼ直交するようにする。

【０１２３】

好ましくは、本発明による方法は、更に、前記再び結合された部分（１８ａ、１８ｂ）のそれぞれが、コヒーレントな光束のパワーの少なくともほぼ約５０％を有しているようにする。

【０１２４】

好ましくは、本発明による方法は、更に、検出された前記パワーのスペクトルのピークをフィルタリングする工程と、前記スペクトルにおける前記ピークを前記部分（１８ａ、１８ｂ）のそれぞれに対して位置決めする工程と、検出された前記パワーの前記周波数及び前記偏光依存性から前記テストを受ける光学装置の光学特性を取り出す工程とを有する。

20

【０１２５】

好ましくは、本発明による方法は、更に、生じた重ね合わせられた光束（１３８）における再び結合された部分（１８ａ、１８ｂ）間に干渉を生じさせる工程と、前記入射光束（６）の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記生じた重ね合わせられた光束のパワーを連続的に検出する工程と、前記入射光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、同調勾配周波数における非直線性を検出する工程と、非直線性を検出するとき、前記検出された非直線性の情報を用いて前記非直線性によって生じさせられた前記第３の光束（３４）と前記第４の光束（３６）の検出されたパワーへの作用を補正する工程とを有する。

30

【０１２６】

好ましくは、本発明による方法は、更に、前記再び結合された部分（１８ａ、１８ｂ）を偏光させることによって前記再び結合された部分（１８ａ、１８ｂ）を重ね合わせて干渉を生じさせる工程とを有する。

【０１２７】

好ましくは、本発明による方法は、更に、好ましくは前記テストを受ける装置（２）のジョーンズマトリックス要素として表現される測定によって得られた情報から前記テストを受ける装置（２）の偏光モード分散を取り出す工程、前記テストを受ける装置（２）の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置（２）の色分散を取り出す工程、前記テストを受ける装置（２）の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置（２）の偏光における基本的な状態を取り出す工程、前記テストを受ける装置（２）の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置（２）の偏光依存性の損失を取り出す工程、前記テストを受ける装置（２）の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置（２）の偏光における短い及び長い基本的な状態に連携する短い及び長い群遅延を取り出す工程、前記テストを受ける装置（２）の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置の挿入損失を取り出す工程、前記テストを受ける装置（２）の前記ジョーンズマトリックス要素から前記テストを受ける装置（２）の透過率及び反射率を取り出す工程、或いは前記テストを受ける装置（２）の前記ジョ

40

50

ーンズマトリックス要素から周波数に関する異なる群遅延の変化率のような高次の偏光モード分散を取り出すという工程のうち少なくとも1つを備える。

【0128】

好ましくは、本発明による方法は、更に、前記第1の光束(18、19)を偏光依存性の仕方で第1の部分(18a)と第2の部分(18b)に分割する工程を有する。

【0129】

更に本発明は、テストを受ける装置の光学特性を決定する装置(2)において、入射光束(6)の路を第1の路を進行する第1の光束(18、19)と第2の路を進行する第2の光束(20)に分割する第1のビームスプリッタ(14)にして、その際前記テストを受ける光学装置(2)は、前記第1の路に接続されて所定の偏光を備えた前記第1の光束(18、19)に接続するようにした第1のビームスプリッタ(14)と、前記第2の光束(20)が第1の光束(18、19)とは異なる路を進行した後、前記第1の光束(18、19)と前記第2の光束(20)を重ね合わせて得られた路を進行する生じた重ね合わせられた光束内での前記第1の光束(18、19)と前記第2の光束(20)間に干渉を生じさせる前記第1の路と前記第2の路に配置された第2のビームスプリッタ(28)と、前記入射光束(6)の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数と偏光の関数として前記得られた路内を進行する前記生じた重ね合わせられた光束(30、804、814、816)の前記パワーを検出する前記得られた路内に配置されたディテクタユニットと、検出された前記パワーから前記テストを受ける光学装置(2)の光学特性を取り出すための評価ユニット(38、40、806、808、818、820)とを有する。

10

20

【0130】

好ましくは、偏光依存性の仕方で前記重ね合わせられた光束(30)を第3の路を進行する第3の光束(34)と第4の路を進行する第4の光束(36)に分割するための前記得られた路内の偏光ビームスプリッタ(32)と、前記入射光束(6)の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記第3の光束(34)の前記パワーを検出するための前記第3の路内の第1のパワーディテクタ(38)と、前記入射光束(6)の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記第4の光束(36)の前記パワーを検出するための前記第4の路内の第2のパワーディテクタ(40)とを有する。

30

【0131】

好ましくは、検出された前記パワーの周波数依存性から前記テストを受ける光学装置(2)の前記ジョーンズマトリックス要素を取り出すための評価ユニットを有する。

【0132】

好ましくは、前記第1のビームスプリッタ(14)と前記第2のビームスプリッタは、マッハツェンダー干渉計及び/或いはマイケルソン干渉計を含む。

【0133】

好ましくは、更に、前記第1の光束(18、19)の偏光を前記所定の偏光に対して調節するための前記第1の路内の偏光設定ツールを有し、その際前記偏光設定ツール(26)が、前記第1のビームスプリッタ(14)の前後の前記入射光束(6)の前記路に配置される。

40

【0134】

好ましくは、前記偏光設定ツール(26)が、直線的に前記光束(6、18)のそれぞれの偏光を調節する。

【0135】

好ましくは、更に、前記入射光束(6)を第1の初期路を進行する第1の初期光束(10)と第2の初期路を進行する第2の初期光束(12)に分割するために前記入射光束(6)に配置された第3のビームスプリッタ(8)と、前記第2の初期光束(12)を第5の路を進行する第5の光束(22)と第6の路を進行する第6の光束(24)に分割する前記第2の初期路に配置された第4のビームスプリッタ(16)と、前記光束(22、24

50

）のそれぞれが異なる路を進行した後、前記第 5 の光束（ 2 2 ）と前記第 6 の光束（ 2 4 ）とを重ね合わせて第 2 の得られた路を進行する前記生じた重ね合わせられた光束（ 4 8 ）における前記第 5 の光束（ 2 2 ）と前記第 6 の光束（ 2 4 ）間に干渉を生じさせるように前記第 5 の路及び前記第 6 の路に配置された第 5 のビームスプリッタ（ 4 6 ）と、前記入射光束（ 6 ）の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、周波数の関数として前記生じた重ね合わせられた光束（ 4 8 ）の前記パワーを検出するために前記第 2 の得られた路内に配置された第 3 のパワーディテクタ（ 5 0 ）とを有し、これによって、前記パワーディテクタ（ 5 0 ）の出力は、前記評価ユニットに接続され、前記コヒーレント光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき、同調勾配周波数におけるいかなる非直線性も検出し、及び、前記評価ユニットがいずれかの非直線性を検出したとき、前記評価ユニットが、前記検出された非直線性の情報を用いて前記非直線性によって生じさせられた前記第 3 の光束（ 3 4 ）と前記第 4 の光束（ 3 6 ）の前記検出されたパワーへの作用を補正するように構成される。

10

**【 0 1 3 6 】**

好ましくは、更に、偏光遅延ユニット（ 1 0 2 ）を設け、前記第 1 の光束（ 1 8 、 1 9 ）を第 1 の部分（ 1 8 a ）と第 2 の部分（ 1 8 b ）に分割し、前記第 1 の部分（ 1 8 a ）に対して前記第 2 の部分（ 1 8 b ）を遅延させ、前記第 1 の部分（ 1 8 a ）と前記第 2 の部分（ 1 8 b ）を再び結合し、異なる偏光を備えた再び結合された部分を前記テストされる光学装置（ 2 ）に接続するように構成される。

**【 0 1 3 7 】**

20

好ましくは、前記偏光遅延ユニット（ 1 0 2 ）は、前記第 1 の光束（ 1 8 、 1 9 ）を第 1 の部分（ 1 8 a ）と第 2 の部分（ 1 8 b ）に分割する第 1 の偏光ビームスプリッタ（ 1 0 4 ）を有する。

**【 0 1 3 8 】**

好ましくは、前記偏光遅延ユニット（ 1 0 2 ）が、前記第 1 の部分（ 1 8 a ）と前記第 2 の部分（ 1 8 b ）を再び結合する第 2 の偏光ビームスプリッタ（ 1 0 6 ）を有する。

**【 0 1 3 9 】**

好ましくは、前記偏光遅延ユニット（ 1 0 2 ）が、前記第 1 の部分（ 1 8 a ）のための第 1 の光路と前記第 1 の光路よりも長い光路長を備えている前記第 2 の部分（ 1 8 b ）のための第 2 の光路とを有して前記第 1 の部分（ 1 8 a ）に対して前記第 2 の部分（ 1 8 b ）を遅延させるようにする。

30

**【 0 1 4 0 】**

好ましくは、前記偏光遅延ユニット（ 1 0 2 ）が、偏光装置（ 1 0 4 、 1 0 6 、 5 0 2 、 5 0 4 ）を有して異なる偏光を備えた前記再び結合される部分（ 1 8 a 、 1 8 b ）に前記テストを受ける光学装置（ 2 ）を接続する。

**【 0 1 4 1 】**

好ましくは、前記偏光遅延ユニット（ 1 0 2 ）が、装置（ 1 1 4 、 1 1 6 、 1 2 0 、 5 1 0 ）を有して、異なる偏光を備えた前記再び結合される部分（ 1 8 a 、 1 8 b ）をポラライザ（ 1 3 6 、 4 0 6 ）に与えて得られた路を進行する生じた重ね合わせられた光束（ 1 3 8 ）内で前記路間に干渉を生じさせ、前記装置が更に、前記得られた路にパワーディテクタ（ 1 4 0 、 4 1 0 ）を有して前記コヒーレント光束の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき周波数の関数として前記生じた重ね合わせられた光束（ 1 3 8 ）のパワーを検出し、これによって、前記パワーディテクタ（ 1 4 0 、 4 1 0 ）の出力が、前記評価ユニットに接続されて前記入射光束（ 6 ）の周波数を所定の周波数範囲にわたって同調させるとき同調勾配周波数の関数における非直線性を検出し、及び、評価ユニットがなんらかの非直線性を検出するとき、前記評価ユニットが、検出された前記非直線性を用いて前記非直線性によって生じた前記第 3 の光束（ 3 4 ）と前記第 4 の光束（ 3 6 ）の前記検出されたパワーへの作用を補正するようにする。

40

**【 0 1 4 2 】**

好ましくは、本発明によれば、装置（ 1 1 4 、 1 1 6 、 1 2 0 、 5 1 0 ）が、前記テスト

50

を受ける光学装置（２）には接続されない前記第２の偏光ビームスプリッタの出力ポート（１１４）、或いは、前記テストを受ける光学装置（２）に接続される前記第２の偏光ビームスプリッタ（１０６）の前記出力ポート（１１４）に接続される偏光維持カプラ（５１０）、或いは、前記テストを受ける光学装置（２）に接続される前記第２の偏光ビームスプリッタ（１０６）の前記出力ポート（１１４）に接続される少なくとも１つのビームスプリッタ（１１６、１２０）とされる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明による第１の実施形態となる装置の概略説明図である。

【図２】高度な複屈折繊維の測定結果を示す図であり、（ａ）２つの主軸の群遅延を示すプロット、及び（ｂ）２つの群遅延間の差を示すプロットを示す図である。

10

【図３】ＤＵＴなしの測定結果であり、（ａ）２つの主軸の群遅延を示すプロット、及び（ｂ）２つの群遅延間の差を示すプロットを示す図である。

【図４】本発明による第２の実施形態の概略説明図である。

【図５】本発明による第３の実施形態の概略説明図である。

【図６】本発明による第４の実施形態の概略説明図である。

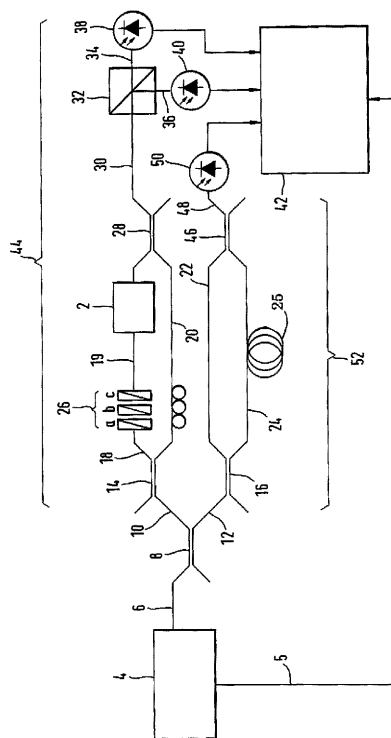
【図７】本発明による第５の実施形態の概略説明図である。

【図８】本発明による第６の実施形態の概略説明図である。

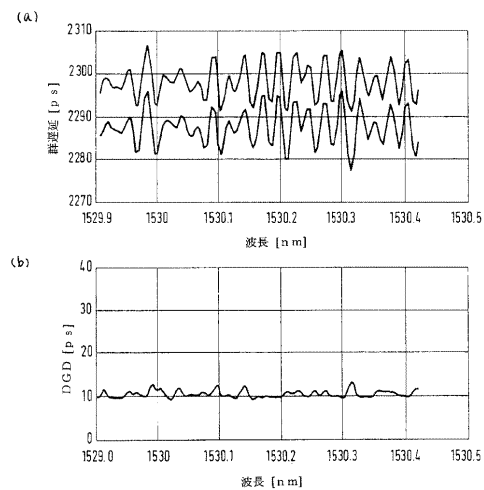
【図９】本発明による第７の実施形態の概略説明図である。

【図１０】本発明による第８の実施形態の概略説明図である。

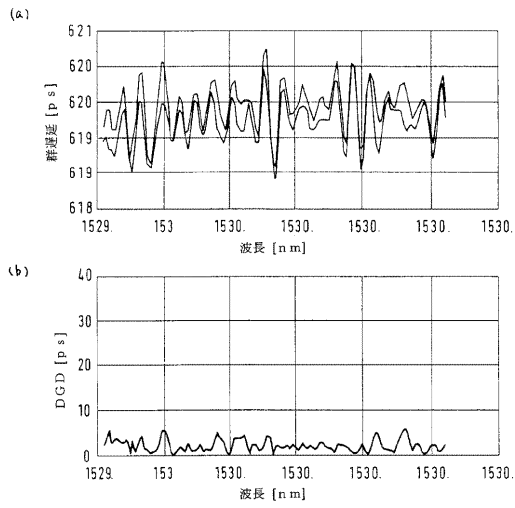
【図１】



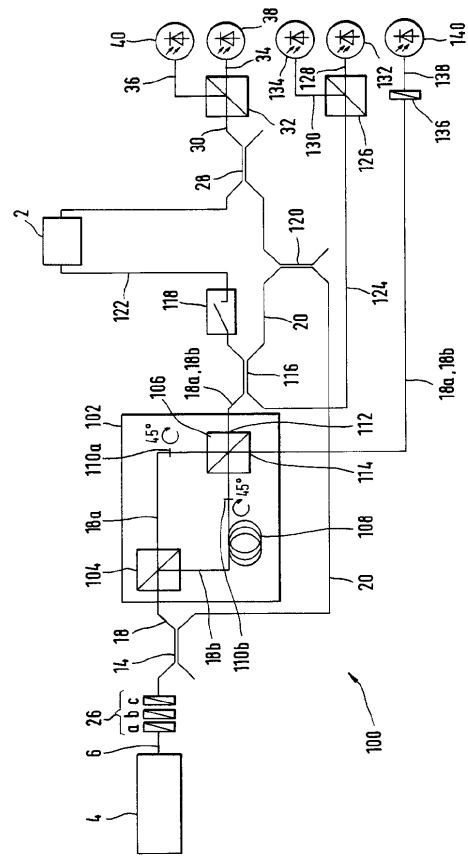
【図２】



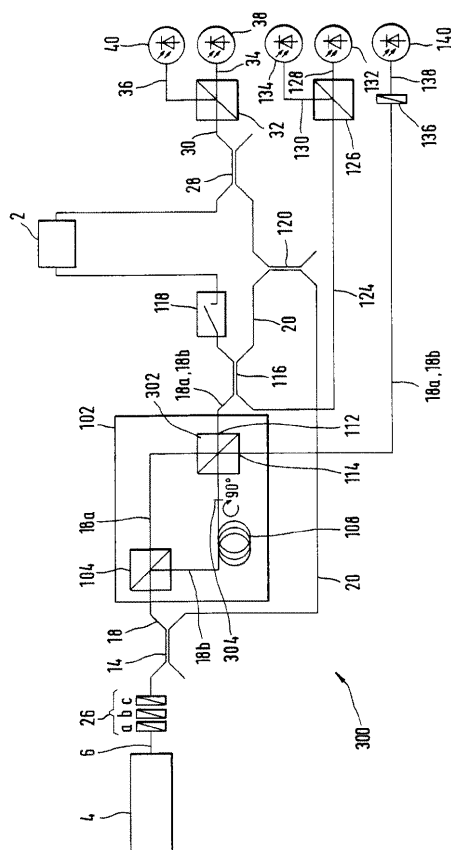
【図 3】



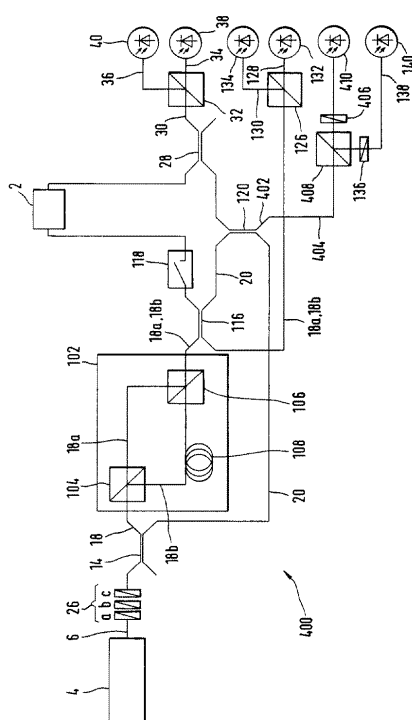
【図 4】



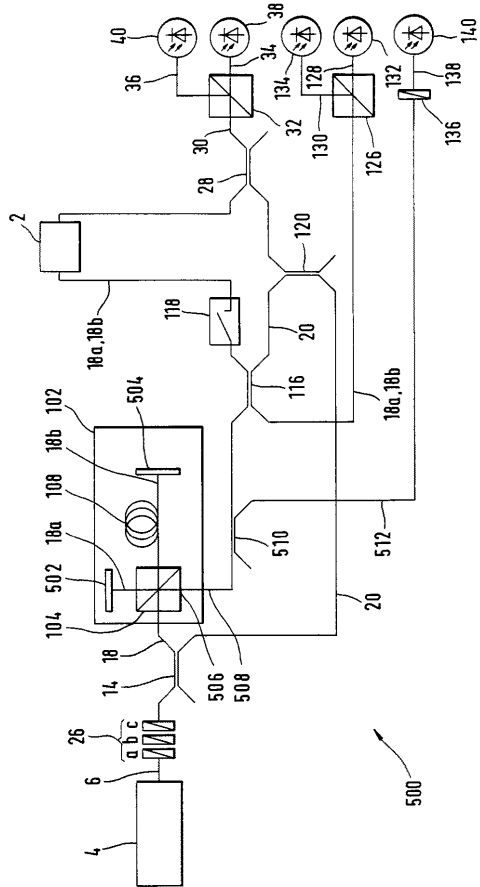
【図 5】



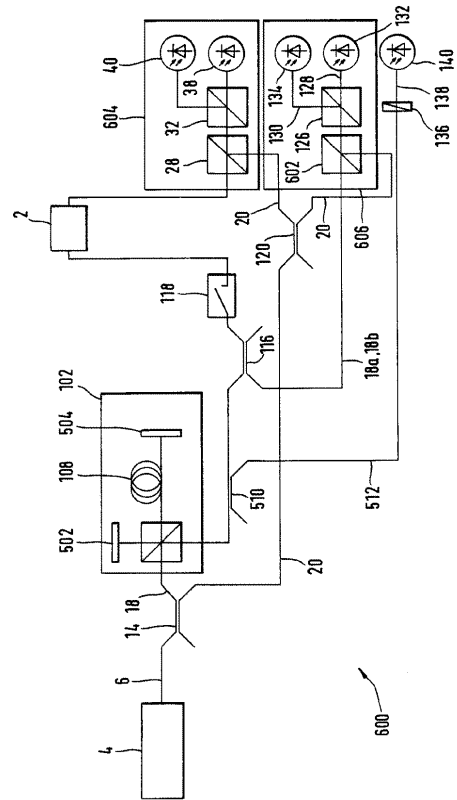
【図 6】



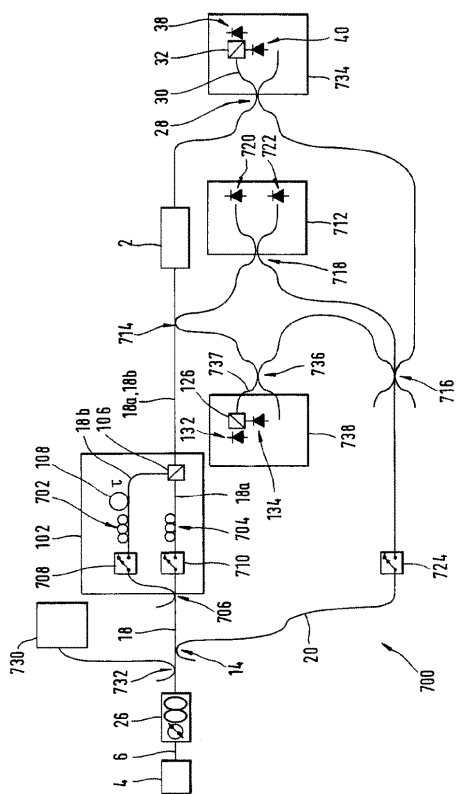
【図 7】



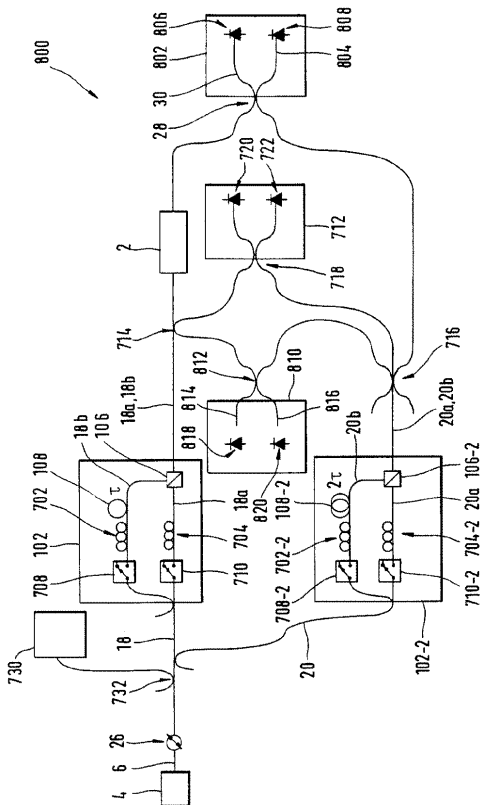
【図 8】



【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 グレッグ・ヴァン・ウィガーレン  
アメリカ合衆国カリフォルニア州ロス・ガトス ダーダネーリ・レーン ナンバー 2 2 1 1 4
- (72)発明者 ダグラス・バニー  
アメリカ合衆国カリフォルニア州ロス・アルトス クリントン・ロード 8 9 7

審査官 田邊 英治

- (56)参考文献 特開平 0 9 - 2 6 4 8 1 4 ( J P , A )  
特開平 0 7 - 2 4 3 9 4 3 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
G01M 11/00-11/08