

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4678236号
(P4678236)

(45) 発行日 平成23年4月27日(2011.4.27)

(24) 登録日 平成23年2月10日(2011.2.10)

(51) Int. Cl. F 1
GO 1 M 11/02 (2006.01) GO 1 M 11/02 K

請求項の数 7 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2005-144623 (P2005-144623)	(73) 特許権者	000006507
(22) 出願日	平成17年5月17日(2005.5.17)		横河電機株式会社
(65) 公開番号	特開2006-322758 (P2006-322758A)		東京都武蔵野市中町2丁目9番32号
(43) 公開日	平成18年11月30日(2006.11.30)	(72) 発明者	平田 隆昭
審査請求日	平成19年11月7日(2007.11.7)		東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
		(72) 発明者	前田 稔
			東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河電機株式会社内
		審査官	鹿戸 俊介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学特性測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被測定対象の光学特性を測定する光学特性測定装置において、
 波長掃引されるレーザー光の偏光状態を周期的に、第1の偏光とこの第1の偏光に直交する第2の偏光とに変換する偏波モード変換器と、
 この偏波モード変換器からの光を2分岐して異なる光路で合波して干渉光を出力し、一方の光路に前記被測定対象が設置される干渉光学系と、
 この干渉光学系からの干渉光を第3の偏光とこの第3の偏光に対して偏光状態が直交する第4の偏光とに分岐する干渉光分岐部と、
 この干渉光分岐部で分岐された第3、第4の偏光それぞれを、前記偏波モード変換器の周期に基づいてサンプリングするサンプリング部と
 を設け、

偏波モード変換器は、偏光状態を変換する周期が、干渉信号の周波数よりもはやいことを特徴とする光学特性測定装置。

【請求項2】

偏波モード変換器は、レーザー光の偏光状態をs偏光とp偏光とに、周期的に変換することを特徴とする請求項1記載の光学特性測定装置。

【請求項3】

サンプリング部は、
 前記干渉光分岐部で分岐された第3の偏光を受光する第1の受光部と、

前記干渉光分岐部で分岐された第 4 の偏光を受光する第 2 の受光部と、
前記第 1 の受光部からの出力をサンプリングする第 1、第 2 のサンプリングホールド回路と、
前記第 2 の受光部からの出力をサンプリングする第 3、第 4 のサンプリングホールド回路と
を有することを特徴とする請求項 1 記載の光学特性測定装置。

【請求項 4】

前記第 1 ~ 第 4 のサンプリングホールド回路の後段に、ロウパスフィルタまたはバンドパスフィルタを設けたことを特徴とする請求項 3 記載の光学特性測定装置。

【請求項 5】

干渉光分岐部は、偏光ビームスプリッタであることを特徴とする請求項 1 記載の光学特性測定装置。

【請求項 6】

干渉光学系は、分岐された他方の光路の光の偏光面を、偏光ビームスプリッタの光学軸に対して、 45° 傾けて入射することを特徴とする請求項 5 記載の光学特性測定装置。

【請求項 7】

干渉光学系は、空間光型の干渉系であることを特徴とする請求項 1 記載の光学特性測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被測定対象の光学特性、特に被測定対象の伝達関数行列（例えば、ジョーンズ行列）を求める光学特性測定装置に関するものであり、詳しくは、簡単な干渉光学系であっても、1 回の波長掃引で光学特性を測定することができる光学特性測定装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光学特性測定装置とは、被測定対象（例えば、光学素子、光学装置、これら光学素子や光学装置の試験装置・測定装置等）の光学特性（例えば、挿入損失、反射率、透過率、偏光依存性、波長分散、偏波モード分散等）を求めるものであり、具体的には被測定対象の伝達関数行列（例えば、ジョーンズ行列）を測定によって求め、この伝達関数から被測定対象の光学特性を一括して、または必要な光学特性のみを求めるものである。

【0003】

伝達関数行列を測定によって求めるには、被測定対象に周波数 f_s の信号光を入射し、被測定対象から出力される信号光（透過光や反射光）を参照光（周波数 f_r ）と合波して干渉させる。そして、干渉信号を受光部で受光して干渉信号の振幅と位相を測定する（いわゆるヘテロダイン検出）（例えば、特許文献 1 ~ 特許文献 3 参照）。

【0004】

また信号光は、一般的に、偏光面が直交する 2 種類の直線偏光の光、例えば、s 偏光と p 偏光を被測定対象に入射する。また、所定の測定波長範囲において伝達関数を求めるため、光源を波長掃引する。

【0005】

測定方法には、s 偏光で波長掃引した後に p 偏光で再度波長掃引して測定する場合と、s 偏光と p 偏光を同時に被測定対象に入射し、1 回の波長掃引で測定する場合がある。1 回の波長掃引で測定する場合は、測定時間が短縮できると共に、1 回目と 2 回目の波長掃引における再現性（例えば、波長再現性）から生じる誤差もなく、精度よく測定できる。

【0006】

ただし、s 偏光と p 偏光を被測定対象に同時に入射するので、s 偏光と参照光との干渉信号と、p 偏光と参照光との干渉信号とを分離する必要がある。分離には、s 偏光の干渉信号と p 偏光の干渉信号それぞれを異なる測定光路長差にすることで、時間領域で分離す

10

20

30

40

50

る方法や（例えば、特許文献2参照）、s偏光の干渉信号とp偏光の干渉信号それぞれを異なる周波数で強度変調し、強度変調する変調周波数の違いから分離する方法（例えば、特許文献3参照）がある。

【0007】

【特許文献1】特開2002-243585号公報

【特許文献2】米国特許第6376830号

【特許文献3】特開2004-20567号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、s偏光に基づく干渉信号とp偏光に基づく干渉信号とを分離するため、干渉光学系が複雑になるという問題があった。

【0009】

そこで本発明の目的は、簡単な干渉光学系であっても、1回の波長掃引で光学特性を測定することができる光学特性測定装置を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

請求項1記載の発明は、
被測定対象の光学特性を測定する光学特性測定装置において、
波長掃引されるレーザ光の偏光状態を周期的に、第1の偏光とこの第1の偏光に直交する第2の偏光とに変換する偏波モード変換器と、
この偏波モード変換器からの光を2分岐して異なる光路で合波して干渉光を出力し、一方の光路に前記被測定対象が設置される干渉光学系と、
この干渉光学系からの干渉光を第3の偏光とこの第3の偏光に対して偏光状態が直交する第4の偏光とに分岐する干渉光分岐部と、
この干渉光分岐部で分岐された第3、第4の偏光それぞれを、前記偏波モード変換器の周期に基づいてサンプリングするサンプリング部と
を設け、

偏波モード変換器は、偏光状態を変換する周期が、干渉信号の周波数よりもはやいこと
たことを特徴とするものである。

【0011】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の発明において、
偏波モード変換器は、レーザ光の偏光状態をs偏光とp偏光とに、周期的に変換することを特徴とするものである。

請求項3記載の発明は、請求項1記載の発明において、
サンプリング部は、
前記干渉光分岐部で分岐された第3の偏光を受光する第1の受光部と、
前記干渉光分岐部で分岐された第4の偏光を受光する第2の受光部と、
前記第1の受光部からの出力をサンプリングする第1、第2のサンプリングホールド回路と、
前記第2の受光部からの出力をサンプリングする第3、第4のサンプリングホールド回路と
を有することを特徴とするものである。

請求項4記載の発明は、請求項3記載の発明において、
前記第1～第4のサンプリングホールド回路の後段に、ローパスフィルタまたはバンドパスフィルタを設けたことを特徴とするものである。

請求項5記載の発明は、請求項1記載の発明において、
干渉光分岐部は、偏光ビームスプリッタであることを特徴とするものである。

請求項6記載の発明は、請求項5記載の発明において、
干渉光学系は、分岐された他方の光路の光の偏光面を、偏光ビームスプリッタの光学軸

10

20

30

40

50

に対して、 45° 傾けて入射することを特徴とするものである。

請求項7記載の発明は、請求項1記載の発明において、
干渉光学系は、空間光型の干渉系であることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、以下のような効果がある。

請求項1～7によれば、偏波モード変換器が、波長掃引されるレーザ光を、所定の周期で直交する二つの偏光状態の光に交互に変換して出力する。そして、被測定対象を通った一方の光と通らない他方の光とを合波した干渉光を、干渉光分岐部が、直交する偏光状態の光に分岐し、この分岐した光それぞれをサンプリング部が所定の周期でサンプリングする。これにより、被測定対象に入射する第1の偏光に関する干渉信号と、被測定対象に入射する第2の偏光に関する干渉信号とが分離される。従って、被測定対象に入射する光の偏光状態ごとに光路を変えたり、変調周波数を変えたりする必要がなく、簡単な干渉光学系であっても、1回の波長掃引で光学特性を測定することができる。

10

【0013】

請求項4によれば、ローパスフィルタまたはバンドパスフィルタが、サンプリングによる高周波ノイズを除去するので、精度よく光学特性を求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下図面を用いて本発明の実施の形態を説明する。

図1は、本発明の一実施例を示した構成図である。図1において、波長可変光源1は、所定の波長掃引速度で波長掃引しながら連続してレーザ光を出力する。偏波モード変換器2は、波長可変光源1からの出力光の偏光状態をs偏光(第1の偏光)とp偏光(第2の偏光)とに周期的に変換させる。

20

【0015】

分岐部3は、例えば、無偏光ビームスプリッタ、ハーフミラー、光カプラ等であり、偏波モード変換器2からの光を2分岐する。なお、分岐部3が分岐した一方の光を信号光とし、他方の光を参照光とする。

【0016】

合波部4は、例えば、無偏光ビームスプリッタ、ハーフミラー、光カプラ等であり、分岐部3が分岐した信号光と参照光とを合波する。光路OP1は、分岐部3で分岐された信号光が合波部4に伝送される経路である。光路OP2は、分岐部3で分岐された参照光が合波部4に伝送される経路である。なお、光路OP1と光路OP2とは、光路長が異なる。例えば、(光路OP1(信号光側)の光路長) < (光路OP2(参照光側)の光路長)である。

30

【0017】

被測定対象5は、光路OP1に設置され、分岐部3からの信号光が入射される。従って、光路OP1の光路長は、被測定対象5の光路を含んだものとなる。また、被測定対象5に入射したs偏光、p偏光それぞれの光の偏光状態は、被測定対象5の光学特性によって変化して出射する。

40

【0018】

つまり、入射s偏光に対する出射s偏光と出射p偏光が存在し、入射p偏光に対する出射s偏光と出射p偏光が存在する。なお、入射s偏光とは、被測定対象5に入射するs偏光のことであり、出射s偏光とは、被測定対象5から出射するs偏光のことである。入射p偏光、出射p偏光も同様に、被測定対象5に入射、出射するp偏光のことである。

【0019】

従って、被測定対象5の入出力特性の伝達関数行列を2行2列のジョーンズ行列で示すと下記の式(1)で表される。

【0020】

【数 1】

$$\begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} \quad (1)$$

【0021】

ここで、 T_{11} は、入射 s 偏光に対する出射 s 偏光の関係を表し、 T_{21} は、入射 s 偏光に対する出射 p 偏光の関係を表し、 T_{12} は、入射 p 偏光に対する出射 s 偏光の関係を表し、 T_{22} は、入射 p 偏光に対する出射 p 偏光の関係を表す。つまり、 T_{xy} のうち、 x は出射側の偏光状態 ($x = 1$ が s 偏光、 $x = 2$ が p 偏光) を表し、 y は入射側の偏光状態 ($y = 1$ が s 偏光、 $y = 2$ が p 偏光) を表している。

10

【0022】

従って、被測定対象 5 の出射光は、入射する信号光が s 偏光であれば T_{11} と T_{21} が合わさった光となり、入射する信号光が p 偏光であれば T_{12} と T_{22} が合わさった光となる。

【0023】

なお、分岐部 3、合波部 4、被測定対象 5、光路 OP1、OP2 で、マッハツェンダ型の干渉光学系 100 を形成している。

【0024】

偏光ビームスプリッタ 6 は、干渉光分岐部であり、干渉光学系 100 で合波された干渉光を s 偏光 (第 3 の偏光) と p 偏光 (第 4 の偏光) に分岐する。第 1 の受光部 7 は、分岐された s 偏光を受光する。第 2 の受光部 8 は、分岐された p 偏光を受光する。

20

【0025】

なお、光路 OP2 は、偏光ビームスプリッタ 6 の光学軸に対して参照光の偏光面が 45° 傾いて入射するように配置される。例えば、光路 OP2 上に偏光面回転手段、例えば、 $\lambda/2$ 波長板 (図示せず) を設け、波長板の光学軸を参照光の偏光面に対して 22.5° 傾けて設置する。

【0026】

第 1 のサンプリングホールド (以下、S/H と略す) 回路 9、第 2 の S/H 回路 10 は、受光部 7 からの出力信号が入力される。第 3 の S/H 回路 11、第 4 の S/H 回路 12 は、受光部 8 からの出力信号が入力される。なお、受光部 7、8、S/H 回路 9 ~ 12 で、サンプリング部を形成し、偏光ビームスプリッタ 6 で分岐された s 偏光、p 偏光それぞれを、偏波モード変換器 2 の周期に基づいてサンプリングする。

30

【0027】

このような装置の動作を説明する。

一例として、波長可変光源 1 の波長掃引速度を 10 [nm/s] 、被測定対象 5 を通る信号光の光路 OP1 と参照光の光路 OP2 との光路長差を 10 [m] 、偏波モード変換器 2 の変換周期を 20 [MHz] として説明する。従って、受光部 7、8 で測定される干渉光 (ビート信号) の周波数は、 40 [kHz] 程度になる。

【0028】

波長可変光源 1 からのレーザ光が、偏波モード変換器 2 に入射する。そして、偏波モード変換器 2 が、レーザ光の偏光状態を周期的 (20 [MHz]) に変換し、直交する二つの直線偏光状態 (s 偏光と p 偏光) の光を周期的に出力する。ここで、図 2 は、偏波モード変換器 2 の出力光を示した図である。図 2 において、横軸は時間軸であり、縦軸は光パワーである。また、図 2 中 (a) は、偏波モード変換器 2 の s 偏光の出力であり、(b) は、p 偏光の出力である。図 2 に示すように、 20 [MHz] 周期 ($0.05 \text{ [}\mu\text{s]}$ 間隔) で、s 偏光と p 偏光が交互に出力される。

40

【0029】

そして、分岐部 3 が、偏波モード変換器 2 からの出力光を信号光と参照光とに 2 分岐し、信号光を光路 OP1 上の被測定対象 5 へ出力し、参照光を光路 OP2 へ出力する。そして、被測定対象 5 からの信号光と、他方の光路 OP2 を通った参照光とが合波部 5 で合波

50

され干渉する。さらに、偏光ビームスプリッタ 6 によって、合波後の干渉光が、s 偏光と p 偏光に分岐される。なお、参照光は、偏光ビームスプリッタ 6 の光学軸に対して偏光面が $45 [^\circ]$ 傾いて入射するので、参照光も受光部 7、8 に入射する。

【0030】

そして、受光部 7 が、分岐された s 偏光を受光し、受光部 8 が、分岐された p 偏光を受光する。すなわち、受光部 7 では、 T_{11} または T_{12} の作用を受けた信号光と参照光との干渉光が入力される。受光部 8 では、 T_{21} または T_{22} の作用を受けた信号光と参照光との干渉光が入力される。

【0031】

さらに、受光部 7 が、干渉光の光パワーに応じた出力信号を S/H 回路 9、10 に出力する。同様に、受光部 8 が、干渉光の光パワーに応じた出力信号を S/H 回路 11、12 に出力する。

10

【0032】

そして、S/H 回路 9 ~ 12 が、入射 s 偏光、入射 p 偏光を分離し、後段の図示しない演算部でジョーンズ行列を求める。

【0033】

次に、S/H 回路 9 ~ 12 の動作を詳細に説明する。

S/H 回路 9、11 が同期して受光部 7、8 の出力信号をサンプリング（標本化）し、S/H 回路 10、12 が同期してサンプリングし、ホールドを行なう。ここで、図 3 は、受光部 7、S/H 回路 9、10 の動作を示した図であり、横軸は時間軸である。また、図 3 中 (a) は、受光部 7 への入射光であり、縦軸は、光パワーである。(b) は、S/H 回路 9 のサンプリングのタイミングであり、(c) は、S/H 回路 10 のサンプリングのタイミングである。

20

【0034】

図 3 に示すように、受光部 7 が、 $0.05 [\mu s]$ ごとに、入射 s 偏光に対する出射 s 偏光の干渉光、入射 p 偏光に対する出射 s 偏光の干渉光を受光し、干渉光の光パワーに応じた干渉信号を出力する。

【0035】

そして、S/H 回路 9、10 のそれぞれには、偏波モード変換器 2 の変換周期 ($20 [MHz]$) の半分の周期 ($10 [MHz]$) となった入射 s 偏光に対する干渉信号と、入射 p 偏光に対する干渉信号とが入力される。

30

【0036】

同様に受光部 8 も、 $0.05 [\mu s]$ ごとに、入射 s 偏光に対する出射 p 偏光の干渉光、入射 p 偏光に対する出射 p 偏光の干渉光を受光し、干渉光の光パワーに応じた干渉信号を、S/H 回路 11、12 に出力する。

【0037】

さらに、S/H 回路 9 ~ 12 のそれぞれが、 $10 [MHz]$ 周期（つまり、 $0.1 [\mu s]$ 間隔）でサンプリングする。そして、S/H 回路 9、11 と S/H 回路 10、12 とは、 $0.05 [\mu s]$ 間隔で交互にサンプリングする。すなわち、図 3 に示すように、S/H 回路 9、11 が、 $t_0, t_2, t_4, t_6, t_8, t_{10} \dots$ でサンプリングし、S/H 回路 10、12 が、 $t_1, t_3, t_5, t_7, t_9, t_{11} \dots$ でサンプリングする。なお、時刻 $t_0 \sim t_{11}$ それぞれの時間間隔は、 $0.05 [\mu s]$ である。

40

【0038】

これにより、S/H 回路 9 のサンプリング後のデータは、入射 s 偏光に対する出射 s 偏光の干渉信号、すなわち、ジョーンズ行列中の T_{11} の影響を受けた信号のみが抽出される。

【0039】

同様に、S/H 回路 10 ~ 12 それぞれのサンプリング後のデータは、入射 p 偏光に対する出射 s 偏光の干渉信号 (T_{12})、入射 s 偏光に対する出射 p 偏光の干渉信号 (T_{21})、入射 p 偏光に対する出射 p 偏光の干渉信号 (T_{22}) が抽出される。

50

【 0 0 4 0 】

そして、上述したように、各 S / H 回路 9 ~ 1 2 の後段の図示しない演算手段が、S / H 回路 9 ~ 1 2 からの干渉信号の振幅と位相から、ジョーンズ行列の各要素を求め、このジョーンズ行列から被測定対象 5 の光学特性を求める。

【 0 0 4 1 】

このように、偏波モード変換器 2 が、直交する二つの直線偏光状態 (s 偏光、 p 偏光) の光を所定の周期で出力する。そして、参照光と被測定対象からの信号光とを合波した干渉光を、偏光ビームスプリッタ 6 が、s 偏光、p 偏光に分岐し、受光部 7、8 がそれぞれを受光する。さらに、S / H ホールド回路 9 ~ 1 2 が所定の周期 (偏波モード変換器 2 の変換速度の 1 / 2) で干渉信号をサンプリングする。これにより、入射 s 偏光に関する干渉信号と、入射 p 偏光に対する干渉信号とが分離される。従って、入射 s 偏光、入射 p 偏光によって光路を変えたり、強度変調する変調周波数を変えたりする必要がなく、簡単な干渉光学系 1 0 0 であっても、1 回の波長掃引で光学特性を測定することができる。

10

【 0 0 4 2 】

なお、本発明はこれに限定されるものではなく、以下に示すようなものでもよい。

偏波モード変換器 2 が、波長掃引されるレーザ光の偏光状態を周期的に、直線偏光である s 偏光 (第 1 の偏光)、p 偏光 (第 2 の偏光) とに変換する構成を示したが、直線偏光で変換しなくてもよく、第 1 の偏光と第 2 の偏光の偏光状態が直交していればよい。

【 0 0 4 3 】

干渉光分岐部に偏光ビームスプリッタ 6 を用いて、干渉光学系 1 0 0 からの干渉光を直線偏光である s 偏光 (第 3 の偏光)、p 偏光 (第 4 の偏光) とに分岐する構成を示したが、直線偏光で分岐しなくてもよく、第 3 の偏光と第 4 の偏光の偏光状態が直行していればよい。そして、第 1 の偏光と第 3 の偏光の偏光状態が同じでなくともよい。

20

【 0 0 4 4 】

また、S / H 回路 9 ~ 1 2 の後段、すなわち、S / H 回路 9 ~ 1 2 と図示しない演算手段の間に、ローパスフィルタまたはバンドパスフィルタを設け、1 0 [M H z] のサンプリングによる高周波ノイズを除去してもよい。具体的には、ローパスフィルタで 1 0 [M H z] 未満の信号を通過させるとよい。または、バンドパスフィルタを用いて、4 0 [k H z] 近傍のみの信号を通過させるとよい。これにより、精度よく光学特性を求めることができる。

30

【 0 0 4 5 】

また、光路 O P 1 と光路 O P 2 との光路長差が異なる構成を示したが、光路 O P 1 と光路 O P 2 の光路長差は同じでもよい。この場合、ローパスフィルタ、バンドパスフィルタのそれぞれは、直流成分近傍の信号を通過させるとよい。

【 0 0 4 6 】

また、偏波モード変換器 2 が変換する周期と S / H 回路 9 ~ 1 2 のサンプリングのタイミングとの同期を、図示しない同期回路で図ってもよい。

【 0 0 4 7 】

また、偏波モード変換器 2 が、2 0 [M H z] 周期で偏光状態を変換する構成を示したが、変換速度は、干渉信号 (ビート信号) の周波数よりも高ければよい。すなわち、干渉信号の周波数は、波長可変光源 1 の波長掃引速度、光路 O P 1、O P 2 の光路長差で決まる。従って、偏波モード変換器 2 の変換速度は、波長掃引速度、光路長差を考慮し、干渉信号の周波数よりもはやくすればよい。もちろん、波長掃引速度、光路長差も、1 0 [n m / s]、1 0 [m] 以外の値でもよい。

40

【 0 0 4 8 】

また、干渉光学系 1 0 0 は、空間光型の干渉計にしてもよい。具体的には、偏波モード変換器 2 から空間光を平行光に変換し、分岐部 3 で分岐し、信号光を被測定対象 5 に入射する。また、参照光を鏡などで折り返して所定の光路長差をえるとよい。そして、偏光ビームスプリッタ 6 と受光部 7、8 の間に集光手段を設け、受光部 7、8 に集光させるとよい。このように、空間光型の干渉計にすることにより、光学系が小型化でき、振動にも強

50

くなる。

【0049】

さらに、干渉光学系100は、マッハ・ツェンダー型の干渉計を用いる構成を示したが、どのような2光束干渉計を用いてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】本発明の一実施例を示した構成図である。

【図2】偏波モード変換器2の動作を説明した図である。

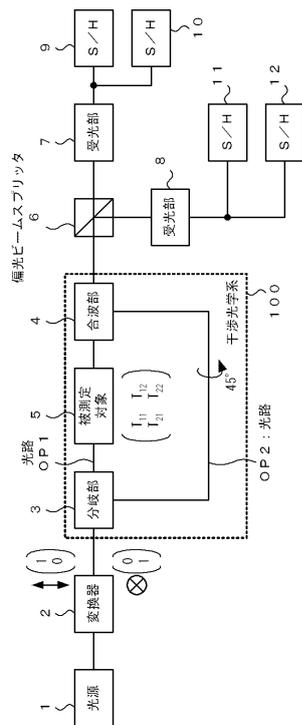
【図3】受光部7、S/H回路9、10の動作を説明した図である。

【符号の説明】

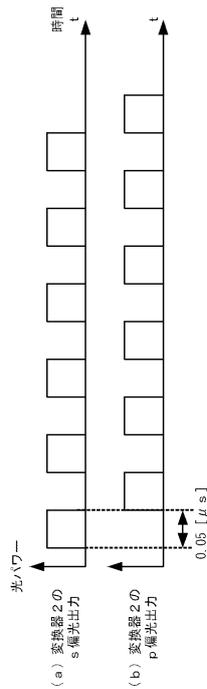
【0051】

- 1 光源
- 2 偏波モード変換器
- 5 被測定対象
- 6 偏光ビームスプリッタ
- 7、8 受光部
- 9～12 S/H回路
- 100 干渉光学系

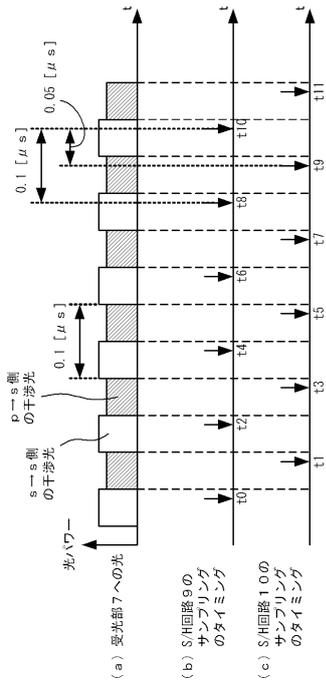
【図1】



【図2】



【 図 3 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-347318(JP,A)
特開2003-270096(JP,A)
特開2000-329651(JP,A)

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