

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6763135号
(P6763135)

(45) 発行日 令和2年9月30日(2020.9.30)

(24) 登録日 令和2年9月14日(2020.9.14)

(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 7 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2015-245973 (P2015-245973)
 (22) 出願日 平成27年12月17日 (2015.12.17)
 (65) 公開番号 特開2017-112515 (P2017-112515A)
 (43) 公開日 平成29年6月22日 (2017.6.22)
 審査請求日 平成30年11月14日 (2018.11.14)

(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 100179475
 弁理士 仲井 智至
 (74) 代理人 100216253
 弁理士 松岡 宏紀
 (72) 発明者 玲道 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
 (72) 発明者 ▲吉▼田 啓之
 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、
 前記ガスセルを収容し、底面外側角部を有する第1収容筐体と、
 前記第1収容筐体を収容し、蓋体と底部とを有する第2収容筐体と、
 前記ガスセルに励起光を射出する光源を備える光射出部と、
 前記光射出部が設置される第1基準面と、前記底部が設置される第2基準面と、突き当て部と、を有し、前記第2収容筐体が設置される第1の基板と、

前記底面外側角部に装着されており、前記第2基準面に沿った、互いに交差する方向で前記突き当て部に当接する第1ブロックと、を備え、

前記第1ブロックは、前記第1収容筐体の筐体底面壁と前記底部とに挟持される筐体支持部と、前記第1の基板の前記突き当て部に突き当たられる筐体位置決め部と、を有している、

原子発振器。

【請求項 2】

前記第1の基板が設置される第2の基板を備え、

前記第1の基板の前記第1基準面とは反対側の面と前記第2の基板とは接し、

前記第1の基板の前記第2基準面とは反対側の面と前記第2の基板とは離間している、

請求項1に記載の原子発振器。

【請求項 3】

10

20

前記第1の基板と前記第2の基板との間に配置されている第2ブロックを備えた、
請求項2に記載の原子発振器。

【請求項4】

前記第1ブロックは断熱性を有する、
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。

【請求項5】

前記第2ブロックは断熱性を有する、
請求項3に記載の原子発振器。

【請求項6】

前記第1収容筐体、および前記第2収容筐体は磁気遮蔽性を有している請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の原子発振器。 10

【請求項7】

前記第1収容筐体と前記第2収容筐体とは、前記第1ブロックによって離間している、
請求項1乃至請求項6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。

【背景技術】

【0002】 20

長期的に高精度な発振特性を有する発振器として、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（例えば、特許文献1参照）。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が、量子干渉効果を利用した原子発振器は、二重共鳴現象を利用した原子発振器よりも小型化できることから、近年、様々な機器への搭載が期待されている。

【0003】

量子干渉効果を利用した原子発振器は、例えば、特許文献1に開示されているように、ガス状の金属原子を封入したガスセルと、ガスセル中の金属原子に周波数の異なる2種の共鳴光を含むレーザー光を照射する光出射部と、ガスセルを透過したレーザー光を検出する光検出部と、光出射部とガスセルとの間に設けられた光学部品とを備えている。そして、このような原子発振器では、2種類の共鳴光の周波数差が特定の値のときに2種類の共鳴光の双方がガスセル内の金属原子に吸収されずに透過する電磁誘起透明化（EIT：Electromagnetically Induced Transparency）現象を生じるが、そのEIT現象に伴って発生する急峻な信号であるEIT信号を光検出器で検出する。 30

【0004】

また、特許文献1に記載の原子発振器では、ガスセルおよび光検出部が第1パッケージに収納され、光出射部が第2パッケージに収納され、光学部品が第3パッケージに収納されている。各パッケージは、第1パッケージ、第3パッケージおよび第2パッケージの順に接合されており、各パッケージがそれぞれ接合された状態で、例えば基板上に搭載されて用いられる。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2012-191523号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】 50

しかしながら、特許文献1に記載の原子発振器では、基板に外力が加わり、変形した場合、その外力が基板を介して各パッケージに伝達される。その結果、各パッケージの位置ずれ、すなわち、原子発振器の光軸ずれが生じる可能性がある。さらに、例えば環境温度の変化や、光出射部の排熱等により基板の温度が変化する可能性がある。この場合、基板上の各パッケージにも温度変化の影響を及ぼすおそれがある。

【0007】

そこで、基板の歪み等を起因とした光軸ずれを低減することができ、さらに外部からの熱による影響を軽減することができる量子干渉装置を備える原子発振器を提供することを目的にする。

【課題を解決するための手段】

10

【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、前記ガスセルを収容し、外側角部を有する第1収容筐体と、前記ガスセルを収容した前記第1収容筐体と、前記ガスセルを加熱するヒーターと、を収容し、蓋体と底部とを有する第2収容筐体と、前記ガスセルに励起光を射出する光源を備える光射出部と、前記第2収容筐体と前記光射出部と、が設置される第1の基体と、制御部を備え、前記第1の基体が設置される第2の基体と、を備える原子発振器であって、前記第1の基体は、前記光射出部が設置される第1基準面と、前記底部が設置される第2基準面と、を有し、前記第1収容筐体の前記外側角部の内、前記第2基準面側に配置される前記第1収容筐体の筐体底面壁に接する底面外側角部に装着される第1ブロックを備え、前記第1の基体は、前記第2基準面に沿った、互いに交差する方向で前記第1ブロックが当接する突き当て部を備え、前記第1ブロックは、前記筐体底面壁と前記底部と、の間に挟持される筐体支持部と、前記第1の基体の前記突き当て部に突き当たられる筐体位置決め部と、を有していることを特徴とする。

20

【0010】

光源から射出される励起光の光軸に対してガスセルの配設位置が正確に設定されないと、ガスセル内の金属原子に所定の振動を励起させることが困難となる。特に、近年の小型化された原子発振器では、なお一層、励起光の光軸とガスセルとの相対位置精度の向上が望まれている。

30

【0011】

そこで、本適用例の原子発振器によれば、光源を備える光射出部と、ガスセルを収容する第1収容筐体と、が載置、固定される第1の基体を有し、第1の基体には、光射出部が配置される第1基準面と、第2収容筐体の底部が配置される第2基準面と、が形成されている。そして、第1収容筐体の外側角部に配設される第1ブロックの筐体位置決め部が、第2の基準面に備える突き当て部に当接されることと、底部および第1ブロックの筐体支持部によって第2基準面からの支持位置が決められることと、によって、第1基準面に配設された光射出部と、第1収容筐体と、の相対位置を正確に設定させることができる。従って、光源とガスセルとの相対位置を正確に設定することができる。

40

【0012】

また、第1ブロックによって、第1収容筐体と第2収容筐体とは、空隙を配置させて組み立てられる。形成される空隙は第1収容筐体と、第2収容筐体と、の間の断熱領域となって、第2収容筐体外部の熱が第1収容筐体に伝達されることが防止できる。従って、第1収容筐体に収容されているガスセルに、不要な熱が伝達されることが抑制され、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。

【0013】

〔適用例2〕上述の適用例において、前記第1の基体は、前記第1基準面の反対の第1裏面と、前記第2基準面の反対の第2裏面と、を有し、前記第2裏面は前記装置載置面と

50

離間し、前記第2裏面と前記装置載置面と、の間に第2ブロックが挟持されていることを特徴とする。

【0014】

上述の適用例によれば、第2ブロックが配置される第2裏面と装置載置面との離間部が、第2の基体に備えられる制御部が発生する熱を、第1の基体の第2裏面へ伝達することを防止する断熱部となり、第1の基体への余剰な熱伝達を抑制する。従って、第1の基体に載置されている第2収容筐体の内部に収容される第1収容筐体への余剰な外部からの熱伝達が抑制され、第1収容筐体に収容されるガスセルに伝達される余剰熱が抑制され、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。

【0015】

〔適用例3〕上述の適用例において、前記第1ブロックおよび前記第2ブロックのどちらか一方、もしくは両方が断熱性を有していることを特徴とする。

【0016】

上述の適用例によれば、第1ブロックおよび第2ブロックによって形成される断熱部としての空間領域に加え、第1の基体と第2の基体とに直接接触している第2ブロック、および第1の基体と第1収容筐体とに直接接触している第1ブロック、とが断熱性を有することで、ガスセルへの外部熱の伝達をなお一層低減することができる。

【0017】

〔適用例4〕上述の適用例において、前記第1収容筐体、および前記第2収容筐体は磁気遮蔽性を有していることを特徴とする。

【0018】

上述の適用例によれば、ガスセルを収容する第1収容筐体および第1収容筐体を収容する第2収容筐体の二重の収容筐体が、磁気遮蔽体であることで、磁気によるガスセル内の金属原子への影響を抑制し、発振特性の安定化を図ることが可能となる。

【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構成を示す構成図。

【図2】アルカリ金属のエネルギー状態を説明する説明図。

【図3】光射出部から射出される2つの光の周波数差と、光検出部で検出される光の強度との関係を示すグラフ。

【図4】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5】図4に示すA-A'部の断面図。

【図6】第1ブロックの外観斜視図。

【図7】第1ブロックの第1収容筐体への装着の形態を示す外観斜視図。

【図8】第1の基板としてのユニット基板の外観斜視図。

【図9】ユニット基板への光射出部と、第1収容筐体と、の組み込み方法を示す外観斜視図。

【図10】第2収容筐体の組み立て状態を示す外観斜視図。

【図11】図4に示すB-B'部の断面を模式的に表した断面模式図。

【図12】第1収容筐体の光射出部側への第1ブロック組込方法を示す外観斜視図。

【図13】第2実施形態に係る測位システムを示す概略構成図。

【図14】第3実施形態に係るクロック伝送システムを示す概略構成図。

【図15】第4実施形態に係る移動体を示す外観斜視図。

【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は、第1実施形態に係る原子発振器の概略構成を示す構成図である。また、図2は、アルカリ金属のエネルギー状態を説明する説明図、図3は、光射出部から出射される2

10

20

30

40

50

つの光の周波数差と、光検出部で検出される光の強度との関係を示すグラフである。

【0022】

先ず、本実施形態に係る原子発振器1000の原理を簡単に説明する。原子発振器1000では、ガスセル210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2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。

【0023】

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。

【0024】

光源112は、ガスセル210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112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220の検出強度は、図3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。

【0025】

本実施形態に係る原子発振器1000は、図1に示すように、後述する第1ユニット100（以下、光源ユニット100という）を構成する光射出部110に備える光源112から、ガスセル210に向かって励起光LLがガスセル210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210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210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。

【0026】

この光源112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。

【0027】

光射出部110から射出された励起光LLは、励起光LLの光軸上に設けられている光学部品261，262を透過する。光学部品261は、 $\lambda/4$ 波長板であり、光源112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262は、減光フィルター（NDフィルター）であり、ガスセル210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112の出力が大きい場合でも、ガスセル210に入射する励起光LLを所望の光量とすることができる。

【0028】

10

20

30

40

50

光学部品 261 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 250 の磁場によりガスセル 210 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 1000 の発振特性を向上させることができる。

【0029】

なお、光源 112 とガスセル 210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 112 からの励起光の強度によっては、光学部品 262 を省略することができる。

10

【0030】

ガスセル 210 内を透過した励起光 LL (共鳴光 1、共鳴光 2) は、光検出部 220 により強度が検出される。励起光 LL の光検出部 220 による検出結果は、制御部 300 に備える励起光制御部 310 に入力され、光源 112 から射出される共鳴光 1、共鳴光 2 の周波数を光検出部 220 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 310 は、前述した光検出部 220 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 112 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 310 は、光源 112 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 300 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。

20

【0031】

制御部 300 には、温度制御部 320、および磁場制御部 330 を備えている。温度制御部 320 には、ガスセル 210 の温度を検出する温度センサー 240 からの計測検出結果に基づいて、ヒーター 230 への通電を制御し、ガスセル 210 を所望の温度範囲内に維持する。磁場制御部 330 は、コイル 250 が発生する磁場が一定となるように、コイル 250 への通電を制御する。なお後述するが、このような制御部 300 は、原子発振器 1000 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。

30

【0032】

より小型化された本実施形態に係る原子発振器 1000 では、光源ユニット 100 に備える光射出部 110 の光源 112 から射出される励起光 LL が、正確にガスセル 210 に入射させることが求められ、僅かな励起光 LL の光軸ずれを防止しなければならない。

【0033】

図 4 および図 5 は、第 1 実施形態に係る原子発振器 1000 の概略を示し、図 4 は正断面図、図 5 は図 4 に示す A-A' 部の断面図である。

【0034】

図 4 および図 5 に示す原子発振器 1000 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 1000 は、制御部 300 を備える半導体装置 600 を含む図示しない回路部を搭載した第 1 の基板としてのベース基板 700 と、光射出部 110 を含む光源ユニット 100 と、ガスセル 210 および光検出部 220 とを含む第 2 ユニット 200 (以下、ガスセルユニット 200 という) と、が搭載される第 2 の基板としてのユニット基板 800 と、を備えている。

40

【0035】

光源ユニット 100 は、光射出部 110 と、光射出部 110 を保持する光源保持部 120 と、を備えている。光源保持部 120 は、光射出部 110 が装着される装着部 120a と、光源保持部 120 をユニット基板 800 へ装着、固定させる固定部 120b と、を有している。固定部 120b は、本実施形態ではネジ 10 によってユニット基板 800 の、

50

光源ユニット 100 が搭載される第 1 基準面 800a 上に載置、固定される。

【0036】

光射出部 110 は、柱状の貫通孔を有する本体部 111a と、その貫通孔の両側の開口を封鎖する 1 対の蓋部 111b, 111c と、により構成される光源収容体 111 と、光源収容体 111 に収容、固定された光源 112 を有する。光源 112 は、ガスセル 210 中のアルカリ金属原子を励起する励起光 LL を射出する機能を有する。光源 112 は、光源収容体 111 の内部に励起光 LL の射出方向（図示矢印の光軸方向 R）に沿ってガスセル 210 と対向するように配置され、本体部 111a の励起光の射出方向と交差する領域に貫通孔 111d が設けられており、この貫通孔 111d を通って光源 112 からガスセル 210 に向かって励起光 LL が射出される。

10

【0037】

ガスセル 210 を含むガスセルユニット 200 は、次のような構成となっている。ガスセルユニット 200 の中心部には、柱状の貫通孔を有する本体部 210a と、その貫通孔の両側の開口を 1 対の窓部 210b, 210c によって封鎖することにより、内部空間 S が形成されたガスセル 210 を備えている。ガスセル 210 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。

【0038】

ガスセル 210 は、ガスセル 210 を保持し、後述するヒーターに発生させる熱をガスセル 210 に伝導させるガスセル保持部材 270 により覆われている。そしてガスセル保持部材 270 の X 軸方向に沿った外周面にコイル 250 が巻き付けられている。

20

【0039】

光射出部 110 から射出された励起光 LL は、ガスセル保持部材 270 と、光軸方向 R と、が交差する部分に形成された貫通孔 270a, 270b のうち、光射出部 110 側の貫通孔 270a に配置された光学部品 261, 262 を透過する。本実施形態では、光源 112 側からガスセル 210 側へ、光学部品 261, 262 の順に配置されている。光学部品 261 は、 $\lambda/4$ 波長板である。これにより、光源 112 からの励起光 LL 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 262 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 210 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 112 の出力が大きい場合でも、ガスセル 210 に入射する励起光を所望の光量とすることができる。

30

【0040】

ガスセル保持部材 270 の光軸方向 R と並行する外周部 270c には、外周部 270c に沿ってコイル 250 が巻き付けられている。コイル 250 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 210 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 1000 の発振周波数の精度を高めることができる。なお、コイル 250 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 250 は、ガスセル 210 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 210 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。

40

【0041】

ガスセル 210 を挟んで光射出部 110 と光軸方向 R に沿って対向する位置に光検出部 220 を備えている。光検出部 220 は、ガスセル 210 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 220 は、接着剤 20 を介してガスセル保持部材 270 に接合されている。ここで、接着剤 20 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 220 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。

【0042】

50

そしてガスセル 210 と、ガスセル保持部材 270 と、コイル 250 と、光検出部 220 と、は第1収容筐体 400 の内部に収容されている。第1収容筐体 400 は、箱状の収容体 410 と、蓋体 420 と、を備え、収容体 410 内部に収容されるコイル 250 を備えガスセル 210 が保持されたガスセル保持部材 270 と、光検出部 220 と、を収納、載置し、収容体 410 を密閉するように蓋体 420 を収容体 410 に合わせることで第1収容筐体 400 を構成する。第1収容筐体 400 は、第1収容筐体 400 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収容筐体 400 に収容されるガスセル 210 への外部からの磁気を遮蔽する。

【0043】

収容体 410 のガスセル保持部材 270 に形成された貫通孔 270a に対向する位置、即ち励起光 LL の通過位置には、貫通孔 410a が設けられている。なお、貫通孔 410a 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 410a が気密接合されていることで、第1収容筐体 400 内を気密空間とすることが可能となる。なお、図4および図5では、図示を省略しているが、第1収容筐体 400 には、前述した部品以外の部品が収納されていてもよい。

【0044】

第1収容筐体 400 の収容体 410 および蓋体 420 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。このような材料を収容体 410 および蓋体 420 に用いることにより、外部からの磁気(磁場の変化)を第1収容筐体 400 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 210 内の金属原子への影響を抑制し、原子発振器 1000 としての発振特性の安定化を図ることが可能となる。

【0045】

図5に示すように、本実施形態に係る原子発振器 1000 は、ガスセル 210 を加熱する加熱素子としてのヒーター 230 を備えている。ヒーター 230 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 230 は、第1収容筐体 400 の外部に配置され、ヒーター 230 が発生した熱は、第1収容筐体 400 を介してガスセル 210 に伝達される。本実施形態では、ヒーター 230 は第1収容筐体 400 の収容体 410 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 230 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 230 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。

【0046】

ヒーター 230 が発生した熱は、ガスセル 210 に伝達され、ガスセル 210 を所定の温度に維持し、ガスセル 210 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 230 に代えて、あるいは、ヒーター 230 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。

【0047】

また、原子発振器 1000 は、図4および図5に示すように、ガスセル 210 と、ガスセル保持部材 270 と、コイル 250 と、光検出部 220 と、が内部に収納された第1収容筐体 400 と、第1収容筐体 400 の外部に配置されたヒーター 230 と、を収納し、磁気遮蔽性を有する第2収容筐体 500 を備え、ガスセルユニット 200 を構成している。

【0048】

図4に示すように、第2収容筐体 500 は、ガスセルユニット 200 が載置されるユニット基板 800 の第2基準面 800b 上に載置される底部 520 と、箱状の蓋体 510 と、を備え、蓋体 510 を第1収容筐体 400 に被せるように配設し、蓋体 510 に形成さ

10

20

30

40

50

れた複数の固定部 510a をネジ 10 によって、ユニット基板 800 の上面 800c (図 5 における網掛けハッチング部) に固定することで、筐体が構成される。

【0049】

そして、第 1 収容筐体 400 の外側と、第 2 収容筐体 500 の内側と、の間には、第 1 ブロック 30 が配置されている。図 6 は第 1 ブロック 30、図 7 は第 1 ブロック 30 の第 1 収容筐体 400 への装着の形態を示す外観斜視図である。

【0050】

図 6 に示すように、第 1 ブロック 30 は立方体あるいは直方体の基本形状を有し、基本形状の 1 つの外側角部を含む凹部 30a が形成されている。凹部 30a を構成する凹面 31a, 31b, 31c には、後述するように、第 1 収容筐体 400 の外側角部に装着され、第 1 収容筐体 400 の外面に当接する面となる。そして、凹面 31a の裏面となる面 32a と、凹面 31b の背面となる面 32b と、凹面 31c の背面となる面 32c とは第 2 収容筐体 500 の内側角部を構成する内面に当接する面となる。

【0051】

後述するように、凹面 31a と面 32a と、で構成される厚さ T1 部、凹面 31b と面 32b と、で構成される厚さ T2 部、そして凹面 31c と面 32c と、で構成される厚さ T3 部は、第 1 収容筐体 400 へ取り付けることにより、筐体支持部、もしくは筐体位置決め部となる。

【0052】

第 1 ブロック 30 は、本実施形態の係る原子発振器 1000 では、図 7 に示すように第 1 収容筐体 400 の外側角部 401a ~ 401d, 402a ~ 402d に第 1 ブロック 30 の凹部 30a が合わされて装着される。外側角部 401a ~ 401d は、光源ユニット 100 と対向する面側、すなわち励起光 LL の光源 112 側の面側に構成される。外側角部 402a ~ 402d は、光検出部 220 と対向する面側、すなわちガスセル 210 の空間 S を挟んで外側角部 401a ~ 401d とは反対の面側に構成される。なお、第 1 収容筐体 400 と、第 1 ブロック 30 と、は、例えば接着剤もしくは粘着剤によって接着することで、第 1 ブロック 30 が第 1 収容筐体 400 から容易に離脱することが防止でき、原子発振器 1000 の組立性を向上させることができる。

【0053】

ユニット基板 800 について説明する。図 8 はユニット基板 800 の外観斜視図を示し、図 9 はユニット基板 800 への光源ユニット 100 と、第 1 収容筐体 400 と、の組み込み方法を示す外観斜視図である。ユニット基板 800 には、上述したように、光源ユニット 100 と、ガスセルユニット 200 と、が載置される。ガスセルユニット 200 は、ガスセル 210 の所定の温度まで加熱するヒーター 230 を備えているが、余剰な熱は第 2 収容筐体 500 を介して外部に放出される。従って、ユニット基板 800 は、第 2 収容筐体 500 からの余剰な熱を伝達しやすい金属、例えばアルミニウムなどで形成されることが好ましい。

【0054】

ユニット基板 800 の一方の側に、光源ユニット 100 が載置される第 1 基準面 800a と、第 1 ブロック 30 を介してガスセルユニット 200 に含む第 1 収容筐体 400 が載置される第 2 基準面 800b と、上面 800c と、を備え、第 2 の基板としてのベース基板 700 に載置され、当接する第 1 基準面 800a の裏面側の第 1 裏面 800d と、第 2 基準面 800b の裏面となり、ベース基板 700 とは離間する第 2 裏面 800e と、を備えている。なお、図 8 では、第 1 基準面 800a、および第 2 基準面 800b を網掛けハッチングにより示す。

【0055】

ユニット基板 800 の第 2 基準面 800b には、後述する第 1 収容筐体 400 が第 1 ブロック 30 を介して載置される時、図示する Z 軸方向に沿った矢視 (以下、平面視という) において、ユニット基板 800 との相対位置を案内する突き当て部としての第 1 突き当て部 800f と第 2 突き当て部 800g と、が第 2 基準面 800b から上面 800c に至

10

20

30

40

50

る突起状に形成されている。第1突き当て部800fは平面視におけるY軸方向、図示ではY(-)方向に交差する第1突き当て面800hを有し、第2突き当て部800gはX軸方向、図示X(-)方向に交差する第2突き当て面800jを有している。そして、第1突き当て面800hと第2突き当て面800jとは、ユニット基板800において、第1収容筐体400の平面視での配置基準面として機能させることができる。

【0056】

突き当て部800f, 800gは、図9に示すように、ユニット基板800に第1収容筐体400が第1ブロック30を介して配置される時の位置決め部となる。図9に示すように、ユニット基板800には、第1基準面800a上に光源ユニット100が載置され、図4にも示すように本実施形態ではネジ10によってユニット基板800に固定される。
10

【0057】

第2基準面800bには第2収容筐体500を構成する底部520が載置される。そして底部520上に、第1収容筐体400の外側角部に第1ブロック30が装着された状態の第1収容筐体400が載置される。第2基準面800b上に底部520と第1ブロック30とを介して載置された第1収容筐体400は、第1ブロック30を介して第1突き当て面800hと第2突き当て面800jとに突き当てるよう、すなわち図示するY(-)方向とX(-)方向とに押し付けられながら載置される。

【0058】

従って、ユニット基板800の平面視での基準面となる第1突き当て面800hと第2突き当て面800jに対して平面視で正確な位置で第1収容筐体400が配置させることができる。そして、上述した光源ユニット100が配置されるユニット基板800の第1基準面800aと、平面視での固定位置を、第1突き当て面800hおよび第2突き当て面800jを基準として形成することにより光源ユニット100と、第1収容筐体400との相対位置を正確に配置させることができる。
20

【0059】

すなわち、光源ユニット100に備る光源112と、第1収容筐体400内に配置されたガスセル210と、の相対位置を正確に合わせて配置させることができ、光源112から射出される励起光LLをガスセル210に正確に入射させることができる。

【0060】

図10は、図9で示したユニット基板800に配置された第1収容筐体400に、第2収容筐体500の蓋体510を被せるように組み立てる状態を示す外観斜視図である。図10に示すように蓋体510は、第1ブロック30を外側角部に装着させた第1収容筐体400を蓋体510の内部空間510b内に収納するように図示するZ軸に沿って、図示上部より被せる。この時、蓋体510を図示する矢印P方向、すなわち図7にて説明した光源ユニット100側に配置される第1収容筐体400の外側角部401a～401dの内、第1突き当て面800hと第2突き当て面800jと両面に突き当てることができる、外側角部401bに装着された第1ブロック30の面32b, 32cを押し当てるようになる。
30

【0061】

より詳しく説明する。図11は図4に示すB-B'部の断面を模式的に表した断面模式図である。なお、図11は説明の便宜上、ユニット基板800と、第2収容筐体500と、第1ブロック30と、第1収容筐体400と、を模式的に図示し、その他の構成要素の図示は省略してある。
40

【0062】

図11に示すように、第1収容筐体400の収容体410の外側角部401a～401d, 402a～402dの内、第1収容筐体400のユニット基板800側の筐体底面壁としての収容体底部410cに接する底面外側角部となる外側角部401a, 401b, 402a, 402b(図7参照)それぞれに第1ブロック30が装着され、ユニット基板800の第2基準面800bに第2収容筐体500の底部520(図11には図示せず)
50

を介して載置される。この時、上述したように、収容体410の外側角部401bの装着された第1ブロック30の第2収容筐体500の内側角部を構成する内面と当接する面32bは、ユニット基板800の第1突き当て部800fの第1突き当て面800hに当接するように配置され、面32cは第2突き当て部800gの第2突き当て面800jに当接するように配置される。

【0063】

第1突き当て面800hには、外側角部402bに装着された第1ブロック30の面32cも当接するように配置される。そして第2突き当て面800jには、外側角部401aに装着された第1ブロック30の面32bも当接するように配置される。

【0064】

このように第1ブロック30が装着された第1収容筐体400がユニット基板800に配置された後、第2収容筐体500の蓋体510の内部空間510b内に第1ブロック30が装着された第1収容筐体400が収容されるように蓋体510が装着される。この時、蓋体510を、図示するP方向、すなわち第1突き当て面800hと第2突き当て面800jとの交差する位置に向けて押し付けながら装着し、図10に示すように、ユニット基板800に、ねじ10により固定鈸部510aを固定させる。このようにすることにより、第1ブロック30が装着された第1収容筐体400が第2収容筐体500の蓋体510によって、P方向に押し付けられ、第1ブロック30は、第1突き当て面800hおよび第2突き当て面800jに当接する。

【0065】

第1突き当て面800hおよび第2突き当て面800jを、ユニット基板800の平面視での基準位置、すなわち図示するX-Y平面における基準位置として、ガスセル210を内部に収容する第1収容筐体400を、ユニット基板800の基準位置に正確に配設させることができる。そして、基準位置の第1突き当て面800hおよび第2突き当て面800jが基準となってガスセル210が配設され、上述した光源ユニット100をユニット基板800に装着することにより、光源ユニット100と、ガスセル210と、に相対位置を正確に合わせて原子発振器1000に組み立てることができる。

【0066】

図12は、第1ブロック30が装着された第1収容筐体400がユニット基板800に載置された時、ユニット基板800側且つ光源ユニット100側に配置される外側角部401a, 401bに装着される第1ブロック30を例示する外観斜視図である。図12に示すように、第1ブロック30は、第1収容筐体400の外側角部401a, 401bに装着されユニット基板800に載置されることで、図6によって説明した第1ブロック30の厚みT1, T2, T3部は、次のような機能を有する。

【0067】

第1ブロック30の厚みT1部は、図4にも示すようにユニット基板800の第2基準面800bと、第2収容筐体500の底部520を介して第1収容筐体400と、によって挟持される筐体支持部となる。また、第1収容筐体400の外側角部401bに第1ブロック30が装着されることにより、厚みT2部は、ユニット基板800の第1突き当て部800fに当接し、第1収容筐体400の図示するY軸方向の位置決めが行われる筐体位置決め部となる。同様に、厚みT3部は、ユニット基板800の第2突き当て部800gに当接し、第1収容筐体400の図示するX軸方向の位置決めが行われる筐体位置決め部となる。

【0068】

上述したように、光源ユニット100と、ガスセルユニット200と、が装着されたユニット基板800は、図4に示すように、ベース基板700の装置載置面としてのユニット基板載置面700a(以下、基板載置面700aという)に装着される。ユニット基板800とベース基板700と、の固定方法には限定は無いが、本形態ではユニット基板800の第1裏面800dと、ベース基板700の基板載置面700aと、は接着剤により接着固定されている。

10

20

30

40

50

【0069】

ユニット基板800の第2裏面800eは図8で説明したように、基板載置面700aとは離間し、第2裏面800eと基板載置面700aと、の間に空間が形成される。この空間には、第2裏面800eをベース基板700に対して支持する第2ブロック40が配設される。

【0070】

ベース基板700には、制御部300を備える半導体装置600を含む図示しない回路部が搭載されている。回路部では、半導体装置600を含む電子デバイスが動作することによって発熱し、ベース基板700は加熱される。その熱がガスセルユニット200に伝達されると、ガスセル210が所定温度を超えると、安定した発振特性を得ることが困難となる虞がある。そこで、第2ブロック40によって保持される第2裏面800eと、基板載置面700aと、の間に形成される空間部は断熱部として機能し、基板載置面700aから第2裏面800eへの熱伝達を防止することができる。10

【0071】

更に、第2ブロック40を、例えば合成樹脂などの断熱性を有する材料により形成することで、第2ブロック40を通じてベース基板700から第2裏面800eへの熱伝達を防止することができる。

【0072】

半導体装置600を含む電子デバイスが動作することによって回路部で生じた熱の内、ユニット基板800の第1裏面800dからユニット基板800に伝達される熱は、ユニット基板800内を伝達し、第2基準面800bに至るものがある。第2基準面800bに到達した熱は、第2収容筐体500の底部520を伝達し、第2収容筐体500の内部に収容されたガスセル210を収容した第1収容筐体400へと伝達する。20

【0073】

しかし、図4に示すように、第1収容筐体400は、第1ブロック30によって、第2収容筐体500の内面とは空間部が形成され、この空間部が第1収容筐体400と第2収容筐体500との断熱部として機能する。更に、空間部を保持する第1ブロック30を、例えば合成樹脂などの断熱性を有する材料によって形成することにより、第1ブロック30を通して第2収容筐体500から第1収容筐体400への熱伝達を防止することができる。30

【0074】

以上、述べたように、ベース基板700の備える回路部の動作発熱による熱は、第2ブロック40と、第2ブロック40が配置される基板載置面700aと第2裏面800eとの間の空間と、によって、ユニット基板800への熱伝達が防止することができる。また、ベース基板700の備える回路部の動作発熱による熱が第1裏面800dを通してユニット基板800に伝達されても、第1ブロック30と、第1ブロック30によって形成される第1収容筐体400と、第2収容筐体500と、の間の空間と、によって第1収容筐体400への熱伝達が防止することができる。

【0075】

従って、ガスセル210を所定の温度に加熱するヒーター230から供給される熱によって温度管理されているガスセルユニット200に含まれるガスセル210に対して、余剰な熱を供給する熱源の一つである回路で発生する熱を、第1収容筐体400へ伝達する経路を断熱することができ、安定した発振性能を有する原子発振器1000を得ることができる。40

【0076】

(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1000を備え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を説明する。図13は、GPS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1000を用いた場合の概略構成を示す図である。50

【0077】

図13に示す測位システム2000は、GPS衛星2100と、基地局装置2200と、GPS受信装置2300とで構成されている。GPS衛星2100は、測位情報(GPS信号)を送信する。基地局装置2200は、例えば電子基準点(GPS連続観測局)に設置されたアンテナ2201を介してGPS衛星2100からの測位情報を高精度に受信する受信装置2202と、この受信装置2202で受信した測位情報を、アンテナ2203を介して送信する送信装置2204とを備える。

【0078】

ここで、受信装置2202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実施形態の原子発振器1000を備える電子装置である。このような受信装置2202は、優れた信頼性を有する。また、受信装置2202で受信された測位情報は、リアルタイムで送信装置2204により送信される。GPS受信装置2300は、GPS衛星2100からの測位情報を、アンテナ2301を介して受信する衛星受信部2302と、基地局装置2200からの測位情報を、アンテナ2303を介して受信する基地局受信部2304とを備える。

【0079】

(第3実施形態)

第3実施形態として、第1実施形態に係る原子発振器1000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14は、クロック伝送システムに本発明に係る原子発振器1000を用いた場合の概略構成を示す図である。

【0080】

図14に示すクロック伝送システム3000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。

【0081】

このクロック伝送システム3000は、A局(上位(N系))のクロック供給装置(CSΜ:Clock Supply Module)3001およびSDH(Synchronous Digital Hierarchy)装置3002と、B局(上位(E系))のクロック供給装置2003およびSDH装置3004と、C局(下位)のクロック供給装置3005およびSDH装置3006, 3007とを備える。クロック供給装置3001は、原子発振器1000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3001内の原子発振器1000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3008, 3009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。

【0082】

SDH装置3002は、クロック供給装置3001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3005に伝送する。クロック供給装置3003は、原子発振器1000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3003内の原子発振器1000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3008, 3009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。

【0083】

SDH装置3004は、クロック供給装置3003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3005に伝送する。クロック供給装置3005は、クロック供給装置3001, 3003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。

【0084】

ここで、クロック供給装置3005は、通常、クロック供給装置3001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

10

20

30

40

50

、クロック供給装置3005は、クロック供給装置3003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3006は、クロック供給装置3005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3007は、クロック供給装置3005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。

【0085】

(第4実施形態)

第4実施形態として、第1実施形態に係る原子発振器1000を備える移動体の一例として自動車を例に説明する。図15は、移動体としての自動車に本発明に係る原子発振器1000を用いた場合の概略構成を示す斜視図である。10

【0086】

図15に示す移動体としての自動車4000は、車体4001と、4つの車輪4002とを有しており、車体4001に設けられた図示しない動力源によって車輪4002を回転させるように構成されている。このような自動車4000には、原子発振器1000が内蔵されている。そして、原子発振器1000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。

【0087】

なお、本発明の原子発振器1000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

【0088】

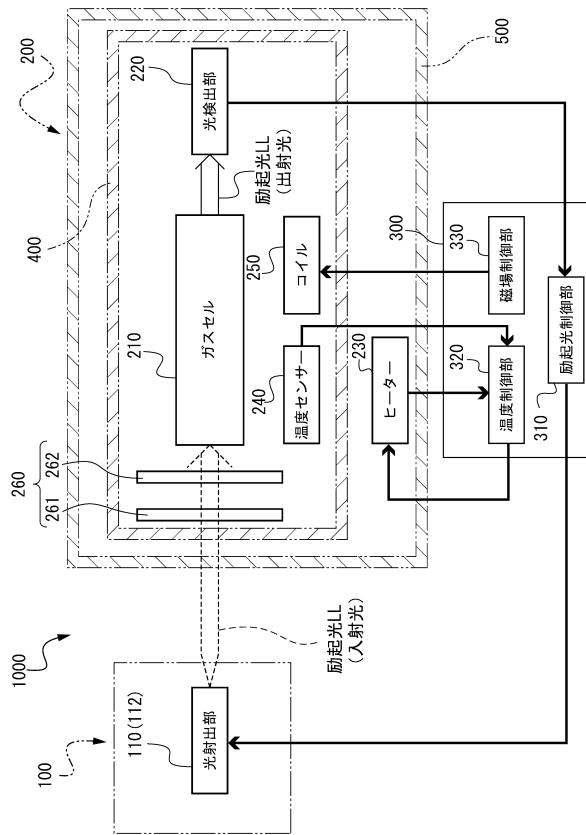
以上、本発明の原子発振器1000について、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これらに限定されるものではなく、例えば、前述した実施形態の各部の構成は、同様の機能を発揮する任意の構成のものに置換することができ、また、任意の構成を附加することもできる。また、本発明は、前述した各実施形態の任意の構成同士を組み合わせるようにしてもよい。30

【符号の説明】

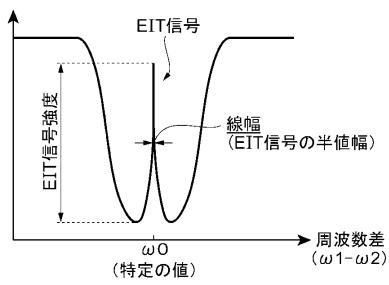
【0089】

10...ネジ、20...接着剤、30...第1ブロック、40...第2ブロック、100...第1ユニット（光源ユニット）、110...光射出部、120...光源保持部、200...第2ユニット（ガスセルユニット）、210...ガスセル、220...光検出部、230...ヒーター、250...コイル、270...ガスセル保持部材、400...第1収容筐体、500...第2収容筐体、600...半導体装置、700...ベース基板、800...ユニット基板、1000...原子発振器。40

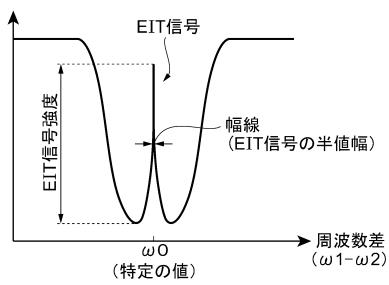
【図1】



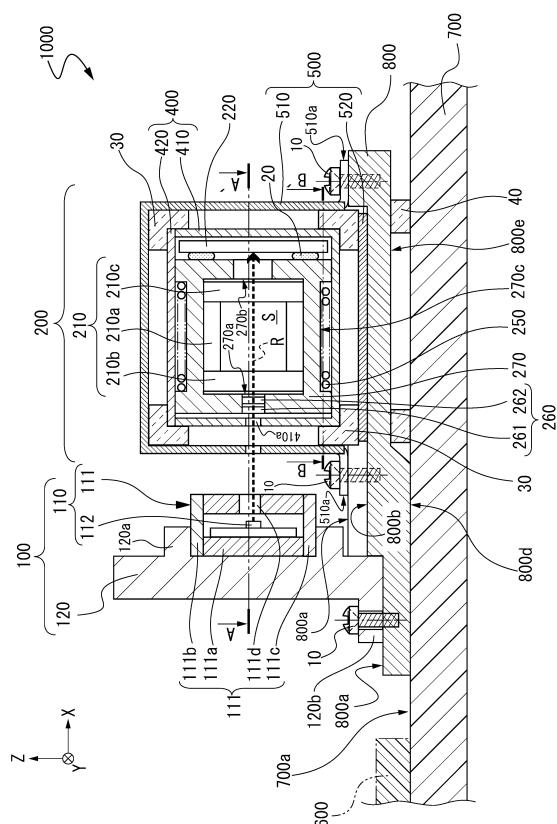
【図2】



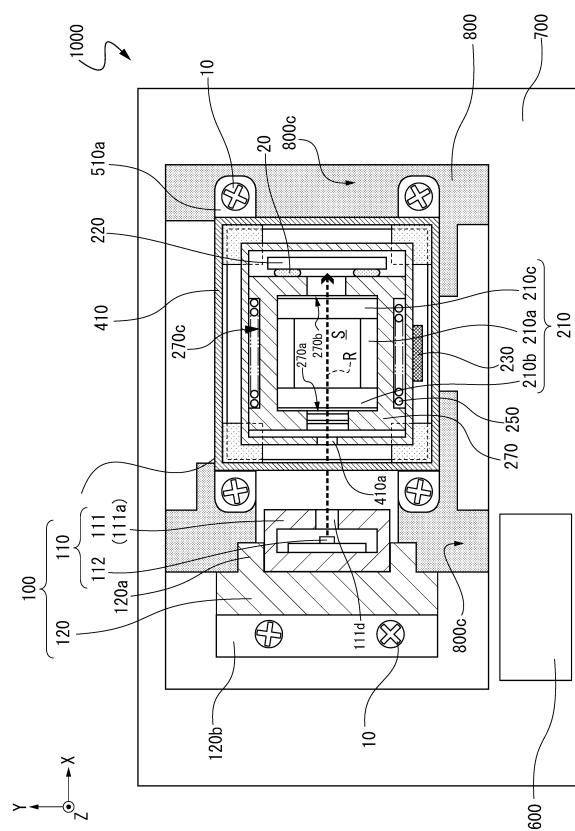
【図3】



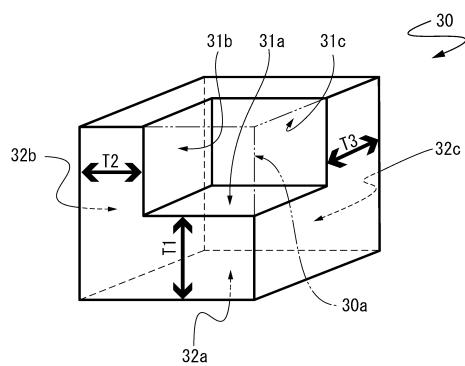
【図4】



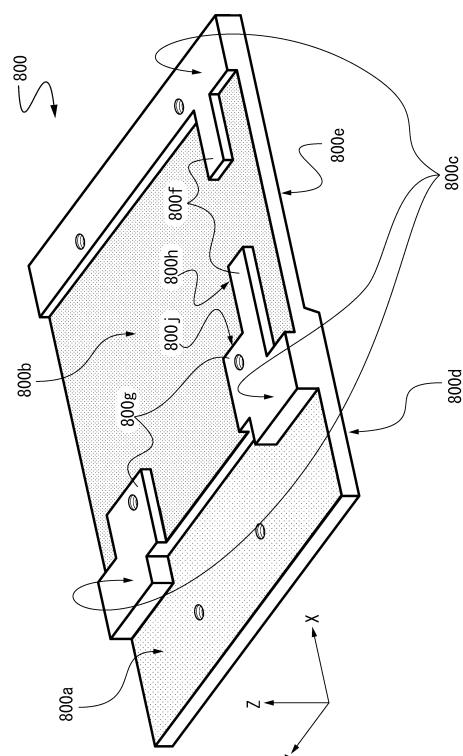
【図5】



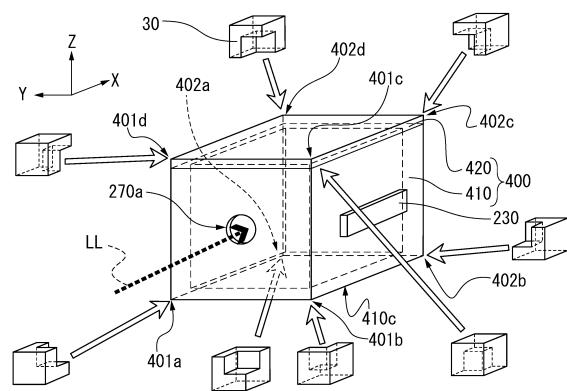
【図6】



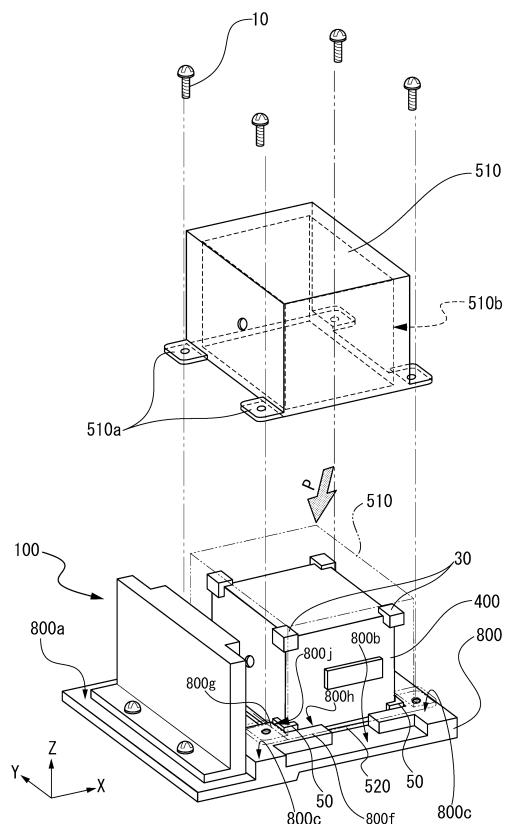
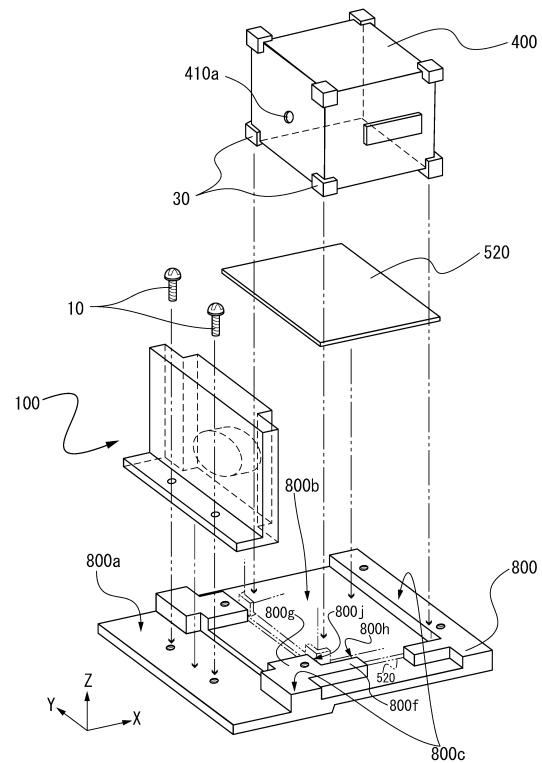
【図8】



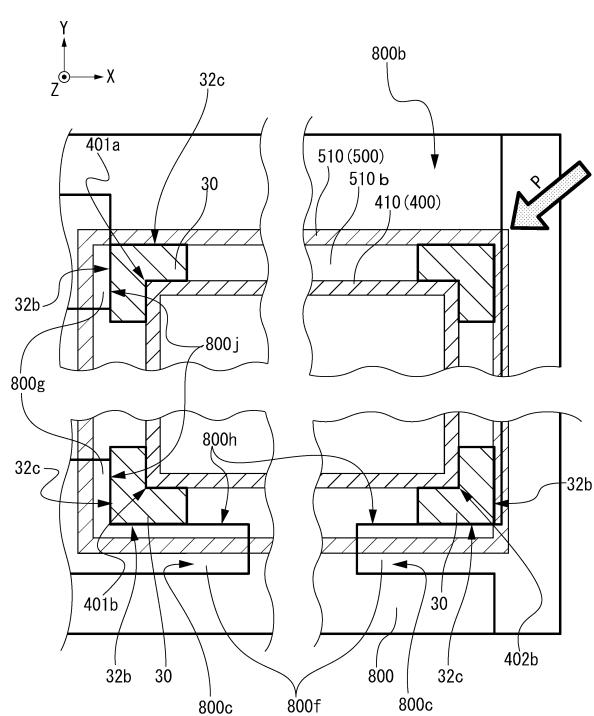
【図7】



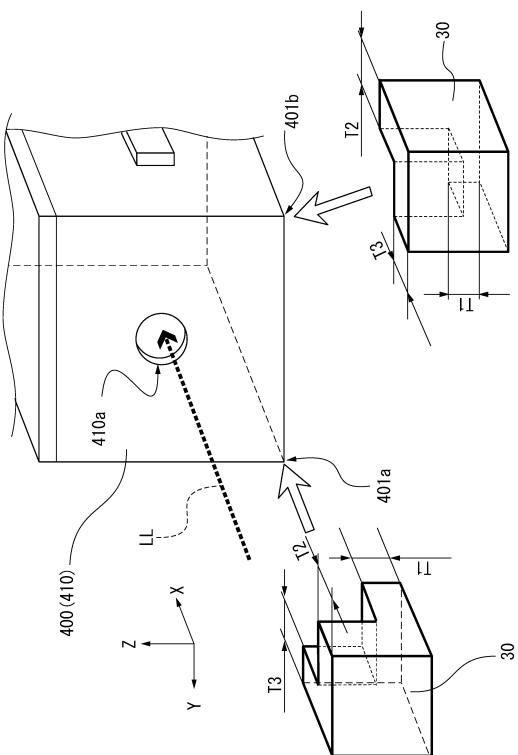
【図10】



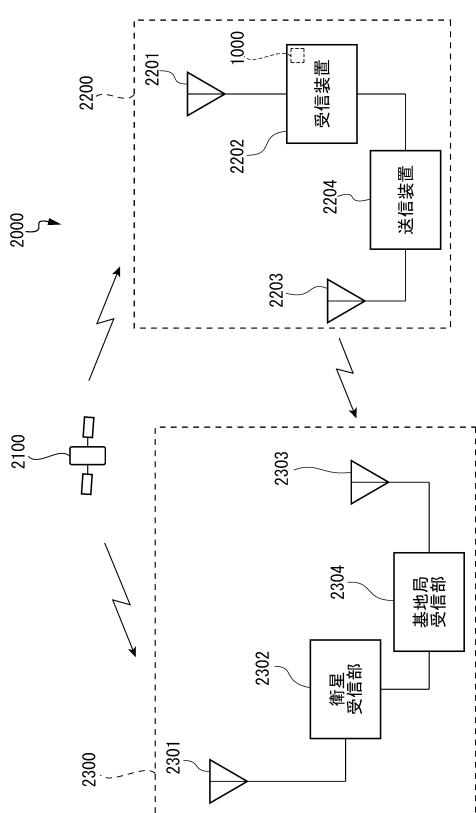
【図11】



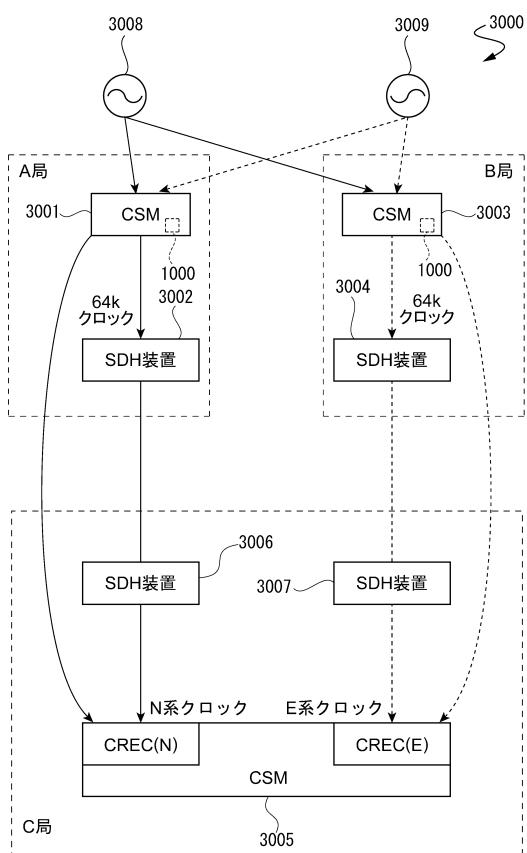
【図12】



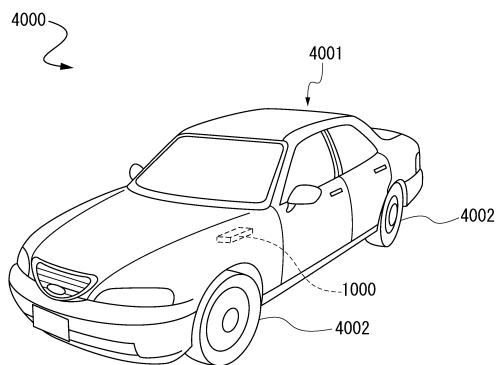
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

審査官 高 橋 徳浩

(56)参考文献 特開2009-231688(JP,A)
特開2015-002447(JP,A)
特開2015-118962(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 1/06
H03L 1/00 - H03L 9/00