

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

干渉応用光ネットワーク・アナライザを較正するための装置であって、
制御光学素子に関して、第 1 の振幅の第 1 の偏光波及び第 2 の振幅の第 2 の偏光波を利用して得られる、複数组をなす干渉応用測定結果を受信する干渉応用測定結果受信部分と、

前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに関する較正結果を導くための、前記干渉応用測定結果受信部分に結合されたプロセッサと、

該較正結果は、前記複数组をなす干渉応用測定結果を利用して得られ、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の光学特性に起因する不確実性を低減して、被測定物 (D U T) の光学的性質の測定を可能にするものであり、

前記プロセッサに結合されたユーザ・インターフェイスと、
を有する装置。

【請求項 2】

その少なくとも一部が、干渉応用光ネットワーク・アナライザと一体化されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記較正結果が、前記第 1 の振幅と前記第 2 の振幅の比 (R)、及び、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに対応する較正行列 ($M_{c a 1}$) から構成される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 4】

前記較正結果が、前記第 1 の振幅と前記第 2 の振幅の比 (R)、オーバーラップ・パラメータ ()、及び、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに対応する較正行列 ($M_{c a 1}$) から構成される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

干渉応用光ネットワーク・アナライザ・システムであって、
干渉応用光ネットワーク・アナライザと、
制御光学素子に関して、第 1 の振幅の第 1 の偏光波及び第 2 の振幅の第 2 の偏光波を利用して得られる、複数组をなす干渉応用測定結果を受信する干渉応用測定結果受信部分と、

前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに関する較正結果を導き出すための、前記干渉応用測定結果受信部分に結合されたプロセッサと、

該較正結果は、前記複数组をなす干渉応用測定結果を利用して得られる、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の光学特性に起因する不確実性を低減して、被測定物 (D U T) の光学的性質の測定を可能にするものであり、

前記プロセッサに結合されたユーザ・インターフェイスと、
を有する干渉応用光ネットワーク・アナライザ・システム。

【請求項 6】

前記較正結果が、前記第 1 の振幅と前記第 2 の振幅の比 (R)、及び、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに対応する較正行列 ($M_{c a 1}$) から構成される、請求項 5 に記載の干渉応用光ネットワーク・アナライザ・システム。

【請求項 7】

前記較正結果が、前記第 1 の振幅と前記第 2 の振幅の比 (R)、オーバーラップ・パラメータ ()、及び、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに対応する較正行列 ($M_{c a 1}$) から構成される、請求項 5 に記載の干渉応用光ネットワーク・アナライザ・システム。

【請求項 8】

干渉応用光ネットワーク・アナライザを較正するための干渉方法であって、
制御光学素子に関して、第 1 の振幅の第 1 の偏光波及び第 2 の振幅の第 2 の偏光波を利用して得られる、複数组をなす干渉応用測定結果を受信するステップと、

前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに関する較正結果を導き出すステップであって、該較正結果は前記複数组をなす干渉応用測定結果を利用して得られる、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の光学特性に起因する不確実性を低減して、被測定物（DUT）の光学的性質の測定を可能にする、ステップと、
を有する方法。

【請求項 9】

前記較正結果が、前記第 1 の振幅と前記第 2 の振幅の比、及び、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに対応する較正行列から構成される、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記較正結果が、前記第 1 の振幅と前記第 2 の振幅の比、オーバーラップ・パラメータ、及び、前記干渉応用光ネットワーク・アナライザに対応する較正行列から構成される、請求項 8 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ネットワーク解析分野に関し、特に、光ネットワーク・アナライザの較正に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光ネットワーク解析は、光ネットワーク・コンポーネントの光学特性を求めるために利用されてきた。例えば、ファイバ・ブラッグ格子または一連のファイバ・ブラッグ格子の光学特性は、光ネットワーク・アナライザを用いて求めることが可能である。より一般的には、光ネットワーク・アナライザは、さまざまな光学コンポーネント、複合光学系、及び、さまざまな他のタイプの被測定物（device under test, DUT）の光学特性を求めるために利用されている。

【0003】

最近になって、光ネットワーク解析において、光学コンポーネントの光学特性の極めて正確な測定を可能にする進展が見られた。すなわち、現在では、光学コンポーネントの光学特性を正確に検査し、測定するために、干渉応用光学解析法を利用することが可能である。しかし、こうした測定正確度の向上につれて、光ネットワーク・アナライザ自体に関連した不確実性及びエラーが、より重要になる。例えば、干渉応用光ネットワーク・アナライザは、±数十 dB の内部偏光依存損失（polarization dependent loss, PDL）を生じる。結果として、光学コンポーネントの光学特性（例えば、±50 ミリ dB までの）を求めようとすると、光ネットワーク・アナライザに関連した PDL による不確実性の量によって、所望の正確度による光学コンポーネントの PDL 測定が困難または不可能になる。上記論考は、とりわけ、PDL の測定に言及したものであるが、前記例は、例証を意図したものである。すなわち、従来の干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の不確実な光学的性質は、他のさまざまな光学特性の最終的に可能な測定正確度を低下させることにもなる。

【0004】

上述の欠点を克服するためのアプローチの 1 つが、光ネットワーク・アナライザ自体に固有の光学的性質に関連した不確実性またはエラーを低減しようとする試みである。例えば、干渉応用光ネットワーク・アナライザは、光学的に不活性のコンポーネントを利用して構成することが可能である。本願の目的上、「光学的に不活性」と称されるコンポーネントは、測定される光学特性に劣化を全くもたらさないか、ごくわずかしかもたらさない光学コンポーネントである。一般に、これは、こうした光学的に不活性なコンポーネントの PDL 及び偏光モード分散（polarization mode dispersion, PMD）が少ないことを表わしている。しかし、こうした光学的に不活性なコンポーネントは、一般に、極めて高価である。結果として、こうした光学的に不活性なコンポーネントを利用することによって被るコストの増大は、従来の干渉応用光ネットワーク・アナライザを途方もなく高価なも

10

20

30

40

50

のにする可能性がある。さらに、光学的に不活性なコンポーネントを利用したとしても、累積される不確実性の程度が、大きくなりすぎて、やはり、所望の正確度による光学コンポーネントの光学特性の測定を不可能にする可能性がある。

【 0 0 0 5 】

なお、先行技術文献には、較正システムを含まない干渉応用光ネットワーク・アナライザの詳細な説明がある（例えば、特許文献 1 および 2 参照）。また、コンポーネントに固有の不確定な光学的性質の計算については先行技術文献に記載がある（例えば、非特許文献 1 および 2 参照）。

【特許文献 1】米国特許出願公開第 0 9 / 9 3 8 , 1 0 0 号明細書

【特許文献 2】米国特許出願公開第 0 9 / 9 4 0 , 7 4 1 号明細書

10

【非特許文献 1】B. L. Heffner、「Deterministic, analytically complete measurement of polarization dependent transmission through optical devices」、IEEE Photon. Technol. Lett.、1 9 9 2 年、第 4 巻、p . 4 5 1 - 4 5 4

【非特許文献 2】B. L. Heffner、「Automated measurement of polarization mode dispersion using Jones matrix eigenanalysis」、IEEE Photon. Technol. Lett.、1 9 9 2 年、第 4 巻、p . 1 0 6 6 - 1 0 6 9

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、光学コンポーネントの光学特性を容易に確かめるための方法及びシステムを提供することにある。本発明のもう 1 つの目的は、上述の目的をかなえ、さらに、光学コンポーネントの光学特性を正確に求めることが可能な方法及びシステムを提供することにある。本発明のさらにもう 1 つの目的は、上記目的をかなえ、さらに、光学的に不活性なコンポーネントから構成される光ネットワーク・アナライザの利用を必要としない方法及びシステムを提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明によれば、測定の不確実性が極めて少ない、光学的に不活性なコンポーネントから構成される光ネットワーク・アナライザの利用を必要とせずに、光学コンポーネントの光学特性を容易かつ正確に求めるための方法及びシステムが得られる。

30

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、第 1 の振幅の第 1 の偏光波及び第 2 の振幅の第 2 の偏光波を利用した制御光学素子の複数の干渉応用測定結果が、本発明に従って得られることになる。次に、本発明による複数の干渉応用測定結果を用いて、較正結果が導き出される。この較正結果によって、干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の光学特性に起因する不確実性を低減して、第 1 の振幅の第 1 の偏光波及び第 2 の振幅の第 2 の偏光波を利用して測定される被測定物（DUT）の光学的性質を求めることが可能になる。

【 0 0 0 9 】

本発明の以上の及びその他の特徴については、当該技術者であれば、さまざまな図面の図に例示されている実施態様に関する下記の詳細な説明を読めば、間違いなく明らかになるであろう。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 0 】

次に、その例が添付の図面に例示されている、本発明の実施態様について詳述することにする。本発明の説明は、前記実施態様に関連して行われるが、言うまでもなく、本発明をこれらの実施態様に制限することを意図したものではない。それどころか、本発明は、付属の請求項によって定義された本発明の範囲内に含まれる可能性のある、代替態様、修正態様、及び、同等物を網羅することを意図したものである。さらに、本発明に関する下記の詳細な説明では、本発明の完全な理解が得られるようにするため、数多くの特定の細部について示される。しかし、本発明は、こうした特定の細部を知らなくても、実施可能

50

である。他の例に関しては、本発明の態様が不必要に曖昧にならないようにするため、周知の方法、手順、コンポーネント、及び、回路の詳述を控えた。

【0011】

概要として、また、詳細に後述するように、本発明のさまざまな実施態様によって、干渉応用光ネットワーク・アナライザに関連した固有の光学特性及び及び対応する不確実性を求めるための方法及びシステムが得られる。実施態様の1つにおいて、本発明は、制御光学コンポーネントの少なくとも2つの干渉応用測定から導き出される較正結果を利用して、前述の固有の光学特性を求めることが可能である。結果として、被測定物(DUT)から得られた測定結果から、さらに、対応する不確実性を抽出することが可能になる。そうすることで、本発明のさまざまな実施態様において、DUTの偏光分解伝達関数の測定が可能になる。やはり、詳細に後述するように、本発明のさまざまな実施態様によって、それに関連した測定の不確実性が極めて少ない、光学的に不活性なコンポーネントから光ネットワーク・アナライザを構成する必要がなくなる。本出願の目的上、較正結果という用語は、干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の特性を求めて、それを考慮することにより、DUTの正確な測定値を得ることを可能にする、少なくとも部分的に干渉法によって導き出された結果または複数の結果を表わすことを意図されている。

10

【0012】

干渉応用光ネットワーク・アナライザ及び較正システム・アーキテクチャ

図1を参照すると、本発明のさまざまな実施態様による較正システム・コンポーネント101を含む干渉応用光ネットワーク・アナライザ100の概略図が示されている。本発明の実施態様の1つによれば、較正システム101は、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100に関連した固有の光学特性及び対応する不確実性を求める。結果として、DUTから得られた測定結果から、こうした既知の不確実性を除去することが可能になる。従って、本実施態様では、さらに、光学コンポーネントの光学特性を正確に求めることが可能になる。較正システム101の動作については、「較正方法」の見出しの下に詳述することにする。

20

【0013】

図1に示す、また、図2Aのブロック図に概略を示す実施態様のような、実施態様の1つにおいて、較正システム101は、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100と一体化されている。こうした実施態様の1つにおいて、較正システム101は、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100のプロセッサ126に詳細に後述する較正ステップを実施させるための、コンピュータ読取可能命令から構成されている。こうしたアプローチの場合、コンピュータ読取可能命令は、例えば、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100内に設けられたメモリ124のコンピュータ読取可能媒体に記憶されており、プロセッサ126によって実行される。プロセッサ126によって実行される命令は、コンピュータが情報を読み取る任意の媒体を表わす、1つ以上のコンピュータ読取可能媒体に記憶し、保持することが可能である。コンピュータ読取可能媒体は、例えば、フロッピー・ディスク、ハード・ディスク、ジップ・ドライブ・カートリッジ、または、簡略化のため本明細書には記載されない他のさまざまな記憶手段とすることが可能である。コンピュータ読取可能媒体は、同軸ケーブル、銅線、光ファイバ、音波、または、光波等とすることも可能である。一例として、プロセッサ126によって実行される命令は、1つ以上のソフトウェアプログラムの形をとり、当初は、較正システム101とインターフェイスされたCD-ROMに記憶される。

30

40

【0014】

本実施態様の較正システム101には、干渉応用測定結果受信部分128と、ユーザ・インターフェイス130も含まれている。実施態様の1つでは、ユーザ・インターフェイス130は、ビデオ・インターフェイスを介してユーザにデータを提供する。もう1つの実施態様では、ユーザ・インターフェイス130は、音声インターフェイスを介してユーザにデータを提供する。さらにもう1つの実施態様では、ユーザ・インターフェイス130は、テキスト・インターフェイスを介してユーザにデータを提供する。こうした出力に

50

については、上述のところであるが、本発明の実施態様は、ユーザに対するデータの提供と、ユーザからのデータまたはコマンドの受信の両方に、各種ユーザ・インターフェイスを利用するのに適している。

【0015】

次に図2Bのブロック図を参照すると、較正システム101が干渉応用光ネットワーク・アナライザ100と一体化されていない、本発明のもう1つの実施態様の概略が描かれている。こうした実施態様の場合、較正システム101は、干渉応用光ネットワークに結合できる独立ユニットである。こうした実施態様の場合、較正システム101は、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100に対して光学的に結合されていない。代わりに、図2Bの較正システム101は、データ交換のため、例えば、通信リンク103を介して、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100と通信可能に結合されている。こうしたデータには、例えば、干渉応用測定結果、較正結果等を含むことが可能である。

10

【0016】

本実施態様の場合、較正システム101は、プロセッサに、詳細に後述する較正ステップを実施させるためのコンピュータ読取可能命令から構成されている。図2Bに概略が描かれた実施態様の場合、コンピュータ読取可能命令は、例えば、較正システム101のメモリ202内に記憶され、較正システム101のプロセッサ204によって実行される。さらに、本実施態様の較正システム101には、干渉応用測定結果受信部分206と、ユーザ・インターフェイス208が含まれている。図2A及び2Bには、特定の実施態様が描かれているが、本発明は、例えば、較正システム101が、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100と部分的に一体化され、ハードウェア、または、ファームウェア、あるいは、その任意の組み合わせから構成される、他のさまざまな実施態様にも適している。すなわち、本発明は、詳細に後述する較正方法の実施を最終的に可能にする、さまざまな物理的实施に適している。

20

【0017】

もう一度図1を参照すると、本明細書における説明は簡単であるが、先行技術文献には、較正システム101を含まない、先行技術による干渉応用光ネットワーク・アナライザの詳細な説明がある（例えば、特許文献1参照）。較正システム101を含まない干渉応用光ネットワーク・アナライザに関するさらなる情報については、先行技術文献に記載がある（例えば、特許文献2参照）。

30

【0018】

図1に示すように、較正システム101は、同調可能レーザ（tunable laser source, T L S）102からの光が、当初、偏光コントローラ（polarization controller, P C）104を介して送られる、干渉応用光ネットワーク・アナライザに結合されている。光の一部は、T L S 102の周波数掃引を追跡する、波長基準装置（wavelength reference unit, W R U）106に送られる。主光路の光は、再度分割され、光のほぼ半分が、局部発振器（local oscillator, L O）光路108に送られる。主光路の残りの光は、偏光遅延装置（polarization delay unit, P D U）110において、さらにもう一度分割される。2つの光波は、互いに直交する偏光と再結合する。以下の説明のため、短いほうの光路112からの光は、x偏光と称され、光波 E_x で表わされる。長いほうの光路114を通る光は、y偏光と称され、光波 E_y で表わされる。言うまでもないが、 $E_x = E_{x0} e^{i(k_x x - \omega t)}$ （ここで、 E_{x0} は、x偏光波の振幅である）、及び、 $E_y = E_{y0} e^{i(k_y y - \omega t)}$ （ここで、 E_{y0} は、y偏光波の振幅であり、 ω は、光の角光周波数であり、 t は、時間に相当する）。

40

【0019】

さらに図1を参照すると、D U T 116の伝送特性を測定するため、通信受信器118からのデータを解析する。通信受信器118において干渉する光波のx偏光成分は、x光検出器120に送られ、y偏光成分は、y光検出器122に送られる。本実施態様の場合、2つの検出器120及び122のそれぞれは、ビート周波数が異なる、問題となる2つの干渉信号を測定する。例えば、y光検出器122によって検出される一方の干渉信号は

50

、 y 、 L_{oy} 、 U_{22} に比例するが、ここで、 y 、 L_{oy} は、電界の実振幅である。 U_{22} は、DUT、DUTに後続するカプラ、及び、光検出器に至る光路を含む光路に対応する、伝達関数行列の第4の要素である。上記光路の一部（すなわち、DUTに後続するカプラ、及び、光検出器に至る光路）に沿って具備する固有のPDLまたはPMDのような固有の光学特性は、通常、DUTの測定可能な正確度を低下させる、測定の不確実性をもたらすことになる。詳細に後述するように、本発明の実施態様の1つでは、較正システム101は、前述の光路に関連した固有の光学特性を求めて、DUTの光学特性の正確な判定を可能にする。

【0020】

較正方法

A. 2ステップ・アプローチ

この較正方法は、最小限で2つの干渉応用測定ステップが必要であるため、「2ステップ」・アプローチと呼ばれる。さらに、下記の2ステップ較正アプローチは、DUT116に最初に送られる偏光が直交するという仮定に基づくものである。すなわち、図1の x 及び y が直交するものと仮定されている。しかし、本発明は、DUT116に最初に送られる偏光が完全には直交しない場合に用いるのにも適している。一方、後続のサブセクション「B. 3ステップ・アプローチ」は、明らかに、DUT116に送られる際、 x 及び y が完全には直交していないケースを対象としたものである。後続セクションにおいて解説するように、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100を較正するには、それに関連した固有の光学特性を求めることが必要になる。すなわち、本較正法によれば、DUTに後続するカプラ119、及び、光検出器120及び122に至る光路117を含む光路に帰せられる固有の不確実性の定量が可能になる。次に、この定量を利用すると、光学コンポーネント（すなわち、DUT）の光学特性を正確に求めることができるように、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100を較正することが可能になる。

【0021】

上述のように、 U は、DUT116、DUTに後続するカプラ119、及び、光検出器120及び122に至る光路117を含む光路に対応する伝達関数行列を表わしている。本較正法では、伝達関数行列 U が、DUT116に関連した伝達関数行列 J と、DUT116に後続するカプラ119、及び、光検出器120及び122に至る光路117に関連した別個の伝達関数行列 P の積として表される。従って、次のように表わすことが可能である：

$$U = PJ \quad (1)$$

行列 J は、本質的に、DUT116からの入力光波と出力光波との間の相対位相に関する追加情報を備えた、ジョーンズ行列である。この行列 J から、DUT116の透過率または反射率、挿入損失、偏光依存損失（PDL）、群遅延、偏光モード分散（PMD）、及び、色分散を、全て、容易に計算することが可能になる。こうした計算については、先行技術文献に記載がある（例えば、非特許文献1及び2参照）。これらの文献については、参考までに、本明細書において背景材料として援用されている。

【0022】

さらに、実施態様の1つでは、本較正法が完了すると、本発明によって、DUTに対応する偏光分解伝達関数行列を求めることが可能になる。結果として、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100に固有の不確実性を伴うことなく、DUTの光学特性を正確に求めることが可能になる。このタスクを達成するため、本較正法では、伝達関数行列 U の要素に比例した項を含む干渉信号の測定結果（本実施態様における最小限の2つの測定結果）と、 y 、 x 、 L_{ox} 、及び、 L_{oy} に対する誘導光波の振幅から、最終的に行列が求められる。

【0023】

次に図3を参照すると、本発明の実施態様の1つによって実施されるステップのフローチャート300が示されている。図3のステップの説明は、図1にも関連して行われる。

10

20

30

40

50

ステップ 302 では、本較正システムが、その伝達関数行列が A と定義される制御光学コンポーネントに関して、第 1 組の干渉応用測定結果 ($x_{Lox} U_{11}$ 、 $y_{Lox} U_{12}$ 、 $x_{Loy} U_{21}$ 、及び、 $y_{Loy} U_{22}$) を受信する。実施態様の 1 つでは、制御光学コンポーネントは、パッチコードから構成されている。偏光依存損失 (PDL) のないパッチコードを利用することによって、伝達関数行列 A は、ユニタリ行列になる。定義により、ユニタリ行列は、行列式が 1 である。本発明では、こうした制御光学コンポーネントが用いられるが、本較正法は、制御光学コンポーネントとして他のさまざまなタイプの光学コンポーネントを利用するのにも適している。

【0024】

実施態様の 1 つでは、図 1 の較正システム 101 は、ユーザが制御光学コンポーネント (例えば、第 1 の位置に配置されたパッチコード) を干渉応用光ネットワーク・アナライザに結合し、測定プロセスを開始してから、第 1 組の干渉応用測定結果を受信する。 10

【0025】

さらにステップ 302 を参照すると、較正システム 101 は、受信した第 1 組の干渉応用測定結果から、(2) 式で示す行列 W を作成する。

【数 1】

$$W = \begin{pmatrix} E_x E_{Lox} U_{11} & E_y E_{Lox} U_{12} \\ E_x E_{Loy} U_{21} & E_y E_{Loy} U_{22} \end{pmatrix} \quad (2)$$

20

【0026】

ステップ 302 で受信した測定結果に関する (2) 式において、 $U = PA$ である。さらに、行列 W の 4 つの要素は、較正システム 101 によって明らかになる複素数である。ただし、この時点では、個々の電界振幅 (x 、 y 、 Lox 、及び、 Loy) または個々の行列要素 (U_{11} 、 U_{12} 、 U_{21} 、及び、 U_{22}) に関する値は不明である。

【0027】

次に、図 3 のステップ 304 を参照すると、2 ステップ・アプローチにおける第 2 のステップが実施される。ステップ 304 では、本較正システムは、その伝達関数行列が B と定義される制御光学コンポーネントに関して、第 2 組の干渉応用測定結果 ($x_{Lox} U_{11}$ 、 $y_{Lox} U_{12}$ 、 $x_{Loy} U_{21}$ 、及び、 $y_{Loy} U_{22}$) を受信する。実施態様の 1 つでは、制御光学コンポーネントは、やはり、パッチコードから構成されているので、伝達関数行列 B はユニタリ行列である。さらに、実施態様の 1 つでは、制御光学コンポーネントは、同じパッチコードから構成されるが、ステップ 302 における第 1 組の測定結果の受信中に配置された位置とは異なる位置に配置される。こうした実施態様の場合、パッチコードの位置の違いは、伝達関数行列 B が伝達関数行列 A とは異なるが、やはり、ユニタリ行列になるようにするのに十分でなければならない。 30

【0028】

さらに説明すると、ある実施態様の場合、パッチコードの第 1 の配置では、例えば、ある長さのパッチコードがテーブル上にロール、パイル、ライン等をなすように配置される。パッチコードに第 2 の配置を施すため、ユーザまたはメカニズムは、例えば、ねじったり、反転したり、位置を変えたり、あるいは、別様に、パッチコードの物理的配向を変更することによって、パッチコードの位置を調整する。そうすることで、同じパッチコード (または他の制御光学コンポーネント) を用いて、第 1 の伝達関数行列 A 及び第 2 の伝達関数行列 B の両方を得ることが可能になる。やはり、本実施態様には、こうした制御光学コンポーネントが利用されるが、本較正法は、さまざまな他のタイプの光学コンポーネントを制御光学コンポーネントとして利用するのにも適している。 40

【0029】

やはりステップ 304 を参照すると、較正システム 101 は、受信した第 2 組の干渉応用測定結果から、(3) 式で示す行列 Z を作成する。 50

【数 2】

$$Z = \begin{pmatrix} E_x E_{Lox} T_{11} & E_y E_{Lox} T_{12} \\ E_x E_{Loy} T_{21} & E_y E_{Loy} T_{22} \end{pmatrix} \quad (3)$$

【0030】

ステップ304で受信した測定結果に関する(3)式において、 $Z = PB$ である。やはり、行列Zの4つの要素は、複素数である。ただし、この時点では、個々の電界振幅(E_x 、 E_y 、 E_{Lox} 、及び、 E_{Loy})または個々の行列要素(T_{11} 、 T_{12} 、 T_{21} 、及び、 T_{22})に関する値は不明である。

10

【0031】

本実施態様において、較正システム101は、次に、下記の計算を行う：

【数 3】

$$W^{-1}Z = \frac{1}{E_x E_y E_{Lox} E_{Loy} \det(U)} \times \begin{pmatrix} E_x E_y E_{Lox} E_{Loy} (T_{11} U_{22} - T_{21} U_{12}) & E_y^2 E_{Loy} E_{Lox} (T_{12} U_{22} - T_{22} U_{12}) \\ E_x^2 E_{Lox} E_{Loy} (T_{21} U_{11} - T_{11} U_{21}) & E_x E_y E_{Lox} E_{Loy} (T_{22} U_{11} - T_{12} U_{21}) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

20

【0032】

(4)式から、下記の解が得られる。

【数 4】

$$W^{-1}Z = \frac{1}{\det(U)} \begin{pmatrix} (T_{11} U_{22} - T_{21} U_{12}) & \frac{E_y}{E_x} (T_{12} U_{22} - T_{22} U_{12}) \\ \frac{E_x}{E_y} (T_{21} U_{11} - T_{11} U_{21}) & T_{22} U_{11} - T_{12} U_{21} \end{pmatrix} \quad (5)$$

【0033】

30

上述のように、 $U = PA$ 及び $Z = PB$ であるが、ここで、A及びBは、両方とも、ユニタリ行列である。行列にその逆数を掛けると、1に等しくなるので、下記の式は真になる。

【0034】

$$U^{-1} = A^{-1} P^{-1} P B = A^{-1} (1) B = A^{-1} B \quad (6)$$

次のようになるのは明らかである

【数 5】

$$U^{-1}T = A^{-1}B = \frac{1}{\det(U)} \begin{pmatrix} (T_{11} U_{22} - T_{21} U_{12}) & (T_{12} U_{22} - T_{22} U_{12}) \\ (T_{21} U_{11} - T_{11} U_{21}) & (T_{22} U_{11} - T_{12} U_{21}) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

40

【0035】

A及びBは、両方ともユニタリ行列であり、下記も真である。

【数 6】

$$A^{-1}B = \exp(i\phi) \begin{pmatrix} a & b \\ -b^* & a^* \end{pmatrix} \quad (8)$$

【0036】

$A^{-1}B$ 及び U^{-1} は、両方ともユニタリ行列であるため、下記のようになる

50

$$\left| \begin{array}{cc} 1 & 2 \\ 2 & 2 \end{array} U_{22} - \begin{array}{cc} 2 & 2 \\ 1 & 2 \end{array} U_{12} \right| / \left| \begin{array}{cc} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{array} U_{11} - \begin{array}{cc} 1 & 1 \\ 2 & 1 \end{array} U_{21} \right| = 1 \quad (9)$$

次に、図3のステップ306に記載のように、較正システム101は、(5)式に関連して(9)式の結果を利用して、 y と x の比 R を求める。すなわち、本実施態様の場合、較正システム101は、 $W^{-1}Z$ の非対角要素の複素数の絶対値を割る。本実施態様において、(9)式と組み合わせてこのアプローチを利用することにより、較正システム101は、下記の結果を導き出す。

【0037】

$$R = \left(\left| \begin{array}{cc} y & / \\ x & \left(\begin{array}{cc} 1 & 2 \\ 2 & 2 \end{array} U_{22} - \begin{array}{cc} 2 & 2 \\ 1 & 2 \end{array} U_{12} \right) \right| / \left| \begin{array}{cc} x & / \\ y & \left(\begin{array}{cc} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{array} U_{11} - \begin{array}{cc} 1 & 1 \\ 2 & 1 \end{array} U_{21} \right) \right| \right) = \frac{y}{x} \quad (10)$$

(10)において、 R は、制御光学素子の第1組及び第2組をなす干渉応用測定結果を得るために用いられる光の波長の関数である。しかし、制御光学素子の第1組及び第2組をなす干渉応用測定結果を得るために用いられる光の波長は、既知の値になる。もう一度図3のステップ306を参照すると、以下に示すように、本実施態様では、比 R を求めることによって、干渉応用光ネットワーク・アナライザの正確な較正を実現した。すなわち、この場合、 R の値を知ることによって、所定のDUTに関する偏光分解伝達関数行列を求めることが可能になる。換言すれば、この場合、本実施態様の方法及びシステムを利用することによって、DUTの測定に影響を及ぼす、干渉応用光ネットワーク・アナライザに関連した、または、それに固有の不確実性を伴うことなく、DUTを測定することが可能になる。

【0038】

さらなる例証のため、 y と x の比 R を得た後、DUTは、第1及び第2組の干渉応用測定結果を得るために用いられた制御光学素子(例えば、パッチコード)を取り替える。この実施態様の場合、電界振幅は、制御光学素子の第1及び第2組の干渉応用測定結果が得られたときと同じままであると仮定する。DUT測定ステップは、図4のフローチャート400においてステップ402として示されている。図4のステップ302、304、及び、306は、図3におけるものと同じであり、簡略化のため、これらのステップに関する説明は反復しないことにする。従って、図4のステップ402に記載のように、本実施態様では、較正された干渉応用光ネットワーク・アナライザによるDUTの干渉応用測定結果を受信する。本実施態様の目的上、較正された干渉応用光ネットワーク・アナライザは、図3のステップ302-306が実施されたものである。

【0039】

やはりステップ402を参照すると、本実施態様の較正システム101は、DUTの受信した干渉応用測定結果から、(11)式で示す行列 D を求める。

【数7】

$$D = \begin{pmatrix} E_x E_{Lox} V_{11} & E_y E_{Lox} V_{12} \\ E_x E_{Loy} V_{21} & E_y E_{Loy} V_{22} \end{pmatrix} \quad (11)$$

【0040】

行列 D の4つの要素は複素数である。ただし、この時点では、ただし、この時点では、個々の電界振幅(x 、 y 、 E_{Lox} 、及び、 E_{Loy})または個々の行列要素(V_{11} 、 V_{12} 、 V_{21} 、及び、 V_{22})に関する値は不明である。また、上記行列 D において、 $V = PJ$ であり、ここで、 P は、DUT(例えば、図1のDUT116)に後続するカブラ、及び、やはり、図1の光検出器120及び122に至る光路117に対応する伝達関数行列である。この実施態様の場合、伝達関数行列は、DUTの光学特性を明らかにする。伝達関数行列 J は、本質的に、DUT116の入力及び出力光波の相対位相に関する追加情報を備えた、ジョーンズ行列である。

【0041】

本実施態様では、前に導き出した行列 W を利用して、次に、(12)式で示す新しい行

10

20

30

40

50

列を生成する。

【数 8】

$$W^{-1}D = \frac{1}{\det(U)} \begin{pmatrix} (V_{11}U_{22} - V_{21}U_{12}) & \frac{E_y}{E_x}(V_{12}U_{22} - V_{22}U_{12}) \\ \frac{E_x}{E_y}(V_{21}U_{11} - T_{11}U_{21}) & (V_{22}U_{11} - V_{12}U_{21}) \end{pmatrix} \quad (12)$$

【0042】

本実施態様では、さらに、(10)式で最終的に導き出された y と x の比 R を下記のように利用する。行列(12)の下方左側要素とこの比が掛けられ、行列(12)の上方右側要素がこの比で割られる。このプロセスによって、 $U^{-1}V$ に等しい新しい行列が得られる。さらに、行列に逆数を掛けると、1に等しくなるので、下記の式は真になる。

【0043】

$$U^{-1}V = A^{-1}P^{-1}PJ = A^{-1}(1)J = A^{-1}J \quad (13)$$

従って、本実施態様は、次に、行列 $A^{-1}J$ に関する解を導き出すことが可能になる。 A はユニタリ行列であり、 PMD がないので、行列 $A^{-1}J$ は、行列 J と全く同じ光学的性質を表している。これらの性質には、例えば、 DUT の透過率または反射率、挿入損失、偏光依存損失 (PDL)、群遅延、変更モード分散 (PMD)、及び、色分散が含まれている。従って、本実施態様によれば、 DUT の偏光分解伝達関数を求めることが可能になる。

【0044】

本実施態様の場合、本較正システムによって得られる較正結果は、 y と x の比 R 、及び、行列 W から構成されている。すなわち、分りやすくするため、本較正法の上記説明では、特定の較正結果(すなわち、 y と x の比 R 、及び、行列 W)が導き出されるが、本発明は、こうした特定の較正結果の導出に制限されるものではない。従って、言うまでもなく、本発明は、他のさまざまな較正結果を導き出し、そうした較正結果を利用して、 DUT の光学的性質を求めるのにも適している。以上の及びその他の結果には、例えば、光波 x 及び y の比ではなく、それらの振幅を含むことも可能である。代替較正結果には、光波振幅 x 、 y 、 L_{ox} 、 L_{oy} の全て、オーバーラップ・パラメータ (詳細に後述する)を含むことができるが、行列 W は含まれない。すなわち、本発明は、例えば、制御光学素子の複数の干渉応用測定結果を用いて、導き出される他のさまざまなタイプの較正結果を求め、利用するのに適している。さらに、これらの較正結果を得るのに、さまざまな数学的技法が可能である。すなわち、上述の実施態様では、ある特定の解析的導出が利用されたが、多くの異なる数学的ステップによって、同じ較正結果を導き出すことが可能であるのも事実である。さらに、同じ較正結果を得るのに、全く異なるアプローチで解くことも可能である。すなわち、上述の解析的方法ではなく、コンピュータで数値または記号計算を実施することも可能であった。

【0045】

上述のように、本発明の目的上、較正結果という用語は、干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の特性を求めて、考慮に入れ、それによって、被測定物の正確な測定結果を得ることを可能にする、少なくとも部分的に干渉法によって導き出された1つまたは複数の結果を表わすことを意図したものである。

【0046】

さらに、 DUT の光学的性質は、(伝達関数行列 $A^{-1}J$ を利用して)干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の光学特性及び対応する不確実性に帰せられるエラーまたは不確実性を低減して求めることが可能である。また、本実施態様では、図3のステップ302-306に関連して解説の方法を利用して、干渉応用光ネットワーク・アナライザを較正することができるので、干渉応用光ネットワーク・アナライザ内に極めて高価で、光学的に不活性なコンポーネントを設ける必要がなくなる。代わりに、本実施態様では、干

渉応用光ネットワーク・アナライザをそれほど高価ではないコンポーネントから構成することが可能になり、さらに、それによって生じる不確実性は図3の較正法を利用して補償される。

【0047】

さらにもう1つの利点として、本実施態様では、2つの干渉応用較正測定結果だけで、DUTの光学的性質を求めることが可能である。また、図1の較正システム101によって実施される本実施態様の較正法では、エンド・ユーザに対して過度の特殊訓練が要求されたり、あるいは、厳しい技術的要求がなされたりすることはない。従って、本実施態様によれば、光学コンポーネントの光学特性を容易に求めるための方法及びシステムが得られることになる。本発明のさまざまな実施態様によって、さらに、上記成果を達成し、かつ、光学コンポーネントの光学特性を正確に求めることが可能な方法及びシステムも得られる。本発明のさまざまな実施態様によって、さらに、上記成果を達成し、かつ、それに関連した測定の不確実性が極めて少ない、光学的に不活性なコンポーネントから構成された光ネットワーク・アナライザの利用を必要としない方法及びシステムも得られる。

10

【0048】

B. 3ステップ・アプローチ

この較正法は、最小限で3つの干渉応用測定ステップが必要になるので、「3ステップ」・アプローチと呼ばれる。さらに、下記の3ステップ較正アプローチは、DUT116に送り込まれる初期偏光が完全には直交しないという仮定に基づくものである。すなわち、図1の ϵ_a 及び ϵ_b が、DUTに送り込まれるとき、完全には直交していないという仮定がなされている。こうした場合、(14)式に示すように偏光した2つの光波を送り込むのではなく、

20

【数9】

$$\begin{pmatrix} \epsilon_a \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ \epsilon_b \end{pmatrix} \quad (14)$$

【0049】

(15)式に表わすように、2つの遅延光波が、実際に、光学コンポーネント(例えば、テスト光学コンポーネント及び/またはDUT)に送り込まれ。ここで、 σ はオーバーラップ・パラメータである。

30

【数10】

$$\begin{pmatrix} \epsilon_a \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma \epsilon_b \\ \epsilon_b \end{pmatrix} \quad (15)$$

【0050】

完全な直交性が得られないのは、例えば、全て図1に示された、PDU110~DUT116間において、干渉応用光ネットワーク・アナライザに生じるPDLに起因する可能性がある。

40

【0051】

次に図5を参照すると、本発明の実施態様の1つによって実施されるステップのフローチャート500が示されている。上述の2ステップ・アプローチと同様、本較正法によれば、DUTに後続するカプラ119、及び、光検出器120及び122に至る光路117を含む光路に固有の光学的性質に帰せられる測定エラーの量的補正が可能になる。光ネットワーク・アナライザに固有の性質の測定から得られる較正結果を利用して、干渉応用光ネットワーク・アナライザ100が較正されるので、光学コンポーネント(すなわち、DUT)の光学特性を正確に求めることが可能になる。また、本3ステップ・アプローチに関する以下の説明は、多くの面で、上述の2ステップ・アプローチと共通しているので、ここでは、簡略化及び明瞭化のため、共通する説明の反復は控えることにする。

50

【 0 0 5 2 】

次に、ステップ 5 0 2 を参照すると、本較正システムは、制御光学コンポーネントに関する第 1 組の干渉応用測定結果を受信する。実施態様の 1 つでは、制御光学コンポーネントは、パッチコードから構成されている。偏光依存損失 (P D L) のないパッチコードを利用することによって、伝達関数行列はユニタリ行列になる。定義により、ユニタリ行列の行列式は 1 である。本実施態様では、こうした制御光学コンポーネントが用いられるが、本較正法は、制御光学コンポーネントとしてさまざまな他のタイプの光学コンポーネント (例えば、D U T 自体) を用いて、 x と y の比 R 、及び、オーバーラップ・パラメータを求めるのにも適している。

【 0 0 5 3 】

10

実施例の 1 つでは、図 1 の較正システム 1 0 1 は、ユーザが干渉応用光ネットワーク・アナライザ 1 0 0 に制御光学コンポーネント (例えば、第 1 の位置に配置されたパッチコード) を結合して、測定プロセスを開始してから、第 1 組の干渉応用測定結果を受信する。

【 0 0 5 4 】

やはり、ステップ 5 0 2 を参照すると、D U T 1 1 6 に送り込まれる初期偏光が完全には直交していない本実施態様では、(2) 式に示された形式の行列を得る代わりに、(1 6) 式で示す形式の行列が得られる。

【 数 1 1 】

20

$$e^{i\theta_1} \begin{pmatrix} U_{11}E_sE_{Lox} & (U_{12} + \sigma U_{11})E_bE_{Lox} \\ U_{21}E_sE_{Loy} & (U_{22} + \sigma U_{21})E_bE_{Loy} \end{pmatrix} \quad (16)$$

【 0 0 5 5 】

(1 7) 式で示す形式が望まれる測定結果を得るため、

【 数 1 2 】

$$\begin{pmatrix} U_{11} & U_{12} \\ U_{21} & U_{22} \end{pmatrix} = U = PA \quad (17)$$

30

【 0 0 5 6 】

本実施態様の較正システム 1 0 1 は、電界振幅 (a 、 b 、 L_{ox} 、及び、 L_{oy}) について解き、さらに、オーバーラップ・パラメータについても解かなければならない。やはり、ステップ 5 0 2 を参照すると、本実施態様では、まず、制御光学素子 (例えば、パッチコード) を用いて、行列 (1 6) が求められる。これは、本 3 ステップ・アプローチの最初のステップである。

【 0 0 5 7 】

次に図 5 のステップ 5 0 4 を参照すると、本実施態様では、次に、3 ステップ・アプローチの第 2 のステップが実施される。ステップ 5 0 4 において、本較正システムは、制御光学コンポーネントに関する第 2 組の干渉応用測定結果を受信する。実施態様の 1 つでは、やはり、パッチコードから構成されており、その伝達関数行列はユニタリ行列になる。さらに、実施態様の 1 つでは、制御光学コンポーネントは、同じパッチコードから構成されるが、パッチコードは、ステップ 5 0 2 における第 1 組の測定結果の受信中に配置された位置とは異なる位置に配置される。こうした実施態様の場合、パッチコードの位置の違いは、第 2 のステップにおけるパッチコードの伝達関数行列が、第 1 のステップで受信した伝達関数行列とは異なるが、やはり、ユニタリ行列になるようにするのに十分でなければならない。

40

【 0 0 5 8 】

50

さらに説明すると、ある実施態様の場合、パッチコードの第1の配置では、例えば、ある長さのパッチコードがテーブル上にロール、パイル、ライン等をなすように配置される。パッチコードに第2の配置を施すため、ユーザまたはメカニズムは、例えば、ねじったり、反転したり、位置を変えたり、あるいは、別様に、パッチコードの物理的配向を変更することによって、パッチコードの位置を調整する。そうすることで、同じパッチコード（または他の制御光学コンポーネント）を用いて、第1の伝達関数行列A及び第2の伝達関数行列Bの両方を得ることが可能になる。伝達関数行列Pは、DUT 116に後続するカプラ及び光検出器120及び122に至る光路117に対応する。やはり、本実施態様には、こうした制御光学コンポーネントが利用されるが、本較正法は、さまざまな他のタイプの光学コンポーネントを制御光学コンポーネントとして利用するのにも適している。

10

【0059】

やはりステップ504を参照すると、較正システム101は、受信した第2組の干渉応用測定結果から、(18)式で示す行列を作成する。

【数13】

$$e^{i\theta_2} \begin{pmatrix} T_{11}E_aE_{LOx} & (T_{12} + \sigma T_{11})E_bE_{LOx} \\ T_{21}E_aE_{LOy} & (T_{22} + \sigma T_{21})E_bE_{LOy} \end{pmatrix} \quad (18)$$

【0060】

次に、本3ステップ・アプローチの3番目のステップ506を参照すると、本実施態様の較正システム100は、制御光学コンポーネントに関する第3組の干渉応用測定結果を受信する。実施態様の1つでは、制御光学コンポーネントは、やはり、パッチコードから構成され、その伝達関数行列は、ユニタリ行列になる。さらに、実施態様の1つでは、制御光学コンポーネントは、同じパッチコードから構成されるが、パッチコードは、それぞれ、ステップ502及び504における第1組及び第2組の測定結果の受信中に配置された、第1及び第2の先行位置とは異なる第3の位置に配置される。こうした実施態様の場合、パッチコードの位置の違いは、第3のステップにおけるパッチコードの伝達関数行列が、第1及び第2のステップで受信した伝達関数行列とは異なるが、やはり、ユニタリ行列になるようにするのに十分でなければならない。やはり、本実施態様には、こうした制御光学コンポーネントが利用されるが、本較正法は、さまざまな他のタイプの光学コンポーネントを制御光学コンポーネントとして利用するのにも適している。

20

30

【0061】

さらに、ステップ506を参照すると、較正システム101は、受信した第3組の干渉応用測定結果から、(19)式で示す行列を作成する。

【数14】

$$e^{i\theta_3} \begin{pmatrix} V_{11}E_aE_{LOx} & (V_{12} + \sigma V_{11})E_bE_{LOx} \\ V_{21}E_aE_{LOy} & (V_{22} + \sigma V_{21})E_bE_{LOy} \end{pmatrix} \quad (19)$$

40

【0062】

(16)、(18)、及び、(19)式で示す行列を求めた後、本実施態様では、次に、行列(18)に行列(16)の逆数を掛ける。結果得られる積は、(20)式として示される。

【数 1 5】

$$\frac{e^{i(\theta_2 - \theta_1)} \begin{pmatrix} (U_{22} + \sigma U_{21})E_b E_{LOy} & -(U_{12} + \sigma U_{11})E_b E_{LOx} \\ -U_{21}E_b E_{LOy} & U_{11}E_b E_{LOx} \end{pmatrix}}{E_a E_b E_{LOy} E_{LOx} (U_{11} U_{21} - U_{12} U_{21})} \begin{pmatrix} T_{11}E_a E_{LOx} & (T_{12} + \sigma T_{11})E_b E_{LOx} \\ T_{21}E_a E_{LOy} & (T_{21} + \sigma T_{21})E_b E_{LOy} \end{pmatrix} \quad (20)$$

【0 0 6 3】

式を簡単に書くため、(23)式で等価が示される。

10

【0 0 6 4】

$$\det(U) = U_{11} U_{22} - U_{21} U_{12} \quad (21)$$

(20)式を簡単にし、(21)式を利用することによって、下記の(22)式が得られる。

【数 1 6】

$$\frac{e^{i\theta_2 - \theta_1}}{\det(U)} \begin{pmatrix} T_{11}(U_{22} + \sigma U_{21}) + T_{21}(U_{12} + \sigma U_{11}) & \frac{E_b}{E_a} \left[(U_{22} + \sigma U_{21})(T_{12} + \sigma T_{11}) \right] \\ \frac{E_a}{E_b} [T_{21}U_{11} - T_{11}U_{21}] & U_{11}(T_{22} + \sigma T_{21}) - U_{21}(T_{12} + \sigma T_{11}) \end{pmatrix} \quad (22)$$

20

【0 0 6 5】

(22)式をさらに簡単にすると、下記に示す(23)式が得られる。

【数 1 7】

$$\frac{e^{i\theta_2 - \theta_1}}{\det(U)} \begin{pmatrix} U_{22}T_{11} - U_{12}T_{21} + \sigma(U_{21}T_{11} - U_{11}T_{21}) & \frac{E_b}{E_a} \left[U_{22}T_{12} - T_{22}U_{12} + \sigma(U_{21}T_{12} + T_{11}U_{22} - U_{12}T_{21} - U_{11}T_{22}) + \sigma^2(U_{21}T_{11} - T_{21}U_{11}) \right] \\ \frac{E_a}{E_b} [U_{11}T_{21} - U_{21}T_{11}] & U_{11}T_{22} - U_{21}T_{12} + \sigma(U_{11}T_{21} - U_{21}T_{11}) \end{pmatrix} \quad (23)$$

30

【0 0 6 6】

引き続き、(23)式を簡単にすると、(24)式が得られる。

【数 1 8】

$$e^{i\theta_2 - \theta_1} \begin{pmatrix} g + \sigma h^* & \frac{E_b}{E_a} [h + \sigma(g - g^*) + \sigma^2 h^*] \\ \frac{E_a}{E_b} (-h^*) & g^* - \sigma h^* \end{pmatrix} \quad (24)$$

40

【0 0 6 7】

この単純化は、 U^{-1} がユニタリ行列であり、従って、 $U_{11} U_{22} - U_{21} U_{12} = (U_{22} U_{11} - U_{12} U_{21})^*$ 及び $U_{11} U_{21} - U_{21} U_{11} = -(U_{22} U_{12} - U_{12} U_{22} U_{12})$ になるため、実施可能である。留意すべきは、本出願の目的上、 a_{LOx} 、 a_{LOy} 、 b_{LOx} 、及び、 b_{LOy} が、強度に関する実数とみなされるという点である。一方、 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 、 h 、及び、 σ は、複素数である。

50

【0068】

次に、本実施態様の較正システム101によって、複素位相係数(25)

$$e^{i(\phi_2 - \phi_1)} \quad (25)$$

が、本較正法にとって重要な情報が含まれていないので、(24)式から除去される。較正システム101は、(24)式の上方左の行列要素と下方右の行列要素を足すことによって、位相係数(25)を除去する。そうすることで、本実施態様の較正システム101は、(26)式を得ることになる。

【0069】

$$e^{i(\phi_2 - \phi_1)} [g + h^* + g^* - h^*] = 2 e^{i(\phi_2 - \phi_1)} [\operatorname{Re}\{g\}] \quad (26)$$

10

さらに、(26)式の結果の位相は、(27)式によって示される。

【0070】

$$e^{i(\phi_2 - \phi_1)} \quad (27)$$

従って、本実施態様の場合、較正システム101は、(24)式の行列に下記に示す(28)式を掛けることによって(24)式の位相係数を除去する。

【0071】

$$\exp(-i(\phi_2 - \phi_1)) \quad (28)$$

結果として、較正システム101は、ステップ502及び504で得られたデータから、下記の要素を備えた行列(29)を得ることになる。

【数19】

20

$$M1 = \begin{pmatrix} g + \sigma h^* & \frac{E_b}{E_a} [h + \sigma(g - g^*) + \sigma^2 h^*] \\ -\frac{E_a}{E_b} h^* & g^* - \sigma h^* \end{pmatrix} \quad (29)$$

【0072】

簡略化のため、明白に細部が示されていないが、本実施態様の較正システム101によって、同様の一連の演算が実施され、(19)式に(16)式の逆数を掛けて、下記に示すもう1つの行列(30)が生成される。

【数20】

$$M2 = \begin{pmatrix} r + \sigma s^* & \frac{E_b}{E_a} [s + \sigma(r - r^*) + \sigma^2 s^*] \\ -\frac{E_a}{E_b} s^* & r^* - \sigma s^* \end{pmatrix} \quad (30)$$

【0073】

次に、図5のステップ508を参照すると、本較正法のこの時点において、較正システム101によって、行列(29)及び(30)におけるそれぞれの要素を表わす複素数が得られた。しかし、ステップ508に記載のように、また、2ステップ・アプローチに関連して詳細に上述したように、本較正法の目的は、得られた複素数から b と a の比 R を求めることにある。さらに、偏光の直交性に欠けるため、本較正法のもう1つの目的は、得られた複素数から σ を求めることにある。そうすることで、また、上述の2ステップ・アプローチに記載のと同じやり方で、本較正法は、DUTの光学特性を正確に測定することが可能になる。本較正法の詳細については、以下に述べることにする。

【0074】

実施態様の1つにおいて、本較正法では、まず、下記のように N_1 の値を定義して、比 R 及び σ について解く：

50

$$N_1 \quad g + h^* - g + (h^*) = 2 \operatorname{Re} \{ h^* \} \quad (31)$$

実施態様の1つにおいて、較正システム101は、行列(29)の上方左の要素から行列(29)の下方右の要素の共役を引いて、(31)式として示された結果を得る。同様に、較正システム101は、行列(30)の上方左の要素から行列(30)の下方右の要素の共役を引く結果として、 N_2 も定義する。

【0075】

$$N_2 \quad r + s^* - r + s = 2 \operatorname{Re} \{ s^* \} \quad (32)$$

さらに、図5のステップ508に進み、引き続き、比R及びの解を求めようと試みる際に、本方法では、計算の効率上、Rが次のように定義される。

【0076】

$$R = b / a \quad (33)$$

さらに、本実施態様の較正システム101は、行列(24)の下方左の要素に対応する複素数として、 N_3 を定義する。従って、

$$N_3 = -h^* / R \quad (34)$$

また、本実施態様では、(34)式を利用して、それぞれ、(35)及び(36)式で示すように、 h^* 及び s^* に関する解析式を定義する。

【0077】

$$h^* = -R N_3 \quad (35)$$

$$s^* = -R N_4 \quad (36)$$

(36)式において、 N_4 は、行列(30)の下方左の複素数要素である。本較正方法では、(35)及び(36)式を利用して、それぞれ、(31)及び(32)式を(37)及び(38)式のように書き直す。

【0078】

$$-2 \operatorname{Re} \{ N_3 \} R = N_1 \quad (37)$$

$$-2 \operatorname{Re} \{ N_4 \} R = N_2 \quad (38)$$

が複素数の場合、方程式(37)及び(38)の結果は次の通りである：

$$N_1 / N_2 = (R N_3 R + i N_3 i) / (R N_4 R + i N_4 i) \quad (39)$$

ここで、添え字R及びiは、それぞれ、実数及び虚数成分を表わしている。本較正法では、さらに、解を求めると、の実数成分と虚数成分の比であるが得られる。

【0079】

$$= (N_3 R - N_4 R (N_1 / N_2)) / (N_3 i - N_4 i (N_1 / N_2))$$

$$= i / R \quad (40)$$

(37)及び(38)式を利用すると、xは、下記のように(41)式に従って定義される。

【0080】

$$x = R R = N_1 / (-2 [N_3 R - N_3 i]) \quad (41)$$

行列(29)の下方左の要素に行列(29)の上方右の要素を掛けると、(42)式が得られる。

【0081】

$$N_6 = |h|^2 - h^* (R + i R) (g - g^*) - (R + i R) g^{*2} \quad (42)$$

ここで、 N_6 は、やはり既知の量である。行列(29)の下方右の要素に行列(29)の上方左の要素を加えると、(43)式が得られる。

【0082】

$$N_5 = g - g^* + 2 h^* \quad (43)$$

方程式(42)を及びRに関して書き直すと、最終的には、(45)、(46)、及び、(47)式で示すように単純化される(44)式を得ることができる。

【0083】

$$- |h|^2 - h^* (R + i R) N_5 + (5 + i R)^2 h^{*2} = N_6$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned}
 & -R^2 |N_3|^2 + RN_3 (R + iR) N_5 + (R + iR)^2 R^2 N_3^2 \\
 & = N_6 \\
 & -R^2 |N_3|^2 + N_3 N_5 (x + ix) + (x^2 - 2ix^2 - x^2) N_3^2 \\
 & = N_6 \\
 & R_2 = (N_3 N_5 (x + ix) + (x^2 + 2ix - x^2) N_3^2 - N_6) / |N_3|^2
 \end{aligned}
 \tag{44}$$

次に、(41)式を利用すると、(48)式が得られる。

【0084】

$$R = x / R \tag{48}$$

10

(47)及び(48)式を利用して、 R の解が求められる。さらに、下記の(49)式を用いられる

$$1 = R \tag{49}$$

20

本較正法101は、自体を解くことが可能である。従って、本較正方法によれば、 a と b の比 R と、オーバーラップ・パラメータの両方を解く方法が得られる。 R 及び a は、制御光学素子の第1、第2、及び、第3組の干渉応用測定結果を得るために用いられる光の波長の関数である。図1のWRU106によって、制御光学素子の第1、第2、及び、第3組の干渉応用測定結果を得るために用いられる光の波長が既知の値になるという保証が得られる。もう一度、図5のステップ508を参照すると、後述するように、本実施態様では、比 R 及びオーバーラップ・パラメータを求めることによって、干渉応用光ネットワーク・アナライザの正確な較正が実現した。すなわち、 R の値及び a の値を知ることによって、次に、ある特定のDUTに関する偏光分解伝達関数行列を求めることが可能になる。換言すれば、本発明の実施態様の方法及びシステムを利用すると、DUTの測定に影響を及ぼすことになる、干渉応用光ネットワーク・アナライザに関連したまたはそれに固有の不確実性を伴うことなく、DUTを正確に測定することが可能になる。

【0085】

本発明の実施態様の1つについてさらに説明すると、 a と b の比 R を得た後、DUTは、第1、第2、及び、第3組の干渉応用測定結果を得るために用いられる制御光学素子(例えば、パッチコード)を取り替える。この実施態様の場合、電界振幅は、制御素子の第1、第2、及び、第3組の干渉応用測定が行われたときと同じままであると仮定する。図6のフローチャート600には、DUTの測定ステップがステップ602として示されている。図6のステップ502、504、506、及び、508が、図5のステップと同じであることは明らかであり、簡略化のため、前記ステップに関する説明の反復は、ここでは、控えることにする。従って、図6のステップ602に記載のように、本実施態様では、較正された干渉応用光ネットワーク・アナライザにおいてDUTの干渉応用測定結果を受信する。本実施態様の目的上、較正された干渉応用光ネットワーク・アナライザは、図5のステップ502 - 508が実施されたものである。

30

【0086】

やはりステップ602を参照すると、本実施態様の較正システム101によれば、受信したDUTの干渉応用測定結果から、(50)式で示す行列 D が得られるが、ここで、 J は、被測定装置の伝達関数行列である。

40

【数21】

$$D = e^{i\theta_0} \begin{pmatrix} D_{11}E_aE_{Lox} & D_{12}E_bE_{Lox} \\ D_{21}E_aE_{Loy} & D_{22}E_bE_{Loy} \end{pmatrix} = PJ \tag{50}$$

【0087】

行列 D の4つの要素は、複素数である。ただし、この時点では、個々の電界振幅(a 、 b 、 L_{ox} 、及び、 L_{oy})または個々の伝達関数行列要素(D_{11} 、 D_{12}

50

、 D_{21} 、及び、 D_{22})に関する値は不明である。

【0088】

次に、本実施態様では、較正行列として前に導き出された行列(16)(ここでは M_{ca1} と呼ばれる)を利用し、 M_{ca1} の逆数に D を掛けることによって示される、新しい行列を生成する。この積が、(51)式で示されている。

【数22】

$$\frac{e^{i(\theta_D - \theta_1)}}{\det(U)} \begin{pmatrix} D_{11}(U_{22} + \sigma U_{21}) - D_{21}(U_{12} + \sigma U_{11}) & \frac{E_b}{E_a} \left[(U_{22} + \sigma U_{21})(D_{12} + \sigma D_{11}) - \right. \\ \left. \frac{E_a}{E_b} [(D_{22} + \sigma D_{21})(U_{12} + \sigma U_{11})] \right] \\ \frac{E_a}{E_b} [D_{21}U_{11} - D_{11}U_{21}] & U_{11}(D_{22} + \sigma D_{21}) - U_{21}(D_{12} + \sigma D_{11}) \end{pmatrix} \quad (51)$$

10

【0089】

上述の2ステップ・アプローチと同様、本実施態様は行列(52)を得ようとするが、行列(52)は、干渉応用光ネットワーク・アナライザにおける不確実性またはエラーによる影響を受けない。

【数23】

$$\frac{1}{\det(U)} \begin{pmatrix} D_{11}U_{22} - D_{21}U_{12} & U_{22}D_{12} - D_{22}U_{12} \\ D_{21}U_{11} - D_{11}U_{21} & U_{11}D_{22} - U_{21}D_{12} \end{pmatrix} = U^{-1}D = A^{-1}J \quad (52)$$

20

【0090】

本較正法を利用すると、(51)式からの重要ではない複素定数内において、また、及び、 b と a の比 R に関して前に得られた値を利用して、行列(52)を求めることが可能である。すなわち、本実施態様の較正システムは、(51)式の下方左の要素に R を掛けて、(53)式を求める。

【0091】

$$D_{21}U_{11} - D_{11}U_{21} \quad (53)$$

30

次に、本実施態様では、(53)式に を掛けて、上方左の要素からその積を引き、下方右の要素にその積を足す。結果得られる行列は、下記に(54)式として示される。

【数24】

$$\frac{e^{i(\theta_D - \theta_1)}}{\det(U)} \begin{pmatrix} D_{11}U_{22} - D_{21}U_{12} & \frac{E_b}{E_a} \left[U_{22}D_{12} - D_{22}U_{12} + \sigma \begin{pmatrix} U_{21}D_{12} + D_{11}U_{22} \\ -U_{12}D_{21} - U_{11}D_{22} \end{pmatrix} \right] \\ D_{21}U_{11} - D_{11}U_{21} & \begin{pmatrix} +\sigma^2(U_{21}D_{11} - D_{21}U_{11}) \\ U_{11}D_{21} - U_{21}D_{12} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \quad (54)$$

40

【0092】

引き続き、本較正システム101は、さらに、(54)式の上方右の要素に $1/R$ を掛けて、その要素を補償する。その後、上方右の要素から と上方左の要素との積を引き、 と下方右の要素との積を加えるものとする。最後に、本較正システム101は、²と新しい下方左の要素との積を求めて、上方左の要素にそれを加える。最終的には、本方法によって、(55)式で示す結果が得られる。

【数 2 5】

$$\frac{e^{i(\theta_D - \theta_1)}}{\det(U)} \begin{pmatrix} D_{11}U_{22} - D_{21}U_{12} & U_{22}D_{12} - D_{22}U_{12} \\ D_{21}U_{11} - D_{11}U_{21} & U_{11}D_{21} - U_{21}D_{12} \end{pmatrix} \quad (55)$$

【0093】

(55)式が、複素係数を除くと、(52)式と同じであるのは明らかである。しかし、この複素係数は、DUTの光学的性質の測定に影響することはない。これらの光学的性質には、例えば、DUTの透過率及び反射率、挿入損失、偏光依存損失(PDL)、群遅延、偏光モード分散(PMD)、及び、色分散が含まれている。従って、本実施態様によれば、DUTの偏光分解伝達関数を求めることが可能になる。

【0094】

次に、図7を参照すると、本発明の実施態様の1つに従って実施されるステップのフローチャート700が示されている。すなわち、図7のフローチャート700によって、図3または5の較正ステップが済んだ後、実施態様の1つにおいて実施されるステップの要約が示される。ステップ702では、DUTの干渉応用測定結果が、上述のやり方で得られる。

【0095】

次にステップ704を参照すると、本実施態様では、次に、DUTに関する干渉応用測定結果に関連して、干渉応用光ネットワーク・アナライザに対応する較正結果を利用することにより、干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の光学特性に起因する不確実性を低減して、DUTの光学的性質が求められる。実施態様の1つ(例えば、図3に関連して解説の実施態様)における較正結果は、 y と x の比R、及び、(2)で示す行列Wである。もう1つの実施態様(例えば、図5に関連して解説の実施態様)における較正結果は、 M_{ca1} 、及び、 b と a の比Rである。

【0096】

本実施態様の場合、本較正システムによって得られる較正結果は、 M_{ca1} 、及び、 b と a の比Rである。すなわち、分りやすくするため、本較正法に関する上述の説明では、特定の較正結果(M_{ca1} 、及び、 b と a の比R)が導き出されるが、本発明は、こうした特定の較正結果の導出に制限されるものではない。従って、言うまでもないが、本発明は、さまざまな他の較正結果を導き出して、それらの較正結果を利用し、DUTの光学的性質を求めるのにも適している。すなわち、本発明は、例えば、制御光学素子の複数の干渉応用測定結果を利用して導き出される他のさまざまなタイプの較正結果を求めて、利用するのに適している。もう1つの例として、多くのアプローチを利用して、複数の干渉応用測定結果を解析し、干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の光学特性及び対応するエラーの影響を最終的に導き出すことが可能である。従って、本発明の実施態様は、固有の光学特性情報を利用して、DUTの測定結果から対応する不確実性を除去する(例えば、干渉応用光ネットワーク・アナライザを較正する)のにも適している。従って、干渉応用光ネットワーク・アナライザに固有の光学特性または不確実性に帰せられるエラーまたは不確実性を低減して、DUTの光学的性質を求めることが可能である。

【0097】

また、本実施態様では、図5のステップ502 - 508に関連して解説した方法を用いて、干渉応用光ネットワーク・アナライザを較正することができるので、干渉応用光ネットワーク・アナライザ内に極めて高価で光学的に不活性なコンポーネントを設ける必要がなくなる。代わりに、本実施態様では、干渉応用光ネットワークアナライザをそれほど高価ではないコンポーネントから構成することが可能になり、さらに、それによって生じる不確実性は図5の較正法を利用して補償される。

【0098】

さらにもう1つの利点として、本実施態様では、3つの干渉応用較正測定結果だけで、DUTの光学的性質を求めることが可能である。また、図1の較正システム101によって実施される本実施態様の較正法では、エンド・ユーザに対して過度の特殊訓練が要求されたり、あるいは、厳しい技術的要求がなされたりすることはない。従って、本実施態様によれば、光学コンポーネントの光学特性を容易に求めるための方法及びシステムが得られることになる。本発明のさまざまな実施態様によって、さらに、上記成果を達成し、かつ、光学コンポーネントの光学特性を正確に求めることが可能な方法及びシステムも得られる。本発明のさまざまな実施態様によって、さらに、上記成果を達成し、かつ、光学的に不活性なコンポーネントから構成された光ネットワーク・アナライザの利用を必要としない方法及びシステムも得られる。

10

【0099】

本発明の特定の実施態様に関する以上の説明は、例証及び解説を目的として提示されたものである。それらは、本発明を余すところなく説明しようとか、開示の形態にそっくりそのまま制限しようとする意図したものではなく、上記教示に鑑みて、多くの修正及び変更を加えることが可能である。上記実施態様は、本発明の原理及びその実際の応用例を最も分りやすく説明することによって、他の当該技術者が、企図する特定の用途に合わせたさまざまな修正を施して、本発明及びそのさまざまな実施態様を最も有効に利用できるように選択され、解説されたものである。本発明の範囲は、付属の請求項及びその同等物によって規定されるものとする。

【図面の簡単な説明】

20

【0100】

【図1】本発明のさまざまな実施態様による、較正システムが一体化された干渉応用光ネットワーク・アナライザの概略図。

【図2A】本発明の実施態様の1つに従って、較正システムが干渉応用光ネットワーク・アナライザと一体化された、較正システム及び干渉応用光ネットワーク・アナライザのブロック図。

【図2B】本発明の実施態様の1つに従って、較正システムが干渉応用光ネットワーク・アナライザと一体化されない、較正システム及び干渉応用光ネットワーク・アナライザのブロック図。

【図3】本発明の2ステップ・アプローチ実施態様に従って実施される較正ステップのフローチャートを示す図。

【図4】本発明の2ステップ・アプローチ実施態様に従って実施されるDUT測定ステップのフローチャートを示す図。

【図5】本発明の3ステップ・アプローチ実施態様に従って実施される較正ステップのフローチャートを示す図。

【図6】本発明の3ステップ・アプローチ実施態様に従って実施されるDUT測定ステップのフローチャートを示す図。

【図7】本発明の実施態様の1つによる干渉応用光ネットワーク・アナライザの較正後に実施されるDUT測定ステップのフローチャートを示す図。

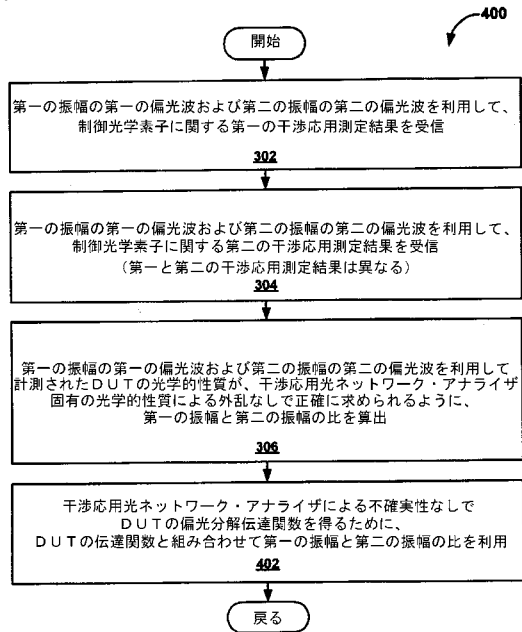
【符号の説明】

40

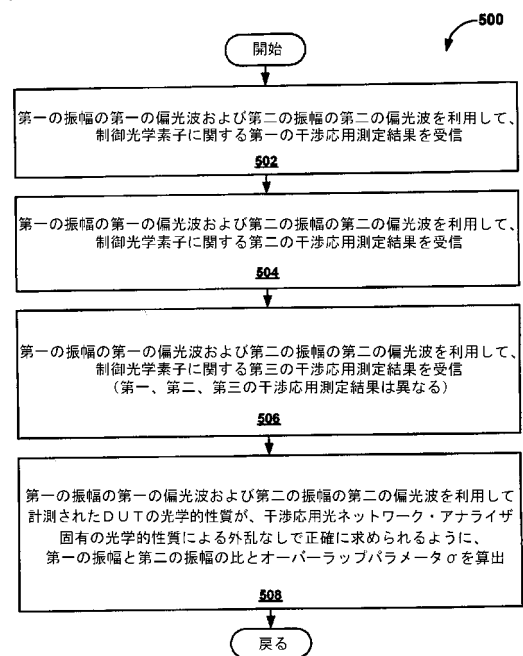
【0101】

- 100 干渉応用光ネットワーク・アナライザ
- 101 較正システム
- 126 プロセッサ
- 128 干渉応用測定結果受信部分
- 130 ユーザ・インターフェイス

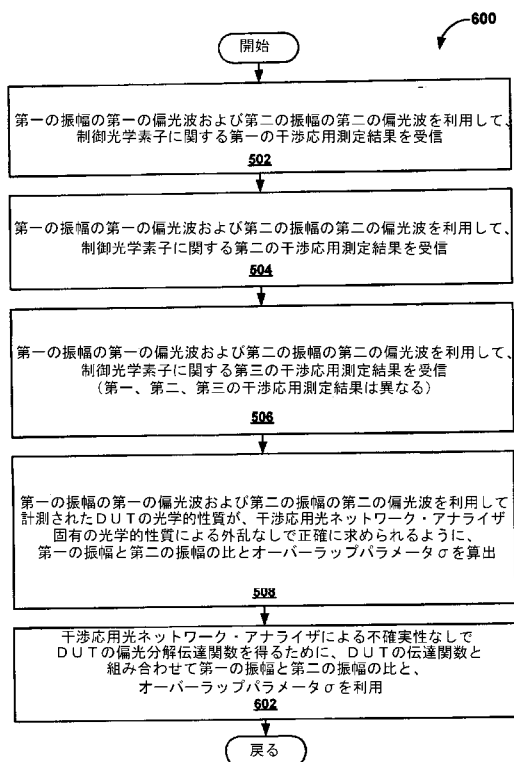
【図 4】



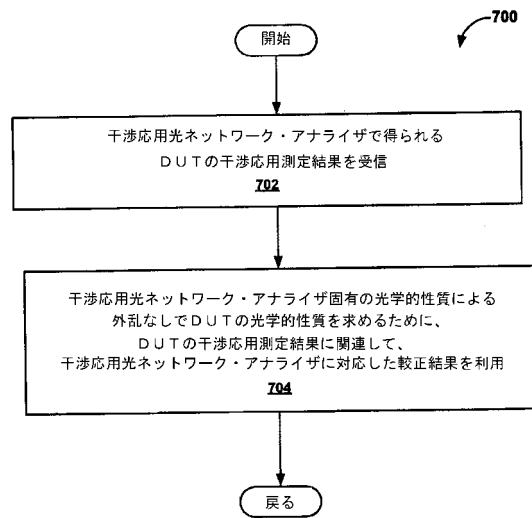
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 グレゴリー・ディー・ヴァンウィッグゲレン

アメリカ合衆国 9 5 0 3 2 カリフォルニア州 ロス・ガトス、ダーダネリ・レーン 1 1 4 , ナンバ
ー 2 2

Fターム(参考) 2G086 EE06 EE12