

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4365698号
(P4365698)

(45) 発行日 平成21年11月18日 (2009.11.18)

(24) 登録日 平成21年8月28日 (2009.8.28)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 M 11/02 (2006.01)	GO 1 M 11/02 K
GO 1 J 4/04 (2006.01)	GO 1 J 4/04 Z

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2004-63240 (P2004-63240)	(73) 特許権者	000006895
(22) 出願日	平成16年3月5日 (2004.3.5)		矢崎総業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-249694 (P2005-249694A)		東京都港区三田1丁目4番28号
(43) 公開日	平成17年9月15日 (2005.9.15)	(74) 代理人	100060690
審査請求日	平成18年10月24日 (2006.10.24)		弁理士 瀧野 秀雄
		(74) 代理人	100108017
			弁理士 松村 貞男
		(72) 発明者	中園 晃充
			神奈川県横須賀市光の丘3番1号 株式会
			社オプトウエーブ研究所内
		(72) 発明者	井上 嘉規
			神奈川県横須賀市光の丘3番1号 株式会
			社オプトウエーブ研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 群遅延時間差測定方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの出力光を互いに直交する2つの直線偏光に分岐して別々の光路に伝播させ、該別々の光路を伝播した2つの直線偏光を合成し、該合成した2つの直線偏光を測定対象に対し、各偏光の方向を測定対象の複屈折軸にそれぞれ一致させて入射し、該2つの直線偏光の入射によって前記測定対象から出射する前記2つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成し、該形成した干渉縞の鮮明度が最大になる前記2つの直線偏光を伝播する光路間の光路差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播した前記2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定する群遅延時間差測定方法であって、

前記測定対象の複屈折軸の一方を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、前記他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して前記一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とを測定し、

前記測定した2つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにし、

前記光路長の測定を、前記2つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、前記2つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後でそれぞれ行い、

10

20

該切り替え前と後でそれぞれ測定された他方の光路の光路長差に基づいて前記群遅延時間差を測定する

ことを特徴とする群遅延時間差測定方法。

【請求項 2】

光源からの出力光を直線偏光にし、該直線偏光の方向を測定対象の複屈折軸に対し 4 5 度の所定角度で入射し、該直線偏光の入射によって前記測定対象から出射される出力光を前記測定対象の複屈折軸にそれぞれ一致した方向の互いに直交する 2 つの直線偏光に分岐して別々の光路に伝播させ、該別々の光路を伝播した 2 つの直線偏光を合成し、該合成した 2 つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成し、該形成した干渉縞の鮮明度が最大になる前記 2 つの直線偏光を伝播する光路間の光路差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播した前記 2 つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定する群遅延時間差測定方法であって、

10

前記測定対象の複屈折軸の一方を伝播した直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、前記他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して前記一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とを測定し、

前記測定した 2 つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する 2 つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにし、

前記光路長の測定を、前記 2 つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、前記 2 つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後でそれぞれ行い、

20

該切り替え前と後でそれぞれ測定された他方の光路の光路長差に基づいて前記群遅延時間差を測定する

ことを特徴とする群遅延時間差測定方法。

【請求項 3】

光源と、該光源からの出力光を互いに直交する 2 つの直線偏光に分岐する分岐手段と、該分岐手段によって分岐した前記 2 つの直線偏光を別々に伝播させる 2 つの光路と、該 2 つの光路を伝播した 2 つの直線偏光を合成する合成手段と、該合成手段によって合成した 2 つの直線偏光を測定対象に対し、各偏光の方向を測定対象の複屈折軸にそれぞれ一致させて入射する光入射手段と、該 2 つの直線偏光の入射によって前記測定対象から出射する前記 2 つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成する干渉縞形成手段とを備え、該干渉縞形成手段により形成した干渉縞の鮮明度が最大になる前記 2 つの直線偏光を伝播する光路間の光路差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播した前記 2 つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定する群遅延時間差測定方法であって、

30

前記測定対象の複屈折軸の一方を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、前記他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して前記一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とをそれぞれ測定するため前記光路の光路長を調整する光路長調整手段を備え、

40

前記測定した 2 つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する 2 つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにし、

前記光路長調整手段は、前記 2 つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、前記 2 つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後で光路長を調整し、

該切り替え前と後で前記光路長調整手段により調整されそれぞれ測定された他方の光路の光路長差に基づいて前記群遅延時間差を測定する

50

ことを特徴とする群遅延時間差測定装置。

【請求項 4】

光源と、該光源からの出力光を直線偏光にし、該直線偏光をその成分方向を測定対象の複屈折軸に対し 45 度の所定角度で入射する入射手段と、該直線偏光の入射によって前記測定対象から出射される出力光を前記測定対象の複屈折軸にそれぞれ一致した方向の互いに直交する 2 つの直線偏光に分岐する分岐手段と、該分岐した 2 つの直線偏光を別々に伝播させる 2 つの光路と、該 2 つの光路を別々に伝播した 2 つの直線偏光を合成する合成手段と、該合成した 2 つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成する干渉縞形成手段とを備え、該干渉縞形成手段により形成した干渉縞の鮮明度が最大になる前記 2 つの直線偏光を伝播する光路間の光路差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播した前記 2 つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定する群遅延時間差測定装置であって、

10

前記測定対象の複屈折軸の一方を伝播した直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、前記他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して前記一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とを測定するため前記光路の光路長を調整する光路長調整手段を備え、

前記測定した 2 つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する 2 つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにし、

前記光路長調整手段は、前記 2 つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、前記 2 つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後で光路長を調整し、

20

該切り替え前と後で前記光路長調整手段により調整されそれぞれ測定された他方の光路の光路長差に基づいて前記群遅延時間差を測定する

ことを特徴とする群遅延時間差測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、干渉法を利用した群遅延時間差測定方法及び装置に係り、より詳細には、特に光ファイバのような測定対象の偏波モード分散を測定するために適用される群遅延時間差測定方法及び装置に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

通信の高速化に伴い、伝送媒体である光ファイバの光伝送特性である偏波モード分散を把握することが重要になってきている。この偏波モード分散は、光ファイバの複屈折軸の進相軸方向と遅相軸方向の直線偏光間に生じる群遅延時間差である。

【0003】

偏波モード分散の測定法は、時間領域で測定するものと周波数領域で測定するものに分類でき、時間領域では干渉法（例えば特許文献 1 参照。）、周波数領域では固定アナライザ法（例えば特許文献 2 及び特許文献 3 参照。）及び偏光解析法（ジョーンズマトリクス法、ポアンカレ球法、偏光状態法）がある。これらのなかで干渉法は、他の方法に比べて測定精度が優れているので、微小な偏波モード分散を測定するのに適している。この干渉法は、測定対象の複屈折軸の進相軸と遅相軸方向の 2 つの偏波モード間の群遅延時間差を補正する 2 つの直線偏光間の光路差を干渉計により測定することで、光路差から群遅延時間差を求める方法である。

40

【0004】

具体的には、干渉法による偏波モード分散測定装置として、従来、図 5 に示す構成のものがある。同図において、光源 31 からの広帯域光は、偏光子 32 によって互いに直交する 2 つの直線偏光に分岐される。2 つの直線偏光は、固定鏡 33 を有する光路 1 と可動鏡

50

34を有する光路2とをそれぞれ伝播される。光路1を通過した一方の直線偏光は固定鏡33によって、光路2を通過する他方の直線偏光は可動鏡34によってそれぞれ反射され、両直線偏光は半透鏡35によって合成される。合成された2つの直線偏光は、1/2波長板36を介して測定対象である光ファイバ37に入射される。2つの直線偏光が入射されることによって光ファイバ37から出射される2つの互いに直交する直線偏光は、検光子38を介してフォトダイオード39によって受光される。なお、測定対象の光ファイバ37は、1/2波長板36と検光子38との間に光軸を合わせて着脱自在に装着されるようになっている。

【0005】

上記1/2波長板36は、2つの互いに直交する直線偏光の方向を光ファイバ37の複屈折軸の進相軸及び遅相軸にそれぞれ一致するように調整するためのものである。また、上記検光子38は、光ファイバ37の複屈折軸に対して45度に配置されることによって、光ファイバ37からの出力光である2つの直線偏光を干渉させて干渉縞を生成する。この干渉縞はフォトダイオード39によって受光されて、光電変換される。

【0006】

測定に当たっては、まず、光ファイバ37を装着しない状態で、2つの直線偏光の光路長が等しくなるように設定し、そのときの可動鏡34の位置を初期位置x0とする。初期位置x0は、具体的には、1/2波長板36と検光子38との間に測定対象の光ファイバ37がなく、これらの間を伝播する直線偏光に群遅延時間差が生じないようにした状態で、干渉縞の鮮明度が最大になる可動鏡34の位置から定めることができる。その後、光ファイバ37を、1/2波長板36と検光子38との間に装着し、この状態で、可動鏡34を移動させて干渉縞の鮮明度をフォトダイオード39によって光電変換して得た信号によって観測する。群遅延時間差が2つの直線偏光間の光路差によって補償されると、干渉縞の鮮明度が最大になるので、このことを利用してフォトダイオード39の信号レベルが最大になった可動鏡34の位置を求める。図示の構成の場合、反射を利用しているので、初期位置x0からの可動鏡34の移動距離をdとすると、群遅延時間差を補償した光路差はdの2倍となる。

【0007】

今、光路差を2d、光速をcとすると、群遅延時間差tは以下の式(1)で表される。

$$t = 2d / c \quad \dots (1)$$

また、測定対象の光ファイバの長さをLとすると、偏波モード分散 τ_p は次式(2)のように表される。

$$\tau_p = t / L = 2d / (cL) \quad \dots (2)$$

よって、可動鏡34の移動距離dを測定し、式(1)によって求めた群遅延時間差tを式(2)に代入することによって、偏波モード分散 τ_p を求めることができる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記の干渉法を利用した偏波モード分散測定法では、2つの互いに直交する直線偏光の光路長が等しくなる可動鏡34の位置(初期位置)を測定対象の光ファイバ37の存在しない状態で測定する必要がある。特に、測定対象の光ファイバ37の偏波モード分散を広帯域にわたって測定するために光源(測定波長)を変えた場合には、光学系(レンズなど)の光軸調整によって微小に光路長が変化するために、測定波長を変える度に可動鏡の初期位置を測定する必要がある。初期位置の測定には、測定対象を取り外して測定する必要があるため、測定系の設定に時間がかかるという問題がある。

【0009】

本発明は、初期位置の測定を省略することで、測定対象である光ファイバの偏波モード分散測定の簡略化を図り、測定時間を短縮することができる群遅延時間差測定方法及び装置を提供することを課題としている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するためなされた請求項1記載の発明は、光源からの出力光を互いに直交する2つの直線偏光に分岐して別々の光路に伝播させ、該別々の光路を伝播した2つの直線偏光を合成し、該合成した2つの直線偏光を測定対象に対し、各偏光の方向を測定対象の複屈折軸にそれぞれ一致させて入射し、該2つの直線偏光の入射によって前記測定対象から出射する前記2つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成し、該形成した干渉縞の鮮明度が最大になる前記2つの直線偏光を伝播する光路間の光路差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播した前記2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定する群遅延時間差測定方法であって、前記測定対象の複屈折軸の一方を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、前記他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して前記一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とを測定し、前記測定した2つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにし、前記光路長の測定を、前記2つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、前記2つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後でそれぞれ行い、該切り替え前と後でそれぞれ測定された他方の光路の光路長差に基づいて前記群遅延時間差を測定することを特徴とする群遅延時間差測定方法に存する。

10

20

【0012】

請求項2記載の発明は、光源からの出力光を直線偏光にし、該直線偏光の方向を測定対象の複屈折軸に対し45度の所定角度で入射し、該直線偏光の入射によって前記測定対象から出射される出力光を前記測定対象の複屈折軸にそれぞれ一致した方向の互いに直交する2つの直線偏光に分岐して別々の光路に伝播させ、該別々の光路を伝播した2つの直線偏光を合成し、該合成した2つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成し、該形成した干渉縞の鮮明度が最大になる前記2つの直線偏光を伝播する光路間の光路差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播した前記2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定する群遅延時間差測定方法であって、前記測定対象の複屈折軸の一方を伝播した直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、前記他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して前記一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とを測定し、前記測定した2つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにし、前記光路長の測定を、前記2つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、前記2つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後でそれぞれ行い、該切り替え前と後でそれぞれ測定された他方の光路の光路長差に基づいて前記群遅延時間差を測定することを特徴とする群遅延時間差測定方法に存する。

30

40

【0014】

請求項5記載の発明は、光源と、該光源からの出力光を互いに直交する2つの直線偏光に分岐する分岐手段と、該分岐手段によって分岐した前記2つの直線偏光を別々に伝播させる2つの光路と、該2つの光路を伝播した2つの直線偏光を合成する合成手段と、該合成手段によって合成した2つの直線偏光を測定対象に対し、各偏光の方向を測定対象の複屈折軸にそれぞれ一致させて入射する光入射手段と、該2つの直線偏光の入射によって前記測定対象から出射する前記2つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成する干渉縞形成手段とを備え、該干渉縞形成手段により形成した干渉縞の鮮明度が最大になる前記2つの直

50

線偏光を伝播する光路間の光路差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播した前記2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定する群遅延時間差測定装置であって、前記測定対象の複屈折軸の一方を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、前記他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して前記一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とをそれぞれ測定するため前記光路の光路長を調整する光路長調整手段を備え、前記測定した2つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにし、前記光路長調整手段は、前記2つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、前記2つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後で光路長を調整し、該切り替え前と後で前記光路長調整手段により調整されそれぞれ測定された他方の光路の光路長差に基づいて前記群遅延時間差を測定することを特徴とすることを特徴とする群遅延時間差測定装置に存する。

10

【0016】

請求項7記載の発明は、光源と、該光源からの出力光を直線偏光にし、該直線偏光をその成分方向を測定対象の複屈折軸に対し45度の所定角度で入射する入射手段と、該直線偏光の入射によって前記測定対象から出射される出力光を前記測定対象の複屈折軸にそれぞれ一致した方向の互いに直交する2つの直線偏光に分岐する分岐手段と、該分岐した2つの直線偏光を別々に伝播させる2つの光路と、該2つの光路を別々に伝播した2つの直線偏光を合成する合成手段と、該合成した2つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成する干渉縞形成手段とを備え、該干渉縞形成手段により形成した干渉縞の鮮明度が最大になる前記2つの直線偏光を伝播する光路間の光路差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播した前記2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定する群遅延時間差測定装置であって、前記測定対象の複屈折軸の一方を伝播した直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、前記他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して前記一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき前記干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とを測定するため前記光路の光路長を調整する光路長調整手段を備え、前記測定した2つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて前記測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにし、前記光路長調整手段は、前記2つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、前記2つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後で光路長を調整し、該切り替え前と後で前記光路長調整手段により調整されそれぞれ測定された他方の光路の光路長差に基づいて前記群遅延時間差を測定することを特徴とする群遅延時間差測定装置に存する。

20

30

40

【0018】

上述した請求項1～4記載の発明によれば、測定対象の複屈折軸の一方を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とを測定し、測定した2つの直線偏光に対する光路長の差に基づいて測定対象の進相軸及び遅相軸を伝播する2つの直線偏光間に生じる群遅延時間差を測定するようにしているので、2つの直線偏光の光路が等しい位置を測定する必要がなくなり、測定手順が簡略化されて、短時間で、群遅延時間差を測定することができる。

50

【0019】

しかも、光路長測定を、2つの光路の一方の光路長を固定し、他方の光路長を調整可能にしておき、2つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を測定対象の進相軸を伝播する直線偏光から遅相軸を伝播する直線偏光に、又は、遅相軸を伝播する直線偏光から進相軸を伝播する直線偏光に切り替えられる前と後でそれぞれ行い、切り替え前後の調整された他方の光路の光路長差に基づいて群遅延時間差を測定しているもので、2つの光路をそれぞれ伝播する直線偏光を切り替え、一方の光路長を2回測定するだけで、群遅延時間差を測定することができる。

【発明の効果】

【0020】

以上のように、本発明の群遅延時間差測定方法及び装置によれば、2つの直線偏光の各々に対する光路長の調整量を個別に得ることだけで群遅延時間差を測定することが可能であり、初期位置を調整によって求めることを必要としないので、偏波モード分散を広帯域にわたって測定するために光源波長を変えた場合にも、測定対象を取り外して初期位置を調整する必要がなく、光軸調整などの作業がなくなり、測定時間の短縮につながる。特に、各直線偏光の光路長の調整量が従来の2倍となるので、測定誤差は従来の $1/2$ と小さくなる。また、測定対象の複屈折軸（進相軸及び遅相軸）と2つの互いに直交する直線偏光の関係を切り替えるだけでよく、測定誤差の入る余地がなく信頼性の高い測定になる。よって、測定時間の短縮と精度のよい測定が可能になる偏波分散測定のための群遅延時間差測定方法及び装置が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は本発明の群遅延時間差測定方法を実施する装置の一実施の形態を示す構成図である。

【0022】

図1において、1は広帯域光を発生する広帯域光源、2は偏光子、3は固定鏡、4は可動鏡、5は半透鏡、6は $1/2$ 波長板、7は測定対象である光ファイバ、8は検光子、9は光電変換手段としてのフォトダイオードである。

【0023】

光源1からの出力光は、分岐手段としての偏光子2によって互いに直交する2つの直線偏光にされるとともに伝播方向の異なる2つの直線偏光に分岐される。分岐された2つの直線偏光は固定鏡3を有する第1の光路としての光路1と可動鏡4を有する第2の光路としての光路2とをそれぞれ伝播される。光路1を伝播する一方の直線偏光は固定鏡3によって、光路2を伝播する他方の直線偏光は可動鏡4によってそれぞれ反射される。両直線偏光はその後、合成手段としての半透鏡5によって合成される。合成された2つの直線偏光は、 $1/2$ 波長板6を介して測定対象である光ファイバ7に入射される。 $1/2$ 波長板6は、分岐手段によって分岐された後合成手段によって合成された2つの互いに直交する直線偏光の方向を光ファイバ7の複屈折軸の進相軸及び遅相軸にそれぞれ一致させるように調整されるようになっており、2つの直線偏光成分の方向を光ファイバ7の複屈折軸の進相軸及び遅相軸にそれぞれ一致させて、光ファイバ7に対して入射させる光入射手段を構成している。この $1/2$ 波長板6はまた、その回転調整によって、2つの互いに直交する直線偏光の方向を光ファイバ7の複屈折軸の進相軸から遅相軸に、又は遅相軸から進相軸にそれぞれ切り替えるためにも使用される。よって、 $1/2$ 波長板6は、互いに直交する2つの直線偏光を、各偏光成分の方向が測定対象の複屈折軸に対して所定角度となるように調整して前記測定対象に対して入射させる光入射手段としての他、測定対象の光ファイバ7の複屈折軸を伝播する直線偏光を切り替える切替手段として機能する。

【0024】

2つの直線偏光が入射されることによって光ファイバ7から出射される2つの互いに直交する直線偏光は、検光子8を介してフォトダイオード9によって受光される。検光子8は、光ファイバ7の複屈折軸に対して45度に配置されることによって、光ファイバ7か

らの出力光である2つの直線偏光を干渉させて干渉縞を生成する。この干渉縞はフォトダイオード9によって受光されて、光電変換される。よって、検光子8とフォトダイオード9は、2つの直線偏光の入射によって光ファイバ7から出射する2つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成する干渉縞形成手段を構成し、フォトダイオード9による光電変換によって得られる電気信号を観測することによって、干渉縞の鮮明度を知ることができる。なお、測定対象の光ファイバ7は、1/2波長板6と検光子8との間に光軸を合わせて着脱自在に装着されるようになっている。

【0025】

上述した構成の群遅延時間差測定装置により群遅延時間差を測定する方法を以下説明する。光源1からの出力光は、分岐手段としての偏光子2によって互いに直交する2つの直線偏光に分岐された後、光路1と光路2とをそれぞれ伝播され、光路1を通過した一方の直線偏光は固定鏡3によって、光路2を通過する他方の直線偏光は可動鏡4によってそれぞれ反射され、その後、半透鏡5によって合成される。合成された2つの直線偏光は、1/2波長板6を調整することによって、2つの直線偏光成分の方向を測定対象の複屈折軸の進相軸及び遅相軸にそれぞれ一致させ、光ファイバ7に対して入射される。この2つの直線偏光の入射によって光ファイバ7から出射する2つの直線偏光は、測定対象7の複屈折軸に対して45度に配置された検光子8において干渉させて干渉縞を形成する。検光子8が形成した干渉縞はフォトダイオード9によって電気信号に変換され、その鮮明度がフォトダイオード9の出力信号の大きさによって、可動鏡4を移動させ光路2の光路長を調整した時の干渉縞の鮮明度を観測することができる。

【0026】

以上の構成で、可動鏡4を移動させた時のフォトダイオード9の出力結果を、図2に示す。同図において、横軸は可動鏡4の位置、縦軸はフォトダイオード9の出力信号の電圧を示す。干渉縞の鮮明度が最大になる可動鏡4の位置は、光路長に応じて変化するフォトダイオード9の出力が最大になる場所であり、図2(A)に示す位置x1である。同様の測定を、1/2波長板6を回転調整することによって、光ファイバ7の複屈折軸の進相軸及び遅相軸にそれぞれ入射する直線偏光の方向を切り替えて、光路1を伝播する直線偏光方向を光ファイバ7の遅相軸に、光路2を伝播する直線偏光方向を光ファイバ7の進相軸と一致させた場合についても行う。この時の測定結果を図2(B)に示す。このとき、最大となる干渉縞の鮮明度が観測された可動鏡4の位置をx2とすると、可動鏡4の移動距離である2つの位置x1及びx2の差($x1 - x2$) = 2dをとることによって、光路差を求めることができる。なお、干渉縞の鮮明度が最大になる可動鏡の位置を測定するには、具体的には、可動鏡を所定範囲で移動調整したときフォトダイオード9が出力する電気信号の電圧値を可動鏡の位置に対応して収集する。この収集のために、可動鏡の位置を検出するための図示しない手段と、検出した可動鏡の位置とその位置で発生される電圧値を対応して可動鏡の位置を格納する図示しない手段を備える。この収集した可動鏡の各位置に対応するフォトダイオード9の電圧値に基づいて、最大の電圧値を見つける。そして、この最大値となる可動鏡の位置を知り、可動鏡の位置により決まる光路の光路長を測定することができる。

【0027】

従来の干渉法では、位置x1とx2の中間に相当する両光路の光路長が等しくなる可動鏡4の位置x0を定め、この位置x0とx1またはx2の距離dを測定していたが、本発明の測定では、上述のように距離2dを求めるだけでよい。そして、群遅延時間差tについては(1)式より、偏波モード分散 τ_p については(2)式によりそれぞれ求めることができる。

【0028】

本実施形態では、光路1及び光路2、固定鏡3及び可動鏡4、並びに1/2波長板6は、測定対象である光ファイバ7の複屈折軸の一方を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の

光路長を所定長さに固定して一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とをそれぞれ測定するため前記光路の光路長を調整する光路長調整手段を構成している。

【0029】

上述した実施の形態では、光源1と測定対象の光ファイバ7との間において、光入射手段である1/2波長板6を調整することによって、2つの光路1及び光路2をそれぞれ伝播している2つの直線偏光を、2つの直線偏光の方向を切り替えて光ファイバ7の複屈折軸の進相軸及び遅相軸に入射し、切替の前後で2つの光路のうちの一方が有する可動鏡4を調整して干渉縞の鮮明度が最大になる可動鏡4の位置を2回測定することで、群遅延時間差を求めることができ、従来の方法のように、可動鏡4の初期位置を測定する必要がなくなる。

10

【0030】

なお、上述した実施の形態では、光源1と測定対象の光ファイバ7との間において、光源1からの出力光を偏光子2によって2つの直線偏光にする際に同時に2つの方向に分岐し、しかも光路2のみに可動鏡4を設けてその光路長を調整可能にしているが、必ずしもこのようにしなくてもよい。

【0031】

図3は本発明の他の実施の形態を示し、同図において、11は広帯域光の出力光を発生する光源、12-1、12-2は偏光子、13は固定鏡、14は可動鏡、15は半透鏡、16は1/2波長板、17は測定対象である光ファイバ、18は検光子、19は光電変換手段としてのフォトダイオードである。

20

【0032】

光源11からの出力光は、偏光子12-1によって直線偏光にされて、光ファイバ17の複屈折軸に対して45度で入射される。この直線偏光の入射によって光ファイバ17からの出射される出力光は、偏光子12-2によって直交する2つの直線偏光にされるとともに異なる2方向に分岐される。分岐された2つの直線偏光は固定鏡13を有する第1の光路としての光路11と可動鏡14を有する第2の光路としての光路12とをそれぞれ伝播される。光路11を伝播した一方の直線偏光は固定鏡13によって、光路12を伝播した他方の直線偏光は可動鏡14によってそれぞれ反射される。両直線偏光はその後、合成手段としての半透鏡15によって合成される。合成された2つの直線偏光は測定対象17の複屈折軸に対して45度に配置された検光子18において干渉させて干渉縞を形成する。検光子18が形成した干渉縞はフォトダイオード19によって電気信号に変換される。フォトダイオード19の出力信号の大きさによって、図2を参照して説明したように、可動鏡14を移動させ光路12の光路長を調整した時の干渉縞の鮮明度を観測することができる。1/2波長板16は、光路11と光路12を伝播する直線偏光の方向が光ファイバ17の複屈折軸に対して一致させるように調整される。なお、測定対象の光ファイバ17は偏光子12-1と1/2波長板16との間に光軸を合わせて着脱自在に装着されるようになっている。よって、偏光子12-1は、互いに直交する2つの直線偏光を、各偏光成分の方向が測定対象である光ファイバ17の複屈折軸に対して所定角度となるように調整して光ファイバ17に対して入射させる光入射手段を構成する。

30

40

【0033】

以上の構成で、まず、1/2波長板16を調整して光路11を伝播する直線偏光の方向を光ファイバ17の複屈折軸の遅相軸に、光路12を伝播する直線偏光の方向を光ファイバ17の複屈折軸の進相軸と一致させる。この状態で、フォトダイオード19の出力信号の大きさによって可動鏡14を移動させ光路12の光路長を調整した時の干渉縞の鮮明度を観測し、干渉縞の鮮明度が最大になる可動鏡14の位置x1を測定する。同様のことを、1/2波長板16を回転調整して、光路11を伝播する直線偏光の方向を光ファイバ17の複屈折軸の進相軸に、光路12を伝播する直線偏光の方向を光ファイバ17の複屈折軸の遅相軸と一致するようにした場合について行い、干渉縞の鮮明度が最大になる可動鏡14の位置x2を測定する。図1に示した実施形態と同様に $x_1 - x_2 = 2d$ であるので

50

、式（１）及び（２）により、群遅延時間差 t 及び偏波モード分散 τ_p をそれぞれ求めることができる。

【００３４】

本実施形態では、光路１１及び光路１２、偏光子１２－１、固定鏡１３及び可動鏡１４、並びに１／２波長板１６は、測定対象である光ファイバ１７の複屈折軸の一方を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とをそれぞれ測定するため光路の光路長を調整する光路長調整手段を構成する。そして、偏光子１２－１が測定対象の光ファイバ１７の複屈折軸を伝播する直線偏光を切り替える切替手段として機能している。

10

【００３５】

図１及び図３に示した実施の形態では、偏光子２及び偏光子１２－１によって、２つの直線偏光を異なる２方向に分岐して２つの光路を伝播させ、一方の光路の光路長のみを調整可能にし、２つの光路は、光源からの広帯域な出力光を分岐して生成した互いに直交する２つの直線偏光を、測定対象に入射する前に合成するまでそれぞれ伝播するものであり、直線偏光の切替は、合成した互いに直交する２つの直線偏光を、測定対象の進相軸及び遅相軸に対して一致させて入射する各偏光成分の方向を切り替えることによって行っているので、測定対象の進相軸及び遅相軸に対する２つの直線偏光成分の方向の一致調整と測定対象の進相軸及び遅相軸に対する２つの直線偏光の切替とを一カ所で行うことで、群遅延時間差を測定することができる。しかし、必ずしもこのようにしなくてもよい。

20

【００３６】

図４は本発明のさらに他の実施の形態を示し、同図において、２１は広帯域光の出力光を発生する光源、２２は偏光子、２４－１、２４－２は可動鏡、２５は半透鏡、１０－１、１０－２、１０－３は１／４波長板、２７は測定対象である光ファイバ、２８は検光子、２９は光電変換手段としてのフォトダイオードである。

【００３７】

光源２１からの出力光は、偏光子２２と１／４波長板１０－１とによって円偏光にされている。この円偏光は、半透鏡２５によって光路２１と光路２２とに分岐され、光路２１と光路２２にそれぞれ設けられた１／４波長板１０－２及び１０－３の調整によって互いに直交する２つの直線偏光にされている。互いに直交する２つの直線偏光は光路２１及び光路２２に設けられた可動鏡２４－１、２４－２によって反射され、半透鏡２５において再結合された上で、測定対象の光ファイバ２７に入射される。１／４波長板１０－２及び１０－３は、その調整によって、光ファイバ２７に入射される互いに直交する２つの直線偏光の方向を光ファイバ２７の複屈折軸に一致させる。よって、１／４波長板１０－２及び１０－３は、互いに直交する２つの直線偏光を、各偏光成分の方向が測定対象の複屈折軸に対して所定角度となるように調整して前記測定対象に対して入射させる光入射手段として機能する。

30

【００３８】

２つの直線偏光をその方向を複屈折軸に一致させて入射することによって光ファイバ２７から出射される２つの直線偏光は、検光子２８を介してフォトダイオード２９によって受光される。検光子２８は、光ファイバ２７の複屈折軸に対して４５度に配置されることによって、光ファイバ２７からの出力光である２つの直線偏光を干渉させて干渉縞を生成する。この干渉縞はフォトダイオード２９によって受光されて、光電変換される。よって、検光子２８とフォトダイオード２９は、２つの直線偏光の入射によって光ファイバ２７から出射する２つの直線偏光を干渉させて干渉縞を形成する干渉縞形成手段を構成し、フォトダイオード２９による光電変換によって得られる電気信号を観測することによって、干渉縞の鮮明度を知ることができる。なお、測定対象の光ファイバ２７は、半透鏡２５と検光子２８との間に光軸を合わせて着脱自在に装着されるようになっている。

40

50

【0039】

本実施形態では、光路21及び光路22、可動鏡24-1、24-2、1/4波長板10-2、10-3は、測定対象である光ファイバ27の複屈折軸の一方を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して複屈折軸の他方を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長と、他方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の光路長を所定長さに固定して一方の複屈折軸を伝播する直線偏光の光路の長さを調整したとき干渉縞の鮮明度が最大になる当該光路の光路長とをそれぞれ測定するため光路の光路長を調整する光路長調整手段を構成している。

【0040】

以上の構成で、まず、両可動鏡24-1、24-2の初期位置を任意に設定する。このときの可動鏡24-1、24-2の初期位置をそれぞれx1、y1とする。続いて、可動鏡24-1の位置を初期位置x1に固定して可動鏡24-2を移動調整すると同時に、フォトダイオード29による光電変換によって得られる電気信号を観測することによって、干渉縞の鮮明度が最大になる可動鏡24-2の位置dyを測定する。その後、可動鏡24-2の位置を初期位置y1に固定して可動鏡24-1を調整して同様のことを行い、干渉縞の鮮明度が最大になる可動鏡24-1の位置dxを測定する。以上のように、測定対象の光ファイバ27の進相軸及び遅相軸の2つの直線偏光間の群遅延時間差を補償する2つの直線偏光間の光路差2dは次式(3)で表される。

$$2d = dx - dy \quad \dots (3)$$

従って、(1)式より群遅延時間差tが、(2)式により偏波モード分散 τ_p がそれぞれ求められる。

【0041】

なお、図4の実施形態では、可動鏡24-1、24-2などから構成される光路長調整手段は、測定対象の光ファイバ27に入射する2つの直線偏光の光路を有する構成となっているが、図3について上述した実施の形態同様に、光ファイバ27から出射する2つの直線偏光を伝播する光路を設け、これらの光路に可動鏡24-1、24-2を設ける構成とすることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0042】

【図1】本発明による群遅延時間差測定方法を実施する装置の一実施の形態を示す構成図である。

【図2】図1の装置による群遅延時間差測定方法による測定例を説明するための図である。

【図3】本発明による群遅延時間差測定方法を実施する装置の他の実施の形態を示す構成図である。

【図4】本発明による群遅延時間差測定方法を実施する装置のさらに他の実施の形態を示す構成図である。

【図5】従来の群遅延時間差測定方法を実施する装置例を示す構成図である。

【符号の説明】

【0043】

1, 11, 21	光源
2, 12-2	偏光子(分岐手段)
12-1, 22	偏光子
3, 13	固定鏡(光路長調整手段)
4, 14, 24-1, 24-2	可動鏡(光路長調整手段)
5, 15	半透鏡(合成手段)
25	半透鏡(分岐手段、合成手段)
6, 16	1/2波長板(光路長調整手段、光入射手段、切替手段)
7, 17, 27	光ファイバ(測定対象)

10

20

30

40

50

8, 18, 28

9, 19, 29

10-1

10-2, 10-3

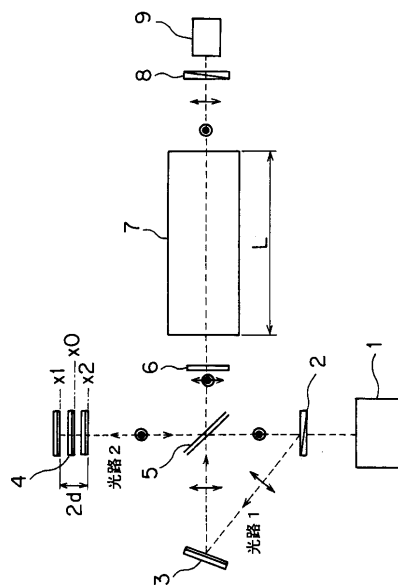
検光子（干渉縞形成手段）

フォトダイオード（干渉縞形成手段）

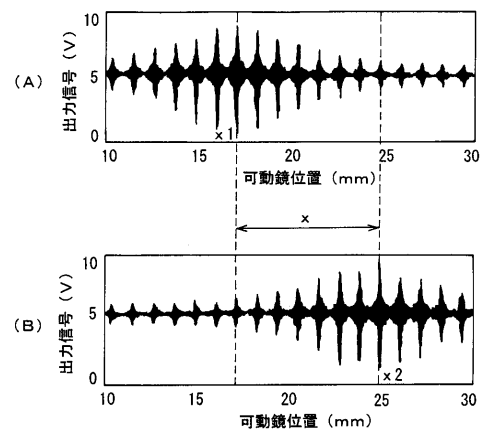
1/4波長板

1/4波長板（光路長調整手段、光入射手段）

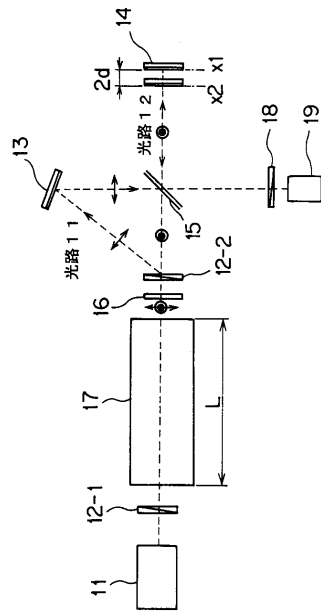
【図1】



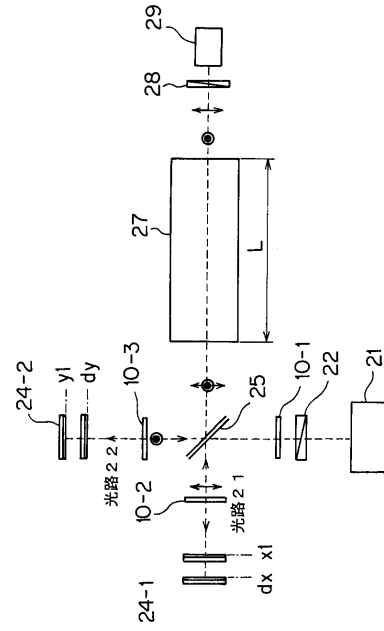
【図2】



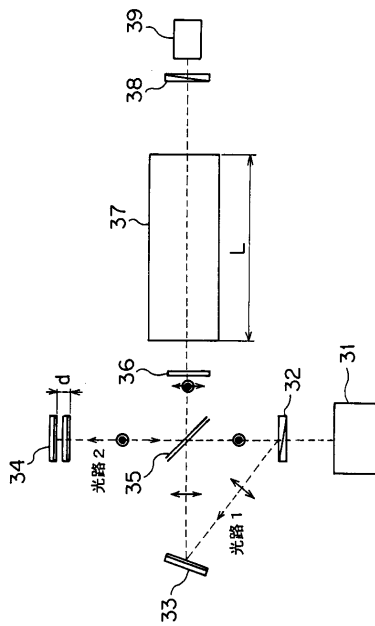
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 柴田 宣

神奈川県横須賀市光の丘3番1号 株式会社オプトウェーブ研究所内

審査官 平田 佳規

(56)参考文献 特開平07-055571 (JP, A)

特開昭62-069138 (JP, A)

特開平07-243943 (JP, A)

特開平07-055636 (JP, A)

特開平01-143931 (JP, A)

特開昭61-047533 (JP, A)

特開昭60-173429 (JP, A)

Oplus E, (株)新技術コミュニケーションズ, 2003年 4月25日, 第25巻 第5号, p.549~559

2004年電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス1, (社)電子情報通信学会, 2004年 3月 8日, p.314

電子情報通信学会技術研究報告, (社)電子情報通信学会, 1999年 7月30日, Vol.99 No.246, p.7~12

光学, (社)応用物理学会 光学懇話会, 1984年10月10日, 第13巻 第5号, p.383~388

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 11/00- 11/02

G01J 1/00

G01J 9/02

G01J 4/00- 4/04

G01N 21/21- 21/23

G02B 6/00

H04B 3/46- 3/48

H04B 10/08- 10/12

H04B 17/00- 17/02