

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-191815

(P2017-191815A)

(43) 公開日 平成29年10月19日(2017.10.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 S 5/0687 (2006.01)	H O 1 S 5/0687	5 F 1 7 3
G O 1 S 7/491 (2006.01)	G O 1 S 7/491	5 J 0 8 4
G O 1 S 17/32 (2006.01)	G O 1 S 17/32	
H O 1 S 5/40 (2006.01)	H O 1 S 5/40	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2016-78882 (P2016-78882)	(71) 出願人	000003609
(22) 出願日	平成28年4月11日 (2016.4.11)		株式会社豊田中央研究所
			愛知県長久手市横道41番地の1
		(74) 代理人	100079049
			弁理士 中島 淳
		(74) 代理人	100084995
			弁理士 加藤 和詳
		(72) 発明者	井上 大介
			愛知県長久手市横道41番地の1 株式会
			社豊田中央研究所内
		(72) 発明者	市川 正
			愛知県長久手市横道41番地の1 株式会
			社豊田中央研究所内

最終頁に続く

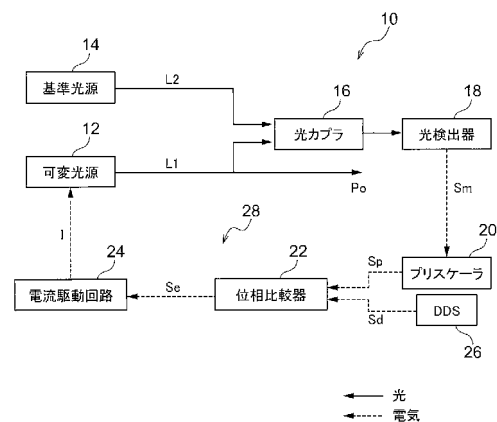
(54) 【発明の名称】 光周波数掃引レーザ光源、及びレーザレーダ

(57) 【要約】

【課題】 掃引周波数の線形性、及び安定度のより優れた光周波数掃引レーザ光源、及びレーザレーダを提供すること。

【解決手段】 外部信号 I に基づいて周波数の制御が可能な周波数可変レーザ光源 12 と、第 1 のレーザ光 L1 と第 2 のレーザ光 L2 とを干渉させて電気信号である差周波信号 S m を生成する差周波生成部 16、18 と、時間の経過に伴って周波数が増加する掃引電気信号 S d を発生する掃引信号源 26 と、差周波信号 S m と掃引電気信号 S d とに基づく位相同期制御により外部信号 I を生成する位相同期部 28 と、を含み、周波数可変レーザ光源 12 から出力されるレーザ光を出力光 P o とする。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

外部信号に基づいて周波数の制御が可能な周波数可変レーザ光源と、
第 1 のレーザ光と第 2 のレーザ光とを干渉させて電気信号である差周波信号を生成する差周波生成部と、
時間の経過に伴って周波数が増加する掃引電気信号を発生する掃引信号源と、
前記差周波信号と前記掃引電気信号とに基づく位相同期制御により前記外部信号を生成する位相同期部と、を含み、
前記周波数可変レーザ光源から出力されるレーザ光を出力光とする
光周波数掃引レーザ光源。

10

【請求項 2】

前記第 1 のレーザ光が、前記周波数可変レーザ光源から出力されたレーザ光の一部であり、
前記第 2 のレーザ光を発生させる基準レーザ光源をさらに含み、
前記差周波生成部が、前記第 1 のレーザ光と前記第 2 のレーザ光とを合波して合波光を出力する合波部、及び前記合波光を受光しヘテロダイン干渉によって前記差周波信号を生成する光検出部を備える
請求項 1 に記載の光周波数掃引レーザ光源。

【請求項 3】

前記位相同期部が、前記差周波信号の位相と前記掃引電気信号の位相との差分を検出し誤差信号として出力する位相比較部、及び前記誤差信号に基づいて前記外部信号を生成する制御信号生成部を備える
請求項 1 又は請求項 2 に記載の光周波数掃引レーザ光源。

20

【請求項 4】

前記掃引信号源が、直接デジタル信号発生器である
請求項 1 ～ 請求項 3 のいずれか 1 項に記載の光周波数掃引レーザ光源。

【請求項 5】

前記掃引電気信号が、時間の経過に伴って周波数が三角波状または鋸歯状に変化する
請求項 1 ～ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の光周波数掃引レーザ光源。

【請求項 6】

前記周波数可変レーザ光源から出力されたレーザ光を 2 分岐する分岐部と、
入力されたレーザ光に所定の遅延時間を付与する遅延部と、をさらに含み、
前記分岐部で分岐された一方の分岐光が前記第 1 のレーザ光とされ、他方の分岐光が前記遅延部によって前記遅延時間が付与されて前記第 2 のレーザ光とされ、
前記差周波生成部が、前記第 1 のレーザ光と前記第 2 のレーザ光とを合波して合波光を出力する合波部、及び前記合波光を受光しホモダイン干渉によって前記差周波信号を生成する光検出部を備える
請求項 1 に記載の光周波数掃引レーザ光源。

30

【請求項 7】

前記位相同期部が、基準信号を発生する基準信号源、前記差周波信号の位相と前記基準信号の位相との差分を検出し誤差信号として出力する位相比較部、及び前記誤差信号と前記掃引電気信号とを重畳させて前記外部信号を生成する加算部を備える
請求項 1 又は請求項 6 に記載の光周波数掃引レーザ光源。

40

【請求項 8】

前記掃引電気信号が、時間の経過に伴って周波数が三角波状または鋸歯状に変化する
請求項 1、請求項 6、及び請求項 7 のいずれか 1 項に記載の光周波数掃引レーザ光源。

【請求項 9】

前記掃引電気信号の周期に基づいて前記位相同期部による位相同期制御の開閉を制御する制御部をさらに含む
請求項 1、請求項 6 ～ 請求項 8 のいずれか 1 項に記載の光周波数掃引レーザ光源。

50

【請求項 10】

請求項 1～請求項 9 のいずれか 1 項に記載の光周波数掃引レーザ光源と、
前記光周波数掃引レーザ光源からのレーザ光を走査し周波数変調連続波方式の送信レーザ光として出力する走査部と、
を含むレーザレーダ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光周波数掃引レーザ光源、特に FMCW 方式のレーザレーダに用いるのに適した光周波数掃引レーザ光源、及び該光周波数掃引レーザ光源を用いたレーザレーダに関する。

10

【背景技術】

【0002】

FMCW (Frequency - Modulated Continuous Wave : 周波数変調連続波) 方式のレーザレーダとは、従来のレーザレーダのように送信波として光パルスを用いるのではなく、周波数変調された連続波を使用して測距等を行うレーザレーダである。送信信号のピーク電力を低く抑えることができるので、送信器の半導体化が容易であるなどの従来のレーザレーダと比較して優れた特徴を有するため、精力的に研究が進められている。

【0003】

20

FMCW 方式のレーザレーダでは、送信波と、対象物で反射した受信波とを混合し、混合の結果発生したビート周波数から受信波の時間遅れを算出し、この時間遅れを対象物との距離等に換算する。そのため、FMCW 方式のレーザレーダでは、安定度の高い周波数変調されたレーザ光源が必要となる。

【0004】

周波数 (波長) の安定化を意図した従来技術に係るレーザ光源として、特許文献 1 に開示されたレーザ光源が知られている。特許文献 1 に開示されたレーザ光源は、2 つのレーザダイオードの合波出力の一部を分岐カプラにて分岐し、光ヘテロダイン検波回路で両波長の差を検出し、この波長差を O/E 変換器、及び周波数カウンタで電圧に変換して基準電圧と比較器で比較し、制御回路によりこの比較出力に応じて一方のレーザダイオードの波長を制御している。このような構成により、特許文献 1 では、両発振光の波長間隔が基準電圧に応じた一定値に常時制御されるので、出力光の波長が安定化されるとしている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開平 9 - 93194 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、FMCW 方式のレーザレーダでは、送信波として用いる周波数変調されたレーザ光源の周波数の線形性が、距離等の測定精度に大きな影響を及ぼす。従って、FMCW 方式のレーザレーダに用いるレーザ光源は、掃引周波数のより高い線形性、安定度のより高いレーザ光源であることが要求される。この点、特許文献 1 に開示されたレーザ光源では、光ヘテロダインを用いて出力光の周波数の安定化を図っているものの、周波数を掃引する機能は有していない。

40

【0007】

本発明は、上記問題に鑑みてなされたものであり、掃引周波数の線形性、及び安定度のより優れた光周波数掃引レーザ光源、及びレーザレーダ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】

【0008】

50

上記の目的を達成するために、請求項 1 に記載の光周波数掃引レーザ光源は、外部信号に基づいて周波数の制御が可能な周波数可変レーザ光源と、第 1 のレーザ光と第 2 のレーザ光とを干渉させて電気信号である差周波信号を生成する差周波生成部と、時間の経過に伴って周波数が変化する掃引電気信号を発生する掃引信号源と、前記差周波信号と前記掃引電気信号とに基づく位相同期制御により前記外部信号を生成する位相同期部と、を含み、前記周波数可変レーザ光源から出力されるレーザ光を出力光とするものである。

【0009】

また、請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、前記第 1 のレーザ光が、前記周波数可変レーザ光源から出力されたレーザ光の一部であり、前記第 2 のレーザ光を発生させる基準レーザ光源をさらに含み、前記差周波生成部が、前記第 1 のレーザ光と前記第 2 のレーザ光とを合波して合波光を出力する合波部、及び前記合波光を受光しヘテロダイン干渉によって前記差周波信号を生成する光検出部を備えるものである。

10

【0010】

また、請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 又は請求項 2 に記載の発明において、前記位相同期部が、前記差周波信号の位相と前記掃引電気信号の位相との差分を検出し誤差信号として出力する位相比較部、及び前記誤差信号に基づいて前記外部信号を生成する制御信号生成部を備えるものである。

【0011】

また、請求項 4 に記載の発明は、請求項 1 ～請求項 3 のいずれか 1 項に記載の発明において、前記掃引信号源が、直接デジタル信号発生器であるものである。

20

【0012】

また、請求項 5 に記載の発明は、請求項 1 ～請求項 4 のいずれか 1 項に記載の発明において、前記掃引電気信号が、時間の経過に伴って周波数が三角波状または鋸歯状に変化するものである。

【0013】

また、請求項 6 に記載の発明は、請求項 1 に記載の発明において、前記周波数可変レーザ光源から出力されたレーザ光を 2 分岐する分岐部と、入力されたレーザ光に所定の遅延時間を付与する遅延部と、をさらに含み、前記分岐部で分岐された一方の分岐光が前記第 1 のレーザ光とされ、他方の分岐光が前記遅延部によって前記遅延時間が付与されて前記第 2 のレーザ光とされ、前記差周波生成部が、前記第 1 のレーザ光と前記第 2 のレーザ光とを合波して合波光を出力する合波部、及び前記合波光を受光しホモダイン干渉によって前記差周波信号を生成する光検出部を備えるものである。

30

【0014】

また、請求項 7 に記載の発明は、請求項 1 又は請求項 6 に記載の発明において、前記位相同期部が、基準信号を発生する基準信号源、前記差周波信号の位相と前記基準信号の位相との差分を検出し誤差信号として出力する位相比較部、及び前記誤差信号と前記掃引電気信号とを重畳させて前記外部信号を生成する加算部を備えるものである。

【0015】

また、請求項 8 に記載の発明は、請求項 1、請求項 6、及び請求項 7 のいずれか 1 項に記載の発明において、前記掃引電気信号が、時間の経過に伴って周波数が三角波状または鋸歯状に変化するものである。

40

【0016】

また、請求項 9 に記載の発明は、請求項 1、請求項 6 ～請求項 8 のいずれか 1 項に記載の発明において、前記掃引電気信号の周期に基づいて前記位相同期部による位相同期制御の開閉を制御する制御部をさらに含むものである。

【0017】

上記の目的を達成するために、請求項 10 に記載のレーザレーダは、請求項 1 ～請求項 9 のいずれか 1 項に記載の光周波数掃引レーザ光源と、前記光周波数掃引レーザ光源からのレーザ光を走査し周波数変調連続波方式の送信レーザ光として出力する走査部と、を含むものである。

50

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、掃引周波数の線形性、及び安定度の高い光周波数掃引レーザ光源、及びレーザレダを提供することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】第1の実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源の構成の一例を示すブロック図である。

【図2】実施の形態に係るFMCW方式の概略を説明するための図である。

【図3】実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源に用いるレーザ光源の一例を示す図である。

10

【図4】第2の実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源の構成の一例を示す図である。

【図5】第3の実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源の構成の一例を示すブロック図である。

【図6】第3の実施の形態に係る掃引信号源の波形の一例を示す図である。

【図7】第3の実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源のデッドタイム除去処理について説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、図面を参照して、本発明を実施するための形態について詳細に説明する。

20

【0021】

[第1の実施の形態]

図1ないし図3を参照して、本実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源10について説明する。光周波数掃引レーザ光源10は、電気系の負帰還回路により周波数可変レーザ光源の出力レーザ光の周波数を制御する位相同期(Phase Locked Loop: PLL)制御部を基本的な構成として含んでいる。

【0022】

図1に示すように、光周波数掃引レーザ光源10は、可変光源12、基準光源14、光カプラ(合波部)16、光検出器18、及び電気系回路28を含んで構成されている。

【0023】

可変光源12は、周波数(波長)を可変とされたレーザ光源であり、本実施の形態では、注入電流(外部信号)により波長を変えることが可能なSOA(Semiconductor Optical Amplifier: 半導体光増幅器)を用いたレーザ光源を採用している。

30

【0024】

基準光源14は、出力レーザ光の周波数が安定化された単一波長のレーザ光源である。光カプラ16は、可変光源12からの光信号L1と、基準光源14からの光信号L2とを合波する素子である。光検出器18は、合波された光信号L1と、光信号L2とを混合(ミキシング)し、光ヘテロダイン干渉を発生させる。光検出器18においてヘテロダイン検波されると、ダウンコンバートされた中間周波数のRF(Radio Frequency)電気信号Smが、光検出器18から出力される。

40

【0025】

図1に示すように、本実施の形態に係る電気系回路28は、プリスケラ20、DDS(Direct Digital Synthesizer: 直接デジタル信号発生器)26、位相比較器22、及び電流駆動回路(制御信号生成部)24を備え、上記PLL制御の負帰還部を構成している。

【0026】

プリスケラ20は、RF電気信号Smを分周してより低周波の分周電気信号Spに変換する分周器である。DDS26は、周波数掃引(変調)された基準掃引信号Sdを発生する信号源である。

50

【 0 0 2 7 】

位相比較器 2 2 は、分周電氣信号 S_p の位相と、基準掃引信号 S_d の位相とを比較し、差分を誤差信号 S_e として出力する。電流駆動回路 2 4 は、誤差信号 S_e を用いて可変光源 1 2 を制御する電流 I を生成する。

【 0 0 2 8 】

以上の構成を有する光周波数掃引レーザ光源 1 0 では、PLL 制御により、可変光源 1 2 の出力光 P_o の光掃引周波数が基準掃引信号 S_d の掃引周波数にロックされ、基準掃引信号 S_d の掃引周波数に従って出力光 P_o の光掃引周波数が変化する。

【 0 0 2 9 】

次に、図 2 を参照して、FMCW 方式のレーザレーダ（以下、単に「レーザレーダ」）について説明する。図 2（a）は、レーザレーダ 4 2 の送信、受信について説明するための図、図 2（b）は、FMCW 方式を説明するための図、図 2（c）は、従来技術に係る周波数可変レーザ光源の特性を説明するための図である。

10

【 0 0 3 0 】

図 2（a）に示すように、レーザレーダ 4 2 からは、時間 t に対して鋸歯状に周波数（図 2（a）では、「 f 」と表記）変調された送信レーザ光 P_T が出力される。送信レーザ光 P_T が距離 d だけ離れた対象物 O で反射されると、受信レーザ光 P_R となってレーザレーダ 4 2 に戻り、受信される。なお、図 2（a）に示す鋸歯状の送信レーザ光 P_T 、受信レーザ光 P_R は一例であって、他の波形、例えば三角波状の送信レーザ光 P_T 、受信レーザ光 P_R であってもよい。

20

【 0 0 3 1 】

送信レーザ光 P_T と受信レーザ光 P_R を重ねて描くと図 2（b）のようになり、受信レーザ光 P_R は送信レーザ光 P_T より遅延時間 τ だけ遅れる。この遅延時間 τ が距離 d の情報を含んでおり、FMCW 方式では、この距離 d を送信レーザ光 P_T と受信レーザ光 P_R との周波数差 f_b を用いて算出する。

【 0 0 3 2 】

以上のように構成された FMCW 方式のレーザレーダでは、周波数変調された送信レーザ光 P_T を発生させるためのレーザ光源、すなわち光周波数掃引レーザ光源が、測距等における精度の向上の観点から重要なキーコンポーネントとなる。すなわち、掃引周波数の線形性、及び安定度のより優れた光周波数掃引レーザ光源を実現することが重要である。

30

【 0 0 3 3 】

しかしながら、SOA 等を用いた従来技術に係る波長可変レーザ光源の注入電流に対する出力光の周波数の特性は、図 2（c）に示すように周波数が電流に比例しない部分を含み、リニアリティ（線形性）の悪い特性を示すのが一般的であった。また、この電流 - 周波数の特性も温度等の環境変化の影響を受けて変動しやすいものであった。このような波長可変レーザ光源を用いて FMCW 方式のレーザレーダを構成する限り、測距等の精度の向上を望むのは困難であった。また、テーブル等に基づいて注入電流を制御するフィードフォワード方式で波長可変レーザ光源の周波数を制御する方法も考えられるが、このような方法では温度等の環境が変化した場合に周波数が安定しないという欠点があった。

【 0 0 3 4 】

そこで、本実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源では、出力レーザ光の周波数掃引制御を行う際、より低周波数の電氣信号に変換すれば、数 kHz オーダーの精度での制御が可能になることに着目した。そして、光信号の代わりに電氣信号で制御が可能のように、光ヘテロダイン干渉によって光信号の周波数をダウンコンバートさせる。そして、ダウンコンバートの結果発生した差周波信号を、基準掃引信号源を備えた電氣系の位相同期回路によりロックし、該基準掃引信号源の周波数を掃引することにより出力光の光周波数を掃引している。

40

【 0 0 3 5 】

次に、図 3 を参照して、本実施の形態に係る可変光源 1 2、あるいは基準光源 1 4 の具体的な構成例について説明する。図 3（a）は、本実施の形態において、可変光源 1 2、

50

あるいは基準光源 14 として用いられるレーザ光源の一例であるレーザ光源 80 を、図 3 (b) は、他の一例であるレーザ光源 82 を示している。レーザ光源 80、及びレーザ光源 82 の各々は、一例として、光導波路を用いた光集積回路によって集積化されている。

【0036】

図 3 (a) に示すように、レーザ光源 80 は、SOA 30、ヒータ 32、光フィルタ 34、及びアウトカブラ 36 を含んで構成されている。SOA 30、光フィルタ 34、及びアウトカブラ 36 の各々は、導波路 40 で接続されている。

【0037】

本実施の形態に係る SOA 30 は、一端側が反射面 M1 とされ、他端側から光を出力する。上述したように、SOA 30 は、注入電流を変化させて波長を変化させることの可能な光源である。

10

【0038】

光フィルタ 34 は、透過するレーザ光の波長を選択する素子であり、本実施の形態では、長さの異なる 2 本の導波路を用いた非対称マッハツェンダ型の光フィルタをされている。

【0039】

アウトカブラ 36 は、2 本の導波路を光結合させて構成された、光フィルタ 34 からのレーザ光を取り出すための素子である。アウトカブラ 36 は、導波路の一端が開放されて形成された反射面 M2 を有している。アウトカブラ 36 の出力レーザ光は、導波路 38 を介して出力光 Po として出力される。

20

【0040】

ヒータ 32 は、注入された電流に応じて発熱する素子であり、一例として、金属で形成された電極である。ヒータ 32 は、例えばクラッドを介してコアである導波路 40 の上部に配置され、導波路 40 に熱を付与することにより、導波路 40 の屈折率を変化させ、通過するレーザ光に対する等価的な光学長を変化させる。

【0041】

以上のように構成されたレーザ光源 80 では、反射面 M1 と反射面 M2 とでファブリペロー共振器が構成されており、該ファブリペロー共振器と光フィルタ 34 とで選択された波長が、出力光 Po として出力される。

【0042】

30

図 3 (b) を参照して、レーザ光源 80 における波長の実選について説明する。図 3 (b) において、曲線 R1 は上記ファブリペロー共振器の共振波長を示しており、曲線 R2 は、光フィルタ 34 の透過特性を示している。図 3 (b) に示すように、曲線 R1 で示される共振波長が光フィルタ 34 で帯域制限され、曲線 R2 のピークに位置する波長 λ_0 が選選され。出力光 Po として出力される。

【0043】

さらに、レーザ光源 80 では、ヒータ 32 に流す電流によって上記ファブリペロー共振器の共振特性を変えることができるので、出力光 Po の周波数 (波長) を変えることが可能となっている。

【0044】

40

次に、図 3 (c) を参照して、レーザ光源 82 について説明する。図 3 (c) に示すように、レーザ光源 82 は、SOA 50、ヒータ 52、光フィルタ 54、及びアウトカブラ 56 を含んで構成されている。SOA 50、光フィルタ 54、及びアウトカブラ 56 の各々は、導波路 58、60 によって接続されている。

【0045】

SOA 50 は、SOA 30 と同様に、一端側が反射面 M1 とされ、他端側から光を出力する。

【0046】

光フィルタ 54 は、透過するレーザ光の波長を選択する素子であり、本実施の形態では、リング導波路を用いたリング共振器型の光フィルタを用いている。

50

【 0 0 4 7 】

アウトカブラ 5 6 は、 2 つのループミラーを方向性結合器により結合させた構造を有するカブラであり、方向性結合器の部分が入射された光を反射する反射面 M 2 の機能を有している。アウトカブラ 5 6 からの出力レーザ光は、導波路 6 2 を介して出力光 P o として出力される。

【 0 0 4 8 】

ヒータ 5 2 は、注入された電流に応じて発熱する素子であり、一例として、金属で形成された電極である。ヒータ 5 2 は、例えばクラッドを介してコアである導波路 5 8 の上部に配置され、導波路 5 8 に熱を付与することにより、導波路 5 8 の屈折率を変化させ、通過するレーザ光に対する等価的な光学長を変化させる。

10

【 0 0 4 9 】

以上のように構成されたレーザ光源 8 2 では、反射面 M 1 と反射面 M 2 とでファブリペロー共振器が構成されており、該ファブリペロー共振器と光フィルタ 5 4 とで選択された波長が、出力光 P o として出力される。

【 0 0 5 0 】

さらに、レーザ光源 8 2 では、ヒータ 5 2 に流す電流によって上記ファブリペロー共振器の共振特性を変えることができるので、出力光 P o の周波数（波長）を変えることが可能となっている。

【 0 0 5 1 】

本実施の形態に係る可変光源 1 2、あるいは基準光源 1 4 は、上記のレーザ光源 8 0、あるいはレーザ光源 8 2 を用いているので、周波数精度の高いレーザ光を出力することが可能となっている。

20

【 0 0 5 2 】

本発明に係るレーザレーダは、本実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源と、該光周波数掃引レーザ光源からのレーザ光を走査する走査部とを含む送信レーザ光源を備えて構成することができる。

【 0 0 5 3 】

以上、詳述したように、本実施の形態に係る発明によれば、掃引周波数の線形性、及び安定度のより優れた光周波数掃引レーザ光源、及びレーザレーダを提供することが可能となる。

30

【 0 0 5 4 】

[第 2 の実施の形態]

図 4 を参照して、本実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源 7 0 について説明する。光周波数掃引レーザ光源 7 0 は、可変光源及び基準光源として上述したレーザ光源 8 2 を用い、レーザ光源の大部分を光導波路を用いた光集積回路技術により集積化した形態である。図 4 に示すように、光周波数掃引レーザ光源 7 0 は、S O A 5 0、5 0、及び光集積回路 7 2 を含んで構成されている。

【 0 0 5 5 】

図 4 に示すように、光集積回路 7 2 は、可変光源 1 2 a、基準光源 1 4 a、光カブラ 7 4、フォトダイオード 7 6、及び電気系回路 2 8 の各々を集積化して構成されている。電気系回路 2 8 は、図 1 に示すものと同じ回路であるので、同様の構成には同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

40

【 0 0 5 6 】

基準光源 1 4 a は、基本的にレーザ光源 8 2 と同じものである。従って、同様の構成には同じ符号を付して詳細な説明を省略する。なお、本実施の形態に係る基準光源 1 4 a では、波長の制御を行わないので、ヒータ 5 2 はなくともよいが、例えばフィードバック制御等によりさらに基準周波数（基準波長）を安定化させたいような場合には、設けてもよい。

【 0 0 5 7 】

可変光源 1 2 a は、ヒータ 5 2 がヒータ 7 8 に変更されている以外は、基本的にレーザ

50

光源 8 2 と同じものである。従って、同様の構成には同じ符号を付して詳細な説明を省略する。可変光源 1 2 a では、電気系回路 2 8 による P L L 制御を介してヒータ 7 8 に流す電流 I を制御することにより、周波数を変えられるように構成されている。

【 0 0 5 8 】

可変光源 1 2 a からの光信号 L 1 と、基準光源 1 4 a からの光信号 L 2 とは、光カプラ 7 4 によって合波され、合波された信号光がフォトダイオード 7 6 で受光される。光カプラ 7 4、及びフォトダイオード 7 6 の機能は、上述した図 1 における光カプラ 1 6、及び光検出器 1 8 と同様である。ただし、本実施の形態に係る光カプラ 7 4 は、2 入力、2 出力の 2 : 2 カプラとされており、一方の出力部がフォトダイオード 7 6 に接続されると共に、他方の出力部から出力光 P o が出力される。

10

【 0 0 5 9 】

本発明に係るレーザレーダは、本実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源と、該光周波数掃引レーザ光源からのレーザ光を走査する走査部とを含む送信レーザ光源を備えて構成することができる。

【 0 0 6 0 】

以上のように構成された光周波数掃引レーザ光源でも、光信号の代わりに電気信号で制御が可能になるように、光ヘテロダイン干渉によって光信号の周波数をダウンコンバートさせる。そして、ダウンコンバートの結果発生した差周波信号を、基準掃引信号源を備えた電気系の位相同期回路によりロックし、該基準掃引信号源の周波数を掃引することにより出力光の光周波数を掃引している。従って、本実施の形態に係る発明によっても、掃引周波数の線形性、及び安定度のより優れた光周波数掃引レーザ光源、及びレーザレーダを提供することが可能となる。

20

【 0 0 6 1 】

さらに、本実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源では、構成の大部分を光集積回路を用いて集積化しているので、製造がより簡易になると共に、温度等の環境変動に対する出力光の周波数変動が抑制されるという効果がある。

【 0 0 6 2 】

[第 3 の実施の形態]

図 5 ないし図 7 を参照して、本実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源 1 0 0 について説明する。図 5 (a) は、光周波数掃引レーザ光源 1 0 0 の構成の一例を示すブロック図であり、図 5 (b) は、図 5 (a) 中の乗算器 1 0 6 の具体的な構成を示すブロック図である。また、図 6 は、本実施の形態に係る掃引信号源の波形の一例を示す図であり、図 7 は、光周波数掃引レーザ光源 1 0 0 におけるデッドタイム除去処理について説明する図である。

30

【 0 0 6 3 】

図 5 (a) に示すように、光周波数掃引レーザ光源 1 0 0 は、V C O (V o l t a g e C o n t r o l l e d O s c i l l a t o r) 1 0 2、光カプラ 1 3 6、Y 分岐 (分岐部) 1 3 8、基準遅延素子 (遅延部) 1 0 4、乗算器 1 0 6、及び電気系回路 1 3 0 を含んで構成されている。

【 0 0 6 4 】

V C O 1 0 2 は、電圧制御型の光周波数可変レーザ光源であり、入力された制御信号 S c の電圧値 (外部信号) に応じた光周波数の光信号 L を発生する。光信号 L の一部は光カプラ 1 3 6 で分岐され、出力光 P o として出力される。

40

【 0 0 6 5 】

Y 分岐 1 3 8 は、光信号 L を 2 分岐し、分岐された一方の光信号を基準遅延素子 1 0 4 に送る。また、光信号 L を 2 分岐した他方の光信号を、光信号 L 3 として直接乗算器 1 0 6 に送る。

【 0 0 6 6 】

基準遅延素子 1 0 4 は、Y 分岐 1 3 8 で分岐された光信号 L の一方に予め定められた遅延を与え、光信号 L 4 とする素子である。基準遅延素子 1 0 4 は、例えば設定された時間

50

分遅延する長さの光ファイバを用いて作製することができる。

【0067】

乗算器106は、光信号L3と光信号L4とを混合してホモダイン干渉を発生させ、RF電気信号Smを発生させる素子である。図5(b)に示すように、乗算器106は、光カプラ132及び光検出器134を備えている。光カプラ132は、光信号L3と、光信号L4とを合波する。光検出器134は、光カプラ132で合波された合波光を受光してホモダイン干渉を発生させ、該ホモダイン干渉によって発生したRF電気信号Smを出力する。従って、光カプラ132と光検出器134とを組み合わせた機能は、図1に示す光カプラ16と光検出器18とを組み合わせた機能と同じである。

【0068】

電気系回路130は、BPF(Band Pass Filter)108、基準信号源110、位相比較器112、掃引信号源114、加算器116、スイッチ118、及びスイッチ制御回路(制御部)120を含んで構成されている。

【0069】

BPF108は、RF電気信号Smから所定の帯域の電気信号が抜き出された電気信号である差周波信号Sfを生成するフィルタである。

【0070】

基準信号源110は、差周波信号Sfを追従させるための基準信号Srを発生させる信号源である。

【0071】

位相比較器112は、差周波信号Sfの位相と基準信号Srの位相と比較し、その差分を誤差信号Seとして出力する。

【0072】

掃引信号源114は、時間に対して線形に周波数が変調された掃引信号Ssを発生する信号源である。掃引信号における周波数の変化の形状は、鋸歯状、三角波状等、特に制限はないが、本実施の形態では、図6に示すように、三角波状に周波数が変調された掃引信号としている。

【0073】

加算器116は、上記の誤差信号Seと掃引信号Ssとを加算(重畳)する素子である。

【0074】

スイッチ118は、後述するデッドタイム除去処理を行うために、一時的に電気系回路130によるフィードバックループを切断するスイッチである。

【0075】

スイッチ制御回路120は、掃引信号源114と同期してスイッチ118のオン/オフ制御を行い、デッドタイム除去処理を行う制御回路である。スイッチ制御回路120は、同期のための同期信号Saを掃引信号源114から受け取り、スイッチ118のオン/オフ制御を行うためのスイッチング制御信号Swをスイッチ118に送る。デッドタイム除去処理の詳細については後述する。

【0076】

次に、光周波数掃引レーザ光源100の動作について説明する。

【0077】

本実施の形態に係るVCO102からの光信号Lは、掃引信号源114によって、その光周波数が、図6に示すように、時間と共に線形に増加又は減少する。光信号Lは2分岐されて光信号L3、L4とされ、基準遅延素子104によって光信号L3とL4との間に光路差 τd (時間差)が与えられる。光信号L3とL4とを合波し、光検出器134でホモダイン検波し、BPF108で帯域制限すると、光路差 τd に応じた差周波信号Sfが発生する。差周波信号Sfに基づいて、電気系回路130によるPLL制御が行われることにより、差周波信号Sfは、基準信号Srに追従する。すなわち、差周波信号Sfの位相と基準信号Srの位相との位相差を示す誤差信号Seと、掃引信号Ssとを重ね合わせ

10

20

30

40

50

た制御信号 S_c により $VCO102$ の出力レーザ光の変調周波数が制御され、差周波信号 S_f が光路差 τd に一致するように制御される。換言すれば、光周波数掃引レーザ光源 100 では、差周波信号 S_f を光路差 τd にひも付けることにより、差周波信号 S_f を一定に保っている。以上のような動作より、光周波数掃引レーザ光源 100 では、 $VCO102$ の出力レーザ光が線形に掃引されて、図 7 に示す送信レーザ光 P_T で示されたような形状の出力光 P_o が出力される。

【0078】

次に、図 7 を参照して、光周波数掃引レーザ光源 100 におけるデッドタイム除去処理について説明する。図 7 は、光周波数掃引レーザ光源 100 をレーザレーダの送信レーザ光源として使用した場合の、送信レーザ光 P_T と受信レーザ光 P_R とを示している。

10

【0079】

図 2 (b) で説明したように、FMCW 方式のレーザレーダでは、送信レーザ光 P_T と受信レーザ光 P_R との間の周波数差 f_b によって対象物 O との距離を測定する。しかしながら、図 7 に示すように、測定区間 T_2 では周波数差 f_b が正常に測定できるものの、デッドタイム T_1 では周波数変調の傾きの切り換えのために周波数差 f_b が正常に測定できない。

【0080】

そこで、光周波数掃引レーザ光源 100 では、スイッチ 118 及びスイッチ制御回路 120 によってデッドタイム除去処理を行っている。すなわち、PLL 制御のロックのかかった（つまり、スイッチ 118 がオン（閉）の状態の）測定区間 T_2 からデッドタイム T_1 へ移行するタイミングで、掃引信号源 114 からスイッチ制御回路 120 に同期信号 S_a が送られる。同期信号 S_a を受け取ったスイッチ制御回路 120 は、スイッチング制御信号 S_w をスイッチ 118 に送る。このスイッチング制御信号 S_w によりスイッチ 118 がオンからオフ（開）に切り替わり、PLL 制御のループが開放される。

20

【0081】

次に、PLL 制御のロックの切れたデッドタイム T_1 から測定区間 T_2 へ移行するタイミングで、掃引信号源 114 からスイッチ制御回路 120 に同期信号 S_a が送られる。同期信号 S_a を受け取ったスイッチ制御回路 120 は、スイッチング制御信号 S_w をスイッチ 118 に送る。このスイッチング制御信号 S_w によりスイッチ 118 がオフからオンに切り替わり、PLL 制御のループが閉じられる。以上のような動作のデッドタイム除去処理を施すことによって、光周波数掃引レーザ光源 100 を用いたレーザレーダの距離測定において、測定不能区間の測定値が混入することが抑制され、測定の精度を維持することが可能となる。

30

【0082】

本発明に係るレーザレーダは、本実施の形態に係る光周波数掃引レーザ光源と、該光周波数掃引レーザ光源からのレーザ光を走査する走査部とを含む送信レーザ光源を備えて構成することができる。

【0083】

以上、詳述したように、本実施の形態に係る発明によれば、掃引周波数の線形性、及び安定度のより優れた光周波数掃引レーザ光源、及びレーザレーダを提供することが可能となる。

40

【0084】

なお、本実施の形態では、スイッチ 118 及びスイッチ制御回路 120 によるデッドタイム除去回路を用いてデッドタイム除去処理を行う形態を例示して説明したが、これに限られない。例えば、スイッチ 118 及びスイッチ制御回路 120 を用いず、得られた距離測定値に対する演算処理によってデッドタイム除去処理を行う形態としてもよい。また、距離測定値の精度等を勘案して、デッドタイム除去処理自体を行わない形態としてもよい。

【符号の説明】

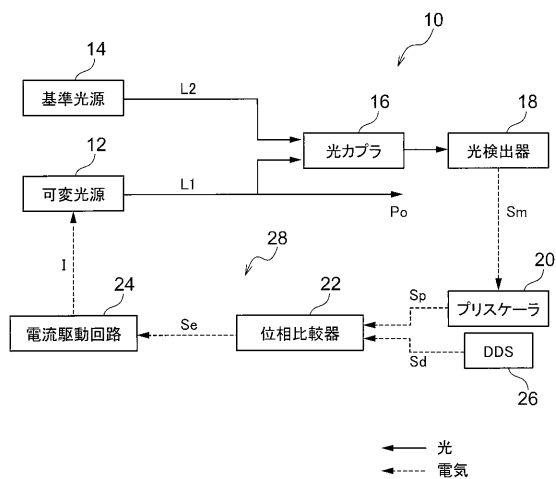
【0085】

50

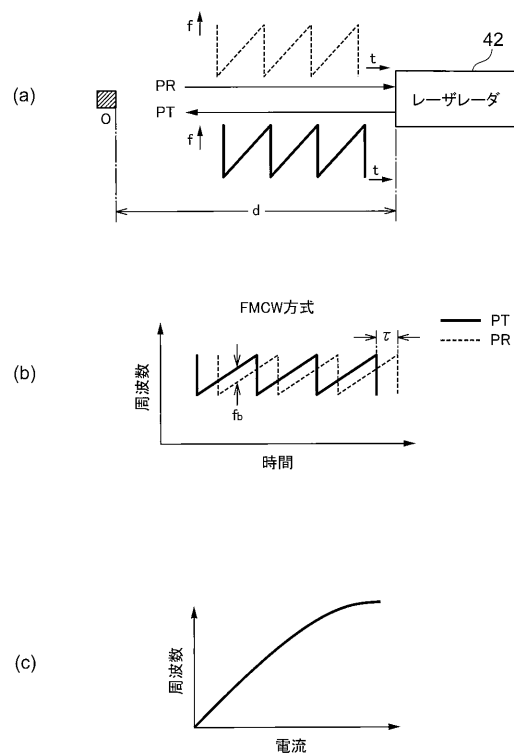
1 0	光周波数掃引レーザ光源	
1 2、1 2 a	可変光源	
1 4、1 4 a	基準光源	
1 6	光カプラ	
1 8	光検出器	
2 0	プリスケーラ	
2 2	位相比較器	
2 4	電流駆動回路	
2 6	D D S	
2 8	電気系回路	10
3 0	S O A	
3 2	ヒータ	
3 4	光フィルタ	
3 6	アウトカプラ	
3 8、4 0	導波路	
4 2	レーザレーダ	
5 0	S O A	
5 2	ヒータ	
5 4	光フィルタ	
5 6	アウトカプラ	20
5 8、6 0、6 2	導波路	
7 0	光周波数掃引レーザ光源	
7 2	光集積回路	
7 4	光カプラ	
7 6	フォトダイオード	
7 8	ヒータ	
8 0、8 2	レーザ光源	
1 0 0	光周波数掃引レーザ光源	
1 0 2	V C O	
1 0 4	基準遅延素子	30
1 0 6	乗算器	
1 0 8	B P F	
1 1 0	基準信号源	
1 1 2	位相比較器	
1 1 4	掃引信号源	
1 1 6	加算器	
1 1 8	スイッチ	
1 2 0	スイッチ制御回路	
1 3 0	電気系回路	
1 3 2	光カプラ	40
1 3 4	光検出器	
1 3 6	光カプラ	
1 3 8	Y分岐	
L、L 1 ~ L 4	光信号	
M 1、M 2	反射面	
P o	出力光	
P T	送信レーザ光	
P R	受信レーザ光	
O	対象物	
S m	R F 電気信号	50

S p	分周電気信号
S d	基準掃引信号
S e	誤差信号
S f	差周波信号
S s	掃引信号
S r	基準信号
S c	制御信号
S a	同期信号
S w	スイッチング制御信号
I	電流
d	距離
f b	周波数差
τ	遅延時間
τd	光路差

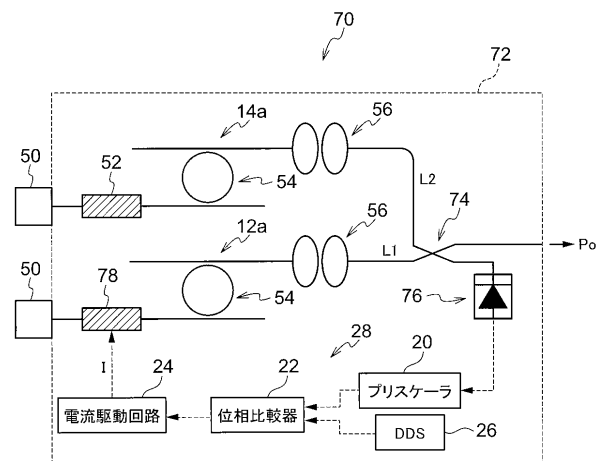
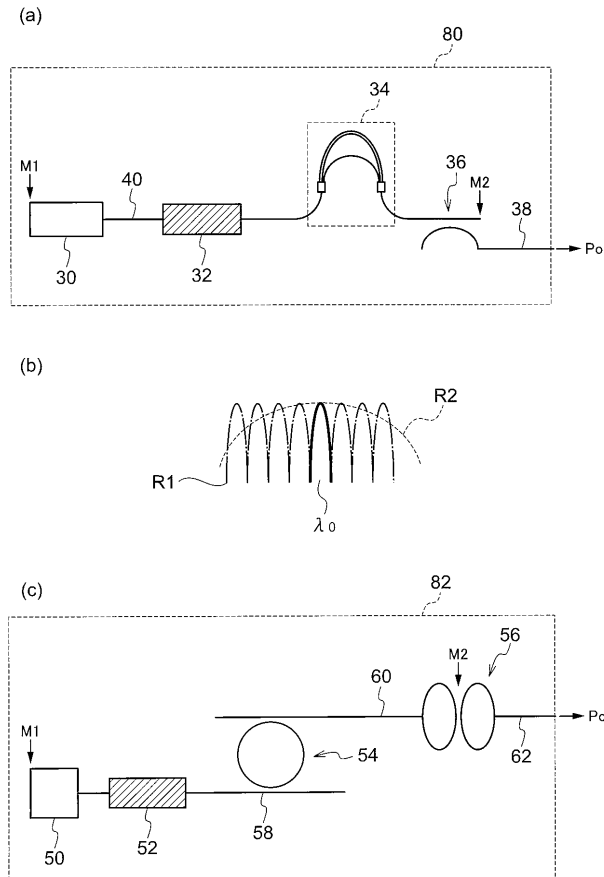
【図 1】



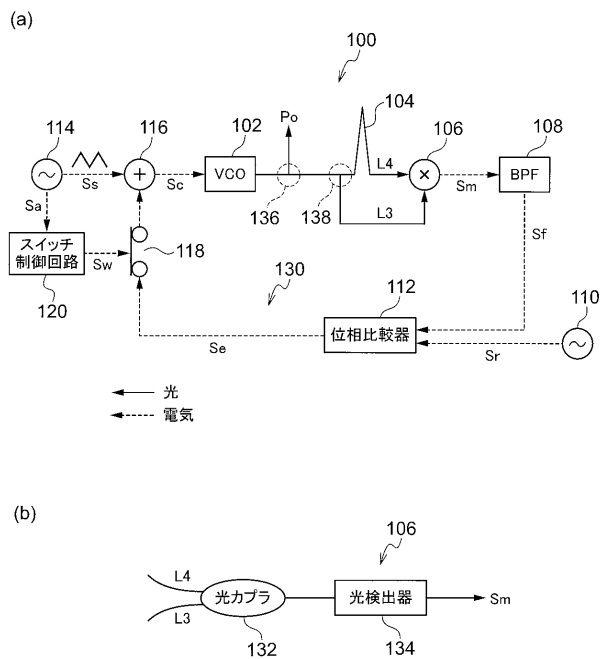
【図 2】



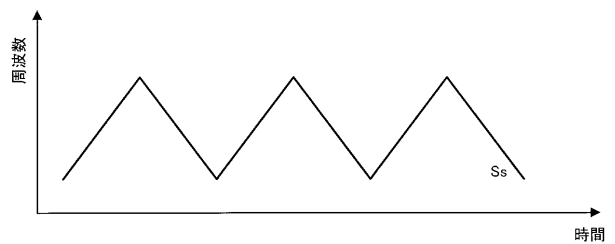
【 図 4 】



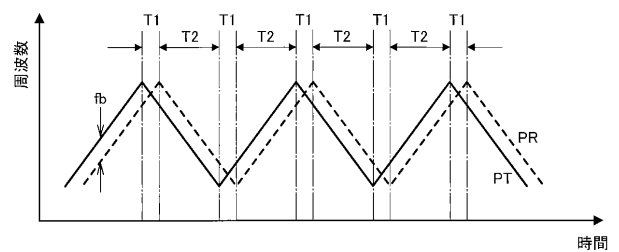
【 図 5 】



【 図 6 】



【圖 7】



フロントページの続き

(72)発明者 中尾 朱里
愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内
(72)発明者 山下 達弥
愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内
(72)発明者 中井 真琴
愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内
F ターム(参考) 5F173 SA08 SA34 SC10 SE01 SF08 SF33 SF43 SF47 SF63
5J084 AA05 BA03 BA22 BB14 CA04 CA08 CA50 EA33