

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4052801号  
(P4052801)

(45) 発行日 平成20年2月27日(2008.2.27)

(24) 登録日 平成19年12月14日(2007.12.14)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 C 19/72 (2006.01)

G O 1 C 19/72

J

G O 1 C 19/72

S

請求項の数 2 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2000-588571 (P2000-588571)  
 (86) (22) 出願日 平成11年11月9日(1999.11.9)  
 (65) 公表番号 特表2002-532705 (P2002-532705A)  
 (43) 公表日 平成14年10月2日(2002.10.2)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US1999/026517  
 (87) 国際公開番号 W02000/036375  
 (87) 国際公開日 平成12年6月22日(2000.6.22)  
 審査請求日 平成15年11月21日(2003.11.21)  
 (31) 優先権主張番号 09/215,581  
 (32) 優先日 平成10年12月17日(1998.12.17)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 500575824  
 ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド  
 アメリカ合衆国ニュージャージー州07962-2245, モーリスタウン, コロンビア・ロード 101, ピー・オー・ボックス 2245  
 (74) 代理人 100089705  
 弁理士 社本 一夫  
 (74) 代理人 100076691  
 弁理士 増井 忠武  
 (74) 代理人 100075270  
 弁理士 小林 泰  
 (74) 代理人 100080137  
 弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏光誤差を抑制した光ファイバ・ジャイロスコープ及びその方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源と、

前記光源と連結されパス軸及びリジェクト軸を有する偏光子と、

前記光源と連結された第1のポートを有するスプリッタと、

前記スプリッタの第3のポートに接続される第2の端部と、前記スプリッタの第2のポートに接続される第1の端部とを有する検出ループと、

前記スプリッタの第2のポートの近傍の第1の変調器と、

前記第1の変調器と接続される第1の信号発生器とを備え、

前記光源は前記偏光子に対し光を与え、

前記偏光子のパス軸を通過する光はパス偏光状態を有し、

リジェクト軸内の光はリジェクト偏光状態を有し、

前記第1の変調器はパス偏光状態の光を変調し、

前記スプリッタは、第2のポートを出て第1の端部で前記検出ループ内に入る第1の主波と、第3のポートを出て第2の端部で前記検出ループ内に入る第2の主波とに光を分割し、かつ前記検出ループの第2の端部を出てスプリッタへの第3のポートに入る第1の主波と、前記検出ループの第1の端部を出て前記スプリッタへの第2のポートに入る第2の主波とを合成し、かつ前記スプリッタの第1のポートから合成した波を出力し、

前記第1及び第2の主波はパス偏光状態を有し、

前記主波の一部のクロスカップリングによりリジェクト偏光状態を有する従波が得られ

、  
 振幅型偏光誤差が光ファイバ・ジャイロスコープ内に生じ、  
 各振幅型偏光誤差は主波及び従波間の干渉により発生され、  
 前記第 1 の信号発生器からの第 1 の変調信号が相当する振幅型偏光誤差を抑制してなる

、  
 偏光誤差抑制を有する光ファイバ・ジャイロスコープ。

【請求項 2】

光ビームを与えるステップと、

偏光子で前記光ビームを偏光するステップと、

前記光ビームを第 1 及び第 2 の主光波に分割するステップと、

光ファイバ検出ループ内に前記第 1 及び第 2 の主光波を入力し、前記第 1 及び第 2 の主光波が前記光ファイバ検出ループ内を反対方向に伝播するステップと、

前記第 1 の主光波  $\sin(\theta_m) [\cos(\phi_1 - \theta_m + \alpha) + \cos(\phi_1 + \alpha)]$  の平均が 0 であり、前記第 2 の主光波  $\sin(\theta_m) [\cos(\phi_2 + \theta_m + \alpha) + \cos(\phi_2 + \alpha)]$  の平均も 0 であり、ここで、 $\theta_m = \phi_1(t) - \phi_1(t + \Delta t) + \phi_2(t + \Delta t) - \phi_2(t)$  であり、 $\phi_1$  はバイアス変調信号であり、 $\phi_2$  は第 2 の変調信号であり、かつ  $\alpha$  は任意の位相角度である、となるように、変調器において共通の期間

を有する前記第 1 及び第 2 の主光波を変調するステップと、

からなる、光ファイバ・ジャイロスコープ内の偏光誤差を減少させる方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(技術分野)

この発明は偏光誤差を抑制した光ファイバ・ジャイロスコープ及びその方法に関する。

【0002】

(背景技術)

代表的な光ファイバ・ジャイロスコープでは、ジャイロスコープによる誤った回転検出を引き起こす偏光現象が存在する。ある偏光誤差は 1 つの偏光状態から別の偏光状態へ交差的に結合されている光により引き起こされる。例えばプロトン交換光集積回路を有するジャイロスコープの場合、前記の交差的結合は光集積回路が光源及び光ファイバ検出ループと結合する場所で生じる。このような光集積回路の位相変調器は、この変調器に与えるある信号に対しては、別の偏光状態の場合と異なるように 1 つの偏光状態に作用する。各種の偏光誤差の正確な原因及び特性は本発明以前の従来技術において周知でないものと考えられる。このような原因及び特性の発見及びその結果の解決法が開示される。

【0003】

光ファイバ・ジャイロスコープにおける振幅及び強度型偏光誤差を抑制する構成では精巧な変調信号を使用する。ジャイロスコープの検出ループ内の 1 つあるいは複数の位相変調器は偏光子のパス軸に沿って偏光された光に対し、偏光子のリジェクト軸に沿って偏光された少量の光に対する場合と異なるように作用する。この状態は光集積回路変調器の場合に現れる。プロトン交換リチウム・ニオベート変調器の場合、残留するリジェクト軸の光は光集積回路を経る別の物理的光路を通過するので、本質的に位相が変調されない。導波路は光の 1 偏光を案内するだけである。チップを通過する他の偏光状態の光の漏れは、位相変調器をバイパスする散乱光に起因する。結果としての偏光誤差を除去する本発明は、偏光保存 (PM) 型光ファイバ・ジャイロスコープ及び脱偏光 (SM) 型光ファイバ・ジャイロスコープの両方に適用される。

【0004】

この偏光誤差抑制を得るため複数の実施形態が存在する。一の実施形態はバイアス変調により複数の偏光誤差を抑制し、脱相関化 (decorrelation) 技術により残余の誤差を抑制する開ループ信号処理システムである。この技術は 1994 年 7 月 5 日に発行された「モードカップリング誤差の構成制御」という名称の、ブレイク等による米国特許第 5,327,213 号に開示されている。また 1994 年 12 月 27 日に発行され

10

20

30

40

50

た「モードカップリング誤差の構成制御」という名称の、ブレイク等による米国特許第5,377,283号にも本明細書の参考になる技術事項が開示される。別の開ループ処理システムはバイアス変調で幾つかの偏光誤差を抑制し、検出ループの反対側に配置される第2の位相変調器に供給される特定基準を満足する変調信号で他の偏光誤差を抑制する。ある特定基準を満足するランブ状波形を有する閉ループ信号処理システムでは変調信号がループの両側に配置される変調器へ供給され、またバイアス変調信号はループの片側あるいは両側の変調器へ供給される。

#### 【0005】

振幅型及び強度型の偏光誤差を説明するために一般式が展開される。この式は位相変調器が2つの偏光状態に同一の仕方で影響を与えないことを含んでいる。この場合、ループ内の同一方向に伝播する主波及び疑似(spirious)波間には無視できる交流干渉が存在する。主波は好ましい偏光波であり、疑似波即ち従波は拒絶される偏光波である。これは全ファイバ・ジャイロスコープにおける状態である。顕著な偏光誤差のすべてがループ内の反対方向に伝播する各種の波間の干渉により生じる。

#### 【0006】

(発明の開示)

本発明によれば、1あるいはそれ以上の位相変調器が同一の仕方で主偏光状態及び従偏光状態に影響を与えず、同一の方向に伝播する波もジャイロスコープの復調バンド幅内の交流干渉項を生じる場合の偏光誤差問題が解決される。この場合結果として4種の振幅偏光誤差及び1種の強度偏光誤差が生じる。異なる種類の誤差は区別され、誤差を除去するために与えられた各種の変調を有する。各種の誤差干渉に与えられる変調もまた主信号に与えられる変調と異なる。このため変調技術により誤差を抑制可能であり、同時に良好な信号感度が維持可能になる。本発明は、これらの誤差を抑制する。

#### 【0007】

(発明を実施するための最良の形態)

光ファイバ・ジャイロスコープ内の振幅型及び強度型偏光誤差を抑制する本発明においては精巧な変調信号を使用する。図1のジャイロスコープ10の検出ループ15内の一つの位相変調器11あるいは複数の変調器11、12は、プロトン交換式リチウム・ニオベート(LiNbO<sub>3</sub>)光集積回路16(本質的に偏光子である)のパス軸に沿って偏光される光13に対しては偏光子16のリジェクト軸に沿って偏光される少量の光14に対する場合とは異なるように作用する必要がある。このような事態は、等縮尺ではない図1に示す光集積回路16内の位相変調器11、12に存在する。プロトン交換LiNbO<sub>3</sub>位相変調器11または12の場合残りのリジェクト軸光17は、変調パス軸を通過する光13とは異なるチップ16を経る物理的光路を通過するので、実質的に位相変調されない。導波路18は光13である一方の偏光を案内するだけである。チップ16を通過する光の他方の偏光状態の漏れは位相変調器11、12をバイパスする散乱光17による。光源19は光集積回路(IOC)16に対し光13を与える。IOC16から戻る光はカプラ21を介して検出器23へ送られる。検出器23は戻った光信号を電気信号に変換する。この電気信号は電子回路26へ送られる。バイアス発生器35はライン37でバイアス変調信号を位相変調器11及び電子回路26に対し与える。電子回路26の出力はループ15の回転速度を示しており、速度指示器36へ送られる。図2において図1の要素と同一のものには同一の参照番号を付して示してある。

#### 【0008】

図2においてはループ15の片側に付設される位相変調器11を有したプロトン交換LiNbO<sub>3</sub>IOC16を備えた開ループ光ファイバ・ジャイロスコープ20の略図を示す。ライン37上にバイアス変調信号 $\phi_1$ を有する発生器28は位相変調器11を駆動する。発生器28からの基準信号は復調のために開ループ電子回路26に対し与えられる。ループ15のこの側は主時計方向(CW)光波22がループに入力する場所である。主反時計方向(CCW)光波24はループ15の対向側に入る。疑似CW光波25及び疑似CCW光波27は偏光子16のリジェクト軸を通過し、次にループ15に入る。更に疑似光波

10

20

30

40

50

25、27は位相変調器11により影響されないが、両方の主光波22、24は影響される。光波24はループに出る際に影響される。主CCW光波24及び疑似CW光波25間の干渉により生じる周知の振幅型誤差信号は主CW光波22及び疑似CW光波25間の干渉によって生じる、等しく正反対の誤差により相殺される。この偏光誤差がループの片側の変調により自動的に抑制されるので、注意深く確実に疑似CW光波25がインコヒレントに主CW光波22及び主CCW光波24と干渉するようにする必要はない。疑似CCW光波27が主CW光波22及び主CCW光波24とインコヒレントに干渉するよう疑似CW光波27を脱相関化し、偏光誤差を抑制することができる。

【0009】

図3はループ15の両側に発生器28、29により夫々駆動される位相変調器11、12を有するIOC16を備えた開ループ光ファイバ・ジャイロスコープ30の略図である。ライン37を経る発生器28からのバイアス変調信号 $\phi_1$ は疑似CW光波25と関連する振幅型誤差を抑制する効果のあるループ15の片側(即ち、位相変調器11)に再び印加される。変調発生器29からの第2の変調信号 $\phi_2$ がループ15のCCW側の第2の位相変調器12に印加されて、主光波22、24と干渉する疑似CCW光波27と関連する振幅型偏光誤差を抑制する。第2の変調信号 $\phi_2$ はセンサ30の動作と干渉しない周波数成分を有する。更に第2の変調信号 $\phi_2$ は $\cos \phi_2$ の平均値=0の基準を満足する。ここに $\phi_2$ は第2の変調器12によってIOC16の偏光子のパス軸に沿って偏光される光に与えられる位相変調である。 $\phi_2$ は例えば、主光波22、24と干渉する疑似CCW光波27と関連した振幅型偏光誤差を抑制するのに適正な振幅の正弦波、三角波あるいはノコギリ波にできる。

【0010】

図4は閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープ40の略図を示す。IOC16はループ15のCW側に位相変調器11を、ループのCCW側には変調器12を有している。発生器31から加算器33を経るライン38上のバイアス変調信号が位相変調器11、12に印加される。その代わりに、バイアス変調信号はIOC16の変調器の一つのみに印加することも可能である。加算器33を経る発生器32からの閉ループ、ランプ状信号 $\phi_2$ もまた変調器11、12に印加される。位相変調器11に印加される信号は $\phi_1$ であり変調器12に印加される信号は $\phi_2$ である。閉ループ信号の振幅は検出器23からの電気信号により決まり、ループ閉鎖(loop closure)電子回路39により設定される。検出器23はIOC16を経てループ15から戻る光を受け取る。ファイバのループ巻きと平行な平面に対し垂直な軸を中心にループ15が回転する結果、主光波22、24間に位相シフトが生じる。位相シフトされた主光波間の干渉は検出され信号として電子回路39、ランプ発生器32及び変調器11、12へ送られる。回転中このフィードバック信号により主光波22、24が互いに逆位相にされがちである。このフィードバック信号の量はループ15の回転速度を示す。しかしながら、検出器23における光の干渉は部分的に疑似波の結果である。従って電子回路39、ランプ発生器32及び変調器11、12への信号は誤差を生じその結果回転速度の指示が不正確になる。この不正確な指示は偏光のクロスカップリング(連係接続)のためである。

【0011】

バイアス変調信号及び閉ループ信号の波形はデジタル的なステップからなり、各ステップの期間はループ15を回る光の通過時間に等しい。信号 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ は時間関数であり以下の基準を満足する。

【0012】

$$E \{ \sin(\phi_m) [ \cos(\phi_2 + \phi_m) + \cos(\phi_2) ] \} = 0$$

$$E \{ \sin(\phi_m) [ \cos(\phi_1 - \phi_m) + \cos(\phi_1) ] \} = 0$$

【0013】

ここに $\phi_m = \phi_1(t) - \phi_1(t + \Delta t) + \phi_2(t + \Delta t) - \phi_2(t)$ は反対方向に伝播する主光波間の変調器により与えられる全位相差変調であり、 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ は任意の位相角である。 $E \{ \}$ は外圍した波形の平均(あるいは予想)値を示す。平均時間はループ閉鎖の

10

20

30

40

50

1 周期である。

【 0 0 1 4 】

システム 4 0 の 1 実施形態は 4 ステップ・デュアルランプ波形である閉ループ波形を有する。閉ループ信号に対する別のシステムは別個のゼロサイン波形が変調器 1 1、1 2 に夫々印加されるデュアル・ゼロサイン・システムである。もう 1 つのシステムはある種の閉ループ信号を使用し、次に上述した基準を満足する干渉しない周波数成分からなる波形を加えることである。

【 0 0 1 5 】

一般に、偏光誤差を抑制する変調技術は以下の基準を有している。

【 0 0 1 6 】

$$E \{ \sin(\phi_m)^* [\cos(\phi_{2x} - \phi_{2y} + \phi_m) + \cos(\phi_{2x} - \phi_{2y})] \} = 0$$

$$E \{ \sin(\phi_m)^* [\cos(\phi_{1x} - \phi_{1y} - \phi_m) + \cos(\phi_{1x} - \phi_{1y})] \} = 0$$

【 0 0 1 7 】

ここに、下付き文字「x」「y」はチップ 1 6 の両側の光の x 及び y（主及び疑似）軸で伝播する光に供給される位相変調信号を示すために付加された。

【 0 0 1 8 】

更に詳述すると、同一方向に伝播する偏光誤差を使用して反対方向に伝播する偏光誤差が相殺される。この方法は、位相変調が主及び疑似偏光路に異なる影響を与えるとときに可能である。ここで満足すべき基準は以下の通りである。

【 0 0 1 9 】

$$E \{ \sin(\phi_m)^* [\cos(\phi_{2x} - \phi_{2y} + \phi_m)] \} = -E \{ \sin(\phi_m)^* [\cos(\phi_{2x} - \phi_{2y})] \}$$

$$E \{ \sin(\phi_m)^* [\cos(\phi_{1x} - \phi_{1y} - \phi_m)] \} = -E \{ \sin(\phi_m)^* [\cos(\phi_{1x} - \phi_{1y})] \} = 0$$

【 0 0 2 0 】

ジャイロスコープの検出ループ内の

【 式 1 】

$$\overline{E}_{cw}$$

（時計方向に伝播してループを出る光）に対する

【 式 2 】

$$\overline{E}_{in}$$

（入力光波形）の関係は以下のジョーンズ行列により示される。図 5 は位相変調器 1 1 に対する  $\phi_{1x}(t)$  及び  $\phi_{1y}(t)$  の入力及び変調器 1 2 に対する入力  $\phi_{2x}(t)$  及び  $\phi_{2y}(t)$  を示す。

【 0 0 2 1 】

【 式 3 】

$$\overline{E}_{cw} = k \begin{bmatrix} e^{j\phi_{2x}(t+\tau)} & 0 \\ 0 & e^{j\phi_{2y}(t+\tau)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\phi_{1x}(t)} & 0 \\ 0 & e^{j\phi_{1y}(t)} \end{bmatrix} \overline{E}_{in}$$

【 0 0 2 2 】

ここに、 $\phi_{1x}$  = 変調器 1 1 による x（パス）偏光された成分に印加される位相変調信号

$\phi_{2x}$  = 変調器 1 2 による x（パス）偏光された成分に印加される位相変調信号

$\phi_{1y}$  = 変調器 1 1 による y（リジェクト）偏光された成分に印加される位相変調信号

$\phi_{2y}$  = 変調器 1 2 による y（リジェクト）偏光された成分に印加される位相変調信号

= ループ伝播遅延時間

= 偏光独立ロス及び位相シフトに対するロスを含む定数

$\epsilon_1$  = 集積回路 1 6 の変調器 1 1 側の偏光減衰比

$\epsilon_2$  = 集積回路 1 6 の変調器 1 2 側の偏光減衰比

【式 4】

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$

10

= ループを通過する光の偏光状態エボリューションを説明するジョーンズ行列

A = 検出コイル 1 5 内のファイバ長に亘って x (パス) 偏光軸での時計方向波 2 2 の光量変化

B = x (パス) 偏光軸における時計方向波 2 2 に対し検出コイル 1 5 のファイバ長に亘りクロスカップリングされた y (リジェクト) 偏光軸の時計方向波 2 5 の光量

C = y (リジェクト) 偏光軸の時計方向波 2 5 に対し検出コイル 1 5 のファイバ長に亘りクロスカップリングされた x (パス) 偏光軸の時計方向波 2 2 の光量

D = 検出コイル 1 5 のファイバ長にわたり y (リジェクト) 偏光軸の時計方向波 2 5 の光量変化である。

【0 0 2 3】

20

【式 5】

$$\Rightarrow \overline{E}_{cw} = k \begin{bmatrix} Ae^{j\{\phi_{1x}(t)+\phi_{2x}(t+\tau)\}} & \epsilon_1 Be^{j\{\phi_{1y}(t)+\phi_{2x}(t+\tau)\}} \\ \epsilon_2 Ce^{j\{\phi_{1x}(t)+\phi_{2y}(t+\tau)\}} & \epsilon_1 \epsilon_2 De^{j\{\phi_{1y}(t)+\phi_{2y}(t+\tau)\}} \end{bmatrix} \overline{E}_{in}$$

【0 0 2 4】

上述から、反時計方向に伝播する光の波形

【式 6】

30

$$(\overline{E}_{ccw})$$

に対する入力波形

【式 7】

$$(\overline{E}_{in})$$

の関係は以下のである。

【0 0 2 5】

40

【式 8】

$$\Rightarrow \bar{E}_{ccw} = k \begin{bmatrix} e^{j\phi_{1x}(t+\tau)} & 0 \\ 0 & \epsilon_1 e^{j\phi_{1y}(t+\tau)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & -C \\ -B & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\phi_{2x}(t)} & 0 \\ 0 & \epsilon_2 e^{j\phi_{2y}(t)} \end{bmatrix} \bar{E}_{in} e^{j\phi_R}$$

$$\Rightarrow \bar{E}_{ccw} = k \begin{bmatrix} A e^{j\{\phi_{2x}(t)+\phi_{1x}(t+\tau)\}} & -\epsilon_2 C e^{j\{\phi_{2y}(t)+\phi_{1x}(t+\tau)\}} \\ -\epsilon_1 B e^{j\{\phi_{2x}(t)+\phi_{1y}(t+\tau)\}} & \epsilon_1 \epsilon_2 D e^{j\{\phi_{2y}(t)+\phi_{1y}(t+\tau)\}} \end{bmatrix} \bar{E}_{in} e^{j\phi_R} \quad 10$$

【 0 0 2 6 】

ここに、 $\phi_R = 2\pi L D / \lambda c$  はサニャック位相シフトであり、すべて C C W 波内に含まれる。L は検出ループファイバの長さ、D はループの直径、 $\lambda$  は光波長、c は光速、及び  $\omega$  は回転速度である。

【 0 0 2 7 】

次に

【 式 9 】

$$\bar{E}_{out} = \bar{E}_{cw} + \bar{E}_{ccw} \quad 20$$

$$I_{out} = |\bar{E}_{out}|^2$$

と定義する。

【 0 0 2 8 】

ここに  $I_{out}$  はループを出る光の強度である。

【 0 0 2 9 】

項を  $\bar{E}_{in}$  の一次のみに注目すると、

【 式 1 0 】

$$\bar{E}_{in} = \begin{bmatrix} E_{inx} \\ E_{iny} \end{bmatrix}$$

$$I_{inx} = |E_{inx}|^2$$

を取ることににより見いだすことができる。

【 0 0 3 0 】

$$I_{out} = k^2 |A|^2 I_{inx} [2 + 2 \cos [\phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t + \tau) + \phi_{2x}(t + \tau) - \phi_{2x}(t) - \phi_R]] + 4 \text{ 誤差項} \quad 40$$

【 0 0 3 1 】

最初の誤差項、誤差 1 は以下の通りである。

【 0 0 3 2 】

【 式 1 1 】

$$k^2 \epsilon_1 A B^* E_{inx} E_{iny}^* e^{j[\phi_{1x}(t) - \phi_{1y}(t)]} + c.c.$$

## 【 0 0 3 3 】

ここにマーク\*の項はC W主ビームとC W疑似ビーム（あるいは複数のビーム）との間の干渉による。両方の偏光モードの変調が同一、即ち  $\phi_{1x} = \phi_{1y}$  である場合、誤差は変調されず変調バンド幅の外である。

## 【 0 0 3 4 】

2 番目の誤差項、誤差 2 は以下の通りである。

## 【 0 0 3 5 】

## 【 式 1 2 】

$$k^2 \in_1 AB^* E_{inx} E_{iny} * e^{j[\phi_{2x}(t) - \phi_{2x}(t+\tau) - \phi_{1y}(t) + \phi_{1x}(t+\tau) + \phi_R]} + c.c. \quad 10$$

## 【 0 0 3 6 】

マーク\*の項はC C W主ビームとC W疑似ビーム（あるいは複数のビーム）との間の干渉による。この誤差は2種の振幅型偏光誤差の一方である。

## 【 0 0 3 7 】

3 番目の誤差項、誤差 3 は以下のとおりである。

## 【 0 0 3 8 】

## 【 式 1 3 】

$$k^2 \in_2 AC^* E_{inx} E_{iny} * e^{j[\phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t+\tau) + \phi_{2x}(t+\tau) - \phi_{2y}(t) - \phi_R]} + c.c. \quad 20$$

## 【 0 0 3 9 】

マーク\*の項はC W主ビーム及びC C W疑似ビーム（あるいは複数のビーム）間の干渉による。この誤差は2種の主振幅型偏光誤差の他方である。

## 【 0 0 4 0 】

4 番目の誤差項、誤差 4 は以下の通りである。

## 【 0 0 4 1 】

## 【 式 1 4 】

$$k^2 \in_2 AC^* E_{inx} E_{iny} * e^{j[\phi_{2x}(t) - \phi_{2y}(t)]} + c.c. \quad 30$$

## 【 0 0 4 2 】

マーク\*の項C C W主ビームとC C W疑似ビーム（あるいは複数のビーム）との間の干渉による。最初の誤差の場合のように  $\phi_{2x} = \phi_{2y}$ 、即ち複屈折変調が存在しなければ、この誤差は要素ではない。

## 【 0 0 4 3 】

誤差 1 と誤差 2 の和はゼロに設定可能である。

## 【 0 0 4 4 】

ここで、 $2AB^* E_{inx} E_{iny} \text{Re} j$  と定義される。

誤差 1 =  $2 \phi_{1x} \cos [\phi_{1x}(t) - \phi_{1y}(t) + \phi_R]$

誤差 2 =  $2 \phi_{1x} \cos [\phi_{2x}(t) - \phi_{1y}(t) + \phi_{1x}(t + \tau) - \phi_{2x}(t + \tau) + \phi_R]$

## 【 0 0 4 5 】

変調波形が正しく選択されると、誤差 1 は誤差 2 を相殺できる。

## 【 0 0 4 6 】

一般基準は以下のものを含む。

## 【 0 0 4 7 】



【式 15】

$$\overbrace{\phi_{1x}(t)\phi_m(t)\phi_{1y}(t)}$$

$$\{\cos[\phi_{1x}(t) - \phi_{1y}(t) + \Psi] + \cos[\phi_{2x}(t) - \phi_{1y}(t) + \phi_{1x}(t + \tau) - \phi_{2x}(t + \tau) + \Psi]\} \cdot D_s = R_N$$

【0048】

ここで  $D_s$  は復調信号であり、 $R_N$  はゼロ (null) 結果である。

【0049】

ここで  $R$  は通常極めて小さいので誤差 2 から除去される。

10

【0050】

(プロトン交換 IOC の場合)  $y = 0$  で簡略化され以下の通りになる。

【0051】

$$\{\cos[\phi_{1x}(t) + \phi_{1y}(t)] + \cos[\phi_{2x}(t) - \phi_{2x}(t + \tau) + \phi_{1x}(t + \tau) + \phi_{1y}(t)]\} \cdot D_s = R_N$$

【0052】

次に  $\phi_m(t) = \phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t + \tau) + \phi_{2x}(t + \tau) - \phi_{2x}(t)$  と定義する。

【0053】

$\phi_m(t)$  は干渉計の主ビームに与えられる全位相バイアスである。

20

【0054】

以下の式を満足すると誤差 1 + 誤差 2 はゼロに等しい。

【0055】

$$\{\cos[\phi_{1x}(t) + \phi_{1y}(t)] + \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_m(t) + \phi_{1y}(t)]\} \cdot D_s = R_N$$

【0056】

信号復調  $D_s$  はローパスフィルタ後の  $\sin[\phi_m(t)]$  の乗算で表現できる場合が多い。

【0057】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t) + \phi_{1y}(t)] + \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_m(t) + \phi_{1y}(t)] \rangle = 0$$

30

【0058】

ここに  $\langle \rangle$  は時間平均を示し  $\tau$  は可変である。  $\tau$  が可変とすると、要件は以下の通りになる。

【0059】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t)] + \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_m(t)] \rangle = 0$$

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{1x}(t)] + \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{1x}(t) - \phi_m(t)] \rangle = 0$$

【0060】

ここでなされる複数の論点は、キャリア抑圧  $\phi_{1x}(t)$  がディザリングして全ての項それぞれをゼロに平均すること、同一の方向に伝播する誤差が反対方向に伝播する誤差を相殺し、個々の項がゼロに平均化されず加算されることである。

40

【0061】

$\phi_m(t) = \pm n \cdot \tau / 2$  で更に簡略化するため、 $n$  は奇整数で誤差 1、2 は以下の通りである。

【0062】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t)] + \sin[\phi_{1x}(t)] \rangle = 0$$

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{1x}(t)] - \cos[\phi_{1x}(t)] \rangle = 0$$

【0063】

次に誤差 3、4 の和はゼロとみなせる。

50

【0064】

${}^2AC^*E_{inx}E_{iny}Se^j$  と定義すると、

【0065】

$$\text{誤差3} = 2 \quad {}_2Scos[ \quad {}_1x(t) - \quad {}_1x(t + \quad) + \quad {}_2x(t + \quad) - \quad {}_2y(t) - \quad {}_R^+ \quad ]$$

$$\text{誤差4} = 2 \quad {}_2Scos[ \quad {}_2x(t) - \quad {}_2y(t) + \quad ]$$

【0066】

誤差相殺のための一般基準は以下の通りである。

【0067】

$$\{cos[ \quad {}_1x(t) - \quad {}_1x(t + \quad) + \quad {}_2x(t + \quad) - \quad {}_2y(t) + \quad ] + cos[ \quad {}_2x(t) - \quad {}_2y(t) + \quad ]\} \cdot D_s = R_N \quad 10$$

【0068】

再度  ${}_R$  は通常極めて小さいので除去される。 ${}_y = 0$  と  ${}_m(t)$  の定義を用いて簡略化できる。以下の式が満足されると誤差3、4の和はゼロになる。

【0069】

$$\{cos[ \quad {}_m(t) + \quad {}_2x + \quad ] + cos[ \quad {}_2x(t) + \quad ]\} D_s = R_N$$

【0070】

また  $\sin[ \quad {}_m(t) ]$  及びローパスフィルタリングを用いて復調する場合、以下の式が満足されると、誤差3、4の和はゼロに等しくなる。

【0071】

$$<cos[ \quad {}_m(t) + \quad {}_2x(t) + \quad ]\sin[ \quad {}_m(t) ] + cos[ \quad {}_2x(t) + \quad ]\sin[ \quad {}_m(t) ]> = 0 \quad 20$$

これは一般式でありなしの以下の2式となる。

$$<\sin[ \quad {}_m(t) ]\cos[ \quad {}_m(t) + \quad {}_2x(t) ] + \sin[ \quad {}_m(t) ]\cos[ \quad {}_2x(t) ]> = 0$$

$$<\sin[ \quad {}_m(t) ]\sin[ \quad {}_m(t) + \quad {}_2x(t) ] + \sin[ \quad {}_m(t) ]\sin[ \quad {}_2x(t) ]> = 0$$

【0072】

再度同じ論点を上述のように行うことができる。

【0073】

更に  ${}_m(t) = \pm n / 2$  とし  $n$  が奇整数とすると、通例のように基準は以下の通りとなる。

【0074】

$$<\sin[ \quad {}_m(t) ]\cos[ \quad {}_2x(t) ] - \sin[ \quad {}_2x(t) ]> = 0$$

$$<\sin[ \quad {}_m(t) ]\sin[ \quad {}_2x(t) ] + \cos[ \quad {}_2x(t) ]> = 0$$

【0075】

図6a、図6b、図6cはそれぞれデュアルランプ閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープの波形59、60、61を示す。波形59は  $I_{out}$  対  ${}_m(t)$  の干渉図形である。

${}_1x$  に含まれるバイアス変調信号61は図5のジャイロスコープ42の変調器11に印加される。デュアルランプ信号60は  ${}_1x$  と  ${}_2x$  との間に分割され、夫々変調器11、12に送られる。波形60の大きさ62は  ${}_1x$  である。大きさ51は  ${}_2x$  である。この入力構成はプッシュプル動作する。バイアス変調61は適正周波数であり方形波である。以下の表は2ステップ・デュアルランプ・システムの各種の信号を示す。

【0076】

【表1】

30

40

時間間隔	$[0, \tau]$	$[\tau, 2\tau]$	$[2\tau, 3\tau]$	$[3\tau, 4\tau]$
$\phi_{\text{Bias}}$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$
$1/2 \phi_{\text{Dual Ramp}}$	0	$\pi/2$	$\pi$	$\pi/2$
$\phi_{1x}$	$\pi/4$	$\pi/4$	$5\pi/4$	$\pi/4$
$\phi_{2x}$	0	$-\pi/2$	$-\pi$	$-\pi/2$
$\phi_{\text{m}}$	$-\pi/2$	$-3\pi/2$	$3\pi/2$	$\pi/2$

$$\phi_m = \phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t + \tau) + \phi_{2x}(t + \tau) - \phi_{2x}(t)$$

【0077】

上述から2ステップ・デュアルランプの場合の誤差1、2の和がゼロになる基準が検査される。

【0078】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t)] + \sin[\phi_{1x}(t)] \rangle = 0$$

【式16】

$$\Rightarrow \langle -1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right) + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = \sqrt{2}/4$$

$$\Rightarrow \langle +\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = \sqrt{2}/4$$

【0079】

両項が  $\sqrt{2}/4$  に平均化される。これら誤差は相殺されない。

【0080】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{1x}(t)] - \cos[\phi_{1x}(t)] \rangle = 0$$

【式17】

$$\Rightarrow \langle -1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = \sqrt{2}/4$$

$$\Rightarrow \langle -\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = -\sqrt{2}/4$$

【0081】

従ってこの基準は誤差1、2に対し満足される。上述から誤差3、4をゼロに等しくする基準が検査される。

【0082】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{2x}(t)] - \sin[\phi_{2x}(t)] \rangle = 0$$

$$\langle -1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 - 1 \cdot -1 + 1 \cdot 0 \rangle = 0 \quad \text{最初の項}$$

$$\langle 0 - 1 + 0 - 1 \rangle = -1/2 \quad \text{2番目の項}$$

【0083】

後者の誤差は相殺されない。

【0084】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{2x}(t)] + \cos[\phi_{2x}(t)] \rangle = 0$$

$$\langle -1 \cdot 0 + 1 \cdot -1 - 1 \cdot 0 + 1 \cdot -1 \rangle = -1/2 \quad \text{最初の項}$$

$$\langle 1 + 0 - 1 + 0 \rangle = 0 \quad \text{2番目の項}$$

【0085】

10

20

30

40

50

この誤差は相殺されない。結論として２ステップ・デュアルランプはパンチプル構成の上述した基準を満足しない。

【 0 0 8 6 】

図 7 a、図 7 b、図 7 c は 4 ステップ・デュアルランプ・閉ループジャイロスコープの波形 6 3、6 4、6 5 をそれぞれ示す。波形 6 3 は  $I_{out}$  対  $m(t)$  の干渉図形である。

$1x$  に含まれるバイアス変調信号 6 5 は図 5 の変調器 1 1 に印加される。デュアルランプ信号 6 4 は  $1x$  と  $1x$  との間に分割され、それぞれ変調器 1 1、1 2 へ送られる。波形 6 4 の大きさ 6 6 は である。大きさ 6 7 は である。これはプッシュプル動作である。バイアス変調は適正周波数の方形波 6 5 である。以下の表は 4 ステップ・デュアルランプ・システムの各種信号を示す。

【 0 0 8 7 】

【表 2】

$\phi_{Bias}$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$
$1/2 \phi_{Dual Ramp}$	0	$\pi/2$	$\pi$	$3\pi/2$	$2\pi$	$3\pi/2$	$\pi$	$\pi/2$
$\phi_{1x}(t)$	$\pi/4$	$\pi/4$	$5\pi/4$	$5\pi/4$	$9\pi/4$	$5\pi/4$	$5\pi/4$	$\pi/4$
$\phi_{2x}(t)$	0	$-\pi/2$	$-\pi$	$-3\pi/2$	$-2\pi$	$-3\pi/2$	$-\pi$	$-\pi/2$
$\phi_n(t)$	$-\pi/2$	$-3\pi/2$	$-\pi/2$	$-3\pi/2$	$3\pi/2$	$\pi/2$	$3\pi/2$	$+\pi/2$

$$m = 1x(t) - 1x(t + ) + 2x(t + ) - 2x(t)$$

【 0 0 8 8 】

誤差 1、2 の和をゼロにする基準が 4 ステップ・デュアルランプに対し検査される。

【 0 0 8 9 】

$$\langle \sin m(t) \cos 1x(t) + \sin 1x(t) \rangle = 0$$

【式 1 8】

$$\langle -1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = 0$$

最初の項

$$\langle \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = 0$$

2 番目の項

$$\langle \sin m(t) \sin 1x(t) - \cos 1x(t) \rangle = 0$$

【式 1 9】

$$\langle -1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = 0$$

最初の項

$$- \langle \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = 0$$

2 番目の項

【 0 0 9 0 】

誤差 1、2 はそれぞれゼロに等しい。

【 0 0 9 1 】

誤差 3、4 の和をゼロにする基準が 4 ステップ・デュアルランプに対し検査される。

10

20

30

40

50

【0092】

$$\begin{aligned} < \sin_m(t) \cos_{2x}(t) - \sin_{2x}(t) > = 0 \\ < -1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 - 1 \cdot -1 + 1 \cdot 0 - 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 - 1 \cdot -1 + 1 \cdot 0 > = 0 \end{aligned}$$

最初の項

$$- < 0 - 1 + 0 + 1 + 0 + 1 + 0 - 1 > = 0 \quad \text{2番目の項}$$

$$\begin{aligned} < \sin_m(t) \sin_{2x}(t) + \cos_{2x}(t) > = 0 \\ < -1 \cdot 0 + 1 \cdot -1 - 1 \cdot 0 + 1 \cdot +1 - 1 \cdot 0 + 1 \cdot +1 - 1 \cdot 0 + 1 \cdot -1 > \end{aligned}$$

= 0 最初の項

$$< 1 + 0 - 1 + 0 + 1 + 0 - 1 + 0 > = 0 \quad \text{2番目の項}$$

【0093】

10

誤差3、4はそれぞれゼロである。4ステップ・デュアルランプは全部で4個の誤差がそれぞれ（ / 2 バイアス変調深さで）ゼロに変調される場合である。

【0094】

開ループ動作は変調器11と関連して考察される。バイアス変調は変調器11に印加される<sub>1</sub>に含まれる。バイアス変調は適正周波数である。

【0095】

$$m = 2 \quad 1$$

【0096】

誤差1、2の和をゼロにする上述からの基準が検査される。

【0097】

20

$$\begin{aligned} < \sin_m \cos_1 + \sin_m \cos(\quad_1 - m) > = 0 \\ < \sin 2_1 \cos_1 + \sin 2_1 \cos_1 > \\ = 2 < \sin 2_1 \cos_1 > = 0 \end{aligned}$$

【0098】

これは奇関数である。

【0099】

$$\begin{aligned} < \sin_m \sin_1 + \sin_m \sin(\quad_1 - m) > = 0 \\ < \sin 2_1 \sin_1 + \sin_m \sin(-_1) > = 0 \end{aligned}$$

【0100】

ここで同一方向に伝播する誤差1は反対方向に伝播する誤差2を相殺する。

30

【0101】

誤差3、4の和をゼロにする上述の基準が検査される。

【0102】

$$\begin{aligned} < \sin_m \cos(\quad_m + \quad_2) + \sin_m \cos(\quad_2) > = 0 \quad \quad_2 = 0 \\ < \sin_m \sin_m + \sin_m > = 0 \end{aligned}$$

【0103】

これは奇関数である。

【0104】

$$\begin{aligned} < \sin_m \sin(\quad_m + \quad_2) + \sin_m \sin_2 > = 0 \\ < \sin^2_m > = 0 \end{aligned}$$

40

【0105】

和において誤差3はゼロに等しくないが、誤差4はゼロに等しい。従って誤差3をガンマトリムする必要があるだけである。

【0106】

次の例は変調器12に印加される搬送波抑圧を有する開ループ構成である。<sub>1</sub>は変調器11に印加される適正周波数のバイアス変調を含む。低い周波数の搬送波抑圧信号は変調器12に印加される<sub>2</sub>信号に含まれる。ここに、

【0107】

$$\begin{aligned} \quad_2 = < \cos(\quad_2 + \quad) > = 0 \text{ が満足されると仮定され、} \\ m \quad_2 \quad_1 \text{ であり、} \quad_2 \text{ は} \quad_1 \text{ と非同期であり、すべての} \quad \text{ 及び} \quad \text{ に対し} \end{aligned}$$

50

$\langle \cos(\theta_1 + \phi) \cos(\theta_2 + \phi) \rangle = 0$  である。

【0108】

誤差 1、2 の和をゼロにする上述からの基準が検査され、変調器 11 を利用する先行の開ループ例と同じ理由のためゼロに等しいことが判明した。

【0109】

誤差 3、4 の和をゼロにする上述からの基準が検査される。

【0110】

$\theta_2$  が  $\theta_1$  と非同期なので、

$$\langle \sin \theta_m \cos(\theta_m + \theta_2) + \sin \theta_m \cos \theta_2 \rangle = 0$$

$\theta_2$  が  $\theta_1$  と非同期なので、

$$\langle \sin \theta_m \sin(\theta_m + \theta_2) + \sin \theta_m \sin \theta_2 \rangle = 0$$

【0111】

誤差 3、4 の和がゼロに等しいことが分かる。

【0112】

本発明によればセロダイン（あるいはデジタル位相ステップ）またはデュアルランプを用いる開ループ及び閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープシステム内で偏光誤差抑制が最適に実現される。（4ステップ・デュアルランプの最適実施形態はこの説明以外で説明される。）上述したように光ファイバ・ジャイロスコープは偏光誤差を有する。偏光誤差は振幅型あるいは強度型として分類可能である。振幅型偏光誤差はクロスカップリングされた波と主波の干渉に関連する。クロスカップリングされた波は疑似波あるいは従波と呼ばれる。主波は変調器のパス軸を通して伝達される。従波は変調器のリジェクト軸で伝達される。強度型偏光誤差はクロスカップリングされた 2 波の干渉に関連する。更に誤差の分類は図 8 に関連して行うことができる。I O C 4 1 の A 側と関連する振幅型偏光誤差が存在する。これらの誤差は点  $k_1$ 、 $k_2$  でクロスカップリングされた波と主波との間の干渉に関連する。誤差 1 は同一方向に伝播する波に関連し、誤差 2 は反対方向に伝播する波に関連する。また I O C 4 1 の B 側と連係する振幅型偏光誤差が存在する。この誤差は点  $k_1$ 、 $k_3$  でクロスカップリングされる波と主波との間の干渉に関連する。誤差 3 は反対方向に伝播する波と関連する。誤差 4 は同一方向に伝播する波と関連する。最後に誤差 5 として示される強度型偏光誤差が存在する。誤差 5 はジャイロスコープ内に配置される点  $k_2$ 、 $k_3$  でクロスカップリングされる 2 波間の干渉と関連する。誤差 1、2、3、4、5 はまたそれぞれタイプ 1、2、3、4、5 の偏光誤差とも呼ばれる。

【0113】

偏光誤差を抑制あるいは相殺するためセロダインループ閉鎖の最適実施形態が存在する。バイアス変調信号が I O C 4 5 の変調器 11 に印加され、図 9 b のセロダイン信号 43 が図 9 a の変調器 12 に印加される。図 9 b は  $2\pi$ 、 $4\pi$ 、 $\dots$ 、 $n2\pi$  ラジアンでの位相変調のピーク対ピーク振幅  $\Delta\phi$  を有するセロダインループ閉鎖信号 43、 $l_c(t)$  を示す。ここに  $n$  は整数である。ループ閉鎖信号は偏光誤差の抑制のための基準を満足する。この基準は  $\langle \cos(l_c(t)) \rangle = 0$  である。この実施形態が最適であるということは当業者には周知とは言えない。信号 43 は代わりにデジタル位相ステップ信号（即ちデジタル化されたセロダイン信号）にできる。

【0114】

誤差 1、2 は振幅が等しいが、符号が逆なので、A 側の振幅偏光誤差は自己相殺を受ける。B 側の振幅偏光誤差は非ゼロ率でループ閉鎖により抑制される。強度誤差は非ゼロ率でループ閉鎖により抑制される。1 つのクラスの誤差を形成する A 側（あるいは B 側）と関連する多くの誤差が存在する。この変調技術はすべての誤差（クラス）を抑制する。

【0115】

以下に誤差抑制変調を伴うセロダインループ閉鎖の第 1 の最適実施形態を開示する。セロダインループ閉鎖信号  $l_c(t)$  は変調器 11 へ印加され、誤差抑制変調  $e_s(t)$  は変調器 12 へ印加される。バイアス変調は両側に印加可能である。偏光誤差抑制の条件  $\langle \cos(e_s(t)) \rangle = 0$  を満足する多数の波形が存在する。波形 46、47、48 は

10

20

30

40

50

それぞれ図 9 c、図 9 d、図 9 e に示される。誤差抑制波形は低い周波数あるいは検出ループ 15 の適正周波数の偶数倍に近い周波数にする必要がある。適正あるいは固有周波数は  $1/2$  に等しく、ここに はループ通過時間である。

#### 【 0 1 1 6 】

以下の説明において誤差抑制波形の周波数は低い（適正周波数より実質的に低い）とする。ループ閉鎖により低い周波数での誤差抑制変調波形  $e_s(t)$  の形状が再構築される。従って誤差抑制変調は I O C 4 5 の A 側、B 側の両方の変調器 1 1、1 2 にそれぞれ印加される。例外は図 9 e の方形波 4 8 の場合であり、この波は  $1/2$  の変調深さ 5 8（即ち a）における方形波バイアス変調のループ閉鎖に対し不可視であるが、偏光誤差を抑制し得る。方形波 4 8 は  $(2i+1)/2$  のピーク振幅 5 8 を有し、ここで  $i$  は 0、1、2、... に等しい整数である。バイアス変調が A 側（変調器 1 1）に印加されるとき、誤差 1、2 は振幅が等しいが符号が異なるので、この側と関連する振幅偏光誤差は自己相殺される。I O C 4 5 の B 側（変調器 1 2）における振幅偏光誤差は変調器 1 2 に印加される誤差抑制変調  $e_s(t)$  により抑制される。同様にバイアス変調が B 側に印加されると、この側に関連する振幅偏光誤差は自己相殺され、A 側と関連する誤差はループ閉鎖により再構築される波形  $e_s(t)$  によって抑制される。強度偏光誤差は非ゼロ回転速度に対し抑制される。方形波の場合強度誤差はゼロ回転速度を含むすべての回転速度で抑制される。

#### 【 0 1 1 7 】

以下に誤差抑制変調を伴うゼロダインループ閉鎖の、第 2 の最適の実施形態を開示する。バイアス変調は変調器 1 1 及びゼロダインループ閉鎖  $l_c(t)$  に印加され、誤差抑制信号は図 9 a の I O C 4 5 の変調器 1 2 に印加される。この実施形態では誤差抑制波形が閉ループ内で誤差抑制変調  $e_s(t)$  として合成され、式  $\langle \cos(e_s(t)) \rangle = 0$  を満足する形態を取ることができる。最適波形の例が図 9 c、図 9 d に示される。波形 4 6 のピーク変調深さは約 2.4 ラジアンであり、この場合この深さ 5 6（即ち a）のベッセル関数  $J_0$  は 2.40483 ラジアンであり  $J_0(a) = 0$  である。ベッセル関数の他のゼロ点は 5.52 及び 8.65 ラジアンである。図 9 d の波形 4 7 のピーク対ピーク振幅 5 7 は  $n/2$  ラジアンであり、ここに  $n$  は整数である。誤差抑制変調及びゼロダインループ閉鎖信号の両方は B 側の電極に印加され、次に示す偏光誤差抑制基準を満足する。

#### 【 0 1 1 8 】

$$\langle \cos(l_c(t)) \rangle = 0$$

$$\langle \cos(e_s(t)) \rangle = 0$$

#### 【 0 1 1 9 】

I O C 4 5 の A 側で生じる振幅偏光誤差は自己相殺される。I O C の B 側で生じる振幅偏光誤差は非ゼロ回転速度でのループ閉鎖信号  $l_c(t)$  により、及びゼロ回転速度を含むすべての回転速度での誤差抑制変調信号  $e_s(t)$  により抑制される。強度偏光誤差は非ゼロ回転速度でのループ閉鎖信号  $l_c(t)$  により、及びゼロ回転速度を含むすべての回転速度での誤差抑制変調信号  $e_s(t)$  により抑制される。上記はゼロダインあるいはデジタル位相ステップ技術のループ閉鎖の好ましい実施形態を開示する。三角波形 4 7 は偏光誤差の抑制に加え後方散乱誤差を抑制する。

#### 【 0 1 2 0 】

プッシュプル構成のゼロダインループ閉鎖の最適の実施形態が図 10 a に示される。バイアス変調及びゼロダイン信号  $l_c(t)$  は I O C 5 0 の変調器 1 1、1 2 に印加される。4 リセット 4 9 を有するゼロダイン波形 5 3 は誤差抑制変調として作用する。振幅誤差の抑制は  $n/4$  の大きさ 5 9 を有するリセット 4 9 に対し生じ、強度誤差の抑制は  $n/2$  及び  $n/4$  リセットに対し生じ、ここに  $n$  は整数である。偏光誤差抑制の条件は振幅誤差に対し

#### 【 式 2 0 】

$$\langle \cos\left(\frac{lc(t)}{2}\right) \rangle = 0$$

として定義され、強度誤差に対しては  $\langle \cos(lc(t)) \rangle = 0$  として定義される。従って振幅及び強度偏光誤差のすべては非ゼロ回転速度で  $n/4$  の大きさ  $5/9$  のリセット  $4/9$  を有するセロサイン波形  $5/3$  により抑制される。

【0121】

誤差抑制変調を有する図10aのプッシュプル構成内のセロサインループ閉鎖のもう1つの最適な実施形態がここに説明される。バイアス変調、セロサインループ閉鎖信号  $l(t)$   $5/3$  及び誤差抑制信号の形状が図9c、図9dに  $4/6$ 、 $4/7$  として示され、IOC50の変調器11、12に印加される。一般にバイアス変調は矩形波である必要はない。形状  $4/6$ 、 $4/7$  の波形は閉ループ内で合成される。振幅誤差に対する誤差抑制要件は次の通りである。

【0122】

【式21】

$$\langle \cos\left(\frac{lc(t)}{2}\right) \rangle = 0$$

かつ

$$\langle \cos\left(\frac{es(t)}{2}\right) \rangle = 0$$

【0123】

強度誤差に対する誤差抑制要件は  $\langle \cos(lc(t)) \rangle = 0$  及び  $\langle \cos(es(t)) \rangle = 0$  である。上述した式の一部は複数の解、例えば、 $\langle \cos(es(t)) \rangle = 0$  を有し、ここに  $es(t)$  は  $2$ 、 $4$ 、 $\dots$ 、 $n/2$  のピーク対ピーク振幅  $5/7$  に対する三角波符号  $4/7$  であり、 $n$  は  $1$ 、 $2$ 、 $3$ 、 $\dots$  の整数である。

【0124】

振幅及び強度偏光誤差はすべて、IOC50構成に対し非ゼロ速度での  $4/9$  リセットを有するセロサイン波形  $5/3$  (図10bの) により抑制される。これらの誤差はまた、誤差抑制変調信号に対し波形を適切に選択される場合、すべての回転速度で誤差抑制変調により抑制できる。誤差抑制波形は振幅あるいは強度偏光誤差を抑制するように選択される。ある波形 (例えば、三角波若しくは矩形波) は同時に両方の種類の偏光誤差を抑制可能である。正弦波波形  $4/6$  の場合、振幅偏光誤差の抑制は振幅  $5/6$  (即ち  $a$ ) に対し生じ、この場合  $J(a) = 0$  であり、 $a$  に対し  $2$ 、 $4$ 、 $5$ 、 $5/2$ 、 $8$ 、 $6/5$  等の値を与える。三角波の波形  $4/7$  の場合、振幅誤差及び強度誤差の両方共  $n/4$  のピーク対ピーク振幅  $5/7$  に対し抑制される。

【0125】

4ステップを有する図7bのようなデュアルランプ波形は、図10aのIOC50の構成で使用可能である。 $\langle \cos_2(t)/2 \rangle = 0$  なら振幅誤差を除去するため他の波形も使用でき、 $\langle \cos_2(t) \rangle = 0$  なら強度誤差を除去するために他の波形も使用可能であり、ここで  $_2$  はIOC50の変調器内への抑制波形である。

【0126】

図11aはバイアス変調信号及びループ閉鎖信号の両方がIOC52のA側に入力されるIOC52を示す。バイアス変調信号は変調器11aに入力され、ループ閉鎖信号は変調器11bに入力される。これらの両信号は代わりに加算器33によって加算され図11bに示すIOC79の変調器11に入力可能である。抑制波形発生器80からの搬送波抑圧信号は、それぞれ図11a、図11bのIOC52、79のB側の変調器12に入力さ

10

20

30

40

50



れる。抑制信号波形の特性は図 5 の I O C 5 0 の変調器 1 2 に入力される抑制信号の波形の特性と同一である。

【 0 1 2 7 】

図 1 3 は、各信号をそれぞれ変調器 1 1 の各電極に与えることにより、複数の信号発生器（例えば、第 1 及び第 2 の変調信号発生器 8 1、8 2）からの信号が加算あるいは差動の方法で一の変調器 1 1 に印加される構成が示される。

【 0 1 2 8 】

上述したように脱相関化関係には、P M ジャイロスコープ内のスプライス間、あるいは S M ジャイロスコープの 1 あるいは複数の脱偏光子のスプライス間の P M ファイバの長さを調整することが含まれ、光源のコヒーレンス関数に左右される。コヒーレンス関数は自己相関関数である。時間的コヒーレンス関数は干渉波の縞の可視性を決定する。光の遅延は検出器での 2 波が相関されないように調整される。バイアス変調が複数の誤差を抑制するために使用される場合、脱相関は残りの誤差を抑制するために使用される。脱相関は主波及びクロスカップリングされた波が互いに干渉することを防止する。図 1 2 a は P M ファイバスプライス 6 8 を有する P M ジャイロスコープ 4 4 を示す。スプライス 6 8 と I O C の長さとの間の P M ファイバの全長は必要な脱相関化を与えるように調整される。

【 0 1 2 9 】

図 1 2 b はスプライス 7 2 を有する S M（脱偏光された）ジャイロスコープ 5 4 を示す。P M ファイバの特定の長さ 7 4、7 6 は脱偏光子である。ジャイロスコープ 5 4 は単一の脱偏光子 7 4 または 7 6 のみで設計可能である。スプライス 7 2 間の P M ファイバの全長及び I O C の長さは必要な脱相関化を与えるように調整される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は幾つかの光路を有し、光スプリッタ及び変調器を含む光集積回路（I O C）を備えた光ファイバ・ジャイロスコープを示す。

【図 2】 図 2 は異なる変調器構成を有する I O C を備えた光ファイバ・ジャイロスコープを示す。

【図 3】 図 3 は異なる変調器構成を有する I O C を備えた光ファイバ・ジャイロスコープを示す。

【図 4】 図 4 は異なる変調器構成を有する I O C を備えた光ファイバ・ジャイロスコープを示す。

【図 5】 図 5 は異なる変調器構成を有する I O C を備えた光ファイバ・ジャイロスコープを示す。

【図 6 a】 図 6 a は 2 ステップ・デュアルランプ・閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープの干渉光強度変化図形である。

【図 6 b】 図 6 b は 2 ステップ・デュアルランプ・閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープのバイアス変調信号を示す。

【図 6 c】 図 6 c は 2 ステップ・デュアルランプ・閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープの波形を示す。

【図 7 a】 図 7 a は 4 ステップ・デュアルランプ・閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープの干渉光強度変化図形である。

【図 7 b】 図 7 b は 4 ステップ・デュアルランプ・閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープのバイアス変調信号を示す。

【図 7 c】 図 7 c は 4 ステップ・デュアルランプ・閉ループ光ファイバ・ジャイロスコープの波形を示す。

【図 8】 図 8 は誤差分類のための光スプリッタを有する I O C の図である。

【図 9 a】 図 9 a は図 8 の I O C の変調器のレイアウトである。

【図 9 b】 図 9 b はゼロダインループ閉鎖信号である。

【図 9 c】 図 9 c は偏光誤差抑制波形の一例である。

【図 9 d】 図 9 d は偏光誤差抑制波形の別の一例である。

【図 9 e】 図 9 e は / 2 方形波バイアス変調のループ閉鎖に対し不可視の偏光誤差抑

10

20

30

40

50

制波形である。

【図10a】 図10aはI O Cの変調器プッシュプル構成を示す。

【図10b】 図10bはプッシュプル構成の振幅及び強度偏光誤差の両方を抑制するゼロサイン波形を示す。

【図11a】 図11aは両バイアス変調信号を一方の側へ及び誤差抑制信号を他方の側へ入力するI O C構成を示す。

【図11b】 図11bは両バイアス変調信号を一方の側へ及び誤差抑制信号を他方の側へ入力するI O C構成を示す。

【図12a】 図12aはP Mジャイロスコープの脱相関法を示す。

【図12b】 図12bはS Mジャイロスコープの脱相関法を示す。

【図13】 図13は1変調器と接続される複数の変調信号発生器を示す。

10

【図1】

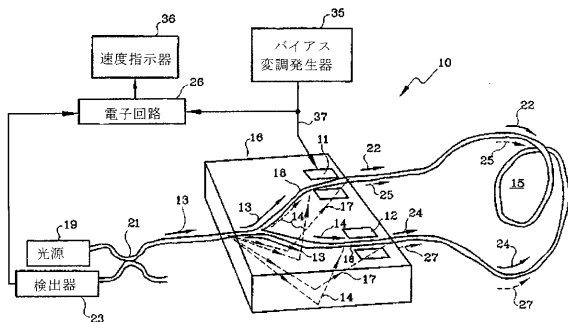


Fig.1

【図2】

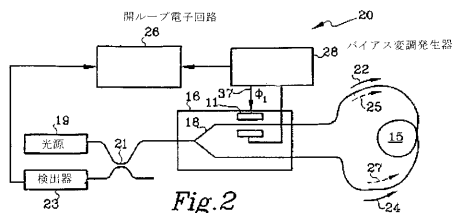


Fig.2

【図3】

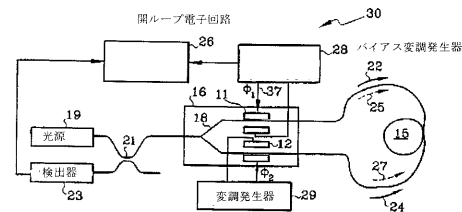


Fig.3

【図4】

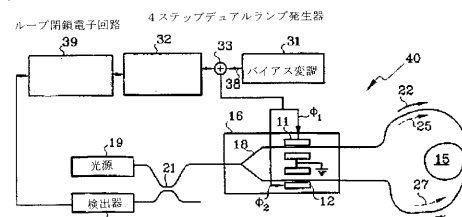


Fig.4

【図5】

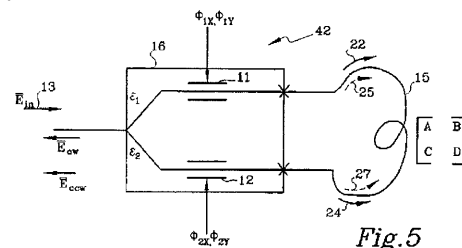


Fig.5

【図 6 a】

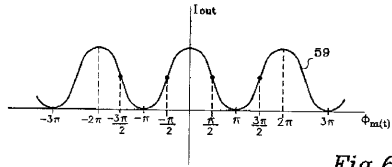


Fig.6a

【図 6 b】

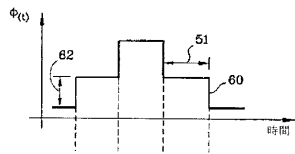


Fig.6b

【図 6 c】

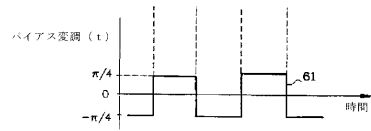


Fig.6c

【図 7 a】

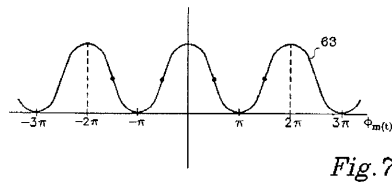


Fig.7a

【図 7 b】

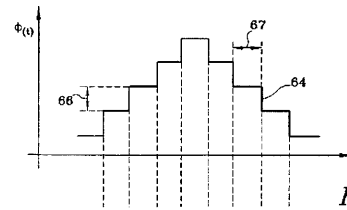


Fig.7b

【図 7 c】

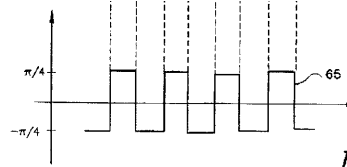


Fig.7c

【図 8】

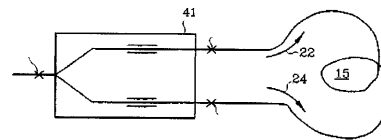


Fig.8

【図 9 a】

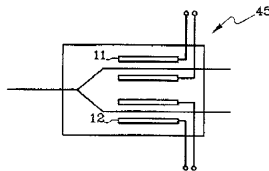


Fig.9a

【図 9 b】

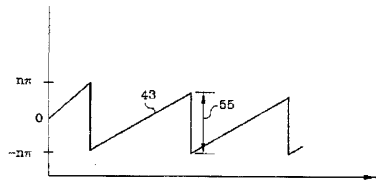


Fig.9b

【図 9 c】

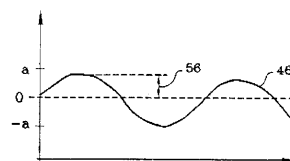


Fig.9c

【図 9 d】

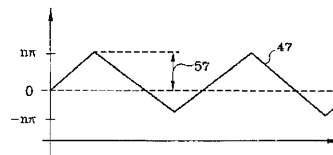


Fig.9d

【図 9 e】

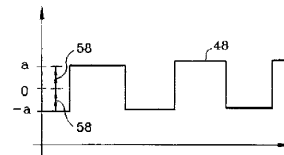


Fig.9e

【図 10 a】

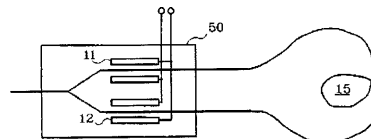


Fig.10a

【図10b】

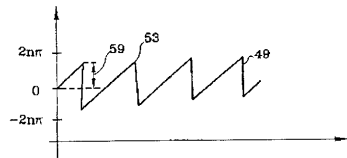


Fig. 10b

【図11a】

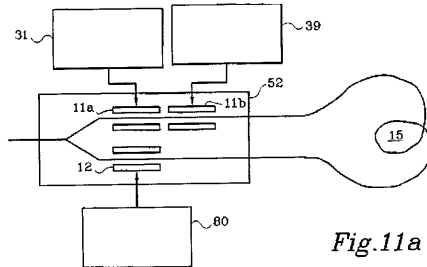


Fig. 11a

【図11b】

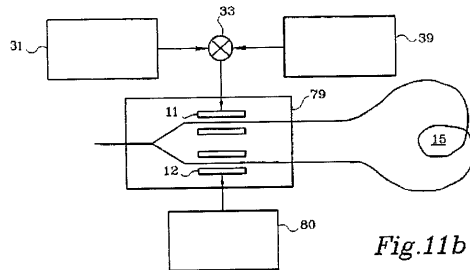


Fig. 11b

【図12a】

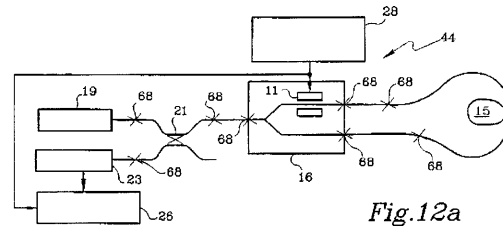


Fig. 12a

【図12b】

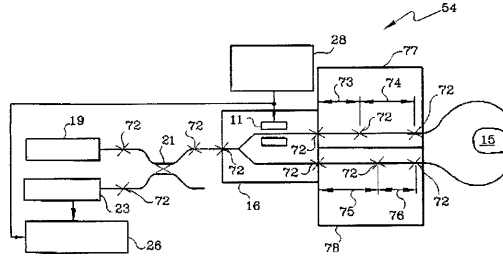


Fig. 12b

【図13】

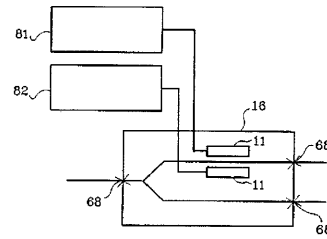


Fig. 13

## フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100101373

弁理士 竹内 茂雄

(72)発明者 スザフラニーク, ボグダン

アメリカ合衆国 アリゾナ州 85024, フェニックス, イースト ユニオン ヒルズ シャー  
プ1042 1717

(72)発明者 ブレイキ, ジエイムズ エヌ.

アメリカ合衆国 アリゾナ州 85254, スコツデイル, イースト マイケル ドライブ 55  
28

(72)発明者 ランジ, チャールズ エイチ.

アメリカ合衆国 アリゾナ州 85310, グレンデイル, ダブリユウ. アラメダ 4611

(72)発明者 ストランドジヨード, リー ケイ.

アメリカ合衆国 ミネソタ州 55331, トンカ ベイ, ヒル クレスト ドライブ 35

審査官 谷口 智利

(56)参考文献 特開平05-133759(JP, A)

特開平09-033265(JP, A)

国際公開第90/010843(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C 19/72