

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6661985号
(P6661985)

(45) 発行日 令和2年3月11日(2020.3.11)

(24) 登録日 令和2年2月17日(2020.2.17)

(51) Int.Cl.

F 1

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

請求項の数 4 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2015-222778 (P2015-222778)
 (22) 出願日 平成27年11月13日 (2015.11.13)
 (65) 公開番号 特開2017-92797 (P2017-92797A)
 (43) 公開日 平成29年5月25日 (2017.5.25)
 審査請求日 平成30年10月11日 (2018.10.11)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
 (74) 代理人 100116665
 弁理士 渡辺 和昭
 (74) 代理人 100194102
 弁理士 磯部 光宏
 (74) 代理人 100179475
 弁理士 仲井 智至
 (74) 代理人 100216253
 弁理士 松岡 宏紀
 (72) 発明者 珠道 幸治
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

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】

金属原子が封入されているガスセルと、
 高周波信号を生成する励起光制御部と、
 前記高周波信号が入力され、前記ガスセルに励起光を射出するレーザー光源と、
 前記ガスセルおよび前記レーザー光源を収容する収容体と、
 前記高周波信号を導通する芯線と、前記芯線から漏れる前記高周波信号を遮蔽するシールド部と、を有し、前記レーザー光源と前記励起光制御部とを電気的に接続する高周波信号伝導線と、
 前記芯線と、前記レーザー光源と、を電気的に接続する接続配線と、

を含み、

前記励起光の射出方向において、前記芯線の前記シールド部から露出する部分、および、前記接続配線が存在する領域を光源配線領域とし、

前記射出方向と反対方向で、前記レーザー光源に最も近い前記収容体の内壁面を第1壁面とした場合に、

前記高周波信号により発生する空間高周波の定在波は、前記第1壁面に起点を有し、前記射出方向において、前記光源配線領域は、前記定在波の最大振幅点を含まない、原子発振器。

【請求項 2】

金属原子が封入されているガスセルと、

10

20

高周波信号が入力され、前記ガスセルに励起光を射出するレーザー光源と、前記ガスセルと、前記レーザー光源と、を収容する収容体と、を含み、

前記励起光の射出方向と反対方向で、前記レーザー光源に最も近い前記収容体の内壁面を第1壁面とした場合に、

前記高周波信号により発生する空間高周波の定在波は、前記第1壁面に起点を有し、

前記射出方向において、前記ガスセルの前記金属原子が封入される収容部は、前記定在波の最大振幅点を含まない、

原子発振器。

【請求項3】

10

前記射出方向において、前記ガスセルの前記金属原子が封入される収容部は、前記定在波の最大振幅点を含まない、

請求項1に記載の原子発振器。

【請求項4】

前記レーザー光源と前記ガスセルとの間に配置された波長変換用の誘電体を含む、

請求項1乃至請求項3のいず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、原子発振器に関する。

20

【背景技術】

【0002】

ルビジウム、セシウム等のアルカリ金属の原子のエネルギー遷移に基づいて発振する原子発振器が知られている。一般に、原子発振器の動作原理は、光およびマイクロ波による二重共鳴現象を利用した方式と、波長の異なる2種類の光による量子干渉効果(CPT: Coherent Population Trapping)を利用した方式とに大別される。

【0003】

いずれの方式の原子発振器においても、アルカリ金属をガスセル内に緩衝ガスとともに封入されており、このガスセルに入射した光が、アルカリ金属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って原子共鳴を検知し、検知された原子共鳴を制御系によって基準信号として出力する。このような原子発振器として、基板上にガスセルを設け、ガスセルを挟んだ両側に光(励起光)の光源と、検出部とが配置されている構成が開示されている(例えば、特許文献1参照)。

30

【0004】

また、特許文献1には、ガスセルと、励起光を射出する光出射部と、を透磁率の高い材料で形成されたパッケージ内に収容する構成としている。これにより、原子発振器の外部に介在する外部磁気がガスセルを透過することを遮蔽することができ、原子発振器を安定して動作させることができると開示されている。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2012-195788号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、特許文献1の構成では、光出射部に入力される変調信号によって、パッケージ内面を起点とした空間高周波の定在波が発生し、励起光の出力を低下させる、という知見が得られた。

【0007】

50

そこで、空間高周波の定在波に対して、安定して動作させることができる原子発振器を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

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、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

【0009】

〔適用例1〕本適用例の原子発振器は、金属原子が封入されているガスセルと、前記ガスセルの周囲に配置されるコイルと、前記ガスセルに励起光を射出するレーザー光源と、を含む原子発振器であって、少なくとも、前記ガスセルと、前記コイルと、が収容される第1収容体と、前記第1収容体と、前記レーザー光源と、が収容される第2収容体と、を備え、前記レーザー光源と、前記レーザー光源用の高周波信号を生成する励起光制御部と、を電気的に接続する高周波信号伝導線を備え、前記高周波信号伝導線は、前記高周波信号を導通する芯線と、前記芯線からの前記高周波信号による高周波の漏れを遮蔽するシールド部と、を有し、前記芯線と、前記レーザー光源と、を電気的に接続する接続配線が配設され、平面視において、前記高周波信号伝導線の前記レーザー光源における前記芯線が前記シールド部から露出する端部から、前記接続配線の前記レーザー光源との接続部までの領域を光源配線領域とし、前記レーザー光源から射出される前記励起光の射出方向と反対方向で、前記レーザー光源に最も近い前記第2収容体の内壁面を第1壁面とし、前記レーザー光源に入力される前記高周波信号により発生する空間高周波の定在波は、前記第1壁面に起点を有し、平面視において、前記光源配線領域は、前記定在波の最大振幅点を含まないことを特徴とする。

【0010】

原子発振器に備える金属原子が内部に収納されたガスセルに照射される励起光は、光源に入力される高周波信号によって励起される。この高周波信号は、光源の駆動を制御する励起光制御部によって生成され、送出されるが、励起光制御部から光源まではシールド部を備えるケーブル、例えば高周波信号を伝達する芯線を取り巻くようにシールド部を備える同軸ケーブル、によって伝達される。

【0011】

しかし、光源と、ケーブルと、の接続部では、光源を内部に封入するパッケージと芯線との接続のためにケーブルのシールド部から芯線を露出させて接続する部分ができてしまう。更には、パッケージ内の内部配線、あるいはパッケージの内部配線と光源とを接続するボンディングワイヤーなど、シールド部を備えない接続部を設けざるを得ない。この、シールド部を備えていない領域から、芯線を伝達された高周波信号が漏れ、特に、第2収容体の内部に漏れた高周波信号は、第2収容体内部で空間高周波の定在波が生じてしまう。発生した定在波は、光源に入力される本来の高周波信号の強度を減衰させてしまうエネルギーを有している。

【0012】

そこで、本適用例の原子発振器によれば、シールド部を有しない、高周波信号伝導線のシールド部から露出させた芯線部を含み、芯線部から光源まで接続される接続配線が、空間高周波の定在波の影響を受けやすいことから、接続配線の配置される光源配線領域に、定在波の最大振幅点が含まれないように光源の配置位置を設定することにより、定在波のエネルギーがシールド部を有しない接続配線に流れる光源を励起させる高周波信号を減衰させることを抑制、もしくは防止することができる。これによって、安定した強度を有する高周波信号を光源に伝達することができ、高い精度を安定して維持することができる原子発振器を得ることができる。

【0013】

〔適用例2〕本適用例の原子発振器は、金属原子が封入されているガスセルと、前記ガスセルの周囲に配置されるコイルと、前記ガスセルに励起光を射出するレーザー光源と、を含む原子発振器であって、少なくとも、前記ガスセルと、前記コイルと、が収容される

10

20

30

40

50

第1収容体と、前記第1収容体と、前記レーザー光源と、が収容される第2収容体と、を備え、前記ガスセルの前記金属原子が封入される収容部を平面視した領域をガスセル空間領域とし、前記レーザー光源から射出される前記励起光の射出方向と反対方向で、前記レーザー光源に最も近い前記第2収容体の内壁面を第1壁面とし、前記レーザー光源に入力される前記レーザー光源用の高周波信号により発生する空間高周波の定在波は、前記第1壁面に起点を有し、前記ガスセル空間領域は、前記定在波の最大振幅点を含まないことを特徴とする。

【0014】

本適用例の原子発振器によれば、ガスセルの内部空間の空間領域では、定在波による励起光の強度への影響を抑制することができ、安定した発振性能を有する原子発振器を得ることができる。

10

【0015】

〔適用例3〕本適用例の原子発振器は、金属原子が封入されているガスセルと、前記ガスセルの周囲に配置されるコイルと、前記ガスセルに励起光を射出するレーザー光源と、を含む原子発振器であって、少なくとも、前記ガスセルと、前記コイルと、が収容される第1収容体と、前記第1収容体と、前記レーザー光源と、が収容される第2収容体と、を備え、前記レーザー光源と、前記レーザー光源用の高周波信号を生成する励起光制御部と、を電気的に接続する高周波信号伝導線を備え、前記高周波信号伝導線は、前記高周波信号を導通する芯線と、前記芯線からの前記高周波信号による高周波の漏れを遮蔽するシールド部と、を有し、前記芯線と、前記レーザー光源と、を電気的に接続する接続配線が配設され、平面視において、前記高周波信号伝導線の前記レーザー光源における前記芯線が前記シールド部から露出する端部から、前記接続配線の前記レーザー光源との接続部までの領域を光源配線領域とし、前記ガスセルの前記金属原子が封入される収容部を平面視した領域をガスセル空間領域とし、前記レーザー光源から射出される前記励起光の射出方向と反対方向で、前記レーザー光源に最も近い前記第2収容体の内壁面を第1壁面とし、前記レーザー光源に入力される高周波信号により発生する空間高周波の定在波は、前記第1壁面に起点を有し、前記光源配線領域と、前記ガスセル空間領域と、は前記定在波の最大振幅点を含まないことを特徴とする。

20

【0016】

本適用例の原子発振器によれば、シールド部を有しない、高周波信号伝導線のシールド部から露出させた芯線部を含み、芯線部から光源まで接続される接続配線が、空間高周波の定在波の影響を受けやすいことから、接続配線の配置される光源配線領域に、定在波の最大振幅点が含まれないように光源の配置位置を設定することにより、定在波のエネルギーがシールド部を有しない接続配線に流れる光源を励起させる高周波信号を減衰させることを抑制、もしくは防止することができる。更に、ガスセルの内部空間の空間領域では、定在波による励起光の強度への影響を抑制することができ、安定した発振性能を有する原子発振器を得ることができる。これによって、安定した強度を有する高周波信号を光源に伝達することができ、高い精度を安定して維持することができる原子発振器を得ることができる。

30

【0017】

〔適用例4〕上述の適用例において、波長変換用の誘電体を前記第2収容体の内部に配設することを特徴とする。

40

【0018】

上述の適用例によれば、誘電体による空間高周波の定在波は、波長が短縮され、最大振幅点の位置を変えることができ、光源、あるいはガスセルと、定在波の最大振幅点と、の相対位置を決める自由度を広げることができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】第1実施形態に係る原子発振器の概略を示す正断面図。

【図2】第1実施形態に係る原子発振器の概略を示し、図1に示すA-A'部の断面図。

50

【図3】図1および図2に示す原子発振器の概略構成図。

【図4】第1実施形態に係る原子発振器のガスセル内におけるアルカリ金属のエネルギー状態を説明するための図。

【図5】第1実施形態に係る原子発振器の光射出部(光源)および光検出部について、光射出部(光源)からの2つの光の周波数差と、光検出部での検出強度との関係を示すグラフ。

【図6】第1実施形態に係る原子発振器の部分概略を示す部分正断面図。

【図7】図6に示すB-B'部の断面図。

【図8】第1実施形態に係る原子発振器のその他の形態を示す部分正断面図。

【図9】第2実施形態に係る原子発振器の概略を示す正断面図。 10

【図10】第2実施形態に係る原子発振器のその他の形態の概略を示す正断面図。

【図11】第3実施形態に係る原子発振器の概略を示す正断面図。

【図12】第3実施形態に係る原子発振器の概略を示し、図11に示すC-C'部の断面図。

【図13】図12に示す誘電体を示す外観斜視図。

【図14】誘電体のその他の形態を示す外観斜視図。

【図15】第4実施形態に係る電子機器の一例としてGPS衛星を利用した測位システムの概略構成を示す図。

【図16】第5実施形態に係る電子機器の一例としてのクロック伝送システムを示す概略構成図。 20

【図17】第6実施形態に係る移動体の一例としての自動車の構成を示す斜視図。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、図面を参照して、本発明に係る実施形態を説明する。

【0021】

(第1実施形態)

図1および図2は、第1実施形態に係る原子発振器の概略を示し、図1は正断面図、図2は図1に示すA-A'部の断面図である。

【0022】

図1および図2に示す原子発振器100は、量子干渉効果を利用した原子発振器である。原子発振器100は、ガスセルユニット10と、光射出部20と、ガスセルユニット10を収納し、本実施形態に係る原子発振器100では磁気遮蔽性を有する第1収容体としての第1磁気遮蔽体40と、を備えている。 30

【0023】

ガスセルユニット10は、ガスセル11と、ガスセル11を保持し、後述するヒーターに発生させる熱をガスセル11に伝導させるガスセル保持部材12と、ガスセル保持部材12のX軸方向に沿った外周面に巻き付けられるコイル13と、を備えている。

【0024】

ガスセル11は、柱状の貫通孔を有する本体部11aと、その貫通孔の両側の開口を1対の窓部11b, 11cによって封鎖することにより、金属原子が封入される収容部としての内部空間Sが形成される。ガスセル11の内部空間Sには、ガス状のルビジウム、セシウム、ナトリウム等のアルカリ金属が封入されている。 40

【0025】

光射出部20は、基体部21aと、基体部21aを内部に収容固定する本体枠部21bと、励起光を透過する、イメージセンサーのカバーガラスに用いられる高品位ガラス(例えば「ABCガラス：日本電気硝子製」など)により形成される光透過部21dを備える金属製の蓋部21cと、により構成される光源収容体21と、光源収容体21に収容された光源22と、光源22を加熱する加熱素子としてのペルチェ素子23と、を有する。光源22は、ガスセル11中のアルカリ金属原子を励起する励起光を射出する機能を有し、例えば半導体レーザーが用いられる。光源22は、光源収容体21の内部に励起光の射出 50

方向（図示矢印の光軸方向 R）に沿ってガスセル 11 と対向するように配置され、光源 22 から蓋部 21c の光透過部 21d を透過してガスセル 11 に向かって励起光が射出される。

【0026】

射出された励起光は、ガスセル保持部材 12 と、光軸方向 R と、が交差する部分に形成された貫通孔 12a, 12b のうち、光射出部 20 側の貫通孔 12a に配置された光学部品 14, 15 を透過する。本実施形態では、光源 22 側からガスセル 11 側へ、光学部品 14, 15 の順に配置されている。光学部品 14 は、1/4 波長板である。これにより、光源 22 からの励起光を直線偏光から円偏光（右円偏光または左円偏光）に変換することができる。光学部品 15 は、減光フィルター（ND フィルター）である。これにより、ガスセル 11 に入射する励起光の強度を調整（減少）させることができる。そのため、光源 22 の出力が大きい場合でも、ガスセル 11 に入射する励起光を所望の光量とすることができます。

【0027】

ガスセル保持部材 12 の光軸方向 R と並行する外周部 12c には、外周部 12c に沿ってコイル 13 が巻き付けられている。コイル 13 は、通電により、磁場を発生させる機能を有する。これにより、ガスセル 11 中のアルカリ金属に磁場を印加することにより、ゼーマン分裂により、アルカリ金属の縮退している異なるエネルギー準位間のギャップを拡げて、分解能を向上させることができる。その結果、原子発振器 100 の発振周波数の精度を高めることができる。なお、コイル 13 が発生する磁場は、直流磁場または交流磁場のいずれかの磁場であってもよいし、直流磁場と交流磁場とを重畠させた磁場であってもよい。また、このコイル 13 は、ガスセル 11 を囲むように設けられたソレノイドコイルであってもよいし、ガスセル 11 を挟むように設けられたヘルムホルツコイルであってもよい。

【0028】

ガスセル 11 を挟んで光射出部 20 と光軸方向 R に沿って対向する位置に光検出部 30 を備えている。光検出部 30 は、ガスセル 11 内を透過した後述する励起光 LL（共鳴光 1、共鳴光 2）の強度を検出する機能を有する。本実施形態では、光検出部 30 は、接着剤 31 を介してガスセル保持部材 12 に接合されている。ここで、接着剤 31 としては、公知の接着剤を用いることができる。また、この光検出部 30 としては、上述したような励起光を検出し得るものであれば、特に限定されないが、例えば、太陽電池、フォトダイオード等の光検出器（受光素子）を用いることができる。

【0029】

上述したガスセルユニット 10 と、光検出部 30 とは第 1 磁気遮蔽体 40 の内部に収容されている。第 1 磁気遮蔽体 40 は、基板 50 に載置される基部 42 と、箱状の第 1 蓋体 41 と、を備え、基部 42 に載置される光検出部 30 を備えたガスセルユニット 10 を覆うように第 1 蓋体 41 を被せて基部 42 に合わせることで第 1 磁気遮蔽体 40 を構成する。第 1 磁気遮蔽体 40 は、第 1 磁気遮蔽体 40 の内部に対する外部からの磁気を遮蔽する機能を有し、第 1 磁気遮蔽体 40 に収容されるガスセルユニット 10 への外部からの磁気を遮蔽する。

【0030】

第 1 蓋体 41 のガスセル保持部材 12 に形成された貫通孔 12a に対向する位置、即ち励起光の通過位置には、貫通孔 41a が設けられている。なお、貫通孔 41a には、励起光を透過し得る材料であれば、特に限定されないが、例えば透明ガラス、透明石英ガラス、透明水晶などが気密接合されていてもよい。このように、貫通孔 41a が気密接合されていることで、第 1 磁気遮蔽体 40 内を気密空間とすることが可能となる。なお、図 1 および図 2 では、図示を省略しているが、第 1 磁気遮蔽体 40 には、前述した部品以外の部品が収納されていてもよい。また、図示しないが、基板 50 には、第 1 磁気遮蔽体 40 の外部からガスセルユニット 10 への通電のための複数の配線などが設けられている。

【0031】

10

20

30

40

50

第1蓋体41および基部42の構成材料としては、磁気遮蔽効果を有していることがなお好ましく、例えば、鉄(Fe)、各種Fe合金(ケイ素鉄、パーマロイ、スーパーマロイ、アモルファス、センダスト)、銅(Cu)、銅合金などの軟磁性材料がより好ましい。このような材料を第1蓋体41および基部42に用いることにより、外部からの磁気(磁場の変化)を第1磁気遮蔽体40によって遮蔽することができる。これにより、外部からの磁気(磁場の変化)によるガスセル11内の金属原子への影響を抑制し、原子発振器100としての発振特性の安定化を図ることが可能となる。

【0032】

基部42には、第1蓋体41が接合され、第1蓋体41の開口が基部42により封鎖される。基部42と第1蓋体41との接合方法としては、特に限定されないが、例えば、ろう接、シーム溶接、エネルギー線溶接(レーザー溶接、電子線溶接等)等を用いることができる。なお、基部42と第1蓋体41との間には、これらを接合するための接合部材が介在していてもよい。

【0033】

また、基部42と第1蓋体41とは気密的に接合されているのが好ましい。すなわち、第1磁気遮蔽体40内が気密空間であることが好ましい。これにより、第1磁気遮蔽体40内を減圧状態または不活性ガス封入状態とすることができる。その結果、原子発振器100の特性を向上させることができる。特に、第1磁気遮蔽体40内は、減圧状態であることが好ましい。これにより、第1磁気遮蔽体40内の空間を介した熱の伝達を抑制することができる。そのため、ガスセル保持部材12と第1磁気遮蔽体40の外部との間や、第1磁気遮蔽体40内の空間を介した、後述するヒーターとガスセル11との間の熱干渉を抑制することができる。そのため、ヒーターの熱がガスセル保持部材12を介して効率的に2つの窓部11b, 11cへ伝達し、2つの窓部11b, 11c間の温度差を抑制することができる。また、ガスセルユニット10と第1磁気遮蔽体40の外部との間の熱の伝達をより効果的に抑制することができる。

【0034】

図2に示すように、本実施形態に係る原子発振器100は、ガスセルユニット10を加熱する加熱素子としてのヒーター60を備えている。ヒーター60は、通電により発熱する発熱抵抗体(発熱部)である。ヒーター60は、第1磁気遮蔽体40の外部に配置され、ヒーター60が発生した熱は、第1磁気遮蔽体40を介してガスセル11に伝達される。本実施形態に係る原子発振器100では、ヒーター60は第1磁気遮蔽体40の第1蓋体41の外部に高熱伝導率接着剤によって接着固定される形態を例示する。しかしこれに限定されず、ヒーター60が発生する熱の伝達ロスを少なくする手段であれば、ヒーター60の配置手段は限定されない。例えば、金属ろうによるろう付け、ねじによる物理的な固定手段であってもよい。

【0035】

ヒーター60が発生した熱は、ガスセル11に伝達され、ガスセル11を所定の温度に維持し、ガスセル11中のアルカリ金属をガス状に維持することができる。なお、ヒーター60に代えて、あるいは、ヒーター60と併用して、ペルチェ素子を用いてもよい。この場合、ペルチェ素子の発熱側の部分が発熱部を構成する。

【0036】

また、原子発振器100は、図1および図2に示すように、ガスセルユニット10が内部に収納された第1磁気遮蔽体40と、光検出部30と、ヒーター60と、光射出部20と、を収納する磁気遮蔽性を有する第2収容体としての第2磁気遮蔽体70を備えている。第2磁気遮蔽体70は、底部72と、第2蓋体71とを備え、第2蓋体71の開口が基板50により封鎖されている。これにより、第1磁気遮蔽体40を収納する空間が形成されている。そして、第2蓋体71が配置される基板50の面の反対面に底部72が配置され、外部磁気から内部を遮蔽する第2磁気遮蔽体70が構成される。

【0037】

第2蓋体71および底部72の構成材料としては、磁気遮蔽効果を有していることがよ

10

20

30

40

50

り好ましく、例えば、鉄(Fe)、各種Fe合金(ケイ素鉄、パーマロイ、スーパーマロイ、アモルファス、センダスト)、銅(Cu)、銅合金などの軟磁性材料が好ましい。このような材料を、第2蓋体71および底部72に用いることにより、外部からの磁気(磁場の変化)を第2磁気遮蔽体70によって遮蔽することができる。加えて、第2磁気遮蔽体70と空気層や基板50の透磁率の低い層を挟んで第1磁気遮蔽体40が設けられている二重の磁気遮蔽体となることから、外部からの磁気(磁場の変化)によるガスセル11内の金属原子への影響を、より大きく抑制することが可能となる。

【0038】

基板50は、基板50の一面に、前述したように、ガスセルユニット10を収納した第1磁気遮蔽体40と、励起光を射出する光源22を有する光射出部20と、を覆う第2磁気遮蔽体70の第2蓋体71と、が接続されている。また、基板50の一面の裏面には、第2磁気遮蔽体70を構成する底部72が接続されている。なお、基板50の構成材料としては、特に限定されないが、例えば、樹脂材料、セラミックス材料等を用いることができる。また、図示しないが、基板50には、外部からガスセルユニット10、あるいは光射出部20への通電のための複数の配線および複数の端子が設けられている。

【0039】

図3は、図1,2に示す原子発振器100の動作を示す概略構成図である。また、図4は、図1,2に示す原子発振器100のガスセル11内におけるアルカリ金属のエネルギー状態を説明するための図、図5は、図1,2に示す原子発振器100の光射出部20(光源22)および光検出部30について、光射出部20(光源22)からの2つの光の周波数差と、光検出部での検出強度との関係を示すグラフである。

【0040】

先ず、原子発振器100の原理を簡単に説明する。原子発振器100では、ガスセル11内に、ガス状のルビジウム、セシウム、ナトリウム等のアルカリ金属(金属原子)が封入されている。アルカリ金属は、図4に示すように、3準位系のエネルギー準位を有しており、エネルギー準位の異なる2つの基底状態(基底状態1,2)と、励起状態との3つの状態をとり得る。ここで、基底状態1は、基底状態2よりも低いエネルギー状態である。

【0041】

このようなガス状のアルカリ金属に対して周波数の異なる2種の共鳴光1、および共鳴光2を照射すると、共鳴光1の周波数₁と共鳴光2の周波数₂との差(₁-₂)に応じて、共鳴光1、および共鳴光2のアルカリ金属における光吸収率(光透過率)が変化する。そして、共鳴光1の周波数₁と、共鳴光2の周波数₂との差(₁-₂)が基底状態1と基底状態2とのエネルギー差に相当する周波数に一致したとき、基底状態1、および基底状態2から励起状態への励起がそれぞれ停止する。このとき、共鳴光1、および共鳴光2は、いずれも、アルカリ金属に吸収されずに透過する。このような現象をCPT(Coherent Population Trapping)現象、または電磁誘起透明化現象(EIT:Electromagnetically Induced Transparency)と呼ぶ。

【0042】

光源22は、ガスセル11に向けて、前述したような周波数の異なる2種の光(共鳴光1および共鳴光2)を射出する。例えば、光源22が共鳴光1の周波数₁を固定し、共鳴光2の周波数₂を変化させていくと、共鳴光1の周波数₁と共鳴光2の周波数₂との差(₁-₂)が基底状態1と基底状態2とのエネルギー差に相当する周波数₀に一致したとき、光検出部30の検出強度は、図5に示すように、急峻に上昇する。このような急峻な信号をEIT信号として検出する。このEIT信号は、アルカリ金属の種類によって決まった固有値をもっている。したがって、このようなEIT信号を用いることにより、発振器を構成することができる。

【0043】

本実施形態に係る原子発振器100は、図3に示すように、光射出部20に備える光源

10

20

30

40

50

22から、ガスセル11に向かって励起光LLがガスセル11への入射光として射出される。励起光LLとして、前述したように、周波数の異なる2種の光（共鳴光1および共鳴光2）が射出される。共鳴光1の周波数1は、ガスセル11中のアルカリ金属を前述した基底状態1から励起状態に励起し得るものである。また、共鳴光2の周波数2は、ガスセル11中のアルカリ金属を前述した基底状態2から励起状態に励起し得るものである。この光源22としては、前述したような励起光を射出し得るものであれば、特に限定されないが、例えば、垂直共振器面発光レーザー（VCSEL）等の半導体レーザー等を用いることができる。

【0044】

光射出部20から射出された励起光LLは、励起光LLの光軸方向R上のガスセル保持部材12に形成された貫通孔12aに設けられている光学部品14, 15を透過する。光学部品14は、上述したように $\lambda/4$ 波長板であり、光源22から射出された直線偏光の励起光LLを、円偏光（右偏光あるいは左偏光）に変換することができる。次に、光学部品15は、減光フィルター（NDフィルター）であり、ガスセル11に入射する励起光LLの強度を調整（減少）させることができ、光源22の出力が大きい場合でも、ガスセル11に入射する励起光LLを所望の光量とすることができます。

【0045】

光学部品14によって励起光LLが円偏光に変換されることによって、コイル13の磁場によりガスセル11内のアルカリ金属原子がゼーマン分裂した状態において、円偏光の励起光LLがアルカリ金属原子に照射されると、励起光LLとアルカリ金属原子との相互作用により、アルカリ金属原子がゼーマン分裂した複数の準位のうち、所望のエネルギー準位のアルカリ金属原子の数を他のエネルギー準位のアルカリ金属原子の数に対して相対的に多くすることができる。そのため、所望のEIT現象を発現する原子数が増大し、所望のEIT信号の強度が大きくなり、その結果、原子発振器100の発振特性を向上させることができる。

【0046】

なお、光源22とガスセル11との間には、波長板および減光フィルターの他に、レンズ、偏光板等の他の光学部品が配置されていてもよい。また、光源22からの励起光LLの強度によっては、光学部品15を省略することができる。

【0047】

ガスセル11内を透過した励起光LL（共鳴光1、共鳴光2）は、光検出部30により強度が検出される。励起光LLの光検出部30による検出結果は、制御部110（図1, 2には図示されない）に備える励起光制御部111に入力され、光源22から射出される共鳴光1、共鳴光2の周波数を光検出部30の検出結果に基づいて制御する。より具体的には、励起光制御部111は、前述した光検出部30によって検出された（1-2）が前述したアルカリ金属固有の周波数0となるように、光源22から射出される共鳴光1、共鳴光2の周波数を制御する。また、励起光制御部111は、光源22から射出される共鳴光1、共鳴光2の中心周波数を制御する。これにより、前述したようなEIT信号を検出することができる。そして、制御部110は、図示しない水晶発振器の信号をEIT信号に同期して出力させる。

【0048】

制御部110には、温度制御部112、および磁場制御部113を備えている。温度制御部112には、図1, 2には図示されないガスセル11の温度を検出する温度センサー61からの計測検出結果に基づいて、ヒーター60への通電を制御し、ガスセル11を所望の温度範囲内に維持する。磁場制御部113は、コイル13が発生する磁場が一定となるように、コイル13への通電を制御する。そして、このような制御部110は、例えば、原子発振器100が実装される実装基板上に実装された電子回路装置（例えば、半導体装置）に設けられている。

【0049】

図3に示す、制御部110に備える励起光制御部111から、光射出部20の光源22

10

20

30

40

50

に励起光 L L を射出させる高周波信号が、高周波信号伝導線 1 1 4 によって伝達される。図 6 は、図 3 に示す高周波信号伝導線 1 1 4 と、光源 2 2 と、の接続を模式的に示す概略断面図である。

【 0 0 5 0 】

図 6 に示すように、高周波信号伝導線 1 1 4 は、いわゆる同軸ケーブル 8 0 によって構成されている。図 6 に示す高周波信号伝導線としての同軸ケーブル 8 0 の B - B ' 部の断面を図 7 に示す。図 7 に示すように、同軸ケーブル 8 0 は、高周波信号を伝達する導電芯線 8 0 a , 8 0 b (以下、芯線 8 0 a 、芯線 8 0 b) が、絶縁材料からなる芯線被覆部 8 0 c によって覆われ、芯線 8 0 a と、芯線 8 0 b と、が電気的に絶縁されている。

【 0 0 5 1 】

芯線被覆部 8 0 c の外周面を覆うように、導電材料によるシールド線 8 0 d が配置される。シールド線 8 0 d は、例えばアルミニウムの細線を網状に形成し、芯線被覆部 8 0 c を覆う、あるいはアルミ箔によって芯線被覆部 8 0 c を覆う、などの方法によって形成される。そしてシールド線 8 0 d の外周には外部との絶縁と保護のための絶縁保護部 8 0 e が被覆されている。絶縁保護部 8 0 e は、電気的な絶縁性を備え、水分、油分、高低温、などの外部環境への耐性を備える柔軟性を有する材料で形成される。

【 0 0 5 2 】

図 6 に示すように、同軸ケーブル 8 0 は図示しない励起光制御部 1 1 1 に接続され、図 3 に示す高周波信号伝導線 1 1 4 として、基板 5 0 の光源収容体 2 1 、およびガスセルユニット 1 0 を収容する第 1 磁気遮蔽体 4 0 などが配置される基板面 5 0 a に設置されたケーブル固定部 9 0 に固着される。

【 0 0 5 3 】

同軸ケーブル 8 0 のケーブル固定部 9 0 での固定端部 8 0 f は、芯線 8 0 a , 8 0 b が露出され、基体部 2 1 a の外部に形成された外部接続電極 2 1 e , 2 1 f にそれぞれ電気的に接続される。外部接続電極 2 1 e , 2 1 f は、光源収容体 2 1 の内部に形成された内部配線によって内部接続電極 2 1 g , 2 1 h に電気的に接続されている。更に、内部接続電極 2 1 g , 2 1 h と、図示しない光源 2 2 の電極と、がボンディングワイヤー 2 0 a , 2 0 b によって電気的に接続されている。これにより、同軸ケーブル 8 0 の芯線 8 0 a , 8 0 b を通して励起光制御部 1 1 1 から出力された高周波信号が光源 2 2 に入力され、所定の励起光 L L がガスセル 1 1 に向けて出射される。

【 0 0 5 4 】

この時、励起光制御部 1 1 1 において生成された高周波信号の伝導経路である同軸ケーブル 8 0 の芯線 8 0 a , 8 0 b から外部への高周波信号の漏れが生じることで、所定の高周波信号出力を光源 2 2 に入力することが困難となる。そこで、同軸ケーブル 8 0 は、シールド線 8 0 d を備えることにより、高周波信号の外部への漏れの抑制、防止をすることができる。

【 0 0 5 5 】

しかし、光源収容体 2 1 の基体部 2 1 a に形成された外部接続電極 2 1 e , 2 1 f と、同軸ケーブル 8 0 との電気的な接続においては、ケーブル固定部 9 0 に固定される側の同軸ケーブル 8 0 の固定端部 8 0 f から外部接続電極 2 1 e , 2 1 f までの間、芯線 8 0 a , 8 0 b は同軸ケーブル 8 0 から露出される。従って、固定端部 8 0 f から外部接続電極 2 1 e , 2 1 f までの間の露出した芯線 8 0 a , 8 0 b からは高周波信号が、芯線 8 0 a , 8 0 b の露出部を収容する第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部空間内に漏れる。加えて、外部接続電極 2 1 e , 2 1 f から光源 2 2 に至る各配線にも、高周波信号の遮蔽部材が配設されていない。

【 0 0 5 6 】

高周波信号の遮蔽部材が配設されていない領域が存在することにより、光源 2 2 に入力される高周波信号が漏れることで、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部空間に、空間高周波の定在波 S W が生じる。この定在波 S W は、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の第 2 蓋体 7 1 の内壁面の内、励起光 L L の出射方向とは反対方向における光源 2 2 に最も近い第 1 壁面としての内壁面

10

20

30

40

50

7 1 a を起点とした空間高周波として発生する。そして、定在波 S W のエネルギーは光源 2 2 に入力される高周波信号を減衰させるように作用し、励起光 L L の安定した出射を阻害してしまう虞があった。

【 0 0 5 7 】

上述の芯線 8 0 a , 8 0 b が露出される固定端部 8 0 f から、励起光 L L の射出方向に沿って遮蔽部材を備えない光源配線、すなわち露出された芯線 8 0 a , 8 0 b と、外部接続電極 2 1 e , 2 1 f と、内部接続電極 2 1 g , 2 1 h と、外部接続電極 2 1 e , 2 1 f と内部接続電極 2 1 g , 2 1 h とを電気的に接続する内部配線と、ボンディングワイヤー 2 0 a , 2 0 b と、が存在する平面視での領域を領域 Q 1 (以下、光源配線領域 Q 1 という) と定義する。

10

【 0 0 5 8 】

ここで、上述の平面視とは、図 6 に示す X , Y , Z 座標系において、X 軸に交差する方向からの矢視を言い、本実施形態の説明では、Y 軸方向に沿った矢視を平面視としている。

【 0 0 5 9 】

定在波 S W において、最大振幅 F m a x を示す位置を最大振幅点 P b (図示、 × 印点) 、最少振幅点 P s (図示、 □ 印点) とした場合、光源配線領域 Q 1 の領域内に最大振幅点 P b が含まれないように、光源 2 2 を配置する。これにより、光源 2 2 に入力される高周波信号が遮蔽されていない領域、言い換えると空間高周波の影響を受けやすい光源配線領域 Q 1 に、空間高周波のエネルギーピーク領域が重ならず、安定した高出力の高周波信号を光源 2 2 に入力させることができる。

20

【 0 0 6 0 】

更に、光源配線領域 Q 1 の領域に最少振幅点 P s が含まれるように、光源 2 2 を配置することがなお好ましい。これにより、光源 2 2 に入力される高周波信号が遮蔽されていない、言い換えると空間高周波の影響を受けやすい光源配線領域 Q 1 には、空間高周波のエネルギーの最少領域となり、安定した高出力の高周波信号を光源 2 2 に入力させることができる。

【 0 0 6 1 】

図 8 は、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部領域での同軸ケーブル 8 0 の、その他の形態を示す断面図である。図 8 に示すように、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の外部にケーブル固定部 9 0 が基板 5 0 の基板面 5 0 a 上に配置され、同軸ケーブル 8 0 が基板 5 0 に対して固着される。そして、芯線 8 0 a , 8 0 b を内在する芯線被覆部 8 0 c が第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部に引き込まれる。第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部には、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部に引き込まれた芯線被覆部 8 0 c に近接させて、シールド部 9 1 が配置される。

30

【 0 0 6 2 】

シールド部 9 1 は、筒状に形成され、内部に芯線 8 0 a , 8 0 b を内在する芯線被覆部 8 0 c が挿通される。シールド部 9 1 は、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部に光源 2 2 に入力される高周波信号の漏れをシールド部 9 1 から外側へ漏れ出すことを遮蔽する機能を有する。従って、シールド部 9 1 は、アルミニウム、銅、などの高周波の遮蔽性を有する材料によって形成される。

40

【 0 0 6 3 】

光源配線領域 Q 1 は、図示するようにシールド部 9 1 の光源 2 2 側の端部 9 1 a から、励起光 L L の射出方向に沿って遮蔽部材を備えない光源配線、すなわち露出された芯線 8 0 a , 8 0 b と、外部接続電極 2 1 e , 2 1 f と、内部接続電極 2 1 g , 2 1 h と、外部接続電極 2 1 e , 2 1 f と内部接続電極 2 1 g , 2 1 h とを電気的に接続する内部配線と、ボンディングワイヤー 2 0 a , 2 0 b と、が存在する平面視での領域となる。

【 0 0 6 4 】

そして光源配線領域 Q 1 の中に、空間高周波の定在波 S W の最大振幅点 P b が含まれないように光源 2 2 が配置されることが好ましい。これにより、光源 2 2 に入力される高周波信号が遮蔽されていない、言い換えると空間高周波の影響を受けやすい光源配線領域 Q

50

1 に、空間高周波のエネルギーピーク領域が重ならず、安定した高出力の高周波信号を光源 2 2 に入力させることができる。更には、光源配線領域 Q 1 の領域に最少振幅点 P s が含まれるように、光源 2 2 を配置することがなお好ましい。これにより、光源 2 2 に入力される高周波信号が遮蔽されていない、言い換えると空間高周波の影響を受けやすい光源配線領域 Q 1 には、空間高周波のエネルギーの最少領域となり、安定した高出力の高周波信号を光源 2 2 に入力させることができる。

【 0 0 6 5 】

(第 2 実施形態)

第 2 実施形態として、第 1 実施形態に係る原子発振器 1 0 0 におけるガスセル 1 1 と、空間高周波の定在波 S W との関係を説明する。図 9 は、第 1 実施形態に係る原子発振器 1 0 0 を用いて、定在波 S W との関係を説明する断面図である。

10

【 0 0 6 6 】

図 9 に示すように、空間高周波の定在波 S W は、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の第 2 蓋体 7 1 の内壁面の内、励起光 L L の出射方向とは反対方向における光源 2 2 に最も近い第 1 壁面としての内壁面 7 1 a を起点とした空間高周波として発生する。定在波 S W のエネルギーはガスセル 1 1 の内部空間 S に収容されている金属原子に照射される励起光 L L の強度を減衰させる虞があった。

【 0 0 6 7 】

ここで、ガスセル 1 1 の内部空間 S における平面視での領域 Q 2 (以下、ガスセル空間領域 Q 2 という) と定義する。なお、平面視とは、図 9 に示す X , Y , Z 座標系において、X 軸に交差する方向からの矢視を言い、本実施形態の説明では、Y 軸方向に沿った矢視を平面視としている。

20

【 0 0 6 8 】

定在波 S W において、最大振幅 F m a x を示す位置を最大振幅点 P b (図示、 × 印点) 、最少振幅点 P s (図示、 □ 印点) とした場合、ガスセル空間領域 Q 2 の領域内に最大振幅点 P b が含まれないように、ガスセル 1 1 を配置する。これにより、ガスセル 1 1 の内部空間 S のガスセル空間領域 Q 2 の領域では、定在波 S W による励起光 L L の強度への影響を抑制することができ、安定した発振性能を有する原子発振器 1 0 0 を得ることができる。

【 0 0 6 9 】

30

更に、ガスセル空間領域 Q 2 の領域に最少振幅点 P s が含まれるように、ガスセル 1 1 を配置することがなお好ましい。これにより、ガスセル 1 1 の内部空間 S における励起光 L L の強度への影響をより低減させることができ、安定した発振性能を有する原子発振器 1 0 0 を得ることができる。

【 0 0 7 0 】

図 1 0 は、第 2 実施形態に係る原子発振器 1 0 0 のその他の形態として、本実施形態に係るガスセル 1 1 のガスセル空間領域 Q 2 と、定在波 S W の最大振幅点 P b と、の関係に加え、第 1 実施形態に係る光源配線領域 Q 1 と、定在波 S W の最大振幅点 P b と、の関係をも満足される形態を示す概略断面図である。

【 0 0 7 1 】

40

図 1 0 に示すように、図 9 によって説明した本実施形態に係るガスセル 1 1 のガスセル空間領域 Q 2 内に、定在波 S W の最大振幅点 P b が含まれないガスセル 1 1 の配置となる原子発振器 1 0 0 である。これに加えて、図 6 によって説明した第 1 実施形態に係る光源配線領域 Q 1 内に、定在波 S W の最大振幅点 P b が含まれないように、光源 2 2 を配置する。

【 0 0 7 2 】

このように、光源配線領域 Q 1 と、ガスセル空間領域 Q 2 と、に、定在波 S W の最大振幅点 P b が含まれないように光源 2 2 と、ガスセル 1 1 と、を配置することにより、光源 2 2 に入力される高周波信号が遮蔽されていない領域、言い換えると空間高周波の影響を受けやすい光源配線領域 Q 1 に、空間高周波のエネルギーピーク領域が重ならず、安定し

50

た高出力の高周波信号を光源 2 2 に入力させることができる。更に、ガスセル 1 1 の内部空間 S における励起光 L L の強度への影響をより低減させることができ、安定した発振性能を有する原子発振器 1 0 0 を得ることができる。

【 0 0 7 3 】

(第 3 実施形態)

図 1 1 , 1 2 は、第 3 実施形態に係る原子発振器 2 0 0 を示し、図 1 1 は正断面図、図 1 2 は図 1 1 における C - C ' 部の断面図である。第 3 実施形態に係る原子発振器 2 0 0 は、第 1 実施形態、あるいは第 2 実施形態に係る原子発振器 1 0 0 に対して、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部に誘電体が備えられている点で異なり、その他の構成要素は同じであるので、同じ構成要素には同じ符号を付し、説明は省略する。

10

【 0 0 7 4 】

図 1 1 、および図 1 2 に示すように本実施形態に係る原子発振器 2 0 0 は、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部に、光射出部 2 0 と、第 1 磁気遮蔽体 4 0 に収容されたガスセルユニット 1 0 と、を備え、更に誘電体 2 1 0 が備えられている。

【 0 0 7 5 】

誘電体 2 1 0 は、例えばプラスチックあるいはセラミックなどが知られているが、特に限定は無く、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部に発生する空間高周波の定在波 SW の波長が短縮される物であればよい。また、本実施形態に係る誘電体 2 1 0 は、図 1 3 に示す形態を有している。なお、図 1 3 は誘電体 2 1 0 の外観斜視図であり、基板 5 0 の基板面 5 0 a に配置された状態の誘電体 2 1 0 だけを描画した図である。図 1 3 に示すように誘電体 2 1 0 は、基板 5 0 の基板面 5 0 a に、例えば接着剤によって固定されている。そして、励起光 L L が通過できる切欠き 2 1 0 a が形成されている。

20

【 0 0 7 6 】

誘電体 2 1 0 は、図 1 1 , 1 2 に示すように第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部に収容され、本実施形態では、光射出部 2 0 と、ガスセルユニット 1 0 が収容された第 1 磁気遮蔽体 4 0 と、の間に配置され、光源 2 2 に入力される高周波信号によって発生する空間高周波の定在波 SW (図 6 , 8 , 9 参照) の波長を、誘電体 2 1 0 の有する誘電性によって短縮させ、定在波 SW の波長を変換する。これにより、定在波 SW の最大振幅点 P b の位置を変えることができ、光源 2 2 あるいはガスセル 1 1 の配置位置の自由度を高めることができる。

30

【 0 0 7 7 】

なお、図 1 4 は、誘電体 2 1 0 のその他の形態の一例を示す外観斜視図である。図 1 4 に示すように、誘電体 2 2 0 は、複数の誘電体 2 2 0 a , 2 2 0 b であってもよく、励起光 L L の光路を妨げず、第 2 磁気遮蔽体 7 0 の内部に収容されていればよい。

【 0 0 7 8 】

(第 4 実施形態)

第 4 実施形態として、第 1 実施形態あるいは第 2 実施形態に係る原子発振器 1 0 0 、もしくは第 3 実施形態に係る原子発振器 2 0 0 のいずれかを備える電子機器の一例として G P S 衛星を利用した測位システムを説明する。図 1 5 は、G P S 衛星を利用した測位システムに本発明に係る原子発振器を用いた場合の概略構成を示す図である。なお、本実施形態では第 1 実施形態に係る原子発振器 1 0 0 を備える形態を説明する。

40

【 0 0 7 9 】

図 1 5 に示す測位システム 1 0 0 0 は、G P S 衛星 1 1 0 0 と、基地局装置 1 2 0 0 と、G P S 受信装置 1 3 0 0 とで構成されている。G P S 衛星 1 1 0 0 は、測位情報 (G P S 信号) を送信する。基地局装置 1 2 0 0 は、例えば電子基準点 (G P S 連続観測局) に設置されたアンテナ 1 2 0 1 を介して G P S 衛星 1 1 0 0 からの測位情報を高精度に受信する受信装置 1 2 0 2 と、この受信装置 1 2 0 2 で受信した測位情報を、アンテナ 1 2 0 3 を介して送信する送信装置 1 2 0 4 とを備える。

【 0 0 8 0 】

ここで、受信装置 1 2 0 2 は、その基準周波数発振源として前述した本発明に係る第 1

50

実施形態の原子発振器 100 を備える電子装置である。このような受信装置 1202 は、優れた信頼性を有する。また、受信装置 1202 で受信された測位情報は、リアルタイムで送信装置 1204 により送信される。GPS 受信装置 1300 は、GPS 衛星 1100 からの測位情報を、アンテナ 1301 を介して受信する衛星受信部 1302 と、基地局装置 1200 からの測位情報を、アンテナ 1303 を介して受信する基地局受信部 1304 とを備える。

【0081】

(第5実施形態)

第5実施形態として、第1実施形態あるいは第2実施形態に係る原子発振器 100、もしくは第3実施形態に係る原子発振器 200 のいずれかを備える電子機器の一例としてクロック伝送システムを説明する。図16は、クロック伝送システムに本発明に係る原子発振器を用いた場合の概略構成を示す図である。なお、本実施形態では第1実施形態に係る原子発振器 100 を備える形態を説明する。

【0082】

図16に示すクロック伝送システム 2000 は、時分割多重方式のネットワーク内の各装置のクロックを一致させるものであって、N (Normal) 系およびE (Emergency) 系の冗長構成を有するシステムである。

【0083】

このクロック伝送システム 2000 は、A局(上位(N系))のクロック供給装置(CSΜ: Clock Supply Module)2001およびSDH(Synchronous Digital Hierarchy)装置2002と、B局(上位(E系))のクロック供給装置2003およびSDH装置2004と、C局(下位)のクロック供給装置2005およびSDH装置2006, 2007とを備える。クロック供給装置2001は、原子発振器 100 を有し、N系のクロック信号を生成する。このクロック供給装置2001内の原子発振器 100 は、セシウムを用いた原子発振器を含むマスタークロック 2008, 2009 からのより高精度なクロック信号と同期して、クロック信号を生成する。

【0084】

SDH装置2002は、クロック供給装置2001からのクロック信号に基づいて、主信号の送受信を行うとともに、N系のクロック信号を主信号に重畠し、下位のクロック供給装置2005に伝送する。クロック供給装置2003は、原子発振器 100 を有し、E系のクロック信号を生成する。このクロック供給装置2003内の原子発振器 100 は、セシウムを用いた原子発振器を含むマスタークロック 2008, 2009 からのより高精度なクロック信号と同期して、クロック信号を生成する。

【0085】

SDH装置2004は、クロック供給装置2003からのクロック信号に基づいて、主信号の送受信を行うとともに、E系のクロック信号を主信号に重畠し、下位のクロック供給装置2005に伝送する。クロック供給装置2005は、クロック供給装置2001, 2003からのクロック信号を受信し、その受信したクロック信号に同期して、クロック信号を生成する。

【0086】

ここで、クロック供給装置2005は、通常、クロック供給装置2001からのN系のクロック信号に同期して、クロック信号を生成する。そして、N系に異常が発生した場合、クロック供給装置2005は、クロック供給装置2003からのE系のクロック信号に同期して、クロック信号を生成する。このようにN系からE系に切り換えることにより、安定したクロック供給を担保し、クロックバス網の信頼性を高めることができる。SDH装置2006は、クロック供給装置2005からのクロック信号に基づいて、主信号の送受信を行う。同様に、SDH装置2007は、クロック供給装置2005からのクロック信号に基づいて、主信号の送受信を行う。これにより、C局の装置をA局またはB局の装置と同期させることができる。

10

20

30

40

50

【0087】**(第6実施形態)**

第6実施形態として、第1実施形態あるいは第2実施形態に係る原子発振器100、もしくは第3実施形態に係る原子発振器200のいずれかを備える移動体の一例として自動車を例に説明する。図17は、移動体としての自動車に本発明に係る原子発振器を用いた場合の概略構成を示す斜視図である。なお、本実施形態では第1実施形態に係る原子発振器100を備える形態を説明する。

【0088】

図17に示す移動体としての自動車3000は、車体3001と、4つの車輪3002とを有しており、車体3001に設けられた図示しない動力源によって車輪3002を回転させるように構成されている。このような自動車3000には、原子発振器100が内蔵されている。そして、原子発振器100からの発振信号に基づいて、例えば、図示しない制御部が動力源の駆動を制御する。

10

【0089】

なお、本発明の原子発振器を組み込む電子機器または移動体は、前述したものに限定されず、例えば、携帯電話機、デジタルスチールカメラ、インクジェット式吐出装置（例えばインクジェットプリンター）、パーソナルコンピューター（モバイル型パーソナルコンピューター、ラップトップ型パーソナルコンピューター）、テレビ、ビデオカメラ、ビデオテープレコーダー、カーナビゲーション装置、ページャー、電子手帳（通信機能付も含む）、電子辞書、電卓、電子ゲーム機器、ワードプロセッサー、ワークステーション、テレビ電話、防犯用テレビモニター、電子双眼鏡、POS端末、医療機器（例えば電子体温計、血圧計、血糖計、心電図計測装置、超音波診断装置、電子内視鏡）、魚群探知機、各種測定機器、計器類（例えば、車両、航空機、船舶の計器類）、フライトシミュレーター等に適用することができる。

20

【0090】

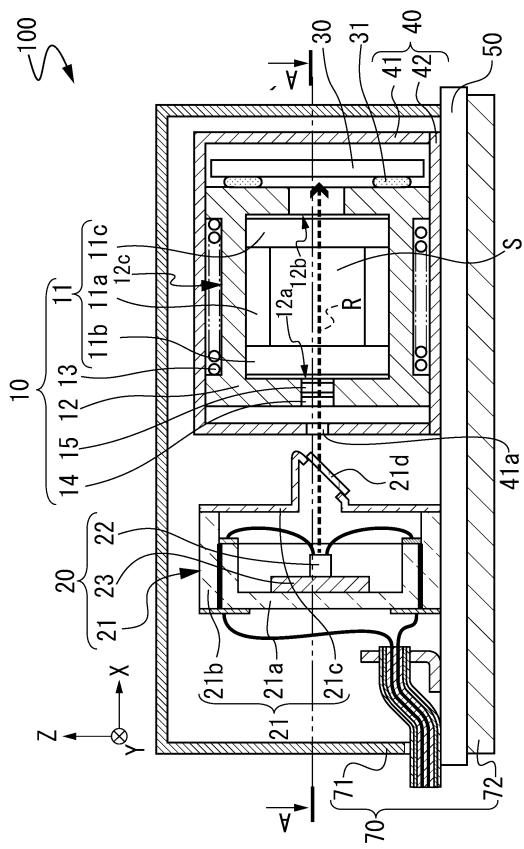
以上、本発明の原子発振器について、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これらに限定されるものではなく、例えば、前述した実施形態の各部の構成は、同様の機能を発揮する任意の構成のものに置換することができ、また、任意の構成を付加することもできる。また、本発明は、前述した各実施形態の任意の構成同士を組み合わせるようにもよい。

30

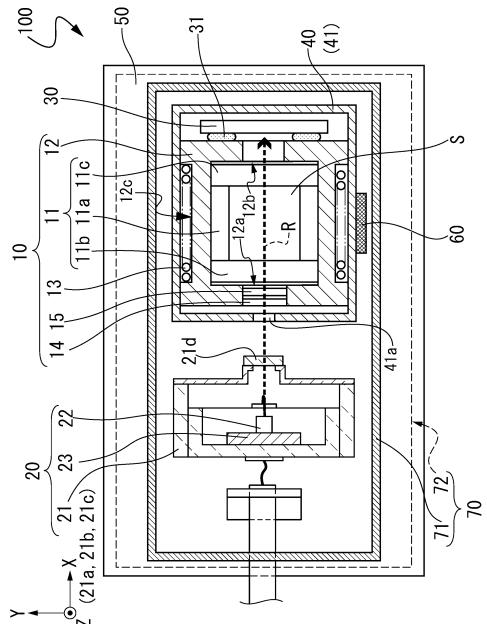
【符号の説明】**【0091】**

11…ガスセル、20…光射出部、40…第1磁気遮蔽体、50…基板、70…第2磁気遮蔽体、80…同軸ケーブル、100…原子発振器。

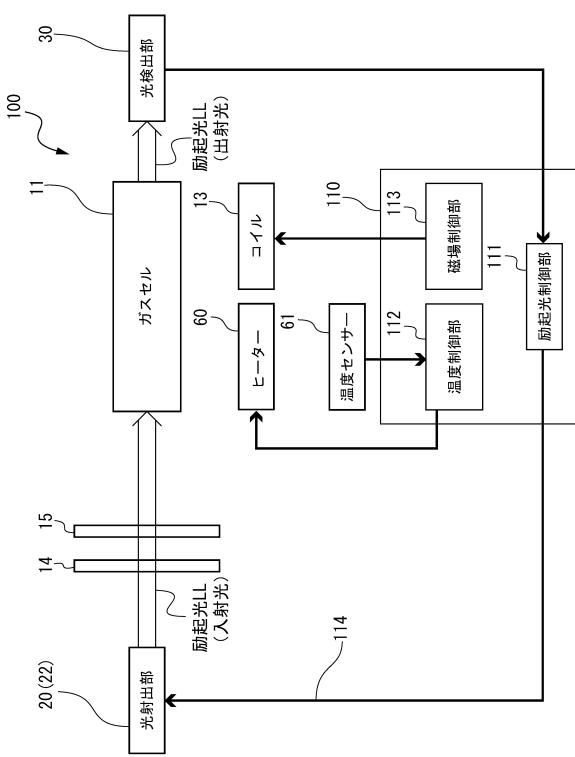
【 四 1 】



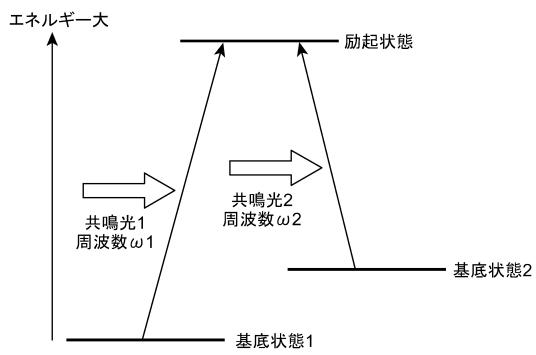
【 図 2 】



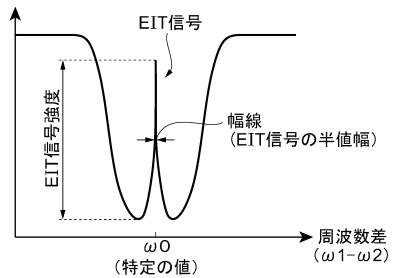
【図3】



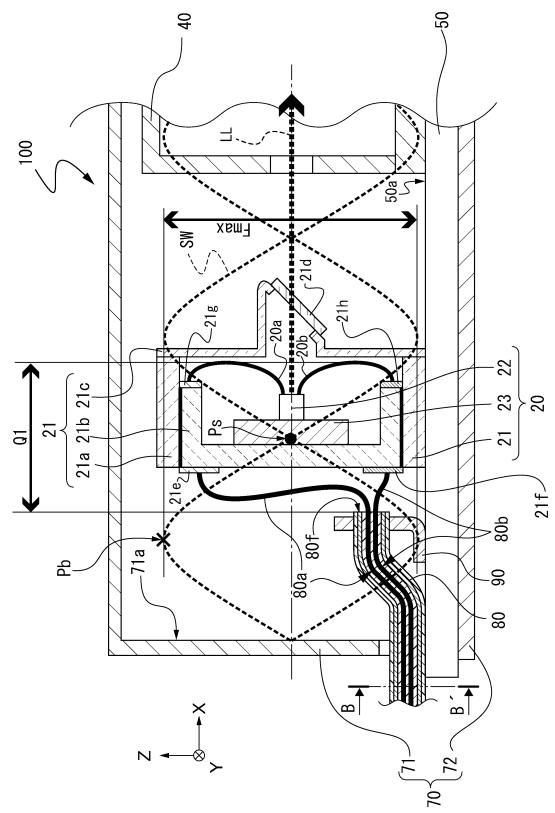
【 図 4 】



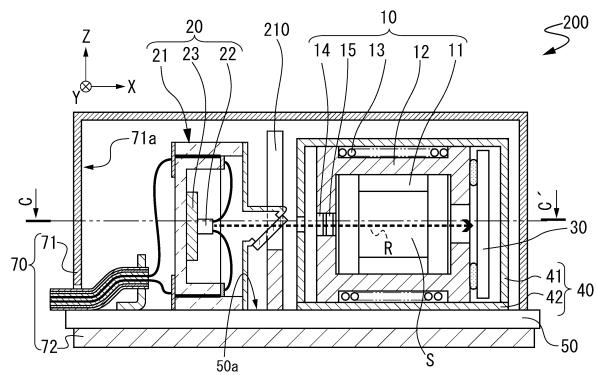
【図5】



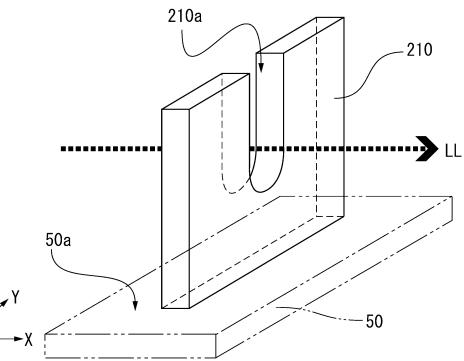
【図6】



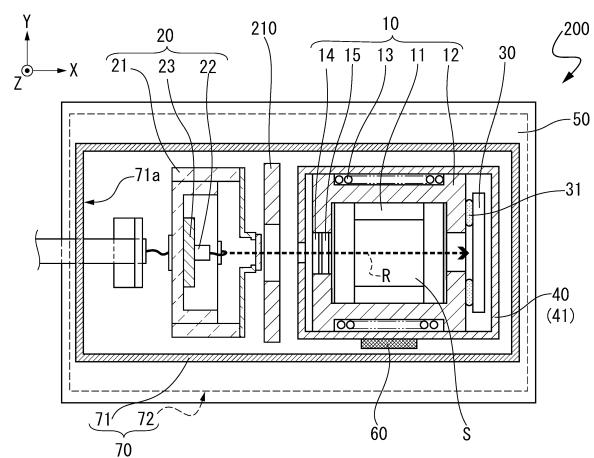
【図11】



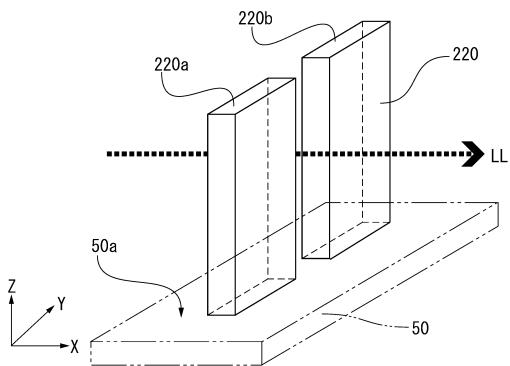
【図13】



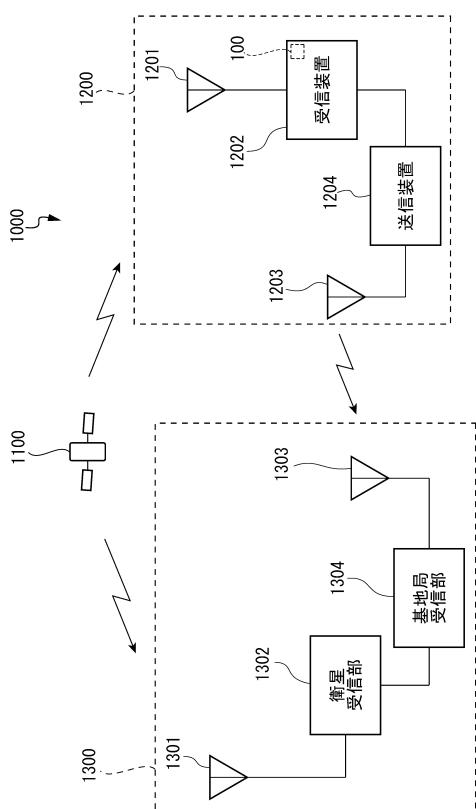
【図12】



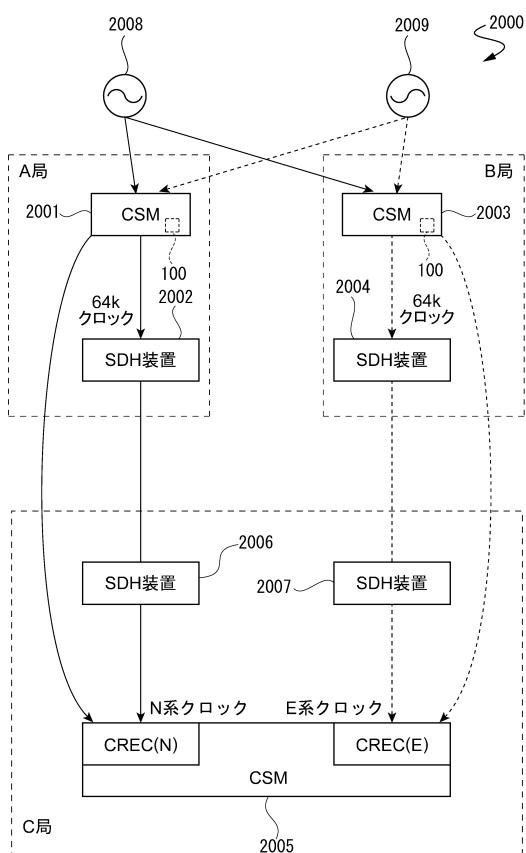
【図14】



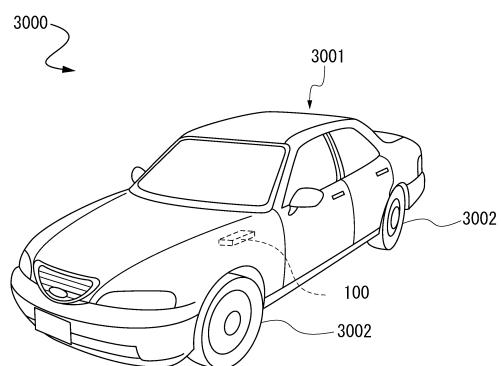
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

審査官 橋本 和志

(56)参考文献 特開2007-088538 (JP, A)

特開2014-183484 (JP, A)

特開2005-333332 (JP, A)

特開2011-222866 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03L 7/26

H01S 1/06