

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5640490号
(P5640490)

(45) 発行日 平成26年12月17日(2014.12.17)

(24) 登録日 平成26年11月7日(2014.11.7)

(51) Int.Cl.

F 1

H01S 1/06 (2006.01)
H03L 7/26 (2006.01)H01S 1/06
H03L 7/26

請求項の数 6 (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2010-140230 (P2010-140230)
 (22) 出願日 平成22年6月21日 (2010.6.21)
 (65) 公開番号 特開2012-4469 (P2012-4469A)
 (43) 公開日 平成24年1月5日 (2012.1.5)
 審査請求日 平成25年6月21日 (2013.6.21)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
 (74) 代理人 100095728
 弁理士 上柳 雅善
 (74) 代理人 100107261
 弁理士 須澤 修
 (74) 代理人 100127661
 弁理士 宮坂 一彦
 (72) 発明者 牧 義之
 東京都日野市日野421-8 エプソント
 ヨコム株式会社内
 (72) 発明者 吉田 啓之
 東京都日野市日野421-8 エプソント
 ヨコム株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】原子発振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の金属原子と、

前記第1の金属原子の同位体であり、前記第1の金属原子と混合して配置されている第2の金属原子と、

前記第1の金属原子に電磁誘起透過現象を発生させる第1の共鳴光対と、前記第2の金属原子に電磁誘起透過現象を発生させる第2の共鳴光対とを含む光を照射する光源と、

前記前記第1の金属原子および前記第2の金属原子を透過した光を検出する光検出部と、

前記光検出部が検出した光の強度に基づいて、前記第1の金属原子が電磁誘起透過現象を発生したときの光の強度および前記第2の金属原子が電磁誘起透過現象を発生したときの光の強度よりも、光の強度が大きくなるように第1の共鳴光対の周波数と第2の共鳴光対の周波数とを制御する周波数制御部と、を備えていることを特徴とする原子発振器。

【請求項 2】

前記第1の金属原子が質量数85のルビジウムであり、前記第2の金属原子が質量数87のルビジウムであることを特徴とする請求項1に記載の原子発振器。

【請求項 3】

前記周波数制御部は、

電圧制御水晶発振器の出力信号を所定の周波数により位相変調する位相変調部と、

前記位相変調部により位相変調された信号を前記第1の金属原子の遷移周波数に遙倍す

10

20

る第1の周波数倍部と、

前記位相変調部により位相変調された信号を前記第2の金属原子の遷移周波数に倍する第2の周波数倍部と、

前記第1の周波数倍部により倍された周波数と前記第2の周波数倍部により倍された周波数とを混合する周波数混合器と、

を備えていることを特徴とする請求項1又は2に記載の原子発振器。

【請求項4】

前記第1の周波数倍部及び前記第2の周波数倍部に夫々前記位相変調部を備え、何れか一方の前記位相変調部に位相をシフトする移相器を備えていることを特徴とする請求項3に記載の原子発振器。 10

【請求項5】

前記第1の周波数倍部及び前記第2の周波数倍部に夫々前記位相変調部を備え、何れか一方の前記位相変調部に信号の振幅を調整する振幅調整器を備えていることを特徴とする請求項3に記載の原子発振器。

【請求項6】

前記2つの共鳴光対を含む光を変調する電気光学変調器を備えていることを特徴とする請求項1乃至5の何れか一項に記載の原子発振器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原子発振器の光源を制御する方法に関し、さらに詳しくは、原子発振器の吸収ゲイン可変による吸収捕捉を安定化する原子発振器の光源を制御する方法に関するものである。 20

【背景技術】

【0002】

電磁誘起透過方式(EIT(Electromagnetically Induced Transparency)方式、CPT(Coherent Population Trapping)方式と呼ばれることがある)による原子発振器は、アルカリ金属原子に波長の異なる二つの共鳴光を同時に照射すると、二つの共鳴光の吸収が停止する現象(EIT現象)を利用した発振器である。従って、EIT現象を安定的に得ることが重要である。 30

アルカリ金属原子と2つの共鳴光との相互作用機構は、図7(A)に示すように、A型3準位系モデルで説明できることが知られている。アルカリ金属原子は2つの基底準位を有し、第1基底準位33と励起準位30とのエネルギー差に相当する波長(周波数 f_1)を有する第1共鳴光31、あるいは第2基底準位34と励起準位30とのエネルギー差に相当する波長(周波数 f_2)を有する第2共鳴光32を、それぞれ単独でアルカリ金属原子に照射すると、よく知られているように光吸収が起きる。ところが、図7(B)に示すように、このアルカリ金属原子に、周波数差 $f_1 - f_2$ が第1基底準位33と第2基底準位34のエネルギー差 $E_{1,2}$ に相当する周波数と正確に一致する第1共鳴光31と第2共鳴光32を同時に照射すると、2つの基底準位の重ね合わせ状態、即ち量子干渉状態になり、励起準位30への励起が停止して第1共鳴光31と第2共鳴光32がアルカリ金属原子を透過する透明化現象(EIT現象)が起きる。このEIT現象を利用し、第1共鳴光31と第2共鳴光32との周波数差 $f_1 - f_2$ が第1基底準位33と第2基底準位34のエネルギー差 $E_{1,2}$ に相当する周波数からずれた時の光吸収挙動の急峻な変化を検出し制御することで、高精度な発振器をつくることができる。 40

【0003】

従来のCPT方式による原子発振器は、電流駆動回路により発生した周波数 f_o (= v/o : v は光の速度、 o はレーザー光の中心波長)の駆動電流を、第1基底準位33と第2基底準位34のエネルギー差 $E_{1,2}$ に相当する周波数の1/2の変調周波数 f_m 1で変調することにより、半導体レーザーに周波数 $f_1 = f_o + f_m$ 1の第1共鳴光31と周波数 $f_2 = f_o - f_m$ 1の第2共鳴光32を発生させ(図7(B))、原子セルに含 50

まれる気体状のアルカリ金属原子に E I T 現象を起こさせる。この原子発振器は、原子セルを透過した光の検出量が最大になるように電圧制御水晶発振器（V C X O）の発振周波数を制御し、その発振周波数を P L L により倍率 N / R (N, R はともに正の整数) で倍して E_{1/2} に相当する周波数の 1 / 2 の変調周波数 f_{m1} の信号を生成する。このような構成によれば、電圧制御水晶発振器（V C X O）は極めて安定に発振動作を継続するので、周波数安定度が極めて高い発振信号を発生させることができる。

従来技術として特許文献 1 には、半導体レーザーへのバイアス電流に低周波信号で変調をかけて、吸収を安定化する回路構成について開示されている（図 8 参照）。それによると、半導体レーザー光の中心波長（キャリア周波数）を安定化させるために、ロックインアンプ（同期検波回路）を用い、このロックインアンプの出力信号をアナログ的にフィードバックすることにより、半導体レーザー光の中心波長を制御している。即ちロックインアンプが狭帯域のフィルタとして機能し、フィードバック制御に必要な所望の成分のみを検出するので高精度の周波数制御が可能となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】米国特許第 6 3 2 0 4 7 2 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献 1 に開示されている従来技術は、図 7 (B) に示すように、電流駆動回路により発生した周波数 f_o (= v / λ_o : v は光の速度、λ_o はレーザー光の中心波長) の駆動電流を、第 1 基底準位 33 と第 2 基底準位 34 のエネルギー差 E_{1/2} に相当する周波数の 1 / 2 の変調周波数 f_{m1} で変調することにより、半導体レーザーに周波数 f₁ = f_o + f_{m1} の第 1 共鳴光 31 と周波数 f₂ = f_o - f_{m1} の第 2 共鳴光 32 を発生させ、原子セルに含まれる気体状のアルカリ金属原子に E I T 現象を起こさせる。また、E I T 現象はセルに含まれるアルカリ金属原子の数が多いほど寄与する確率が高くなり、光検出器で吸収される光のレベルが大きくなるが、近年の小型化、低消費化の要求により E I T 現象に寄与する確率が低くなり、光のレベルが低下して S / N を悪化させるといった問題がある。

本発明は、かかる課題に鑑みてなされたものであり、アルカリ金属原子に同位体が存在することを利用して、アルカリ金属原子と該アルカリ金属原子の同位体とを混合した気体に 1 つの中心周波数に対して 2 つの異なる周波数成分を有する第 1 の共鳴光対と第 2 の共鳴光対を含む複数の光を照射することにより、光検出器で吸収される光のレベルを高めて S / N を改善した原子発振器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】

【0006】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。

【0007】

[適用例 1] アルカリ金属原子に共鳴光対を照射することにより生じる電磁誘起透過現象を利用する原子発振器であって、前記アルカリ金属原子と該アルカリ金属原子の同位体とを混合した気体と、可干渉性（コヒーレント性）を有し、1 つの中心周波数に対して 2 つの異なる周波数成分を有する第 1 の共鳴光対と第 2 の共鳴光対を含む複数の光を前記気体に照射する光源と、前記気体を透過した光の強度に応じた検出信号を生成する光検出部と、前記検出信号の強度に基づいて、前記アルカリ金属原子に電磁誘起透過現象を生起せるように前記第 1 の共鳴光対の周波数を制御すると共に、前記アルカリ金属原子の同位体に電磁誘起透過現象を生起せるように、前記第 2 の共鳴光対の周波数を制御する周波数制御部と、を備えたことを特徴とする。

【0008】

10

20

30

40

50

少なくとも 4 つ（ 2 つの共鳴光対）の共鳴光を発生させるためには、コヒーレント光源から出射される共鳴光に変調を与えて、サイドバンドを発生させ、その周波数スペクトラムを利用することが考えられる。また、共鳴光を変調する周波数は、遷移周波数によって変調する必要がある。そこで本発明では、アルカリ金属原子と、そのアルカリ金属原子の同位体とを混合した気体を用意し、周波数制御部は 2 つの共鳴光対を制御する。これにより、コヒーレント光源から出射した共鳴光から、遷移周波数を維持した 4 つの周波数スペクトラムを有する共鳴光を生成することができる。

【 0 0 0 9 】

[適用例 2] 前記アルカリ金属原子が質量数 85 のルビジウムであり、前記アルカリ金属原子の同位体が質量数 87 のルビジウムであることを特徴とする。

10

【 0 0 1 0 】

ルビジウムの同位体は 24 種類が知られている。天然に存在するルビジウムは、天然存在比が 72.2 % の安定同位体 ^{85}Rb と、 27.8 % の放射性同位体 ^{87}Rb の 2 種類である。即ち、 ^{85}Rb と ^{87}Rb は、中心波長が D1 線で 795 nm 、 D2 線で 780 nm とそれぞれ共通であるが、それぞれの遷移周波数が ^{85}Rb で 6.8 GHz 、 ^{87}Rb で 3.0 GHz の 2 種類となる。これにより、 1 本のレーザー光でサイドバンドを 2 種類発生させることができ、 EIT 現象に寄与する原子の確率を高めることができる。

【 0 0 1 1 】

[適用例 3] 前記周波数制御部は、電圧制御水晶発振器の出力信号を所定の周波数により位相変調する位相変調部と、該位相変調部により位相変調された信号を前記アルカリ金属原子の遷移周波数に遙倍する第 1 の周波数遙倍部と、前記位相変調部により位相変調された信号を前記アルカリ金属原子の同位体の遷移周波数に遙倍する第 2 の周波数遙倍部と、前記第 1 の周波数遙倍部により遙倍された周波数と前記第 2 の周波数遙倍部により遙倍された周波数とを混合する周波数混合器と、を備えていることを特徴とする。

20

【 0 0 1 2 】

本発明に係る原子発振器のもう一つの特徴は、周波数制御部の構成にある。即ち、 2 種類の遷移周波数を制御するために、位相変調部により変調された信号を、第 1 の共鳴光対の遷移周波数に遙倍する第 1 の周波数遙倍部と、第 2 の共鳴光対の遷移周波数に遙倍する第 2 の周波数遙倍部とを備えることである。そして、これらの遙倍周波数を混合する周波数混合器が必要となる。これにより、アルカリ金属原子と、その同位体の遷移周波数を 1 本に合成して光源を励起することができる。

30

【 0 0 1 3 】

[適用例 4] 前記第 1 の周波数遙倍部及び前記第 2 の周波数遙倍部に夫々前記位相変調部を備え、何れか一方の前記位相変調部に位相をシフトする移相器を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

位相変調部を共通に使用して 2 つの周波数遙倍部を駆動することができるが、部品のバラツキ等により互いの位相がずれてしまう可能性もある。そこで、この現象が発生したときに、位相をシフトして位相合わせを行なう必要がある。そこで本発明では、何れか一方の位相変調部に位相をシフトする移相器を備えた。これにより、同期検波を正確に、且つ迅速に行なうことができる。

40

【 0 0 1 5 】

[適用例 5] 前記第 1 の周波数遙倍部及び前記第 2 の周波数遙倍部に夫々前記位相変調部を備え、何れか一方の前記位相変調部に信号の振幅を調整する振幅調整器を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

2 つの周波数遙倍部の出力レベルは、検波後の誤差電圧の傾きに影響する。従って理想的には 2 つの周波数遙倍部の出力レベルが同じであることが好ましい。そこで本発明では、何れか一方の位相変調部に振幅を調整する振幅調整器を備えた。これにより、同期検波を正確に、且つ迅速に行なうことができる。

50

【0017】

[適用例6] 前記光源から出射された前記第1の共鳴光対と第2の共鳴光対を含む複数の光を変調する電気光学変調器（EOM）を備えたことを特徴とする。

【0018】

光を変調するためには、電気光学変調素子が必要となる。しかし、周波数スペクトラムの数を増やすと、それだけ電気光学変調素子の数を増やさなければならず、コスト的に高くなり、且つ部品点数が増加するといった問題がある。そこで本発明では、電気光学変調素子を変調する信号を周波数混合器で混合しておき、その変調信号により1つの電気光学変調素子を変調する。これにより、電気光学変調素子の数を最小限にして、部品点数を削減することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】EIT現象の基本的な動作を説明する図である。

【図2】本発明の基本原理を説明する図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る原子発振器の構成を示すブロック図である。

【図4】本発明の第2の実施形態に係る原子発振器の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第3の実施形態に係る原子発振器の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第4の実施形態に係る原子発振器の構成を示すブロック図である。

【図7】アルカリ金属原子と2つの共鳴光との相互作用機構を説明する図である。

【図8】特許文献1に開示されている原子発振器の回路構成を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、本発明を図に示した実施形態を用いて詳細に説明する。但し、この実施形態に記載される構成要素、種類、組み合わせ、形状、その相対配置などは特定的な記載がない限り、この発明の範囲をそれのみに限定する主旨ではなく単なる説明例に過ぎない。

【0021】

図1はEIT現象の基本的な動作を説明する図である。まず装置の電源をONすると図3の光検出部（PD）3の出力が最大となるように中心波長設定部18が光源（LD）1の中心波長を設定する（図1(a)参照）。EIT信号48を拡大すると図1(b)のような信号がえられている。即ち、波形40はアンロック状態の場合、位相変調の中心がEIT信号48のピークからずれている状態であり、増幅器（AMP）4の出力が111Hz周期で脈動する（波形40）。アンロック（非同期）状態では、PLL8、9（第1、第2の周波数倍倍部）の出力周波数が共鳴周波数の1/2にロックされていないため、AMP4の出力において低周波発振器17の成分（111Hz）のみ発生する。そこで、AMP4の出力において低周波発振器17（111Hz）の2倍の成分（222Hz）が最大になるようにフィードバック制御され、図1(b)の波形41のように、光源部11の出力信号の周波数が共鳴周波数の1/2に正確にロックされる。即ち、位相変調の中心がEIT信号48のピークに一致する。このとき、同期制御出力信号は図1(c)のような同期制御電圧42が発生している。この同期制御電圧42が0Vとなるように、電圧制御水晶発振器6へフィードバック制御がかかり、PLL8、9（第1、第2の周波数倍倍部）の出力周波数は正確に共鳴周波数の1/2にロックされる。図1(d)は、周波数の安定度を説明するための図であり、安定度（）=1/（Q・S/N・）と表される。即ち、半値幅が同じ波形43と44では、波形43の方が波形44に比べてSが2倍となり、その結果、安定度が2倍となる。

30

【0022】

図2は本発明の基本原理を説明する図である。図2(a)は本発明のPDの出力信号と光源に入力されるマイクロ波周波数の関係を示す図である。本発明は、アルカリ金属原子に同位体が存在することを利用して、アルカリ金属原子と該アルカリ金属原子の同位体とを混合した気体に1つの中心周波数に対して2つの異なる周波数成分を有する第1の共鳴光対と第2の共鳴光対を含む複数の光を照射することにより、光検出部（PD）3で吸収

40

50

される光のレベルを高めて S / N を改善した原子発振器である。

例えば、ルビジウムの場合、アルカリ金属原子が質量数 85 のルビジウム (85Rb) であり、アルカリ金属原子の同位体が質量数 87 のルビジウム (87Rb) である。ルビジウムの同位体は 24 種類が知られている。天然に存在するルビジウムは、天然存在比が 72.2% の安定同位体 85Rb と、27.8% の放射性同位体 87Rb の 2 種類である。このときの中心周波数における光検出部 (PD) 3 の出力信号レベルの関係は、87Rb の EIT スペクトル 47 が最も低く、85Rb の EIT スペクトル 46 がそれよりも高くなっている。そして両者を合成することにより、EIT スペクトル 45 を更に大きくすることができる。また、図 2 (b) 及び (c) から明らかな通り、85Rb と 87Rb は、中心波長が D1 線で 795 nm、D2 線で 780 nm とそれぞれ共通であるが、それらの遷移周波数が 85Rb で約 6.8 GHz、87Rb で約 3.0 GHz の 2 種類となる。これにより、1 本のレーザー光でサイドバンドを 2 種類発生させることができ、EIT 現象に寄与する原子の確率を高めることができる。
10

【0023】

図 3 は本発明の第 1 の実施形態に係る原子発振器の構成を示すブロック図である。この原子発振器 50 は大きく分けると、アルカリ金属原子と該アルカリ金属原子の同位体とを混合した気体を封入したセル 2 と、可干渉性 (コヒーレント性) を有し、1 つの中心周波数に対して 2 つの異なる周波数成分を有する第 1 の共鳴光対と第 2 の共鳴光対を含む複数の光を気体に照射する光源 (LD) 1 と、気体を透過した光の強度に応じた検出信号を生成する光検出部 (PD) 3 と、検出信号の強度に基づいて、アルカリ金属原子に電磁誘起透過現象 (以下、EIT 現象と呼ぶ) を生起させるように第 1 の共鳴光対の周波数を制御すると共に、アルカリ金属原子の同位体に EIT 現象を生起させるように、第 2 の共鳴光対の周波数を制御する周波数制御部 12 と、を備えて構成されている。
20

【0024】

また、周波数制御部 12 は、電圧制御水晶発振器 6 の出力信号を所定の周波数により位相変調する位相変調部 7 と、位相変調部 7 により位相変調された信号をアルカリ金属原子の遷移周波数に遙倍する第 1 の周波数遙倍部 8 と、位相変調部 7 により位相変調された信号をアルカリ金属原子の同位体の遷移周波数に遙倍する第 2 の周波数遙倍部 9 と、第 1 の周波数遙倍部 8 により遙倍された周波数と第 2 の周波数遙倍部 9 により遙倍された周波数とを混合する周波数混合器 10 と、を備えている。また、同期制御部 5 は、所定の周波数を発振する低周波発振器 17 と、位相回路 16 と、光検出部 (PD) 3 の信号と位相回路 16 の信号を乗算する乗算器 15 と、乗算器 15 の出力から直流成分を取り出すフィルタ 14 とを備えている。
30

即ち、少なくとも 4 つ (2 つの共鳴光対) の共鳴光を発生させるためには、光源 1 から出射される共鳴光に変調を与えて、サイドバンドを発生させ、その周波数スペクトラムを利用することが考えられる。また、共鳴光を変調する周波数は、遷移周波数によって変調する必要がある。そこで本実施形態では、アルカリ金属原子と、そのアルカリ金属原子の同位体とを混合した気体をセル 2 に封入し、周波数制御部 12 は 2 つの共鳴光対を制御する。これにより、光源 1 から出射した共鳴光から、遷移周波数を維持した 4 つの周波数スペクトラムを有する共鳴光を生成することができる。
40

【0025】

図 4 は本発明の第 2 の実施形態に係る原子発振器の構成を示すブロック図である。同じ構成要素には図 3 と同じ参照番号を付し説明を省略する。この原子発振器 51 が図 3 の原子発振器 50 と異なる点は、第 1 の周波数遙倍部 8 及び第 2 の周波数遙倍部 9 に夫々位相変調部 7a、7b を備え、何れか一方 (図 4 では 7b) の位相変調部に位相をシフトする移相器 13 を備えた。即ち、位相変調部 7 を共通に使用して 2 つの周波数遙倍部 8、9 を駆動することができるが、部品のバラツキ等により互いの位相がずれてしまう可能性もある。そこで、この現象が発生したときに、位相をシフトして位相合わせを行なう必要がある。そこで本実施形態では、位相変調部 7b に位相をシフトする移相器 13 を備えた。これにより、同期検波を正確に、且つ迅速に行なうことができる。
50

【0026】

図5は本発明の第3の実施形態に係る原子発振器の構成を示すブロック図である。同じ構成要素には図3と同じ参照番号を付し説明を省略する。この原子発振器52が図3の原子発振器50と異なる点は、第1の周波数倍部8及び第2の周波数倍部9に夫々位相変調部7a、7bを備え、何れか一方(図5では7b)の位相変調部7bに変調信号の振幅を調整する振幅調整器19を備えた。即ち、2つの周波数倍部8、9の出力における位相変調度は、検波後の誤差電圧の傾きに影響する(図1(c)参照)。従って理想的には2つの周波数倍部8、9の位相変調度が同じであることが好ましい。そこで本実施形態では、位相変調部7bに変調信号の振幅を調整する振幅調整器19を備えた。これにより、同期検波を正確に、且つ迅速に行なうことができる。

10

【0027】

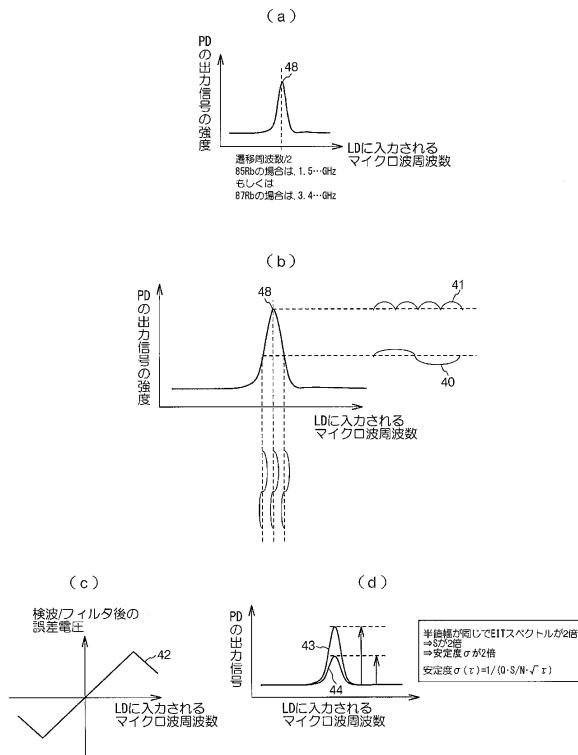
図6は本発明の第4の実施形態に係る原子発振器の構成を示すブロック図である。同じ構成要素には図3と同じ参照番号を付し説明を省略する。この原子発振器53が図3の原子発振器50と異なる点は、光源1から出射された第1の共鳴光対と第2の共鳴光対を含む複数の光を変調する電気光学変調器(EOM)20を備えた。即ち、光を変調するためには、電気光学変調素子20が必要となる。しかし、周波数スペクトラムの数を増やすと、それだけ電気光学変調素子20の数を増やさなければならず、コスト的に高くなり、且つ部品点数が増加するといった問題がある。そこで本実施形態では、第1の周波数倍部8の出力信号と第2の周波数倍部9の出力信号を周波数混合器10で混合しておき、その出力信号により1つの電気光学変調素子20を変調する。これにより、電気光学変調素子20の数を最小限にして、部品点数を削減することができる。

20

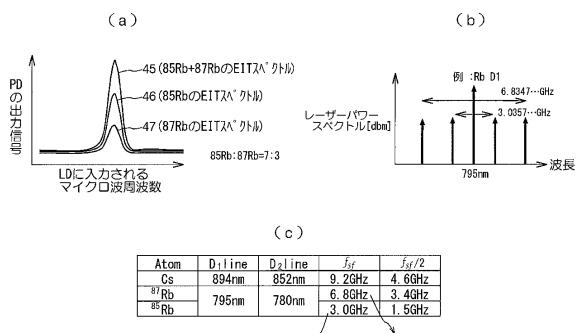
【符号の説明】**【0028】**

1 光源(LD)、2 セル、3 光検出部(PD)、4 増幅器(AMP)、5 同期制御部、6 電圧制御水晶発振器、7 位相変調部、8 第1の周波数倍部、9 第2の周波数倍部、10 周波数混合器、11 光源部、12 周波数制御部、13 移相器、14 フィルタ、15 乗算器、16 移相器、17 低周波発振器、18 中心波長設定部、19 振幅調整器、20 電気光学変調器(EOM)、50~53 原子発振器

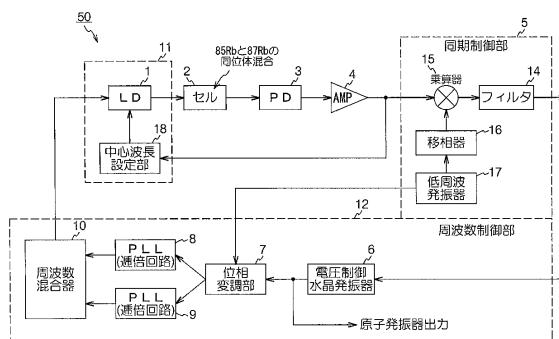
【図1】



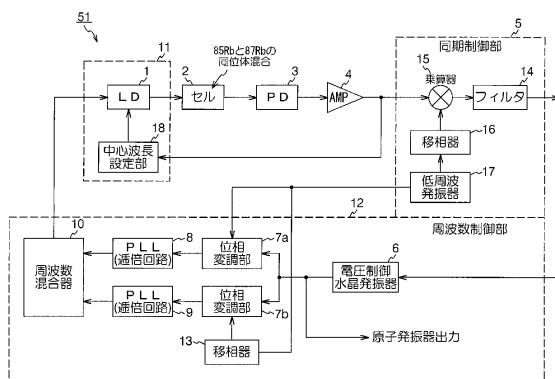
【図2】



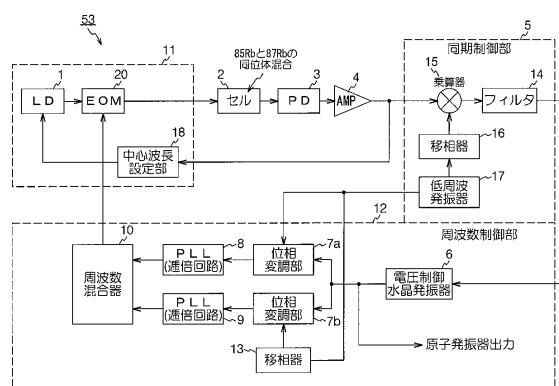
【図3】



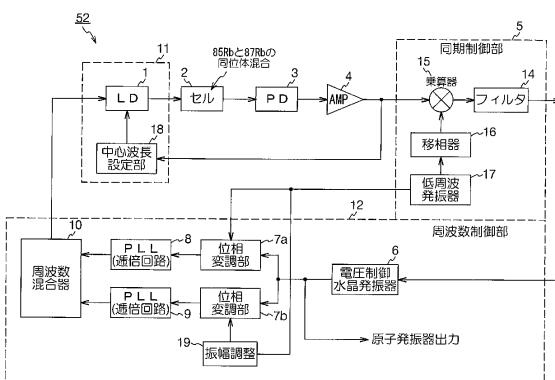
【図4】



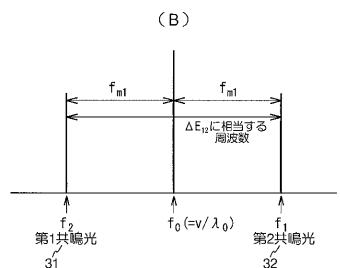
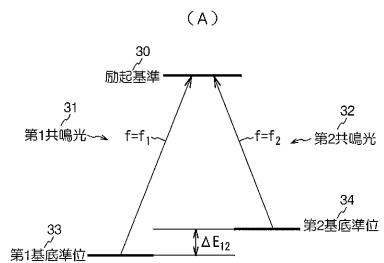
【図6】



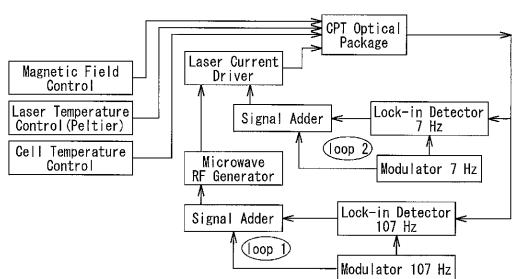
【図5】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 田中 良明
東京都日野市日野421-8 エプソントヨコム株式会社内

審査官 古田 敦浩

(56)参考文献 特開平07-030420(JP,A)
特開平04-079612(JP,A)
特開昭62-151002(JP,A)
特開昭59-002388(JP,A)
米国特許第03257608(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 1/06
H03L 7/26