

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2015年6月18日(18.06.2015)



(10) 国際公開番号  
WO 2015/087380 A1

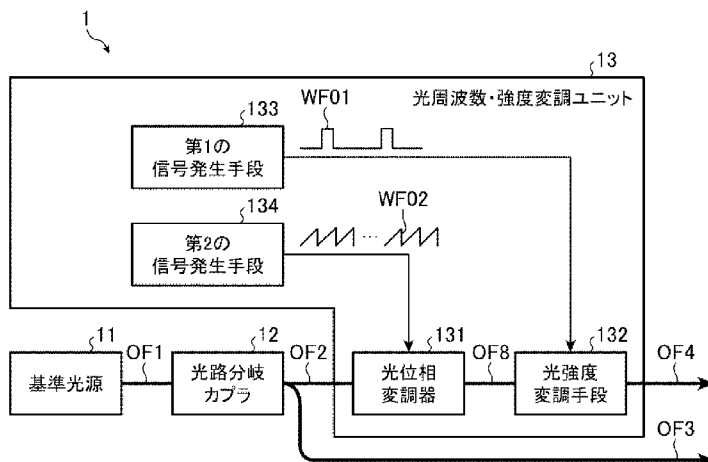
- (51) 国際特許分類:  
G01S 7/484 (2006.01) G01S 17/88 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/082979
- (22) 国際出願日: 2013年12月9日(09.12.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 安藤 俊行(ANDO, Toshiyuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 原口 英介(HARAGUCHI, Eisuke); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木 二郎(SUZUKI, Jiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 亀山 俊平(KAMEYAMA, Shumpei); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: LASER RADAR DEVICE

(54) 発明の名称: レーザレーダ装置



- 11 Reference light source
- 12 Light path splitting coupler
- 13 Light frequency and intensity modulating unit
- 131 Light phase modulator
- 132 Light intensity modulating means
- 133 First signal generating means
- 134 Second signal generating means

(57) Abstract: A light transmission unit (1) is provided with: a light phase modulator (131) for phase modulating continuous wave light; a light intensity modulation means (132) for pulse modulating the phase-modulated light to generate transmission light; a first signal generating means (133) for generating a pulse-modulated drive signal, which has periodically repeating on and off periods, to drive the light intensity modulation means (132); and a second signal generating means (134) for generating a sawtooth wave drive signal to drive the light phase modulator (131), said sawtooth wave drive signal having a constant period and an amplitude that is equivalent to an integral multiple of the drive voltage necessary for acquiring a phase of modulation of  $2\pi$  at the light phase modulator (131).

(57) 要約: 光送信ユニット1は、連続発振光に対して位相変調を行う光位相変調器131と、位相変調された光に対してパルス変調を行い送信光とする光強度変調手段132と、周期的にON/OFF期間を繰返すパルス変調駆動信号を発生して光強度変調手段132

2を駆動する第1の信号発生手段133と、光位相変調器131の変調位相 $2\pi$ を得るために必要な駆動電圧の整数倍に相当する振幅および一定周期を持つ鋸波駆動信号を発生して光位相変調器131を駆動する第2の信号発生手段134とを備えた。

WO 2015/087380 A1

## 明 細 書

発明の名称： レーザレーダ装置

### 技術分野

[0001] この発明は、例えば気象空間における風向風速を遠隔計測するレーザレーダ装置に関するものである。

### 背景技術

[0002] 特許文献1には、走査光軸に沿ってパルス状の送信光を送信し、この送信光に基づく受信光に含まれるドップラ周波数光信号を分析して、走査光軸の方位における風速等を計測するレーザレーダ装置が開示されている。このレーザレーダ装置は、ドップラ周波数光信号をドップラ周波数電気信号に変換し、このドップラ周波数電気信号を分析する分析回路を備えている。

[0003] また、風向風速を計測するレーザレーダ装置では、送信光をパルス化するため、送信器内に光強度変調ユニットを用いている。しかしながら、この光強度変調ユニットに用いる音響光学変調器（AO（Acousto Optic）変調器）では、変調用の超音波信号が残響することに起因するキャリアリーク光が発生する。そして、このキャリアリーク光が光ヘテロダイン受信機で不要なビート信号を誘発する。

この不要なビート信号は計測したいドップラ信号と周波数領域で重なるため、ドップラ周波数を正しく推定できなくなるという不都合がある。

[0004] その対策として、特許文献1では、光強度変調ユニットの入力端の前段に光サーキュレータを設置し、光強度変調ユニットの出力端の後段に全反射ミラーを設置している。これにより、光強度変調ユニットを往復伝搬させて、パルスOFF期間のキャリアリーク光を低減することができる。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0005] 特許文献1：特開2007-85756号公報

### 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

- [0006] 従来の風向風速を計測するレーザレーダ装置では、パルスOFF期間のキャリアリーク光を低減するために、光強度変調ユニットを往復伝搬させるための光サーキュレータおよび全反射ミラーが必要である。そのため、部品点数が増加し、また光軸調整点数も増加する結果、コスト低減や信頼性において課題があった。
- [0007] また、光強度変調ユニットを往復伝搬させると、挿入損失が増加する。そのため、この挿入損失を補てんするために、前段の基準光源のパワーを増強するか、後段の光増幅器の利得を増加させる等の対策が必要である。よって、消費電力の低減とコスト低減において課題があった。
- [0008] さらに、従来の風向風速を計測するレーザレーダ装置では、走査光軸に沿った方位における風速の正負（向かい風／追い風）を検出するため、パルスON期間に送信光にオフセット周波数を付加する必要がある。そのため、光強度変調ユニットには周波数シフト機能のあるAO変調器が用いられている。
- [0009] このAO変調器は、ガラス基板や音響光学結晶の端面に取り付けたピエゾ等のトランスデューサに高周波電圧を印加することで、媒質内に超音波を励起伝搬させる。媒体内を超音波で振動させると屈折率の粗密の周期構造が生成され、超音波の速度で伝搬する。媒質のトランスデューサの対向端面を超音波吸収帯で無反射終端することで、あたかも位相格子が超音波の速度で一定方向に移動する。
- [0010] AO変調器に光を入射すると、出射光は媒体内に生じた位相格子でのブラッグ回折により進行方向が変化するだけでなく、位相格子の移動に伴いドップラシフトを受ける。トランスデューサに印加する高周波信号をON/OFFすることでパルス光に切り出すと同時に、パルスON期間に一定の周波数シフトを付加することができる。
- [0011] 音響光学素子のブラッグ角 $\theta$ は、光の波長 $\lambda$ 、オフセット周波数 $f_{ofs}$ 、音響光学素子内での超音波の進行速度 $v_a$ により次式で表される。

$$\theta = \frac{\lambda \cdot f_{ofs}}{2 \cdot v_a}$$

[0012] 典型的なA O変調器の例として、 $\lambda = 1.55$  [ $\mu\text{m}$ ]、 $f_{ofs} = 80$  [MHz]、 $v_a = 3.63$  [ $\text{mm}/\mu\text{s}$ ] の場合には、ブラッグ角 $\theta$ は $17$  [mrad] であり約1度に相当する。

[0013] しかしながら上記のレーザレーダ装置に用いられるA O変調器では、ブラッグ回折角が1度以下と小さい。そのため、0次透過光と1次回折光とを光学的に分離するためには少なくとも、 $30$  [mm] 程度以上は伝搬距離が必要であり、小型集積化には適していなかった。

また、音響光学結晶と入／出射光の光軸をブラッグ回折角に一致するように、各6軸（並進位置、角度）を精密調整する必要があり、組み立て調整費用の低減が困難であった。

[0014] さらに、ブラッグ角 $\theta$ が光波長 $\lambda$ に依存して変化する。そして、ブラッグ角変化による入出力端での光軸ずれ（およびそれに伴う挿入損失の増加）を低減するためには、基準光源の中心波長を一定に制御する必要があり、コストがかかっていた。

[0015] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、A O変調器を用いずに送信側に必要な周波数シフトとパルス化を実施することで、装置の小型・集積化、部品点数低減による信頼性向上とコスト低減を図ることができるレーザレーダ装置を提供することを目的としている。

### 課題を解決するための手段

[0016] この発明に係るレーザレーダ装置は、連続発振光である局部発振光および送信光を出力する光送信ユニットと、光送信ユニットにより出力された送信光を空間に放射し、当該送信光に対する後方散乱光を受信光として受信する光アンテナと、光送信ユニットにより出力された局部発振光および光アンテナにより受信された受信光を用いて光ヘテロダイン検出を行う光ヘテロダイン受信機と、光ヘテロダイン受信機による検出結果を周波数分析する信号処理ユニットとを備えたレーザレーダ装置であって、光送信ユニットは、連続

発振光に対して位相変調を行う光位相変調器と、光位相変調器により位相変調された光に対してパルス変調を行い送信光とする光強度変調手段と、周期的にON/OFF期間を繰り返すパルス変調駆動信号を発生して光強度変調手段を駆動する第1の信号発生手段と、光位相変調器の変調位相 $2\pi$ を得るために必要な駆動電圧の整数倍に相当する振幅および一定周期を持つ鋸波駆動信号を発生して光位相変調器を駆動する第2の信号発生手段とを備えたものである。

### 発明の効果

[0017] この発明によれば、上記のように構成したので、AO変調器を用いずに送信側に必要な周波数シフトとパルス化を実施することで、装置の小型・集積化、部品点数低減による信頼性向上とコスト低減を図ることができる。

### 図面の簡単な説明

[0018] [図1]この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置の構成を示すブロック図である。

[図2]この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置の光送信ユニットの構成を示すブロック図である。

[図3]この発明の実施の形態1に係る光位相変調器への鋸波駆動信号と、位相変調特性（ビート信号）を示す図である。

[図4]この発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置における各光のタイミングダイヤグラムを示す図である。

[図5]この発明の実施の形態2に係るレーザレーダ装置の光送信ユニットの構成を示すブロック図である。

[図6]この発明の実施の形態2に係るレーザレーダ装置において、光強度変調器が不十分なON/OFF消光比であり、かつ、第2の光強度変調器がない場合での各光のタイミングダイヤグラムを示す図である。

[図7]この発明の実施の形態2に係るレーザレーダ装置において、光強度変調器が不十分なON/OFF消光比であり、かつ、第2の光強度変調器がある場合での各光のタイミングダイヤグラムを示す図である。

[図8]この発明の実施の形態3に係るレーザレーダ装置の光送信ユニットの構成を示すブロック図である。

[図9]この発明の実施の形態3に係るレーザレーダ装置における各光のタイミングダイヤグラムを示す図である。

[図10]この発明の実施の形態4に係るレーザレーダ装置の光送信ユニットの構成を示すブロック図である。

[図11]この発明の実施の形態4に係るレーザレーダ装置における各光のタイミングダイヤグラムを示す図である。

[図12]この発明の実施の形態5に係るレーザレーダ装置の構成を示すブロック図である。

### 発明を実施するための形態

[0019] 以下、この発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1に係るレーザレーダ装置の構成を示すブロック図である。

レーザレーダ装置は、図1に示すように、光送信ユニット1、光増幅器2、光サーキュレータ3、光アンテナユニット（光アンテナ）4、光ヘテロダイン受信機5、信号処理ユニット6および表示手段7から構成されている。なお図1において、太線OF1～OF7は光信号の伝送路を示し、細線は電気信号の伝送路を示している。

[0020] 光送信ユニット1は、連続発振・定偏光（連続発振光）である局部発振光と、周期的にON/OFF期間を繰り返したパルス変調を行った送信光とを出力するものである。この光送信ユニットは、基準光源11、光路分岐カップラ12および光周波数・強度変調ユニット13から構成されている。

[0021] 基準光源11は、単一波長（単一周波数）の連続発振・定偏光である光を発生するものである。この基準光源11により発生された光は伝送路OF1を介して光路分岐カップラ12に伝送される。

- [0022] 光路分岐カプラ12は、基準光源11からの光を偏光状態を維持したまま2分岐するものである。この光路分岐カプラ12により2分岐された一方の光は局部発振光として伝送路OF3を介して光ヘテロダイン受信機5に伝送され、他方の光は送信用の種光として伝送路OF2を介して光周波数・強度変調ユニット13に伝送される。
- [0023] 光周波数・強度変調ユニット13は、光路分岐カプラ12からの光に対して、オフセット周波数を付与し、かつ、周期的にON/OFF期間を繰り返したパルス変調を行うものである。この光周波数・強度変調ユニット13の構成については後述する。この光周波数・強度変調ユニット13により周波数・強度変調された光は送信光として伝送路OF4を介して光増幅器2に伝送される。
- [0024] 光増幅器2は、光送信ユニット1の光周波数・強度変調ユニット13からの送信光を光増幅するものである。この際、光増幅器2は、増幅媒体の蓄積作用を利用して送信光のパルスOFF期間に蓄積したエネルギーをパルスON期間に開放することで、光増幅を行う。この光増幅器2により光増幅された送信光は伝送路OF5を介して光サーキュレータ3に伝送される。
- [0025] 光サーキュレータ3は、入力光（送信光または受信光）に応じて、出力先の伝送路を切替えるものである。ここで、光サーキュレータ3は、光増幅器2から送信光が伝送された場合には、当該送信光を伝送路OF6を介して光アンテナユニット4に伝送する。一方、光サーキュレータ3は、光アンテナユニット4から受信光が伝送された場合には、当該受信光を伝送路OF7を介して光ヘテロダイン受信機5に伝送する。
- [0026] 光アンテナユニット4は、光サーキュレータ3により伝送された送信光を空間（観測空間）に放出し、かつ、当該送信光に対する空間からの後方散乱光を受信光として受信するものである。なお、光アンテナユニット4は、送信光を放出する際、当該送信光を特定のビーム径に拡大しつつビームの射出方向を特定方向に設定して空間に放出する。また、光アンテナユニット4により空間に放出された送信光は、観測空間における散乱対象（例えば風速と

同じ速度で移動するエアロゾル)により後方散乱され、散乱対象の移動速度に応じたドップラ周波数シフトを受ける。そして、散乱対象からの後方散乱光を光アンテナユニット4により受信する。この光アンテナユニット4により受信された受信光は伝送路OF6を介して光サーキュレータ3に伝送される。

[0027] 光ヘテロダイン受信機5は、光送信ユニット1の光路分岐カプラ12からの局部発振光および光サーキュレータ3を介した光アンテナユニット4からの受信光を用いて、光ヘテロダイン検出を行うものである。すなわち、光ヘテロダイン受信機5は、局部発振光と受信光(後方散乱光)とを光学的に合波して光電変換を行うことで、後方散乱光と局部発振光との差周波数のビート信号を出力する。この光ヘテロダイン受信機5により出力されたビート信号は信号処理ユニット6に伝送される。

[0028] 信号処理ユニット6は、光ヘテロダイン受信機5からのビート信号を周波数分析するものである。この際、信号処理ユニット6は、まず、ビート信号を特定のサンプリングレートでAD変換する。そして、AD変換したビート信号を送信光のパルス幅に対応した受信ゲート(時間ゲート)幅ごとに分割する。そして、分割したビート信号を受信ゲートごとに高速フーリエ変換することで、受信ゲートごとに得られたパワースペクトルのピーク値、スペクトル幅、SNR等を算出する。ここで、各受信ゲートは計測距離に対応するため、上記の演算により観測距離ごとの視線方向の風速に対応したドップラ周波数の分布を得ることができる。

また、信号処理ユニット6は、観測視線に対する指令値を光アンテナユニット4に出力する機能を持つ。したがって、この指令値にしたがって得られた各視線方向に対する観測距離、風速の計測値を格納することで、ベクトル演算により風速の3次元分布の推定や観測距離ごとの風向風速分布を得ることができる。この信号処理ユニット6による分析結果は表示手段7に伝送される。

[0029] 表示手段7は、信号処理ユニット6による分析結果を表示するものである

。

[0030] 次に、光周波数・強度変調ユニット13の構成について、図2を参照しながら説明する。

光周波数・強度変調ユニット13は、図2に示すように、光位相変調器131、光強度変調手段132、第1の信号発生手段133および第2の信号発生手段134から構成されている。そして、第1の信号発生手段133は光強度変調手段132に接続され、第2の信号発生手段134は光位相変調器131に接続されている。

[0031] 光位相変調器131は、第2の信号発生手段134により発生された鋸波駆動信号WF02に従い、光路分岐カップラ12からの光に対して位相変調を行いオフセット周波数を付与するものである。この光位相変調器131により位相変調された送信光は伝送路OF8を介して光強度変調手段132に伝送される。

[0032] 光強度変調手段132は、第1の信号発生手段133により発生されたパルス変調駆動信号WF01に従い、光位相変調器131からの光に対してパルス変調を行い送信光とするものである。なお、光強度変調手段132は、レーザレーダ装置に必要となるパルス幅（数100 [ns] ~ 1 [μs]）および繰り返し周波数（数 [kHz] ~ 数10 [kHz] 程度）に応答する手段であれば何でもよい。例えば、Mach Zehnder型のLN変調器、EA (Electro Absorption) 変調器等の強度変調器のほか、半導体光増幅器、光ファイバ増幅器等の光増幅器、また、MEMS光スイッチ等の光スイッチ等が考えられる。

[0033] 第1の信号発生手段133は、パルス型のレーザレーダ装置の送信光に必要な周期的にON/OFF期間を繰り返すパルス変調駆動信号WF01を発生して光強度変調手段132を駆動するものである。

[0034] 第2の信号発生手段134は、光位相変調器131の変調位相 $2\pi$  ( $360^\circ$ )を得るために必要な駆動電圧 $2V\pi$ の整数倍 ( $m$ 倍) に相当する振幅 $2mV\pi$ と、一定周期 $T$ とを持つ鋸波駆動信号WF02を発生して光位相変

調器 131 を駆動するものである。

[0035] 次に、上記のように構成された風計測用のレーザレーダ装置の動作について説明する。

レーザレーダ装置の動作では、図 1, 2 に示すように、まず、基準光源 11 は、単一波長の連続発振・定偏光である光を発生し、光路分岐カプラ 12 は、当該光を偏光状態を維持したまま 2 分岐して一方を局部発振光として光ヘテロダイン受信機 5 に伝送し、他方を送信用の種光として光周波数・強度変調ユニット 13 に伝送する。

[0036] 次に、光周波数・強度変調ユニット 13 は、光路分岐カプラ 12 からの光に対して、オフセット周波数  $f_{fs}$  を付与し、かつ、周期的に ON/OFF 期間を繰り返したパルス変調を行うことで送信光とする。ここで、代表的なレーザレーダ装置では、光路分岐カプラ 12 からの光の周波数  $\nu$  として 195 [THz]、オフセット周波数  $f_{fs}$  として数 10 [MHz] ~ 数 100 { } MHz]、パルス幅として数 100 [ns] ~ 1 [ $\mu$ s] 程度が用いられる。この光周波数・強度変調ユニット 13 の動作の詳細については後述する。

[0037] 次に、光増幅器 2 は光周波数・強度変調ユニット 13 からの光を光増幅し、光アンテナユニット 4 は、当該光を送信光として、特定のビーム径に拡大しつつビームの射出方向を特定方向に設定して空間に放出する。

この光アンテナユニット 4 により放出された送信光は、観測空間における散乱対象により後方散乱され、散乱対象の移動速度に応じたドップラ周波数シフトを受ける。そして、光アンテナユニット 4 は、当該後方散乱光を受信光として受信する。

[0038] 次に、光ヘテロダイン受信機 5 は、光送信ユニット 1 からの局部発振光および光サーキュレータ 3 を介した光アンテナユニット 4 からの受信光を用いて、光ヘテロダイン検出を行う。すなわち、光ヘテロダイン受信機 5 は、局部発振光と受信光（後方散乱光）とを光学的に合波して光電変換を行うことで、後方散乱光と局部発振光との差周波数のビート信号を出力する。

[0039] ここで、光ヘテロダイン受信機 5 で得られるビート信号の周波数  $f$  は、次式 (1) で表される。

$$f = f_{ofs} + f_{DOP} \quad (1)$$

ここで、 $f_{ofs}$  は光周波数・強度変調ユニット 13 のオフセット周波数、 $f_{DOP}$  は風速によるドップラ周波数を示している。

[0040] このビート信号は、例えばオフセット周波数  $f_{ofs}$  を 50 [MHz]、風速によるドップラ周波数  $f_{DOP}$  を + / - 50 [MHz] と仮定すると、100 [MHz] 以下の中心周波数となる。このビート信号は、送信光が放射された直後から連続的に得られる。また、送信光を放射した後、受信光が受信されるまでの到来時間  $\Delta t$  から、次式 (2) のように散乱対象までの距離  $L$  を算出することができる。

$$L = \frac{1}{2} c \cdot \Delta t \quad (2)$$

ここで、 $c$  は光速を示している。

[0041] 次に、信号処理ユニット 6 は、光ヘテロダイン受信機 5 からのビート信号を周波数分析する。そして、この信号処理ユニット 6 による分析結果は、レーザレーダ装置内のデータ蓄積部 (不図示) に格納されるほか、表示手段 7 により必要な情報がユーザに表示提供される。

[0042] 次に、光周波数・強度変調ユニット 13 の動作について説明する。

光周波数・強度変調ユニット 13 の動作では、まず、第 2 の信号発生手段 134 は、光位相変調器 131 の変調位相  $2\pi$  ( $360^\circ$ ) を得るために必要な駆動電圧  $2V\pi$  の整数倍 ( $m$  倍) に相当する振幅  $2mV\pi$  と、一定周期  $T$  とを持つ鋸波駆動信号 WF02 を発生する。そして、光位相変調器 131 は、この鋸波駆動信号 WF02 に従い、光路分岐カップラ 12 からの送信光に対して位相変調を行いオフセット周波数を付与する。

[0043] これにより光位相変調器 131 からは、次式 (3) のように、時間  $t$  に対して一定の変化率  $2m\pi/T$  [rad/s] の位相  $\phi(t)$  が出力される。

$$\phi(t) = \frac{2m\pi}{T} \text{mod}(t, T) \quad (3)$$

ここで、 $\text{mod}(t, T)$  は時間  $t$  を周期  $T$  で割った際の剰余を示している。

[0044] また、周波数  $f$  は次式 (4) のように、位相  $\phi$  の時間微分で定義できる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t) \quad (4)$$

[0045] そして、位相  $\phi(t)$  の時間変化率は  $2m\pi/T$  [rad/s] であるため、次式 (5) のように、光位相変調器 131 により鋸波駆動信号 WF02 の周期  $T$  の逆数に比例したオフセット周波数  $f_{\text{ofs}}$  を得ることができる。

$$\begin{aligned} f_{\text{ofs}} &= \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2m\pi}{T} \\ &= m \frac{1}{T} \end{aligned} \quad (5)$$

[0046] 図3に、1 [kHz] の周波数シフトを実現するために光位相変調器 131 に入力される鋸波駆動信号 WF02 と、これにより光ヘテロダイン受信機 5 で得られたビート信号の実測例を示す。図3において、下段の細線が鋸波駆動信号 WF02 の波形を示し、上段の太線がビート信号の波形を示している。

図3において、鋸波駆動信号 WF02 の振幅は、光位相変調器 131 の  $2V\pi$  電圧 ( $360^\circ$ ) である 7 [V] に設定し、周期  $T$  は 1 [ms] に設定した。この場合、ビート信号として一定周期 1 [ms] の正弦波が得られており、所望の 1 [kHz] の周波数シフトが得られていることがわかる。

[0047] このように、第2の信号発生手段 134 により発生された鋸波駆動信号 WF02 で光位相変調器 131 を駆動することで、送信光に所望のオフセット周波数を付与することができる。例えば図3において、光位相変調器 131 により 50 [MHz] の周波数シフトを実現するためには、振幅 7 [V] かつ周期 20 [ns] を持つ鋸波駆動信号 WF02 を発生させればよい。

[0048] 次に、第1の信号発生手段 133 は、パルス型のレーザー装置の送信光に必要な周期的に ON/OFF 期間を繰返すパルス変調駆動信号 WF01 を発生する。そして、光強度変調手段 132 は、このパルス変調駆動

信号WF01に従い、光位相変調器131からの光に対してパルス変調を行い送信光とする。

[0049] ここで、図4に、実施の形態1に係るレーザレーダ装置における各光のタイミングダイヤグラムを示す。

図4に示すように、実施の形態1に係るレーザレーダ装置では、まず、光位相変調器131および光強度変調手段132により、特定のパルス幅と繰り返し周期を持つ送信光101が出力される。この送信光101の周波数は、基準光源11の出力周波数を $\nu$ 、光位相変調器131によるオフセット周波数を $f_{ofs}$ として、 $\nu + f_{ofs}$ で表される。

[0050] 次に、受信光102は、大気中を風に乗って移動するエアロゾルからの後方散乱光であり、送信光101のパルスOFF期間に連続的に収集される。図4は、説明のため特定の距離レンジに対応した受信光102を記載しているが、実際には送信光101のパルスOFF期間に連続的に収集される。この受信光102の周波数は、風速によるドップラ周波数 $f_w$ が加わるため、 $\nu + f_{ofs} + f_w$ で表される。

[0051] 一方、局部発振光103は時間的に連続波で出力され、その周波数は基準光源11の周波数 $\nu$ と一致している。

そして、光ヘテロダイン受信機5では、受信光102と局部発振光103とを光学的に合波した後、光電変換して、受信光102と局部発振光103との差周波数のビート信号 $f_{ofs} + f_w$ を出力する。

[0052] したがって、光ヘテロダイン信号（ビート信号）スペクトルの時系列データは、中心周波数 $f_{ofs}$ からドップラ周波数 $f_w$ だけ離調したスペクトルとして得られる。

以上の構成により、従来のレーザレーダ装置で必要だったAO変調器を用いない構成で、所望のオフセット周波数の付与と、パルス変調を実現することができる。

[0053] なお、本発明で用いる光位相変調器131は、LN結晶の電気光学効果による伝搬光路の屈折率変化を利用している。そのため、AO変調器のような

回折効果と回折光の空間分離のための伝搬長が不要であり、小型化、低消費電力化に寄与することができる。また、伝搬長の短縮により、基準光源 11 に隣接させて集積化することも可能となる。

[0054] また、光位相変調器 131 および光強度変調手段 132 は、光通信用として高速応答（カットオフ周波数 $\geq$ 数 10 [GHz]）のものを市販品として入手できる。そのため、光通信用として普及していない A O 変調器、変調駆動装置を使用する従来構成に比べて、信頼性向上と低コスト化に寄与することができる。

[0055] また、A O 変調器を用いた場合には、基準光源 11 の周波数（中心波長）に依存して回折角度が変化する結果、挿入損失が変化して回線ペナルティが発生する。一方、本発明の構成では、波長依存性を有する素子が存在しないため、基準光源 11 の波長変動、波長設定範囲に対する許容範囲を拡大することができる。これにより、基準光源 11 の波長選定、試験、安定化のための機器が不要となり、低コスト化に寄与することができる。

[0056] また、光送信ユニット 1 内部のブロックを光ファイバ接続なしで、バットジョイント接続して 1 モジュールに集積化することも可能である。

また、従来では、パルス OFF 期間のキャリアーク光を低減するために、光強度変調ユニットを往復伝搬させるための光サーキュレータおよび全反射ミラーが必要であった。それに対して、本発明では、上記光サーキュレータや全反射ミラーが不要となるため、部品点数が低減し、低コスト化に寄与することができる。

[0057] なお図 4 では、光ヘテロダイン信号スペクトルとして、特定の距離レンジにおける風速によるドップラ周波数  $f_w$  の存在範囲を符号 104 に示し、ドップラ周波数  $f_w$  がゼロ以外の場合（風速 $\neq$ 0）に観測されるピーク周波数を符号 105 に示し、ドップラ周波数  $f_w$  がゼロの場合（風速=0）に観測されるピーク周波数を符号 106 に示している。

[0058] ここで、符号 106 に示すように、風速=0 の場合には、観測信号の中心周波数は中心周波数である  $f_{fs}$  に一致する。図 4 の例では、送信光 101 が

理想的にON/OFFされ、パルスOFF期間に漏えい光がない場合を想定している。そのため、光ヘテロダイン信号には、漏えい光に伴う不要なビート信号が存在しない。

したがって、信号処理ユニット6では、ドップラ周波数 $f_w$ の存在範囲104のみをフィルタで切り出して信号処理するだけでよい。なお、送信光101にパルスOFF期間の漏えい光が存在する場合の構成については、実施の形態2以降で詳述する。

[0059] 以上のように、この実施の形態1によれば、レーザレーダ装置の送信側の機能として必要なオフセット周波数の付加とパルス変調とを実現する手段として、光位相変調器131と光強度変調手段132との組合せで実現するように構成したので、AO変調器を用いずに送信側に必要な周波数シフトとパルス化を実施することで、装置の小型・集積化、部品点数低減による信頼性向上とコスト低減を図ることができる。

[0060] 実施の形態2.

実施の形態1では、送信光特性として理想的なパルス変調を仮定した場合について示した。それに対して、実施の形態2では、送信光のパルスOFF期間に漏えい光が存在する場合について示す。図5はこの発明の実施の形態2に係る光送信ユニット1の構成を示すブロック図である。図5に示す実施の形態2に係る光送信ユニット1は、図2に示す実施の形態1に係る光送信ユニット1の光周波数・強度変調ユニット13に、光強度変調手段132に従属接続された第2の光強度変調手段135を追加したものである。その他の構成は同様であり、同一の符号を付し異なる部分についてのみ説明を行う。

[0061] なお、第1の信号発生手段133は、パルス型のレーザレーダ装置の送信光に必要となる周期的にON/OFF期間を繰返すパルス変調駆動信号WF01を発生して光強度変調手段132および第2の光強度変調手段135を駆動する。

[0062] 第2の光強度変調手段135は、第1の信号発生手段133により発生さ

れたパルス変調駆動信号WF01に従い、光強度変調手段132からの送信光に対してパルス変調を行い送信光とするものである。この際、第2の光強度変調手段135は、光強度変調手段132と共に同期変調を行うことで、送信光のパルスOFF期間の漏えい光を抑圧する。なお、第2の光強度変調手段135は、レーザレーダ装置に必要なパルス幅（数100 [ns] ~ 1 [μs]）および繰り返し周波数（数 [kHz] ~ 数10 [kHz] 程度）に応答する手段であれば何でもよい。例えば、Mach Zehnder型のLN変調器、EA変調器等の強度変調器のほか、半導体光増幅器、光ファイバ増幅器等の光増幅器、また、MEMS光スイッチ等の光スイッチ等が考えられる。

[0063] 図6に、実施の形態2における光強度変調器23によるパルスOFF期間の消光特性が理想的でない場合での各光のタイミングダイヤグラムを示す。

図6に示すように、実施の形態2に係るレーザレーダ装置では、特定のパルス幅と繰り返し周期を持つ送信光101がパルスON期間に出力される一方、パルスOFF期間に漏えい光201が出力される。

[0064] この漏えい光201は、その後、光増幅器2により増幅される。そして、光サーキュレータ3の伝送路OF5から伝送路OF7へのクロストーク、および伝送路OF6の後段の光アンテナユニット4の内部部品の反射により、送信光101（パルスON期間）の受信光路へのクロストーク202、および漏えい光201（パルスOFF期間）の受信光路への漏えい光203として、光ヘテロダイン受信機5に入射する。

[0065] この受信光路への漏えい光203は、送信光101の直接光の漏えい分や、固定物からの反射であるため、周波数として送信光101（パルスON期間）と同じ周波数 $\nu + f_{fs}$ を持つ。

このため、光ヘテロダイン受信機5内で、受信光路への漏えい光203と局部発振光103とが干渉して不要なビート信号204を発生する。この不要なビート信号204は、受信光路への漏えい光203と局部発振光103との差周波数である $f_{fs}$ を持ち、これが時間的に常に存在する。

[0066] 一方、図6において、光ヘテロダイン信号スペクトルとして、特定の距離レンジにおける風速によるドップラ周波数  $f_w$  の存在範囲を符号104に示し、ドップラ周波数  $f_w$  がゼロ以外の場合（風速 $\neq 0$ ）に観測されるピーク周波数を符号105に示し、ドップラ周波数  $f_w$  がゼロの場合（風速 $=0$ ）に観測されるピーク周波数を符号106に示す。

[0067] 図6では、風速によるドップラ周波数  $f_w$  のピーク周波数105、106と不要なビート信号204とがスペクトル上で重なる。そのため、直接的に風速によるドップラ周波数  $f_w$  のピーク周波数105、106のみを検出することが困難となる。

なお、不要なビート信号204は中心周波数  $f_{fs}$  の固定値であるため、これを信号処理的に棄却すれば、風速 $\neq 0$ については検出可能となる。しかしながら、風速 $=0$ の場合での計測は依然として困難である。

[0068] そこで、第2の光強度変調手段135を用いて光強度変調手段132と共に同期変調させることで、パルスOFF期間の漏えい光201を抑圧する。

[0069] 図7に、実施の形態2における第2の光強度変調手段135を光強度変調手段132と共に同期変調させた場合での各光のタイミングダイヤグラムを示す。

図7に示すように、実施の形態2に係るレーザレーダ装置では、第2の光強度変調手段135を光強度変調手段132と共に同期変調させることで、パルスOFF期間の送信光101の漏えい光201が抑圧される。これにより、受信光としては、送信光101（パルスON期間）の受信光路へのクロストーク202と、風速ドップラによる受信光102が得られる。

[0070] そして、光ヘテロダイン受信機5において、局部発振光103と合成される結果、光ヘテロダイン信号スペクトルには送信光101（パルスON期間）のクロストーク202と局部発振光103とのビート信号205と、風速によるドップラ周波数  $f_w$ （ピーク周波数105、106、存在範囲104）のみがスペクトル上に現れる。

[0071] ここで、送信光101（パルスON期間）のクロストーク202と局部発

振光103とのビート信号205は、レーザレーダ装置で不要な距離0mでの信号に対応するため、時間的に棄却すればよい。これにより、風速観測したいパルスOFF期間において、光ヘテロダイン信号スペクトル内から、不要なビート信号205が抑圧できるため、正確な風速ドップラの検出が可能となる。

[0072] なお実施の形態2では、光強度変調手段132, 135を2段用いる場合を説明したが、これに限るものではなく、必要な抑圧レベルに応じて2段以上従属接続してもよい。

[0073] ここで、従来のAO変調器を多段接続する場合、段数増加に伴って中心周波数が増加する。そのため、光ヘテロダイン受信機5の使用部品を高周波化したり、信号処理ユニット6での信号サンプリングレートを増加させる必要があった。それに対し、実施の形態2における光強度変調手段132, 135の多段接続では、中心周波数は変化しないため、後段の信号処理を変更なく使用できる。

[0074] また、光強度変調手段132, 135において、その全てまたはその一部に半導体光増幅器、光ファイバ増幅器等の光増幅器を用いてもよい。この場合、光位相変調器131、光強度変調手段132, 135の多段接続により増加したパルスON期間の挿入損失（光路損失）を、光増幅による利得で補てんすることが可能となる。

[0075] 以上のように、この実施の形態2によれば、光強度変調手段132, 135を複数従属接続させて同期変調を行うように構成したので、実施の形態1における効果に加え、レーザレーダ装置の送信側の性能として必要な高いパルスON/OFF消光比の実現が可能となる。また、光強度変調手段132および第2の光強度変調手段135はともに波長依存性がないため、従来のAO変調器を用いた構成に比べて、基準光源11の波長変動や波長設定範囲に対する許容範囲を拡大することができる。

[0076] 実施の形態3.

実施の形態1, 2では、連続的な鋸波駆動信号WF02で位相変調を行う

場合について示した。それに対し、実施の形態3では、送信光に同期したバースト状の鋸波駆動信号WF03で位相変調を行う場合について示す。図8はこの発明の実施の形態3に係る光送信ユニット1の構成を示すブロック図である。図8に示す実施の形態3に係る光送信ユニット1は、図2に示す実施の形態1に係る光送信ユニット1の光周波数・強度変調ユニット13に信号乗算手段（第3の信号発生手段）136を追加したものである。その他の構成は同様であり、同一の符号を付して異なる部分についての説明を行う。

[0077] 信号乗算手段136は、第2の信号発生手段134により発生された鋸波駆動信号WF02のうち、第1の信号発生手段133により発生されたパルス変調駆動信号WF01のパルスON期間に相当する部分を切り出したバースト状の鋸波駆動信号WF03を出力して、第2の信号発生手段134に代えて光位相変調器131を駆動するものである。

[0078] なお、光位相変調器131は、信号乗算手段136により出力されたバースト状の鋸波駆動信号WF03に従い、光路分岐カプラ12からの光に対して位相変調を行いオフセット周波数を付与する。

これにより、伝送路OF04から出力される送信光は、パルスON期間にはオフセット周波数 $f_{fs}$ が付加され、パルスOFF期間にはオフセット周波数が付加されない。

[0079] ここで、光強度変調手段132のパルスOFF期間に漏えい光が存在する場合、実施の形態1の構成では、漏えい光にオフセット周波数が付加されていた。それに対して、実施の形態3では、漏えい光にオフセット周波数が付加されない。

[0080] 図9に、実施の形態3に係るレーザレーダ装置における各光のタイミングダイヤグラムを示す。

図9に示すように、実施の形態3に係るレーザレーダ装置では、特定のパルス幅と繰り返し周期を持つ送信光101がパルスON期間に出力される一方、パルスOFF期間に漏えい光301が出力される。

[0081] この漏えい光301は、その後、光増幅器2により増幅される。そして、

光サーキュレータ 3 の伝送路 OF 5 から伝送路 OF 7 へのクロストーク、および伝送路 OF 6 の後段の光アンテナユニット 4 の内部部品の反射により、送信光 101 (パルス ON 期間) の受信光路へのクロストーク 302、および漏えい光 301 (パルス OFF 期間) の受信光路への漏えい光 303 として、光ヘテロダイン受信機 5 に入射する。

[0082] パルス ON 期間のクロストーク 302 の周波数が  $\nu + f_{ofs}$  であるのに対し、漏えい光 301 (パルス OFF 期間) の受信光路への漏えい光 303 の周波数は、パルス OFF 期間にオフセット周波数が付加されないため  $\nu$  である。

[0083] このため、光ヘテロダイン受信機 5 内で、パルス ON 期間のクロストーク 302 と局部発振光 103 とにより発生する不要なビート信号 304 は、パルス ON 期間のみ中心周波数である  $f_{ofs}$  に現れる。

[0084] 一方、パルス OFF 期間の漏えい光 303 と局部発振光 103 とにより発生する不要なビート信号 305 は、ベースバンド (周波数 0) に現れる。

[0085] したがって、風速によるドップラ信号を観測する時間帯 (パルス OFF 期間) で、ドップラ信号 (ピーク周波数 105、106、存在範囲 104) の周波数  $f_{ofs} + f_w$  が不要なビート信号 304、305 とスペクトル上で離れて存在するため、電氣的に両者の分離が可能となる。

[0086] 以上のように、この実施の形態 3 によれば、第 2 の信号発生手段 134 により発生された鋸波駆動信号 WF02 のうち、第 1 の信号発生手段 133 により発生されたパルス変調駆動信号 WF01 のパルス ON 期間に相当する部分を切り出したバースト状の鋸波駆動信号を出力して、第 2 の信号発生手段 134 に代えて光位相変調器 131 を駆動する信号乗算手段 136 を備えたので、実施の形態 1 における効果に加え、光強度変調手段 132 によるパルス ON/OFF が不完全な場合でも、風速によるドップラ信号を不要なビート信号 304、305 からスペクトル上で容易に分離できるため、光強度変調手段 132 の ON/OFF 消光比に対する性能要求を緩和することができる、低コスト化に寄与することができる。

[0087] なお、実施の形態3におけるバースト的な周波数シフトとパルス変調との組み合わせは、従来のAO変調器では、周波数シフトが付加された出力光と付加されていない出力光との出力ポートとが空間的に異なるため、そのまま実現することはできない。すなわち、AO変調器の0次光出力ポート（周波数シフトなし）と1次光出力ポート（周波数シフトあり）とをパルス出力と同期して切替える手段が別途必要であり、挿入損失の増加や同期ずれといった技術課題があるのに加え、素子の大型化と消費電力増加を誘発しデメリットが大きい。また、従来例のような光強度変調ユニットの多段化にともなう挿入損失の増加を防ぐことができ、低消費電力化に寄与する。

[0088] また、実施形態1, 2と同様に、光強度変調手段132および第2の光強度変調手段135は共に波長依存性がないため、従来のAOを用いた構成に比べて、基準光源11の波長変動や、波長設定範囲に対する許容範囲を拡大することができる。

[0089] 実施の形態4.

実施の形態3では、送信光に同期したバースト状の鋸波駆動信号WF03による位相変調を送信光に対してのみ行う場合について示した。それに対し、実施の形態4では局部発振光に対しても行う場合について示す。図10はこの発明の実施の形態4に係る光送信ユニット1の構成を示すブロック図である。図10に示す実施の形態4に係る光送信ユニット1は、図8に示す実施の形態3に係る光送信ユニット1の光位相変調器131の位置を、基準光源11と光路分岐カプラ12との間に変更したものである。その他の構成は同様であり、同一の符号を付し異なる部分についてのみ説明を行う。

[0090] 光位相変調器131は、信号乗算手段136により出力されたバースト状の鋸波駆動信号WF03に従い、基準光源11からの光に対して位相変調を行いオフセット周波数を付与するものである。この光位相変調器131により位相変調された光は伝送路OF11を介して光路分岐カプラ12に伝送される。

[0091] なお、光路分岐カプラ12は、光位相変調器131からの光を偏光状態を

維持したまま2分岐する。

また、光強度変調手段132は、第1の信号発生手段133により発生されたパルス変調駆動信号WF01に従い、光路分岐カプラ12からの光に対してパルス変調を行い送信光とする。

これにより、局部発振光にも、パルスON/OFF期間に対応したオフセット周波数の有無変化が付加される。

[0092] 図11に、実施の形態4に係るレーザレーダ装置における各光のタイミングダイヤグラムを示す。

図11に示すように、実施の形態4に係るレーザレーダ装置では、特定のパルス幅と繰り返し周期を持つ送信光101がパルスON期間に出力される一方、パルスOFF期間に漏えい光301が出力される。

[0093] この漏えい光301は、その後、光増幅器2により増幅される。そして、光サーキュレータ3の伝送路OF5から伝送路OF7へのクロストーク、および伝送路OF6の後段の光アンテナユニット4の内部部品の反射により、送信光101（パルスON期間）の受信光路へのクロストーク302、および漏えい光301（パルスOFF期間）の受信光路への漏えい光303として、光ヘテロダイン受信機5に入射する。

[0094] パルスON期間のクロストーク302の周波数が $\nu + f_{fs}$ であるのに対し、漏えい光301（パルスOFF期間）の受信光路への漏えい光303の周波数は、パルスOFF期間にオフセット周波数が付加されないため $\nu$ である。

一方、実施の形態3と異なり、局部発振光103の周波数は、送信光101と同様に、パルスON期間に $\nu + f_{fs}$ （パルスON期間401）となり、パルスOFF期間に $\nu$ となる（パルスOFF期間402）。

[0095] このため、光ヘテロダイン受信機5内で、パルスON期間のクロストーク302と局部発振光103のパルスON期間401とにより発生する不要なビート信号403および、パルスOFF期間の漏えい光303と局部発振光103のパルスOFF期間402とにより発生する不要なビート信号404

は、いずれもベースバンド（周波数0）に現れる。

[0096] 一方、風速によるドップラ信号（ピーク周波数105, 106、存在範囲104）は、中心周波数付近に存在する。そのため、不要なビート信号403, 404とスペクトル上で離れて存在するため、電氣的に両者の分離が可能となる。

[0097] 以上のように、この実施の形態4によれば、送信光に同期したバースト状の鋸波駆動信号WF03による位相変調を送信光および局部発振光に対して行うように構成したので、実施の形態1における効果に加え、光強度変調手段132によるパルスON/OFFが不完全な場合でも、風速によるドップラ信号を不要なビート信号403, 404からスペクトル上で容易に分離できるため、光強度変調手段132のON/OFF消光比に対する性能要求を緩和することができ、低コスト化に寄与することができる。

[0098] また、実施の形態4の構成をとることで、実施の形態3の構成に比較して、パルスON期間における不要なビート信号403もベースバンドにシフトさせることが可能である。そのため、パルスタイミングに時間的なジッタ誤差が存在する場合での、パルスOFF期間直後（最近接の距離レンジ）における漏えい光の混入を避けることができる。

このため、最近接の距離レンジにおける風速推定における誤検出を回避することができ、風速計測精度を高めることができる。

[0099] さらに、実施の形態4の構成をとることで、光通信の用途において適用対象の多い基準光源11と光位相変調器131とを一体化したモジュールを活用し、後段に汎用の光路分岐カプラ12、光強度変調手段132を接続する構成が取れる。このため、光通信用途で信頼性と低コスト化が進んだ部品を利活用できる利点がある。

[0100] また、実施の形態1～3と同様に、光強度変調手段132および第2の光強度変調手段135は共に波長依存性がないため、従来のAO変調器を用いた構成に比べて、基準光源11の波長変動、波長設定範囲に対する許容範囲を拡大することができる。

## [0101] 実施の形態5.

実施の形態1～4では、1個の基準光源11および1個の光アンテナユニット4を用いた場合について示した。それに対し、実施の形態5では、波長の異なる複数の基準光源11a, 11bと、各波長に対応した複数の光アンテナユニット4a, 4bとを用いて、観測空間を切替る場合について示す。図12はこの発明の実施の形態5に係るレーザレーダ装置の構成を示すブロック図である。図12に示す実施の形態5に係るレーザレーダ装置は、図1に示す実施の形態1に係るレーザレーダ装置の基準光源11および光アンテナユニット4を第1, 2の基準光源11a, 11bおよび第1, 2の光アンテナユニット4a, 4bに変更し、波長分岐カプラ8および波長多重カプラ14を追加したものである。その他の構成は同様であり、同一の符号を付し異なる部分についてのみ説明を行う。

[0102] 第1の基準光源11aは、中心波長（周波数） $\lambda_1$ の連続発振・定偏光である光を発生するものである。この第1の基準光源11aにより発生された光は伝送路OF13を介して波長多重カプラ14に伝送される。

第2の基準光源11bは、中心波長（周波数） $\lambda_2$ の連続発振・定偏光である光を発生するものである。この第2の基準光源11bにより発生された光は伝送路OF14を介して波長多重カプラ14に伝送される。

[0103] 波長多重カプラ14は、第1, 2の基準光源11a, 11bからの光を波長多重するものである。この波長多重カプラ14により波長多重された光は伝送路OF15を介して光路分岐カプラ12に伝送される。

なお、光路分岐カプラ12は、波長多重カプラ14からの光を偏光状態を維持したまま2分岐する。

[0104] 波長分岐カプラ8は、光サーキュレータ3からの送信光を波長ごとに分岐するものである。この波長分岐カプラ8により波長ごとに分岐された送信光は伝送路OF17, OF18を介して対応する第1, 2の光アンテナユニット4a, 4bに伝送される。

[0105] 第1の光アンテナユニット4aは、第1の基準光源11aに対応し、波長

分岐カプラ 8 からの中心波長  $\lambda_1$  の送信光を空間に放出し、かつ、当該送信光に対する空間からの後方散乱光を受信光として受信するものである。この第 1 の光アンテナユニット 4 a により受信された受信光は伝送路 OF 1 6, 1 7 を介して光サーキュレータ 3 に伝送される。

第 2 の光アンテナユニット 4 b は、第 2 の基準光源 1 1 b に対応し、波長分岐カプラ 8 からの中心波長  $\lambda_2$  の送信光を空間に放出し、かつ、当該送信光に対する空間からの後方散乱光を受信光として受信するものである。この第 2 の光アンテナユニット 4 b により受信された受信光は伝送路 OF 1 6, 1 7 を介して光サーキュレータ 3 に伝送される。

[0106] なお図 1 2 では、光路分岐カプラ 1 2 の位置を光周波数・強度変調ユニット 1 3 の手前とし、局部発振光に周波数シフトを与えない構成を例として示している。しかしながら、これに限るものではなく、実施の形態 4 のように光周波数・強度変調ユニット 1 3 の内部において、光路分岐カプラ 1 2 を鋸波駆動信号 WF 0 3 で駆動した光位相変調器 1 3 1 の後段に設置して、局部発振光にもパルス ON 期間に周波数シフトを付加する構成をとってもよい。これにより、光周波数・強度変調ユニット 1 3 の内部に設置した光強度変調手段 1 3 2 の ON / OFF 消光比が不十分であっても、光ヘテロダイン受信機 5 に混入する不要なビート信号 4 0 3 と風速によるドップラ信号（ピーク周波数 1 0 5, 1 0 6、存在範囲 1 0 4）とを周波数領域で分離することができる。

[0107] 図 1 2 に示す構成において、光送信ユニット 1 から伝送路 OF 4 を介して出力された送信光は、実施の形態 1 における図 1 の構成と同様に光増幅器 2 で増幅されて光サーキュレータ 3 を介して伝送路 OF 1 6 に伝送される。

[0108] そして、送信光は、伝送路 OF 6 から波長分岐カプラ 8 に伝送され、第 1, 2 の基準光源 1 1 a, 1 1 b の波長ごとに光路が切り換えられ、第 1 の基準光源 1 1 a からの波長  $\lambda_1$  に対応した光は第 1 の光アンテナユニット 4 a に伝送され、第 2 の基準光源 1 1 b からの波長  $\lambda_2$  に対応した光は第 2 の光アンテナユニット 4 b に伝送される。

ここで、第1の光アンテナユニット4 aと第2の光アンテナユニット4 bとを、異なる観測空間に向けて設置することで、波長切替えにより観測空間を切替えて計測することが可能となる。

[0109] また、信号処理ユニット6からは、各時間で第1の基準光源1 1 aあるいは第2の基準光源1 1 bのうちどちらの基準光源を選択したかを示す、波長選択用の時系列信号が光送信ユニット1に送信される。

同時に信号処理ユニット6において、上記の波長選択用の時系列信号が計測したドップラ信号の時系列データとともに記録格納される。このデータは、ドップラ信号の分析において、第1の光アンテナユニット4 aあるいは第2の光アンテナユニット4 bのどちらを選択したかを識別する際に用いられる。

[0110] 以上のように、この実施の形態5によれば、波長の異なる複数の基準光源1 1 a, 1 1 bと、各波長に対応した複数の光アンテナユニット4 a, 4 bとを用い、観測空間を切替るように構成したので、複数の光アンテナユニット4 a, 4 bを予め異なる観測空間に向けて設置固定し、波長を電氣的に切替えることで観測空間を切替え可能となる。これにより、機械駆動なく観測空間の切替えを高速に行うことができる。

[0111] また、光アンテナユニット4 a, 4 bを、天頂方向を視野中心として異なる地上位置に固定して、波長切替えにより光アンテナユニット4 a, 4 bを切替えることで2地点の風向風速の高度分布を1台のレーザレーダ装置で計測することができる。

[0112] また、従来のAO変調器を用いた構成では、変調器に波長依存性があるため波長ごとに光アンテナユニット4 a, 4 bを切替える構成を構築するためには、光周波数・強度変調ユニット1 3を波長ごとに設置する必要があった。それに対して実施の形態5では、1つの光周波数・強度変調ユニット1 3を共通して使用することができる。したがって、部品点数が減少し低コスト化に寄与することができる。

[0113] さらに、近年の光通信機器において、実用化されている可変波長レーザア

レイでは、すでに12アレイ以上の基準光源と波長多重カプラとが一体化されたモジュールとして市販されている。そこで、この光通信用の可変波長レーザーアレイを用いることで、素子を小型化できるだけでなく、通信用の部品として信頼性試験され、量産効果によるコスト低減効果がある部品を流用できる。そのため、開発費を含めた費用を低減できる。

[0114] なお上記では、使用する波長を2波長とした場合について示したが、これに限るものではなく、N個の波長を用いるようにしてもよい。

[0115] また、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

### 産業上の利用可能性

[0116] この発明に係るレーザレーダ装置は、AO変調器を用いずに送信側に必要な周波数シフトとパルス化を実施することで、装置の小型・集積化、部品点数低減による信頼性向上とコスト低減を図ることができ、例えば気象空間における風向風速を遠隔計測するレーザレーダ装置等に用いるのに適している。

### 符号の説明

[0117] 1 光送信ユニット、2 光増幅器、3 光サーキュレータ、4, 4a, 4b 光アンテナユニット（光アンテナ）、5 光ヘテロダイン受信機、6 信号処理ユニット、7 表示手段、8 波長分岐カプラ、11, 11a, 11b 基準光源、12 光路分岐カプラ、13 光周波数・強度変調ユニット、14 波長多重カプラ、131 光位相変調器、132 光強度変調手段、133 第1の信号発生手段、134 第2の信号発生手段、135 第2の光強度変調手段、136 信号乗算手段（第3の信号発生手段）。

## 請求の範囲

- [請求項1] 連続発振光である局部発振光および送信光を出力する光送信ユニットと、前記光送信ユニットにより出力された送信光を空間に放射し、当該送信光に対する後方散乱光を受信光として受信する光アンテナと、前記光送信ユニットにより出力された局部発振光および前記光アンテナにより受信された受信光を用いて光ヘテロダイン検出を行う光ヘテロダイン受信機と、前記光ヘテロダイン受信機による検出結果を周波数分析する信号処理ユニットとを備えたレーザレーダ装置であって、
- 前記光送信ユニットは、
- 前記連続発振光に対して位相変調を行う光位相変調器と、
- 前記光位相変調器により位相変調された光に対してパルス変調を行い前記送信光とする光強度変調手段と、
- 周期的にON/OFF期間を繰返すパルス変調駆動信号を発生して前記光強度変調手段を駆動する第1の信号発生手段と、
- 前記光位相変調器の変調位相 $2\pi$ を得るために必要な駆動電圧の整数倍に相当する振幅および一定周期を持つ鋸波駆動信号を発生して前記光位相変調器を駆動する第2の信号発生手段とを備えた
- ことを特徴とするレーザレーダ装置。
- [請求項2] 前記光強度変調手段は、複数従属接続され、互いに同期してパルス変調を行う
- ことを特徴とする請求項1記載のレーザレーダ装置。
- [請求項3] 前記光強度変調手段は半導体光増幅器である
- ことを特徴とする請求項1記載のレーザレーダ装置。
- [請求項4] 前記第2の信号発生手段により発生された鋸波駆動信号のうち、前記第1の信号発生手段により発生されたパルス変調駆動信号のパルスON期間に相当する部分を切り出したバースト状の鋸波駆動信号を出力して、前記第2の信号発生手段に代えて前記光位相変調器を駆動す

る第3の信号発生手段を備えた

ことを特徴とする請求項1記載のレーザレーダ装置。

[請求項5]

前記光位相変調器により位相変調された連続発振光を2分岐して一方を前記局部発振光とし、他方を前記送信光用の光とする光路分岐カプラを備え、

前記光強度変調手段は、前記光路分岐カプラからの前記送信光用の光に対してパルス変調を行う

ことを特徴とする請求項4記載のレーザレーダ装置。

[請求項6]

前記光送信ユニットは、

各々異なる波長の連続発振光を発生する複数の基準光源と、

前記各基準光源により発生された連続発振光を波長多重する波長多重カプラとを備え、

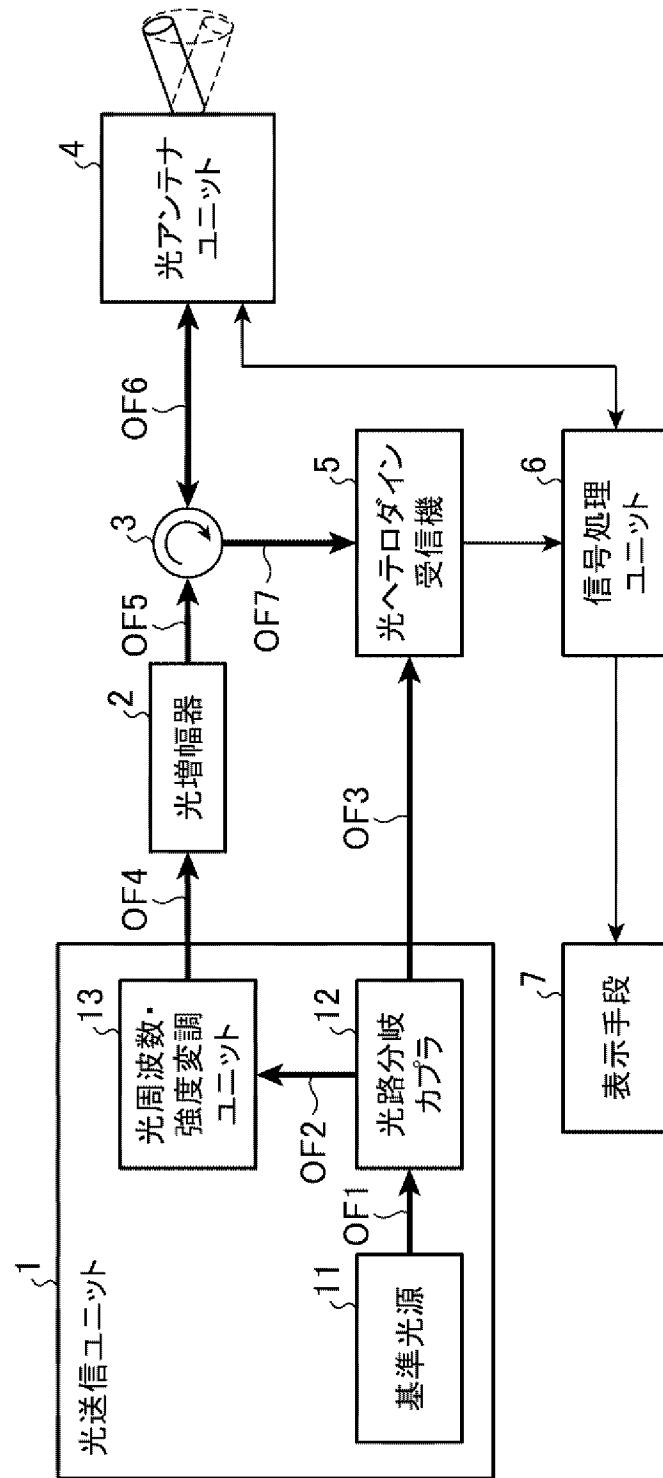
前記光位相変調器は、前記波長多重カプラにより波長多重された連続発振光に対して位相変調を行い、

前記光送信ユニットにより出力された送信光を波長ごとに分岐する波長分岐カプラを備え、

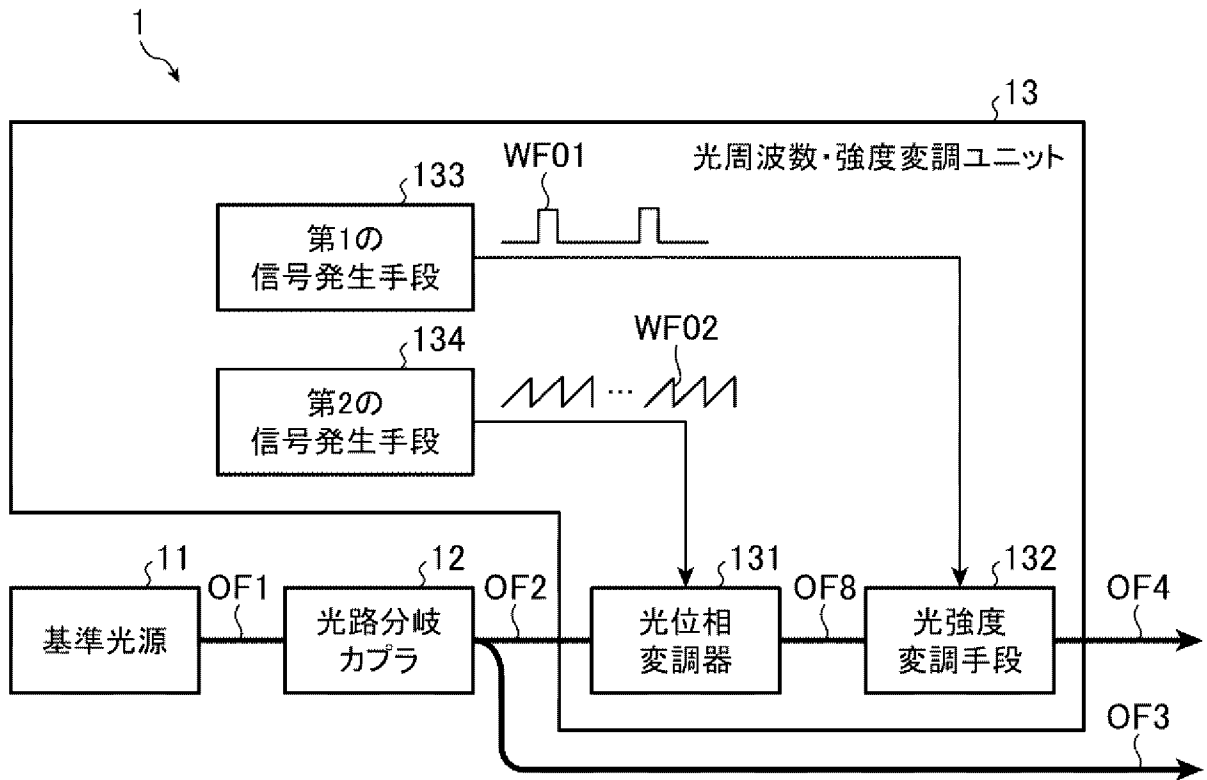
前記光アンテナは、前記基準光源に対応して複数設けられ、前記波長分岐カプラにより分岐された対応する波長の送信光を用いる

ことを特徴とする請求項1記載のレーザレーダ装置。

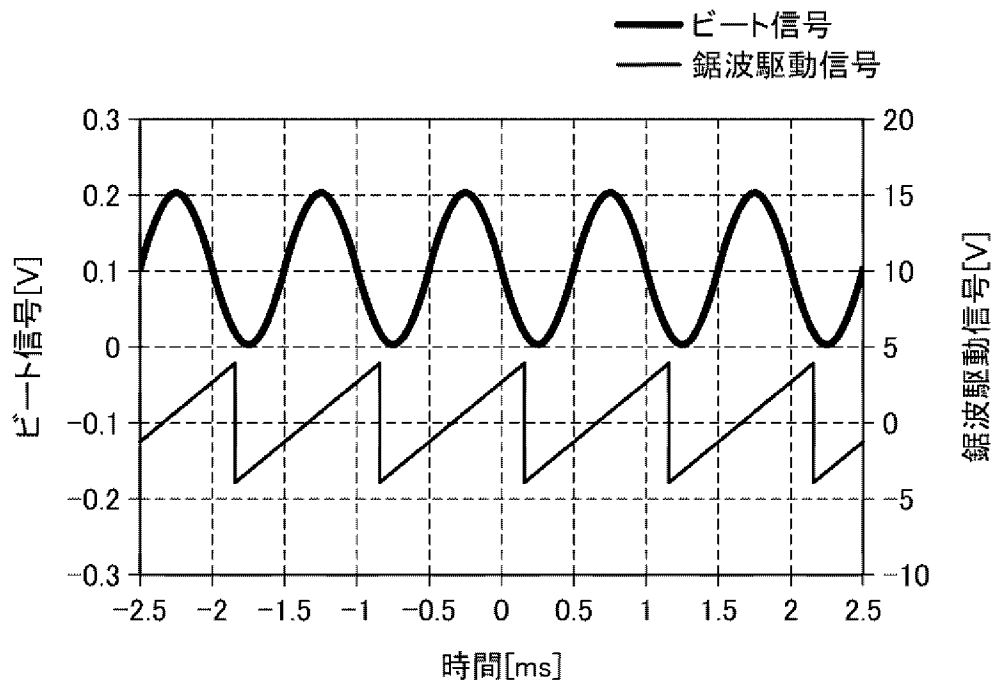
[図1]



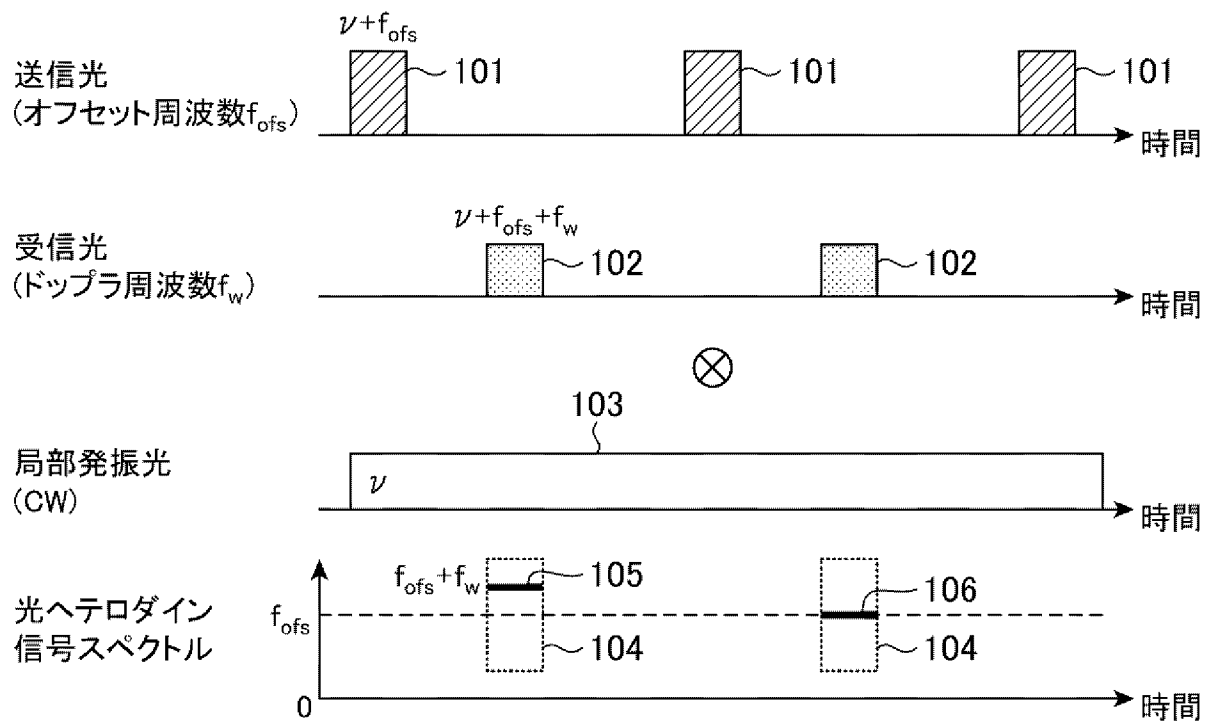
[図2]



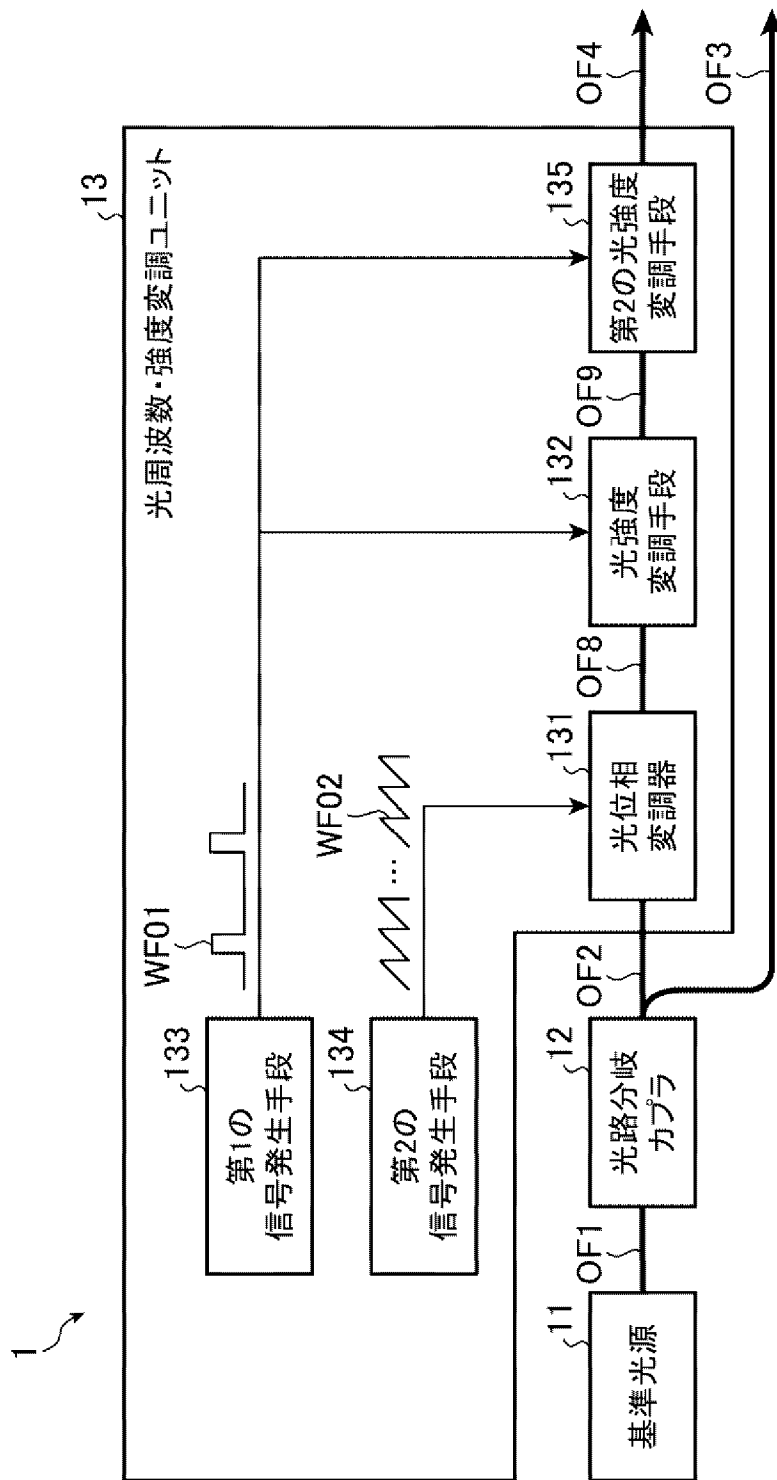
[図3]



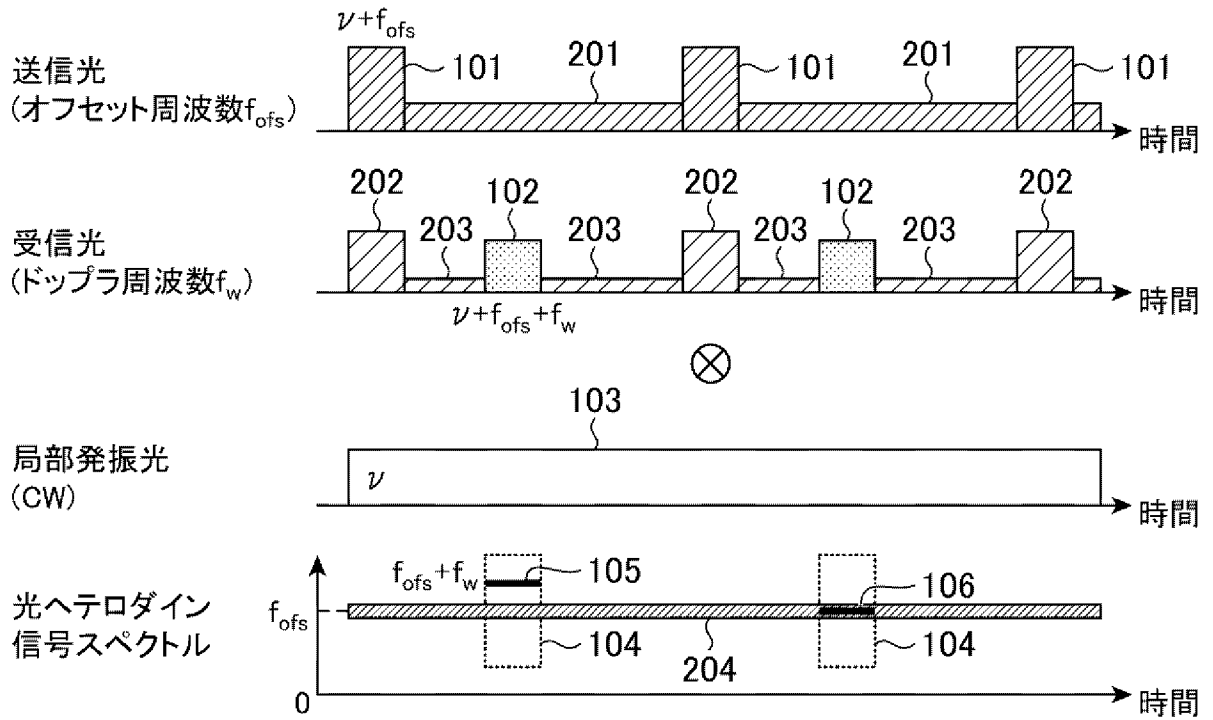
[図4]



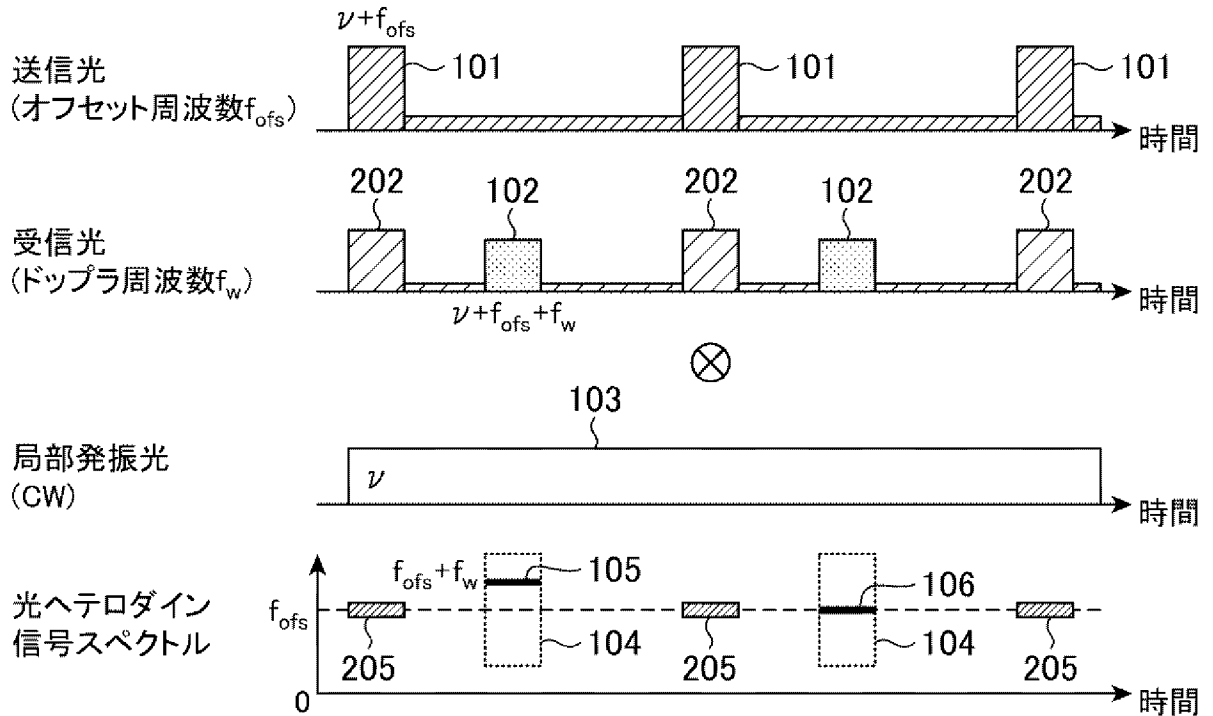
[図5]



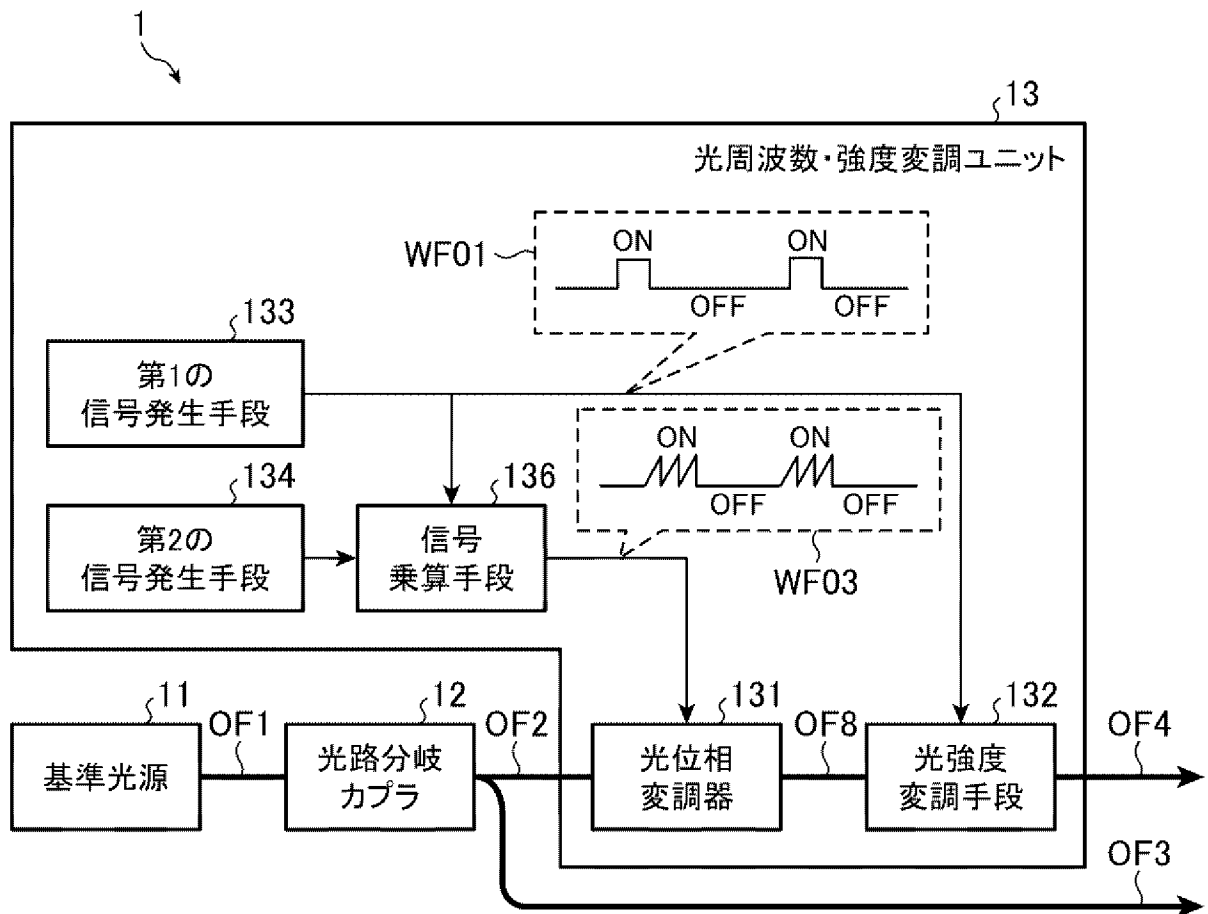
[図6]



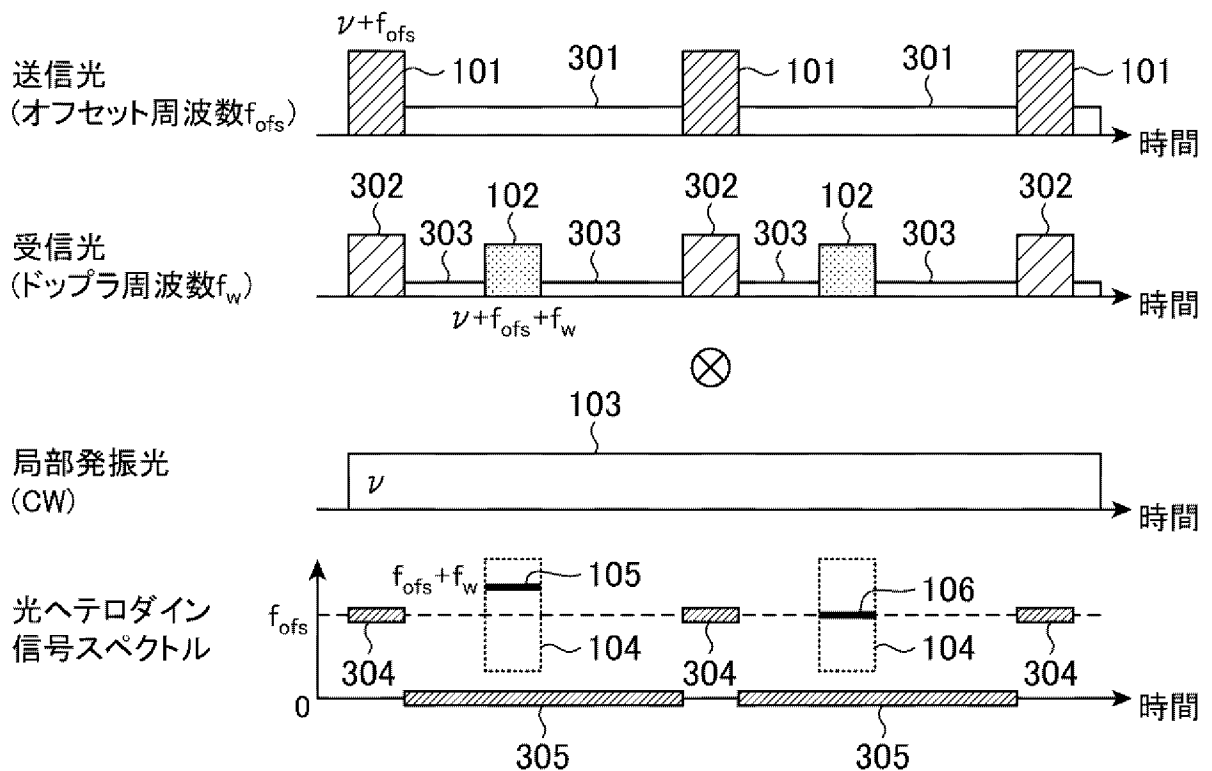
[図7]



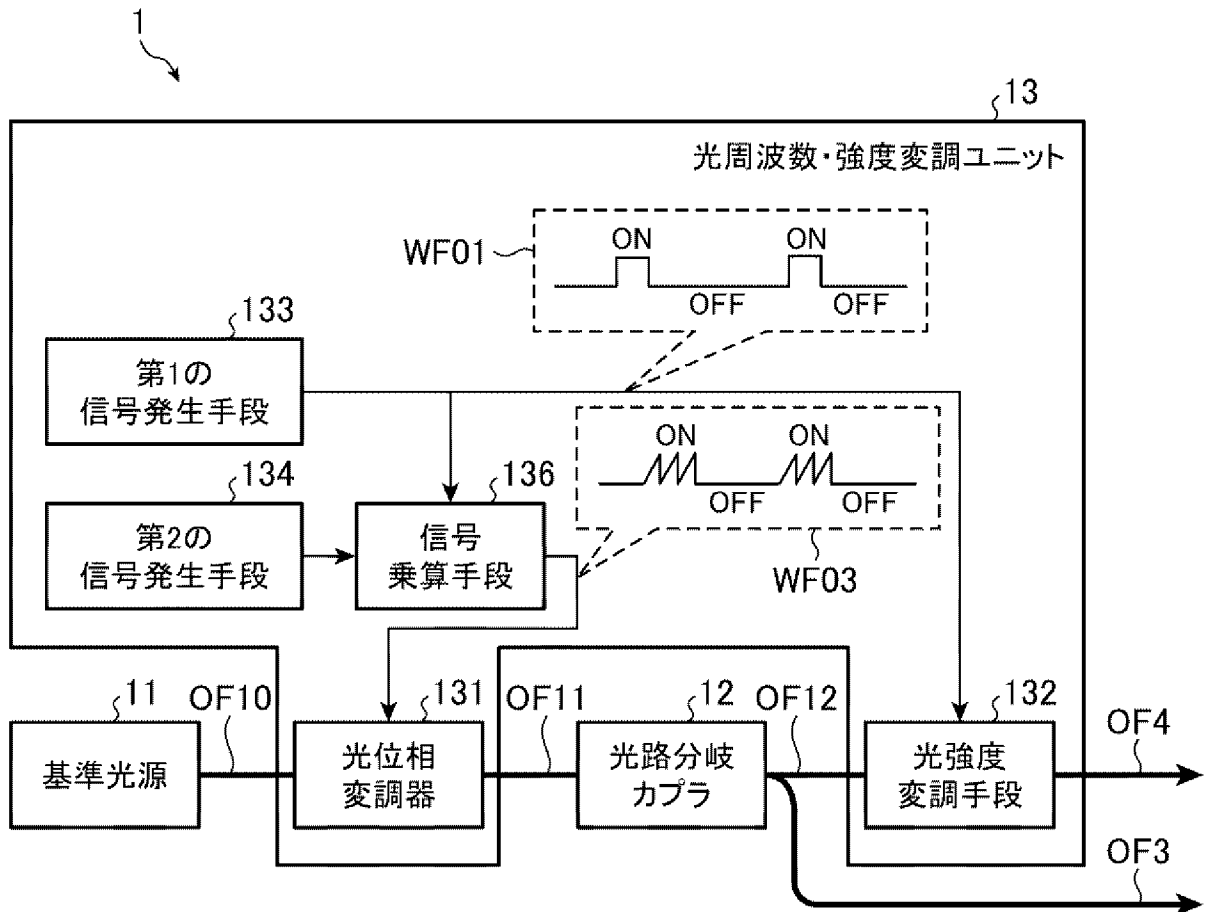
[図8]



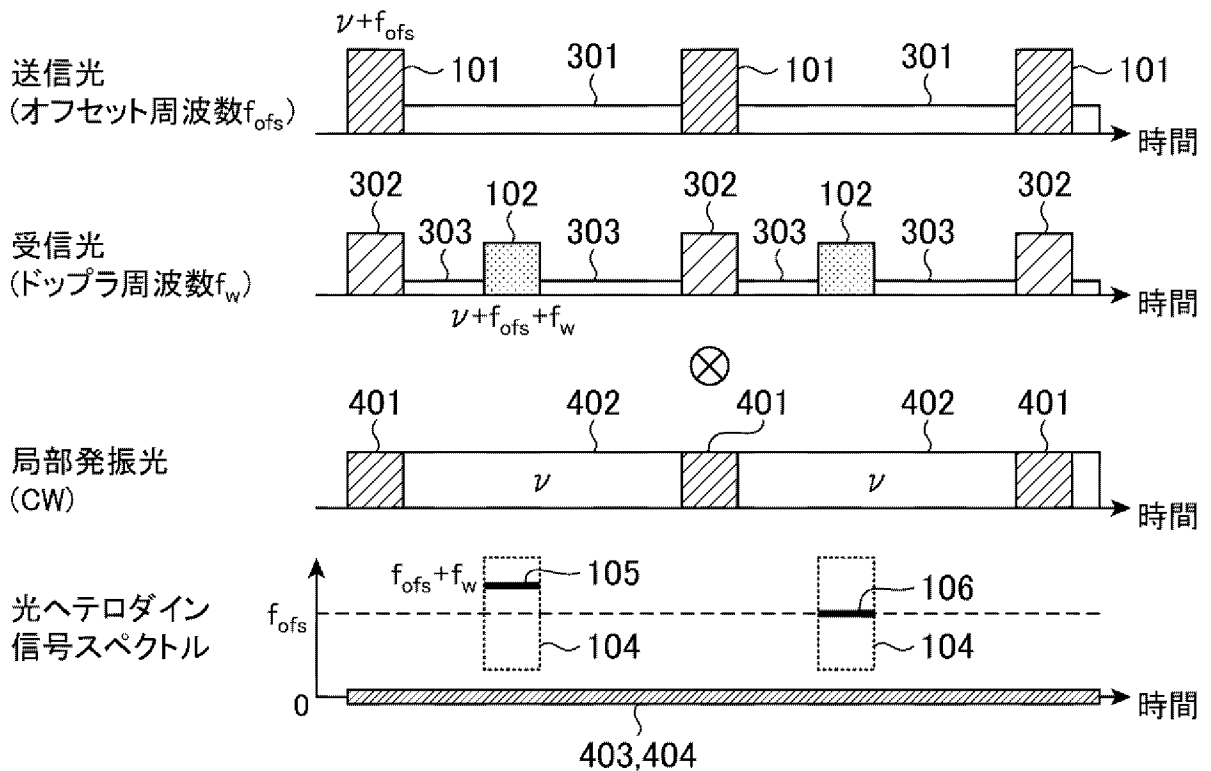
[図9]



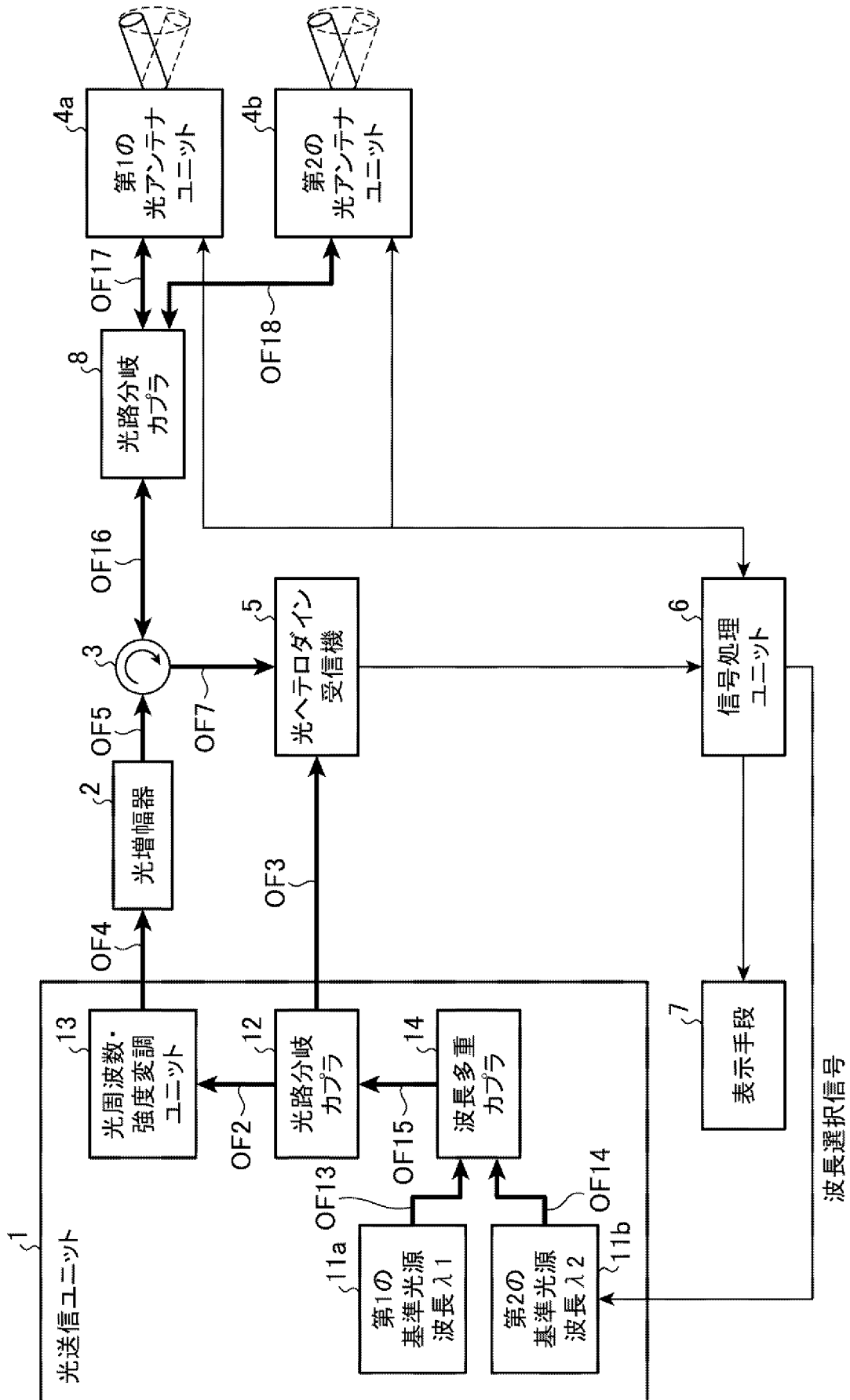
[図10]



[図11]



[図12]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2013/082979

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
G01S7/484(2006.01)i, G01S17/88(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01S7/00-7/51, G01S17/00-17/95, G01S13/00-13/95, G01W1/00-1/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2014 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2014 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2014 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| Y<br>A    | WO 2013/094431 A1 (Mitsubishi Electric Corp.),<br>27 June 2013 (27.06.2013),<br>paragraphs [0010] to [0039]; fig. 1<br>(Family: none) | 1-3, 6<br>4, 5        |
| Y<br>A    | JP 2000-193558 A (NEC Corp.),<br>14 July 2000 (14.07.2000),<br>paragraphs [0039] to [0044]; fig. 3 to 4<br>(Family: none)             | 1-3, 6<br>4, 5        |
| Y<br>A    | JP 2009-27517 A (NTT Electronics Corp.),<br>05 February 2009 (05.02.2009),<br>paragraphs [0007] to [0009]; fig. 19<br>(Family: none)  | 2<br>1, 3-6           |

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

|   |  |
|---|--|
| * Special categories of cited documents:  | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone   |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date   | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family  |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  |  |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed  |  |

|  |   |
|--|---|
| Date of the actual completion of the international search<br>03 March, 2014 (03.03.14) | Date of mailing of the international search report<br>18 March, 2014 (18.03.14) |
|--|---|

|  |                    |
|--|--------------------|
| Name and mailing address of the ISA/<br>Japanese Patent Office | Authorized officer |
| Facsimile No.  | Telephone No.      |

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/082979

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| Y<br>A    | JP 2012-129514 A (Canon Inc.),<br>05 July 2012 (05.07.2012),<br>paragraph [0044]<br>& US 2012/127464 A1<br>paragraph [0058]   | 3<br>1, 2, 4-6        |
| A         | JP 2000-28705 A (Mitsubishi Electric Corp.),<br>28 January 2000 (28.01.2000),<br>paragraphs [0018] to [0027]; fig. 1 to 4<br>(Family: none)   | 1-6                   |
| A         | WO 2004/061476 A1 (Mitsubishi Electric Corp.),<br>22 July 2004 (22.07.2004),<br>column 4, line 2 to column 17, line 14; fig. 1<br>to 6<br>& US 2005/146706 A1<br>paragraphs [0023] to [0097]; fig. 1 to 6 | 1-6                   |

|  |   |                |
|--|---|----------------|
| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>Int.Cl. G01S7/484(2006.01)i, G01S17/88(2006.01)i  |   |                |
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））<br>Int.Cl. G01S7/00-7/51, G01S17/00-17/95, G01S13/00-13/95, G01W1/00-1/18  |   |                |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの<br>日本国実用新案公報 1922-1996年<br>日本国公開実用新案公報 1971-2014年<br>日本国実用新案登録公報 1996-2014年<br>日本国登録実用新案公報 1994-2014年   |   |                |
| 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）   |   |                |
| C. 関連すると認められる文献  |   |                |
| 引用文献の<br>カテゴリー*  | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                       | 関連する<br>請求項の番号 |
| Y  | WO 2013/094431 A1（三菱電機株式会社）2013.06.27,<br>段落[0010]-[0039], 図1（ファミリーなし）  | 1-3, 6         |
| A  |   | 4, 5           |
| Y  | JP 2000-193558 A（日本電気株式会社）2000.07.14,<br>段落【0039】-【0044】, 図3-4（ファミリーなし） | 1-3, 6         |
| A  |   | 4, 5           |
| <input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <span style="margin-left: 200px;"><input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</span>   |   |                |
| * 引用文献のカテゴリー<br>「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの<br>「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの<br>「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）<br>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献<br>「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの<br>「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの<br>「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの<br>「&」同一パテントファミリー文献 |   |                |
| 国際調査を完了した日<br>03.03.2014   | 国際調査報告の発送日<br>18.03.2014  |                |
| 国際調査機関の名称及びあて先<br>日本国特許庁（ISA/J P）<br>郵便番号100-8915<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号   | 特許庁審査官（権限のある職員）<br>吉田 久<br>電話番号 03-3581-1101 内線 3258                    | 2 S   3 9 0 2  |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |  |                |
|-----------------------|--|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示  | 関連する<br>請求項の番号 |
| Y<br>A                | JP 2009-27517 A (NTTエレクトロニクス株式会社) 2009. 02. 05,<br>段落【0007】－【0009】, 図19 (ファミリーなし)                                    | 2<br>1, 3-6    |
| Y<br>A                | JP 2012-129514 A (キヤノン株式会社) 2012. 07. 05,<br>段落【0044】 & US 2012/127464 A1, [0058]                                    | 3<br>1, 2, 4-6 |
| A                     | JP 2000-28705 A (三菱電機株式会社) 2000. 01. 28,<br>段落【0018】－【0027】, 図1－4 (ファミリーなし)  | 1-6            |
| A                     | WO 2004/061476 A1 (三菱電機株式会社) 2004. 07. 22,<br>第4欄第2行-第17欄第14行, 第1-6図<br>& US 2005/146706 A1, [0023]-[0097], FIG. 1-6 | 1-6            |