

(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2009-141048

(P2009-141048A)

(43) 公開日 平成21年6月25日(2009.6.25)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
HO1S 1/06 (2006.01)		HO1S 1/06	5J106
HO3L 7/26 (2006.01)		HO3L 7/26	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2007-314481 (P2007-314481)
 (22) 出願日 平成19年12月5日 (2007.12.5)

(71) 出願人 000003104
 エプソントヨコム株式会社
 東京都日野市日野421-8
 (74) 代理人 100095728
 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 野村 博
 東京都日野市日野421-8 エプソント
 ヨコム株式会社内
 Fターム(参考) 5J106 AA01 CC10 DD34 DD35 DD36
 EE02 GG02

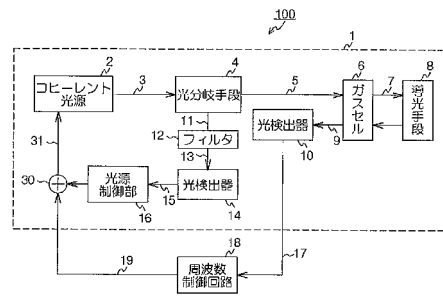
(54) 【発明の名称】 光学系及び原子発振器

(57) 【要約】

【課題】 発光素子から発光した光の変動をリアルタイムに検出して発光素子の強度と波長を制御することができる原子発振器の光学系を提供する。

【解決手段】 この光学系 1 は、共鳴光 3 を出射するコヒーレント光源 2 と、コヒーレント光源 2 の出射側に配置され共鳴光 3 を少なくとも 2 つの光路に分岐する光分岐手段 4 と、光分岐手段 4 により分岐された一方の共鳴光 5 を通過させるガスセル 6 と、ガスセル 6 を通過した光 7 を再びガスセル 6 に導く導光手段 8 と、ガスセル 6 を通過した光 9 を検出する光検出器 10 と、光分岐手段 4 により分岐された他方の共鳴光 11 を検出する光検出器 14 と、光検出器 14 により検出された共鳴光 15 の強度に基づいてコヒーレント光源 2 の強度を制御する光源制御部 16 と、偏光手段 4 と光検出器 14 との間に原子の共鳴遷移と等しい波長を通過させる光フィルタ 12 と、を備えている。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長が異なるコヒーレント光としての 2 種類の共鳴光を入射したときの量子干渉効果による光吸収特性を利用して発振周波数を制御する原子発振器の光学系であって、

前記共鳴光を出射するコヒーレント光源と、

前記コヒーレント光源の出射側に配置され前記共鳴光を少なくとも 2 つの光路に分岐する光分岐手段と、

前記光分岐手段により分岐された一方の共鳴光の出射側に配置されガス状の金属原子を封入すると共に、該金属原子ガス中に該共鳴光を通過させるガスセルと、

前記ガスセルを通過した前記共鳴光を再び該ガスセルに導く導光手段と、

前記ガスセルを通過した前記共鳴光を検出する第 1 の光検出手段と、

前記光分岐手段により分岐された他方の共鳴光を検出する第 2 の光検出手段と、

前記第 2 の光検出手段により検出された他方の共鳴光の強度に基づいて前記コヒーレント光源の強度を制御する光源制御部と、

を備えたことを特徴とする原子発振器の光学系。

10

【請求項 2】

前記光分岐手段と前記第 2 の光検出手段との間に原子の共鳴遷移と等しい波長を通過させる光フィルタを備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の原子発振器の光学系。

【請求項 3】

前記光源制御部は、前記光フィルタを通過した共鳴光の強度が低下した場合、前記コヒーレント光源の波長が変動したと見做して、該コヒーレント光源の波長を変更するように制御す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の光学系。

20

【請求項 4】

前記光分岐手段は、ビームスプリッタ又はハーフミラーにより構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の原子発振器の光学系。

【請求項 5】

前記コヒーレント光源の周囲温度を制御する温度制御素子を備えたことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の原子発振器の光学系。

【請求項 6】

前記第 1 及び第 2 の光検出手段と、前記コヒーレント光源とを前記ガスセルに対して同一側に併置した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の光学系。

30

【請求項 7】

前記導光手段は、反射部材により構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の原子発振器の光学系。

【請求項 8】

前記コヒーレント光は、レーザ光であることを特徴とする請求項 1 に記載の原子発振器の光学系。

【請求項 9】

前記ガス状の金属原子は、ルビジウム、又はセシ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の光学系。

40

【請求項 10】

前記コヒーレント光源から発光された光を集光し、且つ平行光に補正する受動光学素子を前記コヒーレント光源と前記ガスセルとの間に配置したことを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れか一項に記載の原子発振器の光学系。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 の何れか一項に記載の光学系を備えたことを特徴とする原子発振器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、原子発振器の光学系に関し、さらに詳しくは、原子発振器を構成する光学系に含まれる光源のパワー制御技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

ルビジウム、セシウム等のアルカリ金属を用いた原子発振器は、原子のエネルギー遷移を利用する際に、原子をガス状態に保つ必要があるため、原子を気密封入したガスセルを高温に保って動作させている。原子発振器の動作原理は、光とマイクロ波を利用した二重共鳴法と、2種類のレーザ光による量子干渉効果（以下CPT: Coherent Population Trappingと記す）を利用する方法に大別されるが、両者共にガスセルに入射した光が、原子ガスにどれだけ吸収されたかを反対側に設けられた検出器で検出することにより、原子共鳴を

10

検知して制御系にて水晶発振器などの基準信号をこの原子共鳴に同期させて出力を得ている。ここで、CPTを利用した原子発振器は、発光素子、ガスセル、及び受光素子を一体的に構成して光学系を形成している（特許文献1参照）。

【特許文献1】US 6 8 0 6 7 8 4 B 2

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、特許文献1に開示されている従来の光学系の構成では、図6に示すように発光素子93、ガスセル95、及び受光素子90が縦積み配置されている。このため、最上面に配置した受光素子90を電氣的に接続するボンディングワイヤ91が長くなり、モジュールの実装構造が複雑となるばかりでなく、受光素子90から得られる信号が微弱なためにワイヤに重畳するノイズの影響を受けやすくなりS/N特性が低下するといった問題もある。また、発光素子93のパワーや波長が変動した場合に、その変動を制御する方法として図7のように、従来の構成では温度制御部105からのCoarse信号100、EIT信号からのFine信号101によりVCSEL106の安定化制御を行っていた。このためEIT信号からのFine信号101は原子ガスセルの擾乱に対して影響を受けるため、正確なVCSELの強度情報を検出することができなかった。また、Coarse信号100は温度制御部105からの独立制御であるため、温度変化に対して追従しないといった問題があった。

20

【0004】

本発明は、かかる課題に鑑み、発光素子から出射した光を光分岐素子により分岐して、一方の光をガスセル側に入射させて第1の受光素子により受光し、他方の光を第2の受光素子により受光することにより、発光素子から出射した光の変動をリアルタイムに検出して発光素子のパワーと波長を制御することができる原子発振器の光学系を提供することを目的とする。

30

また、他の目的は、受光素子を発光素子と同一側に併置することにより、受光素子を電氣的に接続するボンディングワイヤを短くしてモジュール実装を容易とし、且つ、S/Nを改善することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明はかかる課題を解決するために、波長が異なるコヒーレント光としての2種類の共鳴光を入射したときの量子干渉効果による光吸収特性を利用して発振周波数を制御する原子発振器の光学系であって、前記共鳴光を出射するコヒーレント光源と、前記コヒーレント光源の出射側に配置され前記共鳴光を少なくとも2つの光路に分岐する光分岐手段と、前記光分岐手段により分岐された一方の共鳴光の出射側に配置されガス状の金属原子を封入すると共に、該金属原子ガス中に該共鳴光を通過させるガスセルと、前記ガスセルを通過した光を再び該ガスセルに導く導光手段と、前記ガスセルを通過した光を検出する第1の光検出手段と、前記光分岐手段により分岐された他方の共鳴光を検出する第2の光検出手段と、前記第2の光検出手段により検出された共鳴光の強度に基づいて前記コヒーレント光源の強度を制御する光源制御部と、を備えたことを特徴とする。

40

50

【0006】

本発明の原子発振器は、レーザ光などのコヒーレント光の量子干渉効果を利用したものである。この方式は、2つの基底準位が共鳴光を受けて、共通の励起準位と共鳴結合している3準位系（例えば型準位系）において、同時に照射される2つの共鳴光の周波数が正確に基底準位1と基底準位2のエネルギー差に一致すると、3準位系は2つの基底準位の重ね合わせの状態になり、励起準位3への励起が停止する。CPTはこの原理を利用して、2つの共鳴光の一方或いは両方の波長を変化させたときに、ガスセルでの光吸収が停止する状態を検出して利用するものである。そして、本発明の光学系は、コヒーレント光源と第1及び第2の光検出手段を同一側に実装し、コヒーレント光源からの共鳴光を分岐して、一方の共鳴光はガスセルに入射させて第1の光検出手段により検出し、他方の共鳴光はガスセルを通過させずに第2の光検出手段により検出する。これにより、コヒーレント光源の光の強度変動をガスセル等の他の影響を受けずに監視することができる。

10

【0007】

また、前記光分岐手段と前記第2の光検出手段との間に原子の共鳴遷移と等しい波長を通過させる光フィルタを備えたことを特徴とする。

コヒーレント光源からの共鳴光は、光の強度（パワー）の他に波長も重要なファクターとなる。波長を検出する手段としては、決められた波長だけを通過させる光フィルタを使用すればよい。そこで本発明では、光分岐手段と前記第2の光検出手段との間に原子の共鳴遷移と等しい波長を通過させる光フィルタを備える。これにより、共鳴光の波長が変動したことを検出することができる。

20

また、前記光源制御部は、前記光フィルタを通過した共鳴光の強度が低下した場合、前記コヒーレント光源の波長が変動したと見做して、該コヒーレント光源の波長を変更するように制御することを特徴とする。

光フィルタを通過した光は、特定の波長の光である。従って、光検出手段の検出レベルが低下したときは、コヒーレント光源からの共鳴光の波長が変動して光フィルタにより阻止されたと見做すことができる。そこで本発明では、そのような時は、コヒーレント光源の波長を変更するように制御する。これにより、コヒーレント光源の波長変動を即座に検出して補正することができる。

【0008】

また、前記光分岐手段は、ビームスプリッタ又はハーフミラーにより構成されていることを特徴とする。

30

コヒーレント光源から出射された共鳴光の変動を検出するためには、可能な限りコヒーレント光源の生の光を検出することが好ましい。そこで本発明では、コヒーレント光源から出射された光の一部を分岐して検出する。それにはビームスプリッタ又はハーフミラーが好都合である。これらの素子は、入射した一部の光を通過して、他の一部の光の光路を変換する特性がある。これにより、共鳴光を少なくとも2つの光路に分岐することができる。

また、前記コヒーレント光源の周囲温度を制御する温度制御素子を備えたことを特徴とする。

コヒーレント光源は、周囲温度により光源の強度（パワー）及び波長（周波数）が変動する特性を有している。そこで本発明では、パワー及び波長を調整するために、積極的にコヒーレント光源の周囲温度を制御する例えばペルチェ素子のような温度制御素子を設ける。これにより、外部からパワー及び波長を所定量変更することができる。

40

【0009】

前記第1及び第2の光検出手段と、前記コヒーレント光源とをガスセルに対して同一側に併置したことを特徴とする。

本発明の光学系は、コヒーレント光源と第1及び第2の光検出手段とをガスセルに対して同一側に実装し、透過光が第1の光検出手段により受光され、コヒーレント光源から出射した光の一部が第2の光検出手段により受光されるように導光手段を構成した。これにより、ボンディングワイヤが短くなり、信号のS/N特性を改善すると共に、光学系全体

50

の実装も容易にすることができる。

前記導光手段は、反射部材により構成されていることを特徴とする。

導光手段に入射した透過光を第1の光検出手段に折り返すにはミラー等の反射部材が最適である。これにより、透過光を所望の光路により第2の光検出手段と併置した第1の光検出手段に入射させることができる。

前記コヒーレント光は、レーザ光であることを特徴とする。

普通の光は、いろいろな波長が混ざり位相がランダムな光である。これに対してレーザ光は波長の単色性が良く、位相の揃った光である。このような光の波長や位相の安定性の尺度としてコヒーレンスが定義されている。コヒーレンスが良く、すなわち波長や位相が安定な光は量子干渉効果を起こすことができる。その点ではレーザ光が最適である。

10

【0010】

前記ガス状の金属原子は、ルビジウム、又はセシウムであることを特徴とする。

セシウム原子を使えば、精度の高い原子発振器を実現できる。また、ルビジウム原子は手軽に広く普及している。よって、原子発振器の要求性能とコストを考慮して、いずれかの金属原子を選ぶことができる。

前記コヒーレント光源から出射された光を集光し、且つ平行光に補正する受動光学素子を前記コヒーレント光源と前記ガスセルとの間に配置したことを特徴とする。

光学系には、コヒーレント光源から出射された光を集光して、平行光になるように補正するためにレンズや波長板といった受動光学素子が使用される。この受動光学素子は、ガスセルに入射する前であればどこに配置しても構わない。そこで本発明では、受動光学素子をコヒーレント光源とガスセルとの間に配置する。これにより、光を正確に導光手段に入射させることができる。

20

また、上記構成による光学系を原子発振器に備えたことを特徴とする。

ガスセルを複数回通過する構造としたことで、より大きなEIT信号を得る光学系とすることができるので、S/Nが向上した高性能な原子発振器を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

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。

30

図1は本発明の実施形態に係る原子発振器の光学系の要部構成図である。この光学系1は、波長が異なるコヒーレント光としての2種類の共鳴光を入射したときの量子干渉効果による光吸収特性を利用して発振周波数を制御する原子発振器100の光学系1であって、共鳴光3を出射するコヒーレント光源2と、コヒーレント光源2の出射側に配置され共鳴光3を少なくとも2つの光路に分岐する光分岐手段4と、光分岐手段4により分岐された一方の共鳴光5の出射側に配置されガス状の金属原子を封入すると共に、金属原子ガス中に共鳴光5を通過させるガスセル6と、ガスセル6を通過した光7を再びガスセル6に導く導光手段8と、ガスセル6を通過した光9を検出する光検出器(第1の光検出手段)10と、光分岐手段4により分岐された他方の共鳴光11を検出する光検出器(第2の光検出手段)14と、光検出器14により検出された共鳴光15の強度に基づいてコヒーレント光源2の強度を制御する光源制御部16と、光分岐手段4と光検出器14との間に原子の共鳴遷移と等しい波長を通過させる光フィルタ12と、を備えている。尚、符号30は、光源制御部16と周波数制御回路18との信号を合成してコヒーレント光源に入力する合成回路である。原子発振器100は光検出器10の出力信号により、発振周波数を制御する周波数制御回路18を更に備えて構成されている。また、本発明の主旨は、原子発振器を構成する光学系の構成にあるので、原子発振器の周波数制御についての詳細な説明は省略する。

40

【0012】

即ち、本発明の原子発振器100は、レーザ光などのコヒーレント光の量子干渉効果を利用したものである。この方式は、2つの基底準位が共鳴光を受けて、共通の励起準位と

50

共鳴結合している3準位系（例えば型準位系）において、同時に照射される2つの共鳴光の周波数が正確に基底準位1と基底準位2のエネルギー差に一致すると、3準位系は2つの基底準位の重ね合わせの状態になり、励起準位3への励起が停止する。CPTはこの原理を利用して、2つの共鳴光の一方或いは両方の波長を変化させたときに、ガスセルでの光吸収が停止する状態を検出して利用するものである。そして、本発明の光学系1は、コヒーレント光源2と光検出手段10、14とを、ガスセルに対して同一側に実装し、コヒーレント光源2からの共鳴光3を分岐して、一方の共鳴光5はガスセル6に入射させて導光手段8を介して光検出手段10により検出し、他方の共鳴光11はガスセル6を通過させずに光検出器14により検出する。これにより、コヒーレント光源2の光の強度変動をガスセル6等の他の影響を受けずに監視することができる。

10

【0013】

また、コヒーレント光源2からの共鳴光3は、光の強度（パワー）の他に波長も重要なファクターとなる。波長を検出する手段としては、決められた波長だけを通させる光フィルタ12を使用すればよい。そこで本発明では、光分岐手段4と光検出器14との間に原子の共鳴遷移と等しい波長を通させる光フィルタ12を備える。これにより、共鳴光3の波長が変動したことを検出することができる。

また、光フィルタ12を通した光は、特定の波長の光である。従って、光検出器14の検出レベルが低下したときは、コヒーレント光源からの共鳴光の波長が変動して光フィルタ12により阻止されたと見做すことができる。そこで本発明では、そのような時は、コヒーレント光源2の波長を変更するように制御する。これにより、コヒーレント光源2の波長変動を即座に検出して補正することができる。

20

【0014】

図2はCPT方式による原子の3準位系を説明する一例である。原子発振器に用いられるルビジウムやセシウムの基底準位は、核スピン-電子スピン相互作用による超微細構造により2種類の基底準位に分かれている。これらの基底準位の原子は光を吸収して、よりエネルギーの高い準位へ励起する。また、図2の様に2つの基底準位が光を受けて、共通の励起準位と共鳴結合している状態を2光子共鳴と言う。図2において、基底準位1(23)と基底準位2(24)は準位のエネルギーが若干異なるため、共鳴光もそれぞれ共鳴光1(20)と共鳴光2(22)と波長が若干異なる。同時に照射される共鳴光1(20)と共鳴光2(22)の周波数差(波長の差)が正確に基底準位1(23)と基底準位2(24)のエネルギー差に一致すると、図2の系は2つの基底準位の重ね合わせ状態になり、励起準位21への励起が停止する。CPTはこの原理を利用して、共鳴光1(20)と共鳴光2(22)のどちらかまたは両方の波長を変化させたときに、ガスセル3での光吸収(つまり励起準位21への転換)が停止する状態を検出、利用する方式である。尚、この光吸収が停止する状態でガスセル6を通過する透過光をEIT信号と呼ぶ。

30

【0015】

図3(a)は本発明の第1の実施形態に係る光学系の構成を模式化した図である。この光学系1Aは、基板48上に発光素子(図1のコヒーレント光源2)33と受光素子(図1の光検出器10)47と受光素子(図1の光検出器14)46を併置し、夫々の素子がボンディングワイヤ32により基板48に電氣的に接続されている。そして、スペーサ49a、49bにより所定の距離を確保して、その上に発光素子33から出射されたコヒーレント光35を集光したり、平行光に変換したり、或いは偏光状態を変える受動光学素子34を備え、その上にビームスプリッタ36と、ビームスプリッタ36により分岐された共鳴光43を基板48に導く第2ミラー44が備えられている。そして、スペーサ50a、50bにより所定の距離を確保して、その上にガスセル38があり、スペーサ51a、51bにより所定の距離を確保して、第1ミラー39、41(図1の導光手段8)により透過光40を受光素子47に導光している。

40

【0016】

次に、図3(a)により概略動作について説明する。発光素子33から出射されたコヒーレント光35は、受動光学素子34により集光されて平行光に補正されてビームスプリ

50

ッタ（光分岐手段）36に入射する。ビームスプリッタ36はコヒーレント光35を2つの光路に分岐する。一方の光43は第2ミラー44に入射して直角に反射されて受光素子46により受光される。また、他方の光37はガスセル38に入射する。ガスセル38は2つの波長を有する光37の一方或いは両方の波長を変化させたときに、光吸収が停止するように動作する。ガスセル38を通過した光は第1ミラー39により直角に反射され、同じく第1ミラー41により直角に反射されて再びガスセル38に入射する。ガスセル38を通過した光42は、受光素子47により受光される。尚、発光素子33として面発光型レーザ（VCSEL）、受光素子46、47としてフォトダイオードが良く使用される。

【0017】

尚、光学系1Aは、発光素子33と受光素子46、47とをガスセル38に対して同一側に実装し、透過光が受光素子47により受光され、コヒーレント光源から出射した光の一部が受光素子46により受光されるように第1ミラー39、41、及び第2ミラー44を構成した。これにより、ボンディングワイヤが短くなり、信号のS/N特性を改善すると共に、光学系全体の実装も容易にすることができる。

また、発光素子33から出射された共鳴光35の変動を検出するためには、可能な限り発光素子33の出射光を直接検出することが好ましい。そこで本実施形態では、発光素子33から出射された光35の一部を分岐して検出する。それにはビームスプリッタ又はハーフミラーが好都合である。これらの素子は、入射した一部の光を通過して、他の一部の光の光路を分岐する特性がある。これにより、共鳴光を少なくとも2つの光路に分岐することができる。

また、入射した透過光を第1のミラー39、41に折り返すにはミラー等の反射部材が最適である。これにより、透過光を所望の光路により光検出器46と併置した光検出器47に入射させることができる。

また、光学系には、発光素子33から発光された光を集光して、平行光になるように補正するためにレンズや波長板といった受動光学素子34が使用される。この受動光学素子34は、ガスセル38に入射する前であればどこに配置しても構わない。そこで本実施形態では、受動光学素子34を発光素子33とガスセル38との間に配置する。これにより、光を正確に第1ミラー39に入射させることができる。

【0018】

尚、本実施形態の発光素子33は、レーザ光を使用している。レーザ光は波長の単色性が良く、位相の揃った光である。このような光の波長や位相の安定性の尺度としてコヒーレンスが定義されている。コヒーレンスが良く、すなわち波長や位相が安定な光は量子干渉効果を起こすことができる。その点ではレーザ光は最適である。また、ガスセル38に使用するガス状の金属原子は、ルビジウム、又はセシウムである。1次原子標準器に使われるセシウム原子を使えば、精度の高い原子発振器を実現できる。また、2次標準器で使われるルビジウム原子は手軽に広く普及しているため、これを使えば一般的には小型で低価格な原子発振器を実現できる。従って、金属原子に何をを用いるかは、使用目的により選択すればよい。なお、本実施形態ではルビジウム、セシウムを用いたが型準位系等の3準位系を持った原子であればどのような原子であっても構わない。

【0019】

図3(b)は本発明の第2の実施形態に係る光学系の構成を模式化した図である。同じ構成要素には図3(a)と同じ参照番号を付して説明する。この光学系1Bは、ビームスプリッタ36と(第2ミラー44を介して)受光素子46との間に光フィルタ52を設けている。他の構成は図3(a)と同じであるので説明を省略する。即ち、発光素子33からの共鳴光35は、光の強度(パワー)の他に波長も重要なファクターとなる。波長を検出する手段としては、決められた波長だけを通過させる光フィルタ52を使用すればよい。そこで本実施形態では、ビームスプリッタ36と受光素子46との間に原子の共鳴遷移と等しい波長を通過させる光フィルタ52を備える。これにより、光源制御部16は、共鳴光の波長が変動したことを受光素子46のレベルの変動から検出することができる。尚

10

20

30

40

50

、光フィルタ 5 2 はビームスプリッタ 3 6 と受光素子 4 6 の間であれば何処でも構わない。

【 0 0 2 0 】

図 4 (a)、(b) は、図 3 (a)、(b) の構成による光学系を駆動する光源制御部を説明する図である。同じ構成要素には図 1、図 3 と同じ参照番号を付し重複する説明は省略する。図 4 (a) は図 3 (a) に対応し、図 4 (b) は図 3 (b) に対応している。まず図 4 (a) の構成について説明する。光学系 1 A の発光素子 3 3 を発光させるためのレーザドライバ 6 2 と、受光素子 4 7 の出力信号を増幅するアンプ 6 5 と、ガスセル 3 8 の温度を検知するサーミスタ 6 1 の出力信号を増幅するアンプ 6 4 と、受光素子 4 6 の出力信号を増幅するアンプ 6 3 と、を備え、各アンプ 6 3 ~ 6 5 の出力信号に基づいて発光素子 3 3 の強度を制御する光源制御部 (M C U により構成) 1 6 からの出力信号 6 6 を合成回路 3 0 により変調信号 1 9 と合成されてレーザドライバ 6 2 に入力される。また、光源制御部 1 6 からは、加熱素子 6 0 を一定温度に加熱する制御信号 6 7 が出力される。尚、図 4 (a)、(b) では、受動光学素子 3 4 と第 1 ミラー 3 9、4 1 を省略している。従って、受光素子 4 7 に入射する光の経路については、ガスセル 3 8 を往復する光の経路を一部省略している。

10

【 0 0 2 1 】

次に図 4 (a) の構成による光源制御部の概略動作について説明する。発光素子 3 3 から出射されたコヒーレント光 3 5 はビームスプリッタ 3 6 に入射する。ビームスプリッタ 3 6 はコヒーレント光 3 5 を 2 つの光路に分岐する。一方の光 4 3 はミラー 4 4 に入射して直角に反射されて受光素子 4 6 により受光される。受光素子 4 6 の出力信号はアンプ 6 3 により増幅されて光源制御部 1 6 に入力される。また、他方の光 3 7 はガスセル 3 8 に入射する。ガスセル 3 8 は 2 つの波長を有する光 3 7 の一方或いは両方の波長を変化させたときに、光吸収が停止するように動作する。ガスセル 3 8 を通過した光は受光素子 4 7 により受光される。受光素子 4 7 の出力信号はアンプ 6 5 により増幅されて光源制御部 1 6 に入力される。ここで、発光素子 3 3 が何らかの原因により、発光強度に変動が生じた場合は、受光素子 4 6 により受光する光の強度が変動するため、その信号はアンプ 6 3 により増幅されて光源制御部 1 6 により検出される。光源制御部 1 6 は、その変動量に基づいて、例えば、規定の強度より弱い場合は、レーザドライバ 6 2 を介して発光素子 3 3 の電流を増加するように制御する。また、逆に規定の強度より強い場合は、レーザドライバ 6 2 を介して発光素子 3 3 の電流を減少させるように制御する。このとき、レーザドライバ 6 2 の電流を増減しても変動しない場合は、発光素子 3 3 が故障したと判断する。尚、判断基準は適宜決められる。また、光源制御部 1 6 は、サーミスタ 6 1 の信号を常時監視して、ガスセル 3 8 が一定の温度に維持されるように加熱素子 6 0 を制御する。例えば、サーミスタ 6 1 からの温度信号が高いと判断した場合は、加熱素子 6 0 に流す電流を低下或いは反転させて加熱温度を低下させ、逆にサーミスタ 6 1 からの温度信号が低いと判断した場合は、加熱素子 6 0 に流す電流を増加させて加熱温度を上昇させるようにフィードバック制御する。

20

30

【 0 0 2 2 】

次に図 4 (b) の構成について説明する。図 4 (b) が図 4 (a) と異なる点は、ミラー 4 4 と受光素子 4 6 との間に光フィルタ 5 2 を設置した点である。他の構成は図 4 (a) と同じであるので説明を省略する。即ち、発光素子 3 3 からの共鳴光 3 5 は、光の強度 (パワー) の他に波長も重要なファクターとなる。波長を検出する手段としては、決められた波長だけを通させる光フィルタ 5 2 を使用すればよい。そこで本実施形態では、ミラー 4 4 と受光素子 4 6 との間に原子の共鳴遷移と等しい波長を通させる光フィルタ 5 2 を備える。これにより、光源制御部 1 6 は、共鳴光の波長が変動したことを受光素子 4 6 のレベルの変動から検出することができる。尚、光フィルタ 5 2 はビームスプリッタ 3 6 と受光素子 4 6 の間であれば何処でも構わない。

40

【 0 0 2 3 】

図 5 は発光素子 3 3 の周囲温度を制御する温度制御素子を説明する図である。コヒーレ

50

ント光源は、周囲温度により光源の強度（パワー）及び波長（周波数）が変動する特性を有している。そこで本実施形態では、パワー及び波長を調整するために、積極的に発光素子 3 3 の周囲温度を制御する例えばペルチェ素子のような温度制御素子 6 8 を発光素子 3 3 の近傍に設ける。ペルチェ素子は電圧の極性により温度が上昇したり下降する特性を有している。従って、光源制御部 1 6 が波長の変動を検出した場合、発光素子 3 3 を加熱或いは冷やすことにより発光素子 3 3 の波長を変化させて、波長の変動を補正することができる。尚、ペルチェ素子 6 8 による波長の補正は限られた範囲であるため、他の手段と併用することが好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の実施形態に係る原子発振器の光学系の要部構成図である。

【図2】CPT方式による原子の3準位系を説明する図である。

【図3】(a)は本発明の第1の実施形態に係る光学系の構成を模式化した図、(b)は本発明の第2の実施形態に係る光学系の構成を模式化した図である。

【図4】(a)は図3(a)の構成による光学系を駆動する光源制御部を説明する図、(b)は図3(b)の構成による光学系を駆動する光源制御部を説明する図である。

【図5】発光素子 3 3 の周囲温度を制御する温度制御素子を説明する図である。

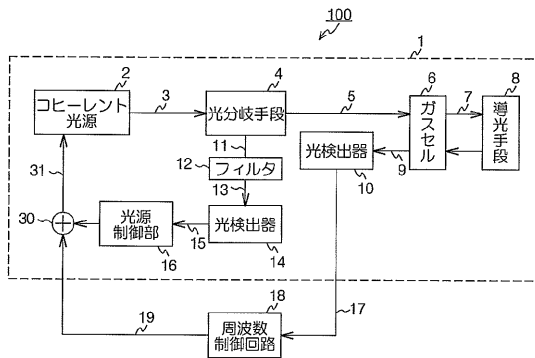
【図6】特許文献 1 に開示されている従来の光学系の構成を示す図である。

【図7】従来の構成による光学系を駆動する制御部を説明する図である。

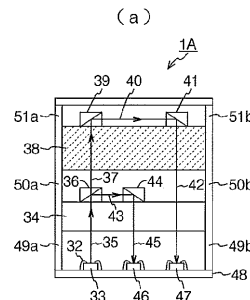
【符号の説明】

- 1 光学系、2 コヒーレント光源、3、5、11 共鳴光、4 光分岐手段、6 ガスセル、7、9 透過光、8 導光手段、10、14 光検出器、16 光源制御部、18 周波数制御回路、30 合成回路、100 原子発振器

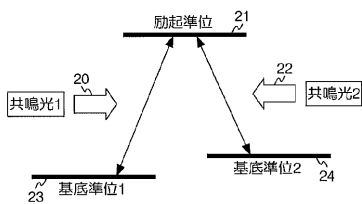
【図1】



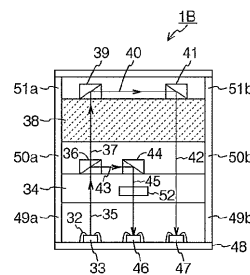
【図3】



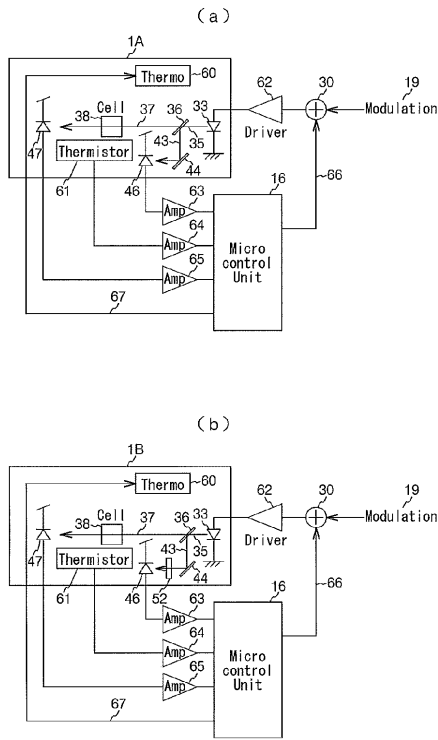
【図2】



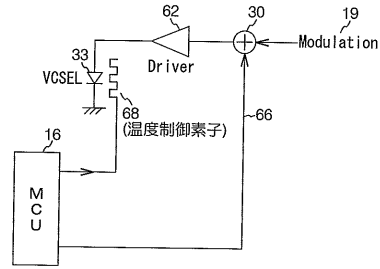
(b)



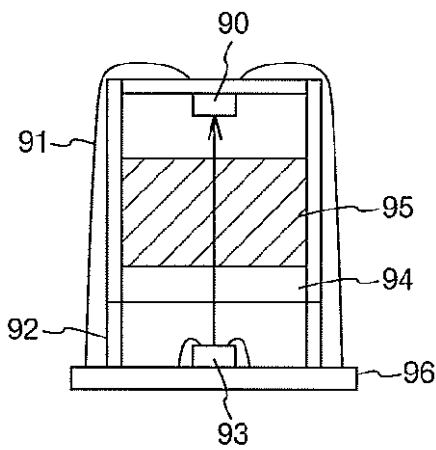
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

