

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6748986号
(P6748986)

(45) 発行日 令和2年9月2日(2020.9.2)

(24) 登録日 令和2年8月13日(2020.8.13)

(51) Int.Cl.

G O 1 M 11/02 (2006.01)

F I

G O 1 M 11/02

K

請求項の数 2 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2016-36232 (P2016-36232)	(73) 特許権者	000005186
(22) 出願日	平成28年2月26日(2016.2.26)		株式会社フジクラ
(65) 公開番号	特開2017-151058 (P2017-151058A)		東京都江東区木場1丁目5番1号
(43) 公開日	平成29年8月31日(2017.8.31)	(74) 代理人	100143764
審査請求日	平成31年2月8日(2019.2.8)		弁理士 森村 靖男
		(73) 特許権者	504155293
			国立大学法人島根大学
			島根県松江市西川津町1060
		(74) 代理人	100143764
			弁理士 森村 靖男
		(74) 代理人	100129296
			弁理士 青木 博昭
		(72) 発明者	丸山 遼
			千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
			フジクラ 佐倉事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 群遅延時間差測定方法及び群遅延時間差測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

周波数が線形に変調されたプローブ光の一部をマルチモードファイバに入射させ、前記マルチモードファイバを通過した前記プローブ光と前記プローブ光の変調周波数範囲をカバーするスペクトルの光パルスとの干渉信号を測定する第1測定工程と、

前記マルチモードファイバに入射されない前記プローブ光の他の一部と前記プローブ光の変調周波数範囲をカバーするスペクトルの光パルスとの干渉信号を測定する第2測定工程と、

前記第1測定工程で測定される前記干渉信号と前記第2測定工程で測定される前記干渉信号との積のスペクトルを求めることによって前記マルチモードファイバを伝搬する伝搬モードAの光と伝搬モードBの光との群遅延時間差を解析する解析工程と、

を備え、

前記第1測定工程で用いられる前記光パルスの周期、及び、前記第2測定工程で用いられる前記光パルスの周期を ΔT とし、前記伝搬モードAの光の群遅延時間を τ_A とし、前記伝搬モードBの光の群遅延時間を τ_B とし、前記プローブ光の周波数変調速度を g とする場合に、

$$2\pi(g\tau_B - g\tau_A)\Delta T < 2\pi$$

を満たす

ことを特徴とする群遅延時間差測定方法。

【請求項2】

10

20

周波数が線形に変調されたプローブ光を発振する波長可変レーザと、
前記プローブ光の変調周波数範囲をカバーするスペクトルの光パルスを発振する第 1 パルスレーザと、

前記プローブ光のうちマルチモードファイバを透過した光と前記第 1 パルスレーザから発振された前記光パルスとの干渉信号を測定する第 1 測定手段と、

前記プローブ光の変調周波数範囲をカバーするスペクトルの光パルスを発振する第 2 パルスレーザと、

前記プローブ光のうち前記マルチモードファイバに入射されない光と前記第 2 パルスレーザから発振された前記光パルスとの干渉信号を測定する第 2 測定手段と、

前記第 1 測定手段で測定される前記干渉信号と前記第 2 測定手段で測定される前記干渉信号との積のスペクトルから前記マルチモードファイバを伝搬する伝搬モード A の光と伝搬モード B の光との群遅延時間差を解析する解析手段と、

を備え、

前記第 1 パルスレーザが発振する前記光パルスの周期、及び、前記第 2 パルスレーザが発振する前記光パルスの周期を ΔT とし、前記伝搬モード A の光の群遅延時間を τ_A とし、前記伝搬モード B の光の群遅延時間を τ_B とし、前記プローブ光の周波数変調速度を g とする場合に、

$$2\pi(g\tau_B - g\tau_A)\Delta T < 2\pi$$

を満たす

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】

本発明は、複数の伝搬モードを有するマルチモードファイバの群遅延時間差を測定する方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、光ファイバを用いた光通信において、 LP_{01} モード（基本モード）の光に情報を重畳させると共に、 LP_{11} モード等の基本モードよりも高次の LP モードの光にも情報を重畳させて情報通信を行う多モード通信の研究が進められている。このような多モード通信に用いられるマルチモードファイバでは、コアを伝搬する各モードの光の伝達時間に差が生じることがある。この時間差、すなわち群遅延時間差が大きくなると伝送される信号の品質が低下する。そのため、群遅延時間差は、光伝送システムの設計上、重要なパラメータとなる。従って、群遅延時間差を精密に測定する方法が求められている。

【0003】

群遅延時間差を測定する簡単な方法としては、光パルスによって複数モードの光を励起し、所定の地点までの各モードの光の到達時間の差を測定することが考えられる。しかし、このような方法では、多くの場合、時間分解能は受光素子の速度によって制約される。

【0004】

そこで、受光素子の速度の制約を受けない群遅延時間差の測定方法として、下記非特許文献 1 に記載の方法がある。非特許文献 1 に記載の方法では、線形に周波数変調されたプローブ光を利用する。まず、測定対象であるマルチモードファイバにプローブ光を入力し、それと同時に当該マルチモードファイバとほぼ同じ長さを有する参照光ファイバにも同様の光を入力し、双方に光を伝搬させる。そして、マルチモードファイバを通過したプローブ光と参照光ファイバを通過した参照光とを干渉させて干渉信号を検出する。このような方法によって、ps（ピコ秒）レベルの分解能と 80 dB 以上のダイナミックレンジとで複数のモード間の群遅延時間差を測定することができる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【 0 0 0 5 】

【非特許文献 1】N.K.Fontain, et al., Conference on Optical Fiber Communication and the National Fiber Optic Engineers Conference(OFC2013), paper OW1K.2

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

しかし、上記非特許文献 1 に記載の方法では、測定対象であるマルチモードファイバと同じ長さの参照光ファイバを必要とする。従って、例えば、既設のマルチモードファイバの群遅延時間差を測定する場合、上記非特許文献 1 に記載の方法を利用しにくいことがある。

10

【 0 0 0 7 】

そこで、本発明は、参照光ファイバを用いなくても高い時間分解能で群遅延時間差を測定できる群遅延時間差測定方法及び群遅延時間差測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

かかる課題を解決するため本発明の群遅延時間差測定方法は、周波数が線形に変調されたプローブ光の一部をマルチモードファイバに入射させ、前記マルチモードファイバを通過した前記プローブ光と光パルスとの干渉信号を測定する第 1 測定工程と、前記マルチモードファイバに入射されない前記プローブ光の他の一部と光パルスとの干渉信号を測定する第 2 測定工程と、前記第 1 測定工程で測定される前記干渉信号と前記第 2 測定工程で測定される前記干渉信号との積のスペクトルを求めることによって前記マルチモードファイバの伝搬モードの群遅延時間差を解析する解析工程と、を備えることを特徴とする。

20

【 0 0 0 9 】

また、本発明の群遅延時間差測定装置は、周波数が線形に変調されたプローブ光を発振する波長可変レーザと、光パルスを発振する第 1 パルスレーザと、前記プローブ光のうちマルチモードファイバを透過した光と前記第 1 パルスレーザから発振された前記光パルスとの干渉信号を測定する第 1 測定手段と、光パルスを発振する第 2 パルスレーザと、前記プローブ光のうち前記マルチモードファイバに入射されない光と前記第 2 パルスレーザから発振された前記光パルスとの干渉信号を測定する第 2 測定手段と、前記第 1 測定手段で測定される前記干渉信号と前記第 2 測定手段で測定される前記干渉信号との積のスペクトルから前記マルチモードファイバの伝搬モードの群遅延時間差を解析する解析手段と、を備えることを特徴とする。

30

【 0 0 1 0 】

上記群遅延時間差測定方法及び群遅延時間差測定装置によれば、参照光ファイバを必要とせずに測定対象であるマルチモードファイバの群遅延時間差を高い時間分解能で測定することができる。また、マルチモードファイバに入射されるプローブ光として連続光を用いるので、短パルス光をプローブ光とする場合と比較して、測定対象であるマルチモードファイバへの入力を大きくすることができる。これにより、測定結果のダイナミックレンジを大きくすることができる。また、プローブ光として連続光を用いることによって、連続的に存在する光信号のエネルギーを測定に利用できるため、高い受信感度を達成することができる。この観点からも、測定結果のダイナミックレンジを大きくすることができる。このように、上記群遅延時間差測定方法及び群遅延時間差測定装置によれば、参照光ファイバを用いなくても、高い時間分解能と優れたダイナミックレンジで群遅延時間差を測定することができる。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

以上のように本発明によれば、参照光ファイバを用いなくても高い時間分解能で群遅延時間差を測定できる方法及び装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

50

【図 1】実施形態にかかる群遅延時間差測定装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】図 1 に示す群遅延時間差測定装置を用いた群遅延時間差測定方法の工程を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明にかかる群遅延時間差測定装置の好適な実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0014】

< 群遅延時間差測定装置 >

図 1 は実施形態にかかる群遅延時間差測定装置の構成を概略的に示す図である。図 1 に示す群遅延時間差測定装置 1 は、マルチモードファイバ 10 の群遅延時間差を測定する装置である。群遅延時間差測定装置 1 は、波長可変レーザ 11、ハーフミラー 12、第 1 パルスレーザ 13、第 1 光 90 度ハイブリッド 14、フォトディテクタ (PD) 15、フォトディテクタ (PD) 16、第 1 デジタイザ 17、第 2 パルスレーザ 23、第 2 光 90 度ハイブリッド 24、フォトディテクタ (PD) 25、フォトディテクタ (PD) 26、第 2 デジタイザ 27、及び解析手段 30 を主な構成要素として備える。

【0015】

測定対象であるマルチモードファイバ 10 は、それぞれのコアが複数の伝搬モードを有する光ファイバである。マルチモードファイバ 10 は、コアに複数モードの光が伝搬可能に構成されていればよく、伝搬される光のモードの数は特に限定されない。

【0016】

波長可変レーザ 11 は、プローブ光を発振する。当該プローブ光は、周波数が線形に変調された連続光である。ここで、「周波数が線形に変調」とは、時間に応じて周波数が徐々に高くされる又は低くされることを意味する。このような波長可変レーザ 11 としては、例えば、市販の外部共振器付きの半導体レーザ等を用いることができる。

【0017】

ハーフミラー 12 は、波長可変レーザ 11 から発振されるプローブ光の一部をマルチモードファイバ 10 側に透過させると共に他の一部を第 2 光 90 度ハイブリッド 24 側に反射させる。波長可変レーザ 11 から発振されてハーフミラー 12 を透過するプローブ光は、マルチモードファイバ 10 の一端に入射する。また、ハーフミラー 12 に反射されるプローブ光は、マルチモードファイバ 10 には入射せずに第 2 光 90 度ハイブリッド 24 に入射する。

【0018】

第 1 パルスレーザ 13 は、周期的に光パルスを発振する。このような第 1 パルスレーザ 13 としては、例えば、希土類を添加した光ファイバ増幅媒体を利用したモードロックファイバレーザ等を用いることができる。

【0019】

第 1 光 90 度ハイブリッド 14、フォトディテクタ 15、フォトディテクタ 16 及び第 1 デジタイザ 17 は、マルチモードファイバ 10 を透過したプローブ光と第 1 パルスレーザ 13 から発振された光パルスとの干渉信号を測定する第 1 測定手段を構成する。波長可変レーザ 11 から発振されたプローブ光のうちマルチモードファイバ 10 を透過した光と第 1 パルスレーザ 13 から発振された光パルスとの干渉信号が第 1 光 90 度ハイブリッド 14 によって観察される。第 1 光 90 度ハイブリッド 14 からの 2 つの出力光は、フォトディテクタ 15 及びフォトディテクタ 16 によって電気信号に変換され、これらの干渉信号は第 1 デジタイザ 17 によってデジタル化されて解析手段 30 へと送られる。フォトディテクタ 15 及びフォトディテクタ 16 としては、バランス型フォトディテクタが用いられる。

【0020】

第 2 パルスレーザ 23 は、第 1 パルスレーザ 13 と同様であるため、説明を省略する。

【0021】

10

20

30

40

50

第2光90度ハイブリッド24、フォトディテクタ25、フォトディテクタ26及び第2デジタイザ27は、波長可変レーザ11から発振されたプローブ光のうちマルチモードファイバ10に入射されない光と第2パルスレーザ23から発振された光パルスとの干渉信号を測定する第2測定手段を構成する。波長可変レーザ11から発振されたプローブ光のうちマルチモードファイバ10に入射されない光と第2パルスレーザ23から発振された光パルスとの干渉信号が第2光90度ハイブリッド24によって観察される。第2光90度ハイブリッド24からの2つの出力光は、フォトディテクタ25及びフォトディテクタ26によって電気信号に変換され、これらの干渉信号は第2デジタイザ27によってデジタル化されて解析手段30へと送られる。第2光90度ハイブリッド24は上記第1光90度ハイブリッド14と、フォトディテクタ25及びフォトディテクタ26は上記フォトディテクタ15及びフォトディテクタ16と、第2デジタイザ27は上記第1デジタイザ17と、それぞれ同様の構成である。

10

【0022】

解析手段30は、第1測定手段で測定された干渉信号と第2測定手段で測定された干渉信号との積のスペクトルからマルチモードファイバ10の伝搬モードの群遅延時間を解析する。このような解析手段30としては、後述する計算を行うことができるコンピュータが用いられる。

【0023】

< 群遅延時間差測定方法 >

次に、群遅延時間差測定装置1を用いた群遅延時間差測定方法について説明する。

20

【0024】

図2は、当該群遅延時間差測定方法の工程を示すフローチャートである。図2に示す群遅延時間差測定方法は、第1測定工程P1、第2測定工程P2、及び解析工程P3を備える。

【0025】

第1測定工程P1は、周波数が線形に変調されたプローブ光の一部をマルチモードファイバ10に入射し、マルチモードファイバ10を通過したプローブ光と光パルスとの干渉信号を測定する工程である。すなわち、波長可変レーザ11から発振されたプローブ光の一部をマルチモードファイバ10に入射し、マルチモードファイバ10を通過したプローブ光と第1パルスレーザ13から発振された光パルスとの干渉信号を上記第1測定手段によって測定する工程である。

30

【0026】

第2測定工程P2は、マルチモードファイバ10に入射されないプローブ光の他の一部と光パルスとの干渉信号を測定する工程である。すなわち、波長可変レーザ11から発振されたプローブ光のうちマルチモードファイバ10に入射されない光と第2パルスレーザ23から発振された光パルスとの干渉信号を測定する工程である。

【0027】

解析工程P3は、第1測定工程P1で測定される干渉信号と第2測定工程P2で測定される干渉信号との積のスペクトルを求めることによってマルチモードファイバ10の伝搬モードの群遅延時間差を解析する工程である。この解析方法について以下に詳細に説明する。

40

【0028】

波長可変レーザ11から発振されるプローブ光は、一定の周波数の揺らぎを含み、下記式(1)で表すことができる。

$$a(t) = \exp \{ 2\pi (v_0 + g t / 2) t + \theta(t) \} \cdots (1)$$

ただし、上記式(1)において、 v_0 は初期周波数、 g は周波数変調速度[Hz/s]、 $\theta(t)$ は周波数揺らぎを表すランダムな変数である。この光周波数の変調範囲は、 F_0 から F_1 までの ΔF であるとし、その時間長は T であるとする。

【0029】

第1パルスレーザ13及び第2パルスレーザ23は、繰り返し周波数 f で光パルスを発

50

振する。プローブ光の全領域における干渉信号を測定するため、これらの光パルスのスペクトルは、波長可変レーザ 11 の変調周波数範囲 F_0 から F_1 までをカバーしている必要がある。第 2 パルスレーザ 23 が発振するパルス波形は下記式 (2) のように表すことができ、第 1 パルスレーザ 13 が発振するパルス波形は下記式 (3) のように表すことができる。

【数 1】

$$p_1(t) = \sum_n \delta(t - n\Delta T) \exp j\{2\pi\nu_1 t + \theta_1(t)\} \quad \dots (2)$$

【数 2】

$$p_2(t) = \sum_n \delta(t - n\Delta T) \exp j\{2\pi\nu_2 t + \theta_2(t)\} \quad \dots (3)$$

10

ただし、 $\delta(t)$ はパルス波形を表す関数であるが、以下の説明では簡単のため δ 関数で近似する。 ν_1 は第 2 パルスレーザ 23 の光周波数であり、 ν_2 は第 1 パルスレーザ 13 の光周波数である。また、 $\theta_1(t)$ は第 2 パルスレーザ 23 の位相揺らぎを表すランダムな変数であり、 $\theta_2(t)$ は第 1 パルスレーザ 13 の位相揺らぎを表すランダムな変数である。 ΔT は第 1 パルスレーザ 13 及び第 2 パルスレーザ 23 から発振される光パルスの周期であり、 $\Delta T = 1/f$ である。

【0030】

上述のように、第 1 光 90 度ハイブリッド 14 及び第 2 光 90 度ハイブリッド 24 によって、プローブ光と光パルスとの干渉信号が測定される。すなわち、光 90 度ハイブリッドからの 2 つの出力光がフォトディテクタにより電気信号に変換され、第 2 測定手段において I_1 、 Q_1 を、第 1 測定手段においては I_2 、 Q_2 を得る。これらの干渉信号はデジタイザによってデジタル化され、解析手段 30 へ送られる。

20

【0031】

第 2 測定手段において測定される第 n 番目の光パルスとプローブ光との干渉信号は、下記式 (4) で表すことができる。

$$x(n) = I_1(n) + j Q_1(n) \quad \dots (4)$$

ただし、 j は虚数単位である。従って、干渉信号 $x(n)$ は下記式 (5) で表すことができる。

【数 3】

$$x(n) = \int a(t) [\delta(t - n\Delta T) \exp j\{2\pi\nu_1 t + \theta_1(t)\}]^* dt \quad \dots (5)$$

ただし、 $*$ は位相共役を表す。

【0032】

上記式 (5) に上記式 (1) を代入して整理すると、下記式 (6) を得ることができる。

【数 4】

$$\begin{aligned} x(n) &= \int a(t) [\delta(t - n\Delta T) \exp j\{2\pi\nu_1 t + \theta_1(t)\}]^* dt \\ &= \exp j\{2\pi(\nu_0 - \nu_1)n\Delta T + g(n\Delta T)^2/2 + \theta(n\Delta T) - \theta_1(n\Delta T)\} \quad \dots (6) \end{aligned}$$

40

【0033】

第 1 測定手段において測定される第 n 番目の光パルスとプローブ光との干渉信号は、次のように考えられる。

【0034】

マルチモードファイバ 10 が 2 つの伝搬モード A、B を有すると仮定し、伝搬モード A の群遅延時間を τ_A とし、伝搬モード B の群遅延時間を τ_B とする。この場合、伝搬モード A を経由して第 1 光 90 度ハイブリッド 14 に到達したプローブ光は τ_A だけ遅延し、伝搬モード B を経由して第 1 光 90 度ハイブリッド 14 に到達したプローブ光は τ_B だけ遅延している。しかし、波形は波長可変レーザ 11 から発振された時点のプローブ光と同じであるから、伝搬モード A の光の波形は $a(t - \tau_A)$ と表され、伝搬モード B の光の

50

波形は $a(t - \tau_B)$ と表される。これらのプローブ光と第1パルスレーザ13から発振される光パルスとの干渉信号を第1測定手段において測定する。

【0035】

第1測定手段において測定される第n番目の光パルスとマルチモードファイバ10の伝搬モードAを経由して第1光90度ハイブリッド14に到達したプローブ光との干渉信号 $y_A(n) = I_2(n) + jQ_2(n)$ は、下記式(7)で表すことができる。

【数5】

$$y_A(n) = \int a(t - \tau_A) [\delta(t - n\Delta T) \exp j\{2\pi\nu_2 t + \theta_2(t)\}]^* dt \\ = \exp j\{2\pi[(\nu_0 - \nu_2) + g(n\Delta T - \tau_A)/2](n\Delta T - \tau_A) + \theta(n\Delta T - \tau_A) - \theta_2(n\Delta T)\} \quad \dots (7) \quad 10$$

【0036】

この干渉信号は第1デジタイザ17によってデジタル信号に変換され、第2測定手段で得られた干渉信号と同様に解析手段30へと送られる。解析手段30は、第1測定手段で測定される干渉信号と第2測定手段で測定される干渉信号との積を計算する。すなわち、下記式(8)を計算する。

【数6】

$$x(n)y_A^*(n) = \exp j\{2\pi[(\nu_2 - \nu_1) + g\tau_A]n\Delta T + \theta(n\Delta T) - \theta(n\Delta T - \tau_A) + \theta_2(n\Delta T) - \theta_1(n\Delta T)\} \quad \dots (8)$$

【0037】

また同様に、第1測定手段において測定される第n番目の光パルスとマルチモードファイバ10の伝搬モードBを経由して第1光90度ハイブリッド14に到達したプローブ光との干渉信号より、下記式(9)を得ることができる。

【数7】

$$x(n)y_B^*(n) = \exp j\{2\pi[(\nu_2 - \nu_1) + g\tau_B]n\Delta T + \theta(n\Delta T) - \theta(n\Delta T - \tau_B) + \theta_2(n\Delta T) - \theta_1(n\Delta T)\} \quad \dots (9) \quad 20$$

【0038】

上記式(8)及び式(9)において、 $\theta(n\Delta T)$ 、 $\theta(n\Delta T - \tau_A)$ 及び $\theta(n\Delta T - \tau_B)$ は、プローブ光の位相揺らぎの時間 τ_A または τ_B の範囲内の値であり、各モード間の群遅延時間差 $\tau_A - \tau_B$ に対してプローブ光のコヒーレンス時間が十分に大きければ、これらの値は互いにほぼ等しい。したがって上記式(8)より、下記式(10)を得ることができる。

【数8】

$$x(n)y_A^*(n) \cong \exp j\{2\pi[(\nu_2 - \nu_1) + g\tau_A]n\Delta T + \theta_2(n\Delta T) - \theta_1(n\Delta T)\} \quad \dots (10) \quad 30$$

【0039】

また、パルスレーザとして使用可能なモードロックファイバレーザの位相揺らぎ $\theta_1(n\Delta T)$ 及び $\theta_2(n\Delta T)$ は、非常に小さいことが知られている。これらのレーザのスペクトル線幅は1kHz以下であり、これは $\theta_1(n\Delta T)$ 及び $\theta_2(n\Delta T)$ が約1msの間ではほぼ一定であることを意味する。従って、プローブ光の時間長Tを1ms以下とすれば、測定の間、 $\theta_1(n\Delta T)$ 及び $\theta_2(n\Delta T)$ はほぼ一定である。従って上記式(10)から下記式(11)を得ることができる。

【数9】

$$x(n)y_A^*(n) \cong \exp j\{2\pi[(\nu_2 - \nu_1) + g\tau_A]n\Delta T\} \quad \dots (11) \quad 40$$

【0040】

上記式(11)をフーリエ変換してそのスペクトル $S(\nu)$ を求めると、下記式(12)のようになることがわかる。

$$S(\nu) = \delta\{\nu - (\nu_2 - \nu_1 + g\tau_A)\} \quad \dots (12) \quad 50$$

ただし、 δ は δ 関数である。

【 0 0 4 1 】

上記式 (1 2) より、このスペクトルのピーク位置 $\nu_2 - \nu_1 + g \tau_A$ は、伝搬モード A の群遅延時間 τ_A と、2つの光パルスの周波数差 $\nu_2 - \nu_1$ により与えられることがわかる。同様に、伝搬モード B に対しては下記式 (1 3) を得ることができる。

$$S(\nu) = \delta \{ \nu - (\nu_2 - \nu_1 + g \tau_B) \} \cdots (13)$$

【 0 0 4 2 】

スペクトルのピーク位置 $\nu_2 - \nu_1 + g \tau_B$ は、伝搬モード B の群遅延時間 τ_B と2つの光パルスの周波数差 $\nu_2 - \nu_1$ により与えられる。そして、2つの光パルスの周波数差 $\nu_2 - \nu_1$ は不明であるが、これは式 (1 2) 及び式 (1 3) に共通に含まれるので、2つのピーク位置の差より、モード間群遅延時間差の g 倍である $g \tau_B - g \tau_A$ を知ることができる。

10

【 0 0 4 3 】

本実施形態の群遅延時間差測定装置 1 で達成可能なモード間群遅延時間差の時間分解能は以下のように決まる。式 (1 2) 及び式 (1 3) で与えられるスペクトルは長さ T の信号のフーリエ変換であるから、幅 $1/T$ の広がりを持っている。一方、群遅延時間が $\Delta \tau$ だけ異なる場合、スペクトルのピーク位置は $g \Delta \tau$ だけ異なる。従って時間分解能は、 $1/gT = 1/\Delta F$ で与えられ、プローブ光の周波数変調幅の逆数となる。

【 0 0 4 4 】

なお、本実施形態の群遅延時間差測定方法を実施する場合、上述したパラメータの設定には次の制約が生じる。すなわち、干渉信号の位相を確定的に測定するためには、考慮する2つの群遅延時間 τ_A 及び τ_B に対して、第 n 番目の光パルスと第 $n+1$ 番目の光パルスとの干渉信号の位相差は 2π を超えてはならない。すなわち、下記式 (1 4) が必要条件となる。

20

$$2\pi (g \tau_B - g \tau_A) \Delta T < 2\pi \cdots (14)$$

【 0 0 4 5 】

これより、下記式 (1 5) を得ることができる。

$$g \Delta \tau_{max} \Delta T < 1 \cdots (15)$$

【 0 0 4 6 】

ただし、 $\Delta \tau_{max}$ は測定する群遅延時間差の最大値である。数値例として、波長可変レーザ 11 として利用可能な外部共振器付き半導体レーザでは、 $g = 100 \text{ THz/s}$ 程度の設定が可能である。また、測定したい群遅延時間差の最大値を 100 ns と仮定すると、上記式 (1 5) により $\Delta T < 100 \text{ ns}$ が必要であることがわかる。すなわち、 $f > 10 \text{ MHz}$ が必要であるが、これは市販のモードロックファイバレーザによって充分実現可能である。またこの時のプローブ光時間長 T を 1 ms とすれば、 $\Delta F = 100 \text{ GHz}$ となり、時間分解能は 10 ps 程度を実現することができる。

30

【 0 0 4 7 】

以上に述べたように、上記実施形態にかかる群遅延時間差測定方法及び群遅延時間差測定装置によれば、参照光ファイバを必要とせずに測定対象であるマルチモードファイバの群遅延時間差を高い時間分解能で測定することができる。また、マルチモードファイバに入射されるプローブ光として連続光を用いるので、短パルス光をプローブ光とする場合と比較して、測定対象であるマルチモードファイバへの入力を大きくすることができる。これにより、測定結果のダイナミックレンジを大きくすることができる。また、プローブ光として連続光を用いることによって、連続的に存在する光信号のエネルギーを測定に利用するため、高い受信感度を達成することができる。この観点からも、測定結果のダイナミックレンジを大きくすることができる。このように、上記群遅延時間差測定方法及び群遅延時間差測定装置によれば、参照光ファイバを用いなくても、高い時間分解能と優れたダイナミックレンジで群遅延時間差を測定することができる。

40

【産業上の利用可能性】

【 0 0 4 8 】

50

本発明に係る群遅延時間差測定方法及び群遅延時間差測定装置は、複数の伝搬モードを有する光ファイバのモード間群遅延時間差を高い時間分解能で測定することができるものであり、光通信の産業において利用することができる。

【符号の説明】

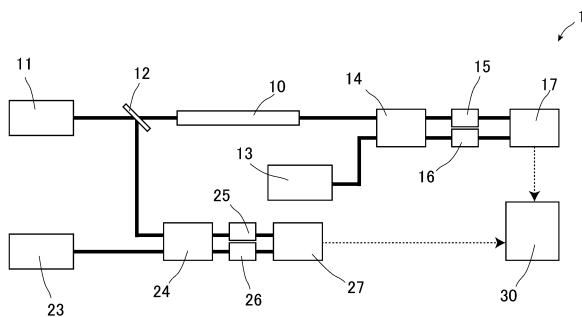
【 0 0 4 9 】

- 1 . . . 群遅延時間差測定装置
- 1 0 . . . マルチモードファイバ
- 1 1 . . . 波長可変レーザ
- 1 2 . . . ハーフミラー
- 1 3 . . . 第 1 パルスレーザ
- 1 4 . . . 第 1 光 9 0 度ハイブリッド
- 1 5 . . . フォトディテクタ (P D)
- 1 6 . . . フォトディテクタ (P D)
- 1 7 . . . 第 1 デジタイザ
- 2 3 . . . 第 2 パルスレーザ
- 2 4 . . . 第 2 光 9 0 度ハイブリッド
- 2 5 . . . フォトディテクタ (P D)
- 2 6 . . . フォトディテクタ (P D)
- 2 7 . . . 第 2 デジタイザ
- 3 0 . . . 解析手段

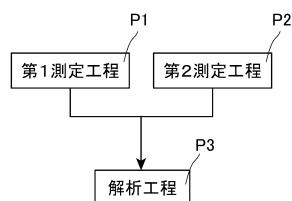
10

20

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 文彦
島根県松江市西川津町１０６０ 国立大学法人島根大学内

審査官 平田 佳規

(56)参考文献 国際公開第２００７／０３４７２１（ＷＯ，Ａ１）
特開昭５７－０２４８３６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

G 0 1 M 1 1 / 0 0 - 1 1 / 0 2
G 0 1 J 1 / 0 0
G 0 1 N 2 1 / 4 1 - 2 1 / 4 5
G 0 2 B 6 / 0 0
H 0 4 B 3 / 4 6 - 3 / 4 9 3
H 0 4 B 1 0 / 0 7 - 1 0 / 0 7 9
H 0 4 B 1 7 / 0 0 - 1 7 / 4 0
H 0 4 J 1 4 / 0 0
H 0 4 J 1 4 / 0 4