

(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 I

HO 1 S 1/06 (2006.01)

HO 3 L 7/26 (2006.01)

HO 1 S 1/06

HO 3 L 7/26

請求項の数 6 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2010-140230 (P2010-140230)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成22年6月21日 (2010.6.21)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2012-4469 (P2012-4469A)		東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(43) 公開日	平成24年1月5日 (2012.1.5)	(74) 代理人	100095728
審査請求日	平成25年6月21日 (2013.6.21)		弁理士 上柳 雅誉
		(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通倍す

る第 1 の周波数通倍部と、

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通倍する第 2 の周波数通倍部と、

前記第 1 の周波数通倍部により通倍された周波数と前記第 2 の周波数通倍部により通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 の周波数通倍部及び前記第 2 の周波数通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。

【請求項 5】

前記第 1 の周波数通倍部及び前記第 2 の周波数通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。

【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もある) 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。

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_{12} 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_{12} 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。

【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 ($= v / \lambda_o$; 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_{12} に相当する周波数の 1/2 の変調周波数 f_m で変調することにより、半導体レーザーに周波数 $f_1 = f_o + f_m$ の第 1 共鳴光 31 と周波数 $f_2 = f_o - f_m$ の第 2 共鳴光 32 を発生させ (図 7 (B))、原子セルに含

10

20

30

40

50

まれる気体状のアルカリ金属原子に EIT 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 (VCXO) の発振周波数を制御し、その発振周波数を PLL により通倍率 N/R (N 、 R はともに正の整数) で通倍して E_{12} 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 (VCXO) 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させることにより、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 6320472 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 ($=v/\lambda_o$: 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_{12} 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 $f_1 = f_o + f_{m1}$ の第 1 共鳴光 31 と周波数 $f_2 = f_o - f_{m1}$ 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 EIT 現象を起こさせる。また、EIT 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 EIT 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させるように前記第 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させるように、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】

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。

【0009】

[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

【0010】

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。即ち、85Rbと87Rbは、中心波長がD1線で795nm、D2線で780nmとそれぞれ共通であるが、それぞれの遷移周波数が85Rbで6.8GHz、87Rbで3.0GHz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。

【0011】

[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逡倍する第1の周波数逡倍部と、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逡倍する第2の周波数逡倍部と、前記第1の周波数逡倍部により逡倍された周波数と前記第2の周波数逡倍部により逡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

【0012】

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逡倍する第1の周波数逡倍部と、第2の共鳴光対の遷移周波数に逡倍する第2の周波数逡倍部とを備えることである。そして、これらの逡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

30

【0013】

[適用例4] 前記第1の周波数逡倍部及び前記第2の周波数逡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。

【0014】

位相変調部を共通に使用して2つの周波数逡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

【0015】

[適用例5] 前記第1の周波数逡倍部及び前記第2の周波数逡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。

【0016】

2つの周波数逡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つの周波数逡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

【 0 0 1 7 】

〔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。

【 0 0 1 8 】

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】

【 0 0 1 9 】

【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】

【 0 0 2 0 】

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の記載がない限り、この発明の範囲をそのみに限定する主旨ではなく単なる説明例に過ぎない。

【 0 0 2 1 】

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 111 Hz 周期で脈動する (波形 40)。アンロック (非同期) 状態では、PLL 8、9 (第 1、第 2 の周波数逓倍部) 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、AMP 4 の出力において低周波発振器 17 の成分 (111 Hz) のみ発生する。そこで、AMP 4 の出力において低周波発振器 17 (111 Hz) の 2 倍の成分 (222 Hz) 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 0 V 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、PLL 8、9 (第 1、第 2 の周波数逓倍部) 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 $(\text{ }) = 1 / (Q \cdot S / N \cdot \text{ })$ 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

40

【 0 0 2 2 】

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

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795nm、D2線で780nmとそれぞれ共通であるが、それぞ

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逡倍する第1の周波数逡倍部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逡倍する第2の周波数逡倍部9と、第1の周波数逡倍部8により逡倍された周波数と第2の周波数逡倍部9により逡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の周波数逡倍部8及び第2の周波数逡倍部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つの周波数逡倍部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

【 0 0 2 6 】

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 5 2 が図 3 の原子発振器 5 0 と異なる点は、第 1 の周波数逓倍部 8 及び第 2 の周波数逓倍部 9 に夫々位相変調部 7 a、7 b を備え、何れか一方（図 5 では 7 b）の位相変調部 7 b に変調信号の振幅を調整する振幅調整器 1 9 を備えた。即ち、2 つの周波数逓倍部 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 つの周波数逓倍部 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 7 b に変調信号の振幅を調整する振幅調整器 1 9 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

【 0 0 2 7 】

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 5 3 が図 3 の原子発振器 5 0 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）2 0 を備えた。即ち、光を変調するためには、電気光学変調素子 2 0 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 2 0 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 の周波数逓倍部 8 の出力信号と第 2 の周波数逓倍部 9 の出力信号を周波数混合器 1 0 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 2 0 を変調する。これにより、電気光学変調素子 2 0 の数を最小限にして、部品点数を削減することができる。

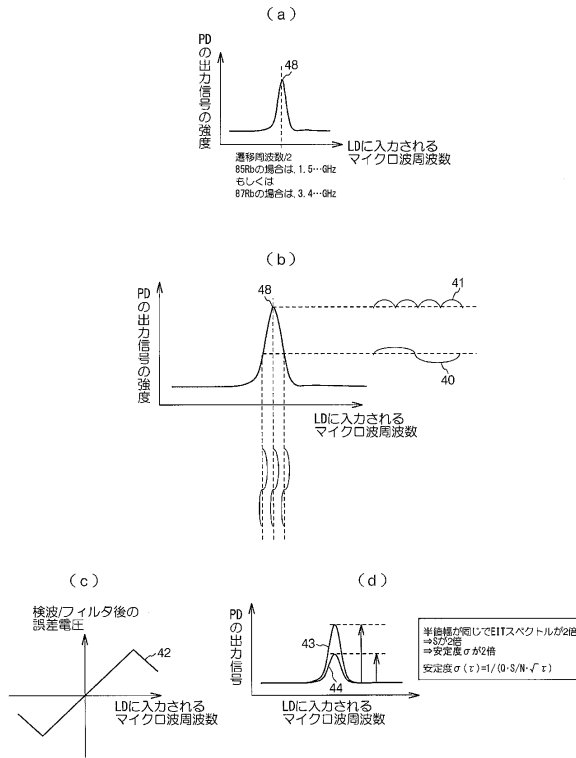
20

【 符号の説明 】

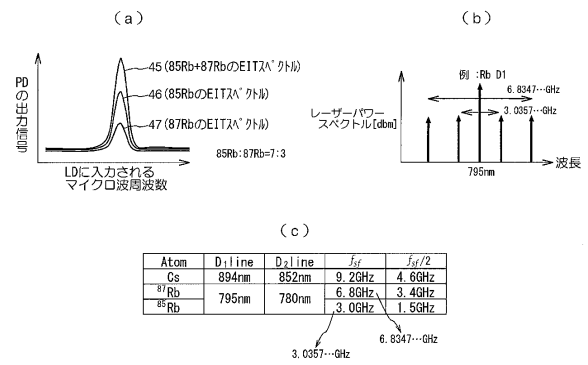
【 0 0 2 8 】

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 の周波数逓倍部、9 第 2 の周波数逓倍部、1 0 周波数混合器、1 1 光源部、1 2 周波数制御部、1 3 移相器、1 4 フィルタ、1 5 乗算器、1 6 移相器、1 7 低周波発振器、1 8 中心波長設定部、1 9 振幅調整器、2 0 電気光学変調器（EOM）、5 0 ~ 5 3 原子発振器

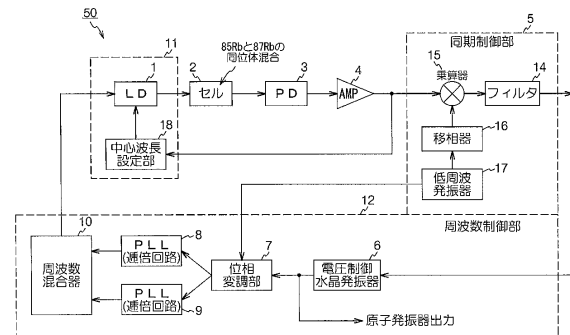
【図 1】



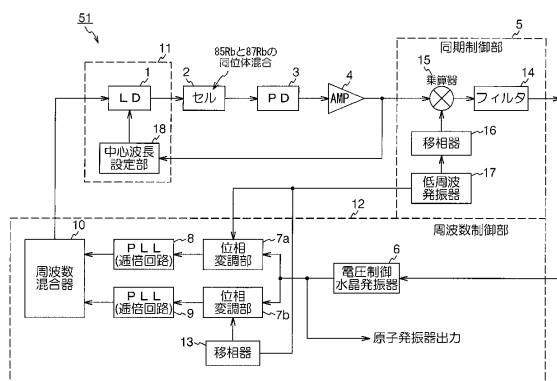
【図 2】



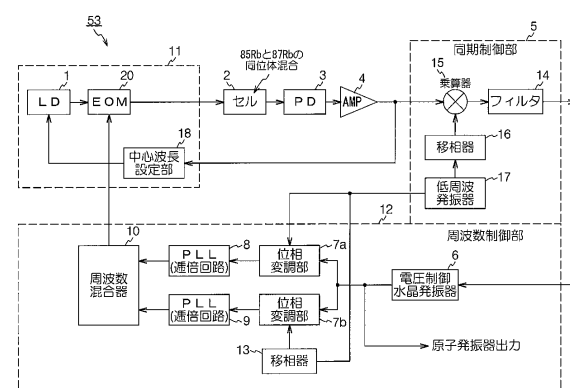
【図 3】



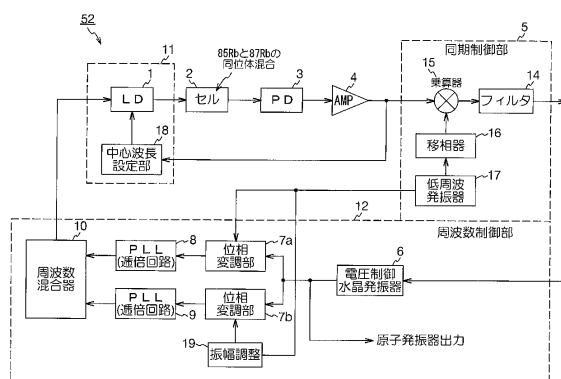
【図 4】



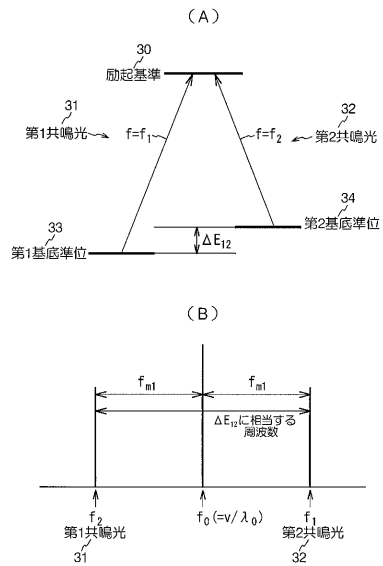
【図 6】



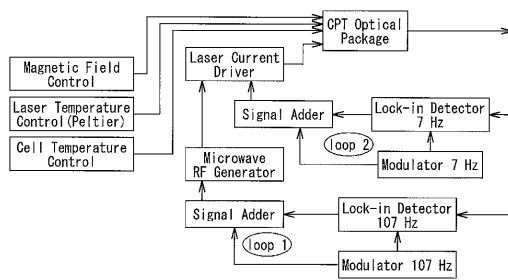
【図 5】



【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4 2 1 - 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