

(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2017-73623

(P2017-73623A)

(43) 公開日 平成29年4月13日(2017.4.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03L 7/26 (2006.01)	H03L 7/26	5J106
H01S 1/06 (2006.01)	H01S 1/06	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2015-198261 (P2015-198261)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成27年10月6日 (2015.10.6)		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	100164633
			弁理士 西田 圭介
		(74) 代理人	100179475
			弁理士 仲井 智至
		(72) 発明者	珙道 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
		Fターム(参考)	5J106 CC07 CC08 CC09 HH06 KK12

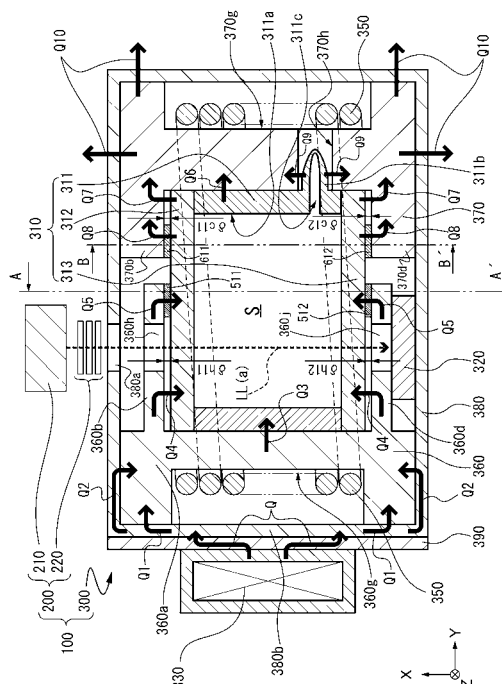
(54) 【発明の名称】 原子発振器

(57) 【要約】

【課題】寸法バラツキがあってもガスセルの損傷を防止し、且つ、加熱部からのガスセルへの熱伝達の効率を損なわず、高い動作安定性を備える原子発振器を提供する。

【解決手段】金属原子が封入されているガスセルと、前記ガスセルを加熱する加熱部と、前記ガスセルと前記加熱部との間に位置し、前記ガスセルに熱的に接続され、前記加熱部から発生する熱を前記ガスセルに伝達する伝熱部と、前記伝熱部と離間して前記ガスセルに熱的に接続され、前記ガスセルの熱を吸熱する吸熱部と、を備えている原子発振器であって、前記伝熱部は、前記ガスセルの外側に配置される一対のガスセル収納壁を少なくとも備えるガスセル収納部有し、と、前記伝熱部の前記ガスセル収納壁と、によって形成される間隙に挟持される熱伝導性弾性部材を備えている。

【選択図】 図5



【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、
前記ガスセルを加熱する加熱部と、
前記ガスセルと前記加熱部との間に位置し、前記ガスセルに熱的に接続され、前記加熱部から発生する熱を前記ガスセルに伝達する伝熱部と、
前記伝熱部と離間して前記ガスセルに熱的に接続され、前記ガスセルの熱を吸熱する吸熱部と、を備えている原子発振器であって、
前記伝熱部は、前記ガスセルの外側に配置されるガスセル収納壁を備えるガスセル収納部を有し、
前記ガスセルと、前記伝熱部の前記ガスセル収納壁と、によって形成される間隙に挟持される熱伝導性弾性部材を備えている、
ことを特徴とする原子発振器。

10

【請求項 2】

前記熱伝導性弾性部材は、ゴム系の接着剤、パッキン、もしくはシート片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】

前記熱伝導弾性部材は、ゴム系充填剤であることを特徴とする請求項 1 に記載の原子発振器。

20

【請求項 4】

前記ガスセル内を透過する磁場を発生させるコイルを備え、
前記ガスセルと、前記伝熱部と、前記吸熱部と、前記コイルと、を内部に収納する磁気遮蔽体を備え、
前記伝熱部と、前記吸熱部と、が前記磁気遮蔽体と熱的に接続され、
前記加熱部は、前記磁気遮蔽体の外部と熱的に接続されている、
ことを特徴とする請求項 1 から 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ものである。

30

【背景技術】**【0002】**

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。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し、そのアルカリ金属をガス状に保つために、ガスセルをヒーターにより所定温度に加熱する必要がある。ここで、一般に、ガスセル内のアルカリ金属は、そのすべてがガス化するのではなく、一部が余剰分として液体となる。このような余剰分のアルカリ金属原子は、ガスセルの温度の低い部分に析出 (結露) することにより液体となるが、励起光の通過領域に存在すると、励起光を遮ってしまい、その結果、原子発振器の発振特性の低下を招くこととなる。

40

【0004】

そこで、特許文献 1 に係るガスセルでは、アルカリ金属を析出させるための凹部が励起光の光軸からずれた位置に設けられている。そして、ヒーターでガスセルの凹部から離間した部分を加熱することで、凹部の温度を周辺部よりも低下した状態とする。これにより、アルカリ金属の余剰分は液体として凹部に貯留され、余剰分が励起光を遮るのを防止し

50

ている。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献 1 に記載の原子発振器を小型化した場合、その大きさによっては、ヒーターから発生した熱が原子発振器の全体に伝達されることとなる。このため、凹部の温度まで上昇してしまう。その結果、アルカリ金属の余剰分が液体として凹部に貯留されず、余剰分が励起光を遮る可能性がある。このように、小型化された原子発振器のガスセルの温度を部分的に変化させるのは困難である。

【 0 0 0 6 】

特許文献 2 には、原子発振器に備えられる量子干渉装置が開示されている。特許文献 2 に開示された量子干渉装置は、加熱部から供給される熱をガスセルに伝達する加熱部と、ガスセルに低温部を形成させる放熱部と、を備えることで、アルカリ金属の余剰分が励起光の通過経路に結露することを防止することがでる。従って、信頼性の高い量子干渉装置を得ることができるとしている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 7 - 3 2 4 8 1 8 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 1 5 - 1 2 2 5 9 7 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

特許文献 2 に記載の量子干渉装置では、ガスセルに接続される加熱部、あるいは放熱部は、ガスセルとの接続部が密着していることで、熱移動（熱伝達）が行われる。しかし、周知の通り、部品製作には、いわゆる「寸法バラツキ」が発生する。この寸法バラツキによって、ガスセルと加熱部、あるいはガスセルと放熱部、との間の隙間にもばらつきが生じてしまう。例えば、隙間が大きくなると、隙間にある空気層が断熱層となって、ガスセルの加熱、あるいは放熱の効率を著しく低下させることとなる。特に、加熱部において熱伝達の効率が低下することによって、ガスセルの温度が不安定となり、信頼性の低い量子干渉装置となってしまふ。あるいは、隙間ではなく互いの部品が重なり合い、干渉し合うような状態となると、ガラス製のガスセルに大きな負荷が掛り、ガスセルを損傷、もしくは破壊させてしまう虞があった。

【 0 0 0 9 】

そこで、本発明の目的は、寸法バラツキがあってもガスセルの損傷を防止し、且つ、加熱部からのガスセルへの熱伝達の効率を損なわず、高い動作安定性を備える原子発振器を提供する。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

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。

【 0 0 1 1 】

〔 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、前記ガスセルを加熱する加熱部と、前記ガスセルと前記加熱部との間に位置し、前記ガスセルに熱的に接続され、前記加熱部から発生する熱を前記ガスセルに伝達する伝熱部と、前記伝熱部と離間して前記ガスセルに熱的に接続され、前記ガスセルの熱を吸熱する吸熱部と、を備えている原子発振器であって、前記ガスセルの外側に配置されるガスセル収納壁を備えるガスセル収納部を有し、前記ガスセルと、前記加熱部の前記ガスセル収納壁と、によって形成される隙間に挟持される熱伝導性弾性部材を備えていることを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

本適用例の原子発振器によれば、小型化されたガスセルであっても、周辺部よりも温度が低い低温部を効果的に形成することができる。よって、低温部に金属原子を結露さ

10

20

30

40

50

せ、余剰分を液体として貯留することができる。このように、余剰分を容易に制御することができるため、余剰分が励起光の光路を遮るのを容易に防止することができ、よって、量子干渉装置の信頼性を高めることができる。

【0013】

更に、ガスセルの小型化は、ガスセルを構成する材料の薄型化となり、ガスセル収納壁とガスセルの製造バラツキによる部品干渉が原因とするガスセル損傷を回避させるために、伝熱部のガスセル収納壁と、ガスセルと、の間に隙間を設ける必要があった。しかし、ガスセル収納壁と、ガスセルと、の間の隙間は、空気などの気体が存在する領域となって、ガスセル収納壁からガスセルへの熱伝達性を低下させる。そこで、ガスセル収納壁と、ガスセルと、の間の隙間に、熱伝導性弾性部材を配設させることにより、ガスセル収納壁からガスセルへの熱伝達経路を確保し、更に、熱伝導性弾性部材の弾性によって、ガスセル収納壁間にガスセルを安定して固定させることができる。

10

【0014】

〔適用例2〕上述の適用例において、前記熱伝導性弾性部材は、ゴム系の接着剤、パッキン、もしくはシート片であることを特徴とする。

【0015】

上述の適用例によれば、ガスセル収納壁内にガスセルを配設した後に、ガスセル収納壁と、ガスセルと、の間に生じる隙間に熱伝導性弾性部材を容易に配設することができる。

【0016】

〔適用例3〕上述の適用例において、前記熱伝導弾性部材は、ゴム系充填剤であることを特徴とする。

20

【0017】

上述の適用例によれば、ガスセル収納壁内にガスセルを配設した後に、ガスセル収納壁と、ガスセルと、の間に生じる隙間にばらつきが生じても、充填可能な熱伝導性弾性部材をその隙間に充填することで、容易に配設することができる。

【0018】

〔適用例4〕上述の適用例において、前記ガスセル内を透過する磁場を発生させるコイルを備え、前記ガスセルと、前記伝熱部と、前記吸熱部と、前記コイルと、を内部に収納する磁気遮蔽体を備え、前記伝熱部と、前記吸熱部と、が前記磁気遮蔽体と熱的に接続され、前記加熱部は、前記磁気遮蔽体の外部と熱的に接続されていることを特徴とする。

30

【0019】

上述の適用例によれば、コイルに通電することにより、ガスセル内を透過する磁場を発生させ、ガスセル内に存在するアルカリ金属の原子の縮退している異なるエネルギー準位のギャップをゼーマン分裂によって拡げて分解能を向上させ、EIT(電磁誘起透明化現象: Electromagnetically Induced Transparency)信号の線幅を小さくすることができる。コイルから発生される磁場を安定させるために、コイル以外の、外部からの磁力線のガスセルへの侵入を防止するため、磁気遮蔽体を備える。

【0020】

また、外気と繋がる磁気遮蔽体に加熱部、伝熱部および吸熱部が熱的に接続されることにより、加熱部で生じさせた熱を、加熱部と磁気遮蔽体との接続部から磁気遮蔽体の形状に沿って広い範囲へ拡散させ、より多くの熱を伝熱部へ伝達させることができる。一方、吸熱部を磁気遮蔽体と熱的に接続させることにより、磁気遮蔽体に広い外気への放熱領域を形成させることができ、吸熱部に伝達された熱を効率的に放熱させることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】第1実施形態に係る原子発振器の概略構成を示す模式図。

【図2】アルカリ金属のエネルギー状態を説明するための状態図。

【図3】光射出部から出射される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。

50

- 【図 4】第 1 実施形態に係る原子発振器を模式的に示す斜視図。
- 【図 5】第 1 実施形態に係る原子発振器が備える第 2 ユニットの断面図。
- 【図 6】図 5 に示す伝熱部の斜視図。
- 【図 7】図 5 に示す A - A' 部の断面図。
- 【図 8】図 5 に示す吸熱部の斜視図。
- 【図 9】図 5 に示す B - B' 部の断面図。
- 【図 10】第 1 実施形態に係る原子発振器に備えるガスセルの内部温度分布を説明する模式図。
- 【図 11】第 1 実施形態に係る原子発振器の伝熱部材のその他の形態を示す断面図。
- 【図 12】第 1 実施形態に係る原子発振器の伝熱部材のその他の形態を示す断面図。
- 【図 13】第 1 実施形態に係る原子発振器の伝熱部材のその他の形態を示す断面図。
- 【図 14】第 1 実施形態に係る原子発振器の伝熱部材のその他の形態を示す断面図。
- 【図 15】第 2 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 3 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。
- 【図 17】第 4 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】

10

20

30

40

50

【0022】
以下、図面を参照して、本発明に係る実施形態を説明する。

【0023】
(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 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。

【0024】
図 1 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。この原子発振器 100 は、図 1 に示すように、光射出側のユニットである第 1 ユニット 200 と、光検出側のユニットである第 2 ユニット 300 と、第 1 ユニット 200 および第 2 ユニット 300 を制御する制御部 400 と、を備える。

【0025】
第 1 ユニット 200 は、光射出部 211 と、光射出部 211 を収納し、光を透過する窓部 213 を有する第 1 パッケージ 212 とを備える光射出装置 210 と、光学部品群 220 と、を備えている。また、第 2 ユニット 300 は、ガスセル 310 と、光検出部 320 と、コイル 350 と、加熱部としてのヒーター 330 と、温度センサー 340 と、後述する伝熱部と、吸熱部と、これらを収納する磁気シールドと、を備える。

【0026】
まず、原子発振器 100 の原理を簡単に説明する。図 1 に示すように、原子発振器 100 では、光射出部 211 がガスセル 310 に向けて励起光 LL を出射し、ガスセル 310 を透過した励起光 LL を光検出部 320 が検出する。ガスセル 310 内には、ガス状のアルカリ金属（金属原子）が封入されており、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、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。

【0027】
光射出部 211 から出射された励起光 LL は、周波数の異なる 2 種の共鳴光 1, 2 を含んでおり、この 2 種の共鳴光 1, 2 を前述したようなガス状のアルカリ金属に照射したとき、共鳴光 1 の周波数 ν_1 と共鳴光 2 の周波数 ν_2 との差 ($\nu_1 - \nu_2$) に応じて、共鳴光 1, 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 ν_1 と共鳴光 2 の周波数 ν_2 との差 ($\nu_1 - \nu_2$) 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, 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, 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 C P T 現象または電磁誘起透明化現象 (E I T : E l e c t r o m a g n e t i c a l l y I n d u c e d T r a n s p a r e n c y) と呼ぶ。
【 0 0 2 8 】

例えば、光射出部 2 1 1 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 3 2 0 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 E I T 信号として検出する。この E I T 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 E I T 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。

10

【 0 0 2 9 】

以下、本実施形態の原子発振器 1 0 0 の具体的な構成について説明する。図 4 は、図 1 に示す原子発振器 1 0 0 を模式的に示す斜視図、図 5 は、図 1 に示す原子発振器 1 0 0 が備える第 2 ユニット 3 0 0 の断面図である。図 5 では、説明の便宜上、互いに直交する 3 つの軸として、X 軸、Y 軸および Z 軸を図示しており、その図示された各矢印の先端側を「+ (プラス)」、基端側を「- (マイナス)」という。また、以下では、説明の便宜上、X 軸に沿った方向を「X 軸方向」、Y 軸に沿った方向を「Y 軸方向」、Z 軸に沿った方向を「Z 軸方向」ともいう。

20

【 0 0 3 0 】

原子発振器 1 0 0 は、図 4 に示すように、第 1 ユニット 2 0 0 と、第 2 ユニット 3 0 0 と、制御部 4 0 0 (図 4 には図示せず。図 1 参照。) と、を備える。そして、第 1 ユニット 2 0 0 および第 2 ユニット 3 0 0 は、配線およびコネクタ (図示せず) を介して制御部 4 0 0 に電氣的に接続され、制御部 4 0 0 により駆動制御される。

【 0 0 3 1 】

第 1 ユニット 2 0 0 は、光射出部 2 1 1 と、光射出部 2 1 1 を収納する第 1 パッケージ 2 1 2 と、窓部 2 1 3 と、を備える光射出装置 2 1 0 と、光学部品群 2 2 0 と、を備える。

【 0 0 3 2 】

光射出部 2 1 1 は、ガスセル 3 1 0 中のアルカリ金属原子を励起する励起光 L L を出射する機能を有する。具体的には、光射出部 2 1 1 は、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) を含む光を励起光 L L として出射するものである。共鳴光 1 の周波数 1 は、ガスセル 3 1 0 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 (共鳴) し得るものである。また、共鳴光 2 の周波数 2 は、ガスセル 3 1 0 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 (共鳴) し得るものである。

30

【 0 0 3 3 】

この光射出部 2 1 1 としては、前述したような励起光 L L を出射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 (V C S E L) 等の半導体レーザー等を用いることができる。また、このような光射出部 2 1 1 は、図示しない温度調節素子 (発熱抵抗体、ペルチェ素子等) により、所定温度に温度調節される。

40

【 0 0 3 4 】

第 1 パッケージ 2 1 2 は、前述した光射出部 2 1 1 を収納する。第 1 パッケージ 2 1 2 は、例えば、図 4 に示すように、外形形状がブロック状をなす筐体で構成されている。また、第 1 パッケージ 2 1 2 からは、例えば、複数のリード (図示せず) が突出しており、これらは、配線を介して光射出部 2 1 1 に電氣的に接続されている。そして、各リードは、図示しないコネクタ等で配線基板と電氣的に接続されている。このコネクタとしては、例えば、フレキシブル基板や、ソケット状をなすもの等を用いることができる。また、第 1 パッケージ 2 1 2 の第 2 ユニット 3 0 0 側の壁部には、窓部 2 1 3 が設けられている。この窓部 2 1 3 は、ガスセル 3 1 0 と光射出部 2 1 1 との間の光軸 (励起光 L L の軸

50

a) 上に設けられている。そして、窓部 2 1 3 は、前述した励起光 L L に対して透過性を有する。

【 0 0 3 5 】

本実施形態では、窓部 2 1 3 は、レンズである。これにより、励起光 L L を無駄なくガスセル 3 1 0 へ照射することができる。また、窓部 2 1 3 は、励起光 L L を平行光とする機能を有する。すなわち、窓部 2 1 3 はコリメートレンズであり、後述するガスセル 3 1 0 の内部空間 S における励起光 L L は平行光である。これにより、内部空間 S に存在するアルカリ金属の原子のうち、光射出部 2 1 1 から出射した励起光 L L により共鳴するアルカリ金属の原子の数を多くすることができる。その結果、E I T 信号の強度を高めることができる。

10

【 0 0 3 6 】

なお、窓部 2 1 3 は、励起光 L L に対する透過性を有するものであれば、レンズに限定されず、例えば、レンズ以外の光学部品であってもよいし、単なる光透過性の板状部材であってもよい。この場合、前述したような機能を有するレンズは、例えば、後述する光学部品群 2 2 0 を構成する光学部品 2 2 1 , 2 2 2 , 2 2 3 と同様、第 1 パッケージ 2 1 2 および後述する磁気遮蔽体 3 8 0 との間に設けられていてもよい。このような第 1 パッケージ 2 1 2 の窓部 2 1 3 以外の部分の構成材料としては、特に限定されず、例えば、セラミックス、金属、樹脂等を用いることができる。

【 0 0 3 7 】

また、第 1 パッケージ 2 1 2 の窓部 2 1 3 以外の部分が励起光 L L に対して透過性を有する材料で構成されている場合、第 1 パッケージ 2 1 2 の窓部 2 1 3 以外の部分と窓部 2 1 3 と一体的に形成することができる。なお、第 1 パッケージ 2 1 2 の窓部 2 1 3 以外の部分が励起光 L L に対して透過性を有しない材料で構成されている場合、第 1 パッケージ 2 1 2 の窓部 2 1 3 以外の部分と窓部 2 1 3 とを別体で形成し、これらを公知の接合方法により接合すればよい。

20

【 0 0 3 8 】

また、第 1 パッケージ 2 1 2 内が気密空間であることが好ましい。これにより、第 1 パッケージ 2 1 2 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、その結果、原子発振器 1 0 0 の特性を向上させることができる。また、第 1 パッケージ 2 1 2 内には、光射出部 2 1 1 の温度を調節する温度調節素子や温度センサー等が収納されている（図示せず）。かかる温度調節素子としては、例えば、発熱抵抗体（ヒーター）、ペルチェ素子等が挙げられる。このような第 1 パッケージ 2 1 2 によれば、光射出部 2 1 1 から第 1 パッケージ 2 1 2 外への励起光 L L の出射を許容しつつ、光射出部 2 1 1 を第 1 パッケージ 2 1 2 内に収納することができる。

30

【 0 0 3 9 】

第 2 ユニット 3 0 0 は、上述したガスセル 3 1 0 と、光検出部 3 2 0 と、コイル 3 5 0 と、伝熱部 3 6 0 と、吸熱部 3 7 0 と、を内部に収納する磁気遮蔽体 3 8 0 と、ヒーター 3 3 0 と、温度センサー 3 4 0 とを備える。

【 0 0 4 0 】

ガスセル 3 1 0 内には、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。また、ガスセル 3 1 0 内には、必要に応じて、アルゴン、ネオン等の希ガス、窒素等の不活性ガスが緩衝ガスとしてアルカリ金属ガスとともに封入されている。

40

【 0 0 4 1 】

本実施形態に係る原子発振器 1 0 0 に備えるガスセル 3 1 0 は、図 5 に示すように、貫通孔 3 1 1 a を有する本体部 3 1 1 と、その貫通孔 3 1 1 a の両側の開口を封鎖し、励起光 L L が透過可能となる透過領域を備える光透過部としての一对の窓部 3 1 2 、 3 1 3 とを有する。これにより、前述したようなアルカリ金属が封入される内部空間 S が形成されている。また、本体部 3 1 1 の一部は、外側に向って突出した突出部 3 1 1 b が形成されており、突出部 3 1 1 b の内側は、液だまり部 3 1 1 c として機能する。この液だまり部

50

３１１ｃは、アルカリ金属の一部が余剰分として液状で貯留される部分である。後述するように、この液だまり部３１１ｃの温度を、周辺部よりも低下させることで、液だまり部３１１ｃ内にアルカリ金属の余剰分を結露させて貯留することができる。

【００４２】

本体部３１１を構成する材料としては、特に限定されず、金属材料、樹脂材料、ガラス材料、シリコン材料、水晶等が挙げられるが、加工性や窓部３１２，３１３との接合の観点から、ガラス材料、シリコン材料を用いるのが好ましい。このような本体部３１１には、窓部３１２，３１３が気密的に接合されている。これにより、ガスセル３１０の内部空間Ｓを気密空間とすることができる。

【００４３】

本体部３１１と窓部３１２，３１３との接合方法としては、これらの構成材料に応じて決められるものであり、特に限定されないが、例えば、接着剤による接合方法、直接接合法、陽極接合法等を用いることができる。また、窓部３１２，３１３を構成する材料としては、前述したような励起光ＬＬに対する透過性を有していれば、特に限定されないが、本体部３１１との接合の観点から、例えば、シリコン材料、ガラス材料、水晶等が挙げられ、本体部３１１と同じ材料であることがなお好ましい。

【００４４】

各窓部３１２，３１３は、前述した光射出装置２１０からの励起光ＬＬに対する透過性を有している。そして、一方の窓部３１２は、ガスセル３１０内へ入射する励起光ＬＬが透過するものであり、他方の窓部３１３は、ガスセル３１０内から出射した励起光ＬＬが透過するものである。そして、ガスセル３１０は、ヒーター３３０により加熱され、所定温度に温度調節される。

【００４５】

光検出部３２０は、ガスセル３１０内を透過した励起光ＬＬ（共鳴光１，２）の強度を検出する機能を有する。この光検出部３２０としては、上述したような励起光ＬＬ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。また、光検出部３２０は、本実施形態では、磁気遮蔽体３８０内に収納されているが、磁気遮蔽体３８０の外側に設けられていてもよい。この場合、磁気遮蔽体３８０には、ガスセル３１０を通過した励起光ＬＬが通過する窓部が形成されている。

【００４６】

コイル３５０は、通電により、内部空間Ｓに励起光ＬＬの光軸ａに沿った方向の磁場を発生させ、内部空間Ｓに存在するアルカリ金属の原子の縮退している異なるエネルギー準位間のギャップをゼーマン分裂によって広げて分解能を向上させ、ＥＩＴ信号の線幅を小さくすることができる。なお、コイル３５０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く、直流磁場と交流磁場とを重畳させた磁場であってもよい。コイル３５０としては、特に限定されず、例えば、ソレノイド型を構成するようにガスセル３１０の外周に沿って巻回して設けられていてもよいし、ヘルムホルツ型を構成するように１対のコイルをガスセル３１０を介して対向させてもよい。本実施形態では、コイル３５０は、ソレノイド型で構成され、伝熱部３６０、ガスセル３１０および吸熱部３７０の外側に巻かれている。このコイル３５０は、図示しない配線を介して、後述する制御部４００の磁場制御部４３０に電氣的に接続され、コイル３５０に通電が行なわれている。

【００４７】

磁気遮蔽体３８０は、外形形状がブロック状をなす筐体で構成されており、内部にコイル３５０、伝熱部３６０、ガスセル３１０および吸熱部３７０を収納する。この磁気遮蔽体３８０は、磁気シールド性を有し、ガスセル３１０を外部磁界から遮蔽する機能を有している。これにより、磁気遮蔽体３８０内でコイル３５０が発生する磁場を安定させることができる。よって、原子発振器１００の発振特性の向上を図ることができる。

【００４８】

また、磁気遮蔽体 380 の第 1 ユニット 200 側の壁部には、その厚さ方向に貫通する窓部 380 a が設けられ、光射出装置 210 から出射した励起光 LL が窓部 380 a を介してガスセル 310 内に入射される。なお、磁気遮蔽体 380 の構成材料としては、磁気シールド性を有する材料が用いられ、例えば、Fe、各種鉄系合金（ケイ素鉄、パーマロイ、アモルファス、センダスト、コバール）等の軟磁性材料が挙げられ、中でも、磁気シールド性が優れるという観点から、コバール、パーマロイ等の Fe - Ni 系合金を用いることが好ましい。また、磁気遮蔽体 380 からは、光検出部 320、ヒーター 330、温度センサー 340（図示せず）およびコイル 350 に電氣的に接続されている複数のリード（図示せず）が突出しており、これら複数のリードは、配線を介して図示しないコネクター等で配線基板と電氣的に接続されている。このコネクターとしては、例えば、フレキシブル基板や、ソケット状をなすもの等を用いることができる。

10

【0049】

ヒーター 330 は、前述したガスセル 310 内に気密封止されているアルカリ金属を加熱する機能を有する。これにより、ガスセル 310 中のアルカリ金属を所望濃度のガス状に維持することができる。ヒーター 330 は、通電により発熱するものであり、例えば、ガスセル 310 の外表面上に設けられた発熱抵抗体で構成されている。このような発熱抵抗体は、例えば、プラズマ CVD、熱 CVD のような化学蒸着法（CVD）、真空蒸着等の乾式メッキ法、ゾル・ゲル法等を用いて形成される。なお、発熱抵抗体が、ガスセル 310 の励起光 LL の入射部側または出射部側に設けられる場合には、励起光 LL に対する透過性を有する材料、例えば、ITO（Indium Tin Oxide）、IZO（Indium Zinc Oxide）、 In_3O_3 、 SnO_2 、Sb 含有 SnO_2 、Al 含有 ZnO 等の酸化物等の透明電極材料で構成される。

20

【0050】

また、ヒーター 330 は、磁気遮蔽体 380 の外側に、磁気遮蔽体 380 より熱伝導率が高い伝熱板 390 を介して磁気遮蔽体 380 に接続されている。前述したように、ヒーター 330 は、通電により発熱するため、発熱した際、磁場が生じる。しかし、ヒーター 330 は、磁気遮蔽体 380 の外側に設けることにより、ヒーター 330 から生じる磁場の磁気遮蔽体 380 内への侵入を防止しすることができ、コイル 350 から発生される磁場への影響を抑制することができる。

【0051】

なお、ヒーター 330 は、ガスセル 310 を加熱することができるものであれば、特に限定されず、ガスセル 310 に対して非接触であってもよい。また、ヒーター 330 に代えて、または、ヒーター 330 と併用して、ペルチェ素子を用いて、ガスセル 310 を加熱してもよい。このようなヒーター 330 は、後述する制御部 400 の温度制御部 420 に電氣的に接続され、通電制御される。

30

【0052】

図 5 には図示されないが、原子発振器 100 は温度センサー 340 を備えている。温度センサー 340 は、ヒーター 330 またはガスセル 310 の温度を検出するものである。そして、この温度センサー 340 の検出結果に基づいて、温度制御部 420（図 1 参照）によってヒーター 330 への通電量が制御され、ヒーター 330 の温度が制御される。そして、ガスセル 310 が所望の温度に維持され、ガスセル 310 内のアルカリ金属原子が所望の温度に維持することができる。なお、温度センサー 340 の設置位置は、特に限定されず、例えば、ヒーター 330 上であってもよいし、ガスセル 310 の外表面上であってもよい。温度センサー 340 としては特に限定されず、サーミスタ、熱電対等の公知の各種温度センサーを用いることができる。

40

【0053】

第 1 ユニット 200 は、複数の光学部品 221、222、223 によって構成される光学部品群 220 を備えている。光学部品群 220 は、第 1 パッケージ 212 内の光射出部 211 と、ガスセル 310 との間に、励起光 LL の光軸 a 上に設けられている。

【0054】

50

本実施形態の光学部品群 220 は、光射出部 211 からガスセル 310 に向かって、光学部品 221、光学部品 222、光学部品 223 の順に配置されている。光学部品 221 は、 $\lambda/4$ 波長板である。これにより、例えば、光射出部 211 からの線偏光である励起光 LL を円偏光（右円偏光または左円偏光）に変換することができる。

【0055】

前述したようにコイル 350 の磁場によりガスセル 310 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、仮に直線偏光の励起光 LL をアルカリ金属原子に照射すると、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に均等に分散して存在することとなる。その結果、所望のエネルギー準位のアルカリ金属原子の数が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少なくなるため、所望の EIT 現象を発現する原子数が減少し、所望の EIT 信号が小さくなり、その結果、原子発振器 100 の発振特性の低下をもたらす。

10

【0056】

これに対し、前述したようにコイル 350 の磁場によりガスセル 310 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 をアルカリ金属原子に照射すると、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。

20

【0057】

なお、光学部品 221 の平面視形状は、特に限定されず、例えば、円形、四角形、五角形等の多角形をなしていてもよい。また、光学部品群 220 は、光学部品 221 に加えて、第 2 ユニット 300 側は、光学部品 222、223 が配置されている。光学部品 222、223 は、減光フィルター（ND フィルター）であり、ガスセル 310 に入射する励起光 LL の強度を減少、調整することができる。従って、光射出部 211 の出力が大きい場合でも、ガスセル 310 に入射する励起光 LL を所望の光量とすることができる。なお、光学部品 222、223 は、それぞれ、板状をなしている。また、光学部品 222、223 の平面視形状は、特に限定されず、例えば、円形、四角形、五角形等の多角形をなしていてもよい。また、光射出部 211 の出力の大きさによっては、光学部品 222、223 のうちのいずれか一方、あるいは両方の光学部品を省略してもよい。

30

【0058】

図 1 に示す制御部 400 は、ヒーター 330、コイル 350 および光射出部 211 をそれぞれ制御する機能を有する。本実施形態では、制御部 400 は、IC（Integrated Circuit）チップで構成されている。このような制御部 400 は、光射出部 211 の共鳴光 1、2 の周波数を制御する励起光制御部 410 と、ガスセル 310 中のアルカリ金属の温度を制御する温度制御部 420 と、ガスセル 310 に印加する磁場を制御する磁場制御部 430 とを有する。

【0059】

励起光制御部 410 は、前述した光検出部 320 の検出結果に基づいて、光射出部 211 から出射される共鳴光 1、2 の周波数を制御する。より具体的には、励起光制御部 410 は、光検出部 320 の検出結果に基づいて、周波数差（ $f_1 - f_2$ ）がアルカリ金属固有の周波数 f_0 となるように、光射出部 211 から出射される共鳴光 1、2 の周波数を制御する。

40

【0060】

また、励起光制御部 410 は、図示しないが、電圧制御型水晶発振器（発振回路）を備えており、その電圧制御型水晶発振器の発振周波数を光検出部 320 の検出結果に基づいて同期・調整しながら原子発振器 100 の出力信号として出力する。また、温度制御部 420 は、温度センサー 340 の検出結果に基づいて、ヒーター 330 への通電を制御する。これにより、ガスセル 310 を所望の温度範囲内に維持することができる。また、磁場

50

制御部 430 は、コイル 350 が発生する磁場が一定となるように、コイル 350 への通電を制御する。

【0061】

伝熱部 360 は、図 5 に示すように、ガスセル 310 の外側に配置されている。伝熱部 360 は、少なくとも磁気遮蔽体 380 より熱伝導率の高い材料で構成されており、ヒーター 330 から発生する熱を、ガスセル 310 に伝達する。なお、本明細書中では、各部材間で熱の移動が可能な状態を「熱的に接続」されている状態と言う。すなわち、各部材間で熱の移動が可能であれば、各部材が接触している状態であっても、非接触の状態（例えば、接着剤等を介して各部材が固定されている状態）であっても「熱的に接続」されている状態として説明する。

10

【0062】

図 6 は、伝熱部 360 の外観斜視図である。図 6 に示すように、伝熱部 360 は、Y 軸方向を厚さ方向とし、Y 軸方向からみたとき四角形の板状をなす基部 360a と、基部 360a の縁部から Y (+) 方向に立設した 4 つのガスセル収納壁としての壁部 360b, 360c, 360d, 360e とで構成されている。壁部 360b と壁部 360d とは、X 軸方向に対向しており、壁部 360b が X (+) 側に位置し、壁部 360d が X (-) 側に位置している。また、壁部 360c と壁部 360e とは、Z 軸方向に対向しており、壁部 360c が Z (-) 側に位置し、壁部 360e が Z (+) 側に位置している。そして、壁部 360b, 360c, 360d, 360e の隣り合う壁部は互いに連結されており、全体として筒状をなしている。また、基部 360a と各壁部 360b, 360c, 360d, 360e とで囲まれた部分は、ガスセル 310 の一部が挿入されるガスセル収納部としての第 1 凹部 360f となっている。

20

【0063】

また、基部 360a は、Y (-) 側の端部に周回するように第 2 凹部 360g が形成されている。第 2 凹部 360g は図 5 にも示すように、伝熱部 360 と吸熱部 370 との外周に巻かれているコイル 350 が配設される部分である。第 2 凹部 360g にコイル 350 の一部を配設させることにより、原子発振器 100 の小型化を図ることができる。なお、本実施形態に係る伝熱部 360 では、壁部 360b, 360c, 360d, 360e は枠状に形成されている形態を例示するが、これに限定されない。壁部はガスセル 310 が収容可能であれば、壁部 360b, 360c, 360d, 360e が互いに接続されていなくてもよい。

30

【0064】

また、壁部 360b には、窓部 312 における励起光 LL の透過領域に対応した開口部としての貫通孔の窓部 360h が設けられ、壁部 360d には、窓部 313 における励起光 LL の透過領域に対応した開口部としての貫通孔の窓部 360j が設けられている。各窓部 360h, 360j は、励起光 LL が通過できるよう（図 5 参照）、X 軸方向から見て、重なっている。よって、第 1 凹部 360f 内にガスセル 310 を挿入した状態で、励起光 LL が、窓部 360h、ガスセル 310 の窓部 312, 313、窓部 360j の順に通過あるいは透過し、光検出部 320 に励起光 LL を入射させることができる。

【0065】

40

上述した伝熱部 360 を介して、ヒーター 330 からガスセル 310 への熱伝達について説明する。図 5 に示すように、ヒーター 330 において発生させた熱 Q は、先ず伝熱板 390 に伝達される。伝熱板 390 は、高い熱伝導率を備えていることから、伝熱板 390 の全体に熱 Q は伝達され、伝熱板 390 に接続された磁気遮蔽体 380 のヒーター 330 に対向する壁部 380b に向かって、伝熱板 390 に伝達された熱 Q が伝達、移動される。

【0066】

続いて、磁気遮蔽体 380 の壁部 380b に伝達された熱 Q は、伝熱部 360 の基部 360a の Y (-) 側端部から伝達される熱 Q1、および基部 360a の外周面から伝達される熱 Q2 となって伝熱部 360 に伝達される。基部 360a に伝達された熱 Q1, Q2

50

は、伝熱部 360 内を伝達し、一部は各壁部 360b, 360c, 360d, 360e へ伝達、移動される。各壁部 360b, 360c, 360d, 360e に到達した熱 Q1, Q2 は、次のようにガスセル 310 に伝達される。

【0067】

まず、基部 360a から、第 1 凹部 360f (図 6 参照) の底部に接続されたガスセル 310 の本体部 311 に、熱 Q3 として伝達される。ガスセル 310 に伝達された熱 Q3 以外の熱は、各壁部 360b, 360c, 360d, 360e に伝達され、熱 Q4, Q5 としてガスセル 310 の窓部 312, 313 に伝達される。

【0068】

上述したように、伝熱部 360 の第 1 凹部 360f にガスセル 310 が挿入されている。この時、第 1 凹部 360f の内部にガスセル 310 が挿入可能とするためには、製造の際のバラツキを考慮し、設計条件として第 1 凹部 360f とガスセル 310 と、の間に隙間 h1 を設けるようにする必要がある。仮に、設計上で隙間 h1 を設けない場合、ガスセル 310 の外形が第 1 凹部 360f 内形より僅かでも大きく製造されると、小型化が望まれる原子発振器 100 では、ガスセル 310 自体の小型化が必須となり、その結果、ガスセル 310 の本体部 311、あるいは窓部 312, 313 は、より薄肉の材料から形成される。更に上述したように、本体部 311、窓部 312, 313 はガラスなどの、いわゆる脆性材料を用いていることから、わずかな応力で破損、破壊が生じ易くなってしま

10

【0069】

従って、設計段階から隙間 h1 を設けることが必要であった。ここで h1 は、図 5 に示す X 軸方向の、壁部 360b とガスセル 310 の窓部 312 との隙間 h11、壁部 360d とガスセル 310 の窓部 313 との隙間 h12 とすると、

20

$$h1 = h11 + h12$$

で表され、

$$\begin{array}{ccc} 0 & h11 & h1 \\ 0 & h12 & h1 \end{array}$$

である。

【0070】

図 5 に図示する熱 Q4 の伝達経路の場合、壁部 360b, 360d から隙間 h11, h12 を介してガスセル 310 の窓部 312, 313 に熱 Q4 が伝達されることとなる。この場合、隙間 h11, h12 は、空気などのガスセル 310 周囲の気体環境の気体が存在している。空気の場合には、周知の通り熱伝導率は極めて低く、むしろ断熱性を備えている。従って、伝熱部 360 から、ガスセル 310 へ、熱伝達口を抑制させながら熱を伝達させるために、熱伝導性弾性部材としての伝熱部材 511, 512 が隙間 h11, h12 に装着されている。

30

【0071】

図 5 に示す A - A' 部の断面を図 7 に示す。図 7 に示すように、上述した隙間 h11, h12 に加えて、Z 軸方向にも壁部 360c とガスセル 310 との間に隙間 h21 と、壁部 360e とガスセル 310 との間に隙間 h22 と、が設定されている。設計段階での Z 軸方向の隙間 h2 とすると、

40

$$h2 = h21 + h22$$

$$\begin{array}{ccc} 0 & h21 & h2 \\ 0 & h22 & h2 \end{array}$$

で表される。

【0072】

そして、隙間 h11 には伝熱部材 511 が、隙間 h12 には伝熱部材 512 が、隙間 h21 には伝熱部材 513 が、隙間 h22 には伝熱部材 514 が、装着されている。伝熱部材 511, 512, 513, 514 は弾性を有し、かつ熱伝導性を有する材料、例えばシリコンゴム、金属フィラー入りゴム、などが好適に用いられる。すなわち、伝熱

50

部材 5 1 1 , 5 1 2 , 5 1 3 , 5 1 4 を介して各壁部 3 6 0 b , 3 6 0 c , 3 6 0 d , 3 6 0 e からガスセル 3 1 0 に熱を伝達させるためには、伝熱部材 5 1 1 , 5 1 2 , 5 1 3 , 5 1 4 は、各壁部 3 6 0 b , 3 6 0 c , 3 6 0 d , 3 6 0 e とガスセル 3 1 0 とを、密着させることで効率よく熱伝達が行える。従って、伝熱部材 5 1 1 , 5 1 2 , 5 1 3 , 5 1 4 が弾性を有することで、伝熱部材 5 1 1 , 5 1 2 , 5 1 3 , 5 1 4 が常態として各壁部 3 6 0 b , 3 6 0 c , 3 6 0 d , 3 6 0 e と、ガスセル 3 1 0 と、を押圧するように作用し、密着させることができる。

【 0 0 7 3 】

このように、伝熱部材 5 1 1 , 5 1 2 , 5 1 3 , 5 1 4 を備えることによって、図 5 に矢印で示す熱 Q_5 の伝熱経路で表されるように、伝熱部材 5 1 1 , 5 1 2 , 5 1 3 , 5 1 4 を介して各壁部 3 6 0 b , 3 6 0 c , 3 6 0 d , 3 6 0 e からガスセル 3 1 0 に熱伝達口スを軽減して、効率よく熱を供給することができる。

【 0 0 7 4 】

吸熱部 3 7 0 は、図 5 に示すように、ガスセル 3 1 0 の外側に配置されている。吸熱部 3 7 0 は、少なくとも磁気遮蔽体 3 8 0 より熱伝導率の高い材料で構成されており、ガスセル 3 1 0 における余剰熱量を、磁気遮蔽体 3 8 0 を介して磁気遮蔽体 3 8 0 の外部へ放熱する。

【 0 0 7 5 】

図 8 は、吸熱部 3 7 0 の外観斜視図である。図 8 に示すように、吸熱部 3 7 0 は、Y 軸方向を厚さ方向とし、Y 軸方向からみたとき四角形の板状をなす基部 3 7 0 a と、基部 3 7 0 a の縁部から Y (-) 方向に立設した 4 つのガスセル収納壁となる壁部 3 7 0 b , 3 7 0 c , 3 7 0 d , 3 7 0 e とに分けることができる。壁部 3 7 0 b と壁部 3 7 0 d とは、Z 軸方向に対向しており、壁部 3 7 0 b が Z (+) 側に位置し、壁部 3 7 0 d が Z (-) 側に位置している。また、壁部 3 7 0 c と壁部 3 7 0 e とは、X 軸方向に対向しており、壁部 3 7 0 c が X (+) 側に位置し、壁部 3 7 0 e が X (-) 側に位置している。そして、壁部 3 7 0 b , 3 7 0 c , 3 7 0 d , 3 7 0 e の隣り合う壁部は互いに連結されており、全体として筒状をなしている。また、基部 3 7 0 a と各壁部 3 7 0 b , 3 7 0 c , 3 7 0 d , 3 7 0 e とで囲まれた部分は、ガスセル 3 1 0 の一部が挿入されるガスセル収納部となる第 1 凹部 3 7 0 f となっている。なお、本実施形態に係る吸熱部 3 7 0 では、壁部 3 7 0 b , 3 7 0 c , 3 7 0 d , 3 7 0 e は棒状に形成されている形態を例示するが、これに限定されない。壁部はガスセル 3 1 0 が収容可能であれば、壁部 3 7 0 b , 3 7 0 c , 3 7 0 d , 3 7 0 e が互いに接続されていなくてもよい。

【 0 0 7 6 】

また、基部 3 7 0 a の Y (+) 側の端部に X 軸に沿って、壁部 3 7 0 c と壁部 3 7 0 e との外端部には、Y 軸方向に沿って第 2 凹部 3 7 0 g が形成されている。第 2 凹部 3 7 0 g は図 5 にも示すように、伝熱部 3 6 0 と吸熱部 3 7 0 との外周に巻かれているコイル 3 5 0 が配設される部分である。第 2 凹部 3 7 0 g にコイル 3 5 0 の一部を配設させることにより、原子発振器 1 0 0 の小型化を図ることができる。

【 0 0 7 7 】

また、基部 3 7 0 a には、ガスセル 3 1 0 の突出部 3 1 1 b が挿通される貫通孔 3 7 0 h が形成されている。貫通孔 3 7 0 h に挿通される突出部 3 1 1 b の熱は、貫通孔 3 7 0 h の内周面を介して吸熱部 3 7 0 に伝達される。従って、吸熱部 3 7 0 の貫通孔 3 7 0 h に突出部 3 1 1 b が挿通されることで、突出部 3 1 1 b の冷却が促進され、ガスセル 3 1 0 内のアルカリ原子の余剰分が突出部 3 1 1 b の液だまり部 3 1 1 c 内に結露しやすくなり、原子発振器 1 0 0 を安定して発振させることができる。なお、貫通孔 3 7 0 h は、第 1 凹部 3 7 0 f 側に開口を有する凹部であってもよく、その場合には突出部 3 1 1 b と干渉しない深さを備えている。

【 0 0 7 8 】

上述した吸熱部 3 7 0 を介して、ガスセル 3 1 0 から磁気遮蔽体 3 8 0 の外部への熱伝達について説明する。図 5 に示すように、ヒーター 3 3 0 において発生させた熱 Q は、伝

10

20

30

40

50

熱板 3 9 0、伝熱部 3 6 0、伝熱部材 5 1 1, 5 1 2, 5 1 3, 5 1 4、ガスセル 3 1 0 と伝達されガスセル 3 1 0 は所望の温度に維持される。しかし、原子発振器 1 0 0 の設置場所における外部環境、特に高温環境においては、ガスセル 3 1 0 は所望の温度を超えて温度上昇する場合がある。

【 0 0 7 9 】

温度上昇したガスセル 3 1 0 から、余剰な熱を吸熱し、磁気遮蔽体 3 8 0 を介して磁気遮蔽体 3 8 0 の外部に放熱する手段が吸熱部 3 7 0 である。ガスセル 3 1 0 の余剰熱は、吸熱部 3 7 0 に伝達されるが、伝熱部 3 6 0 と同様に、吸熱部 3 7 0 の第 1 凹部 3 7 0 f にガスセル 3 1 0 が挿入されている。

【 0 0 8 0 】

まず、第 1 凹部 3 7 0 f (図 8 参照) の底部に接続されたガスセル 3 1 0 の本体部 3 1 1 から基部 3 7 0 a に、熱 Q_6 として吸熱部 3 7 0 に伝達される。ガスセル 3 1 0 から吸熱部 3 7 0 に伝達された熱 Q_6 以外の熱は、各壁部 3 7 0 b, 3 7 0 c, 3 7 0 d, 3 7 0 e に伝達され、熱 Q_7 , Q_8 として吸熱部 3 7 0 に伝達される。

【 0 0 8 1 】

この時、第 1 凹部 3 7 0 f の内部にガスセル 3 1 0 が挿入可能とするためには、製造の際のバラツキを考慮し、設計条件として第 1 凹部 3 7 0 f とガスセル 3 1 0 と、の間に隙間 c_1 を設けるようにする必要がある。仮に、設計上で隙間 c_1 を設けない場合、ガスセル 3 1 0 の外形が第 1 凹部 3 7 0 f の内形より僅かでも大きく製造されると、小型化が望まれる原子発振器 1 0 0 では、ガスセル 3 1 0 自体の小型化が必須となり、その結果、ガスセル 3 1 0 の本体部 3 1 1、あるいは窓部 3 1 2, 3 1 3 は、より薄肉の材料から形成される。更に上述したように、本体部 3 1 1、窓部 3 1 2, 3 1 3 はガラスなどの、いわゆる脆性材料を用いていることから、わずかな応力で破損、破壊が生じ易くなってしまふ。

【 0 0 8 2 】

従って、設計段階から隙間 c_1 を設けることが必要であった。ここで c_1 は、図 5 に示す X 軸方向の、壁部 3 7 0 b とガスセル 3 1 0 の窓部 3 1 2 との隙間 c_{11} 、壁部 3 7 0 d とガスセル 3 1 0 の窓部 3 1 3 との隙間 c_{12} とすると、

$$c_1 = c_{11} + c_{12}$$

で表され、

$$\begin{array}{ccc} 0 & c_{11} & c_1 \\ 0 & c_{12} & c_1 \end{array}$$

である。

【 0 0 8 3 】

図 5 に図示する熱 Q_7 の伝達経路の場合、壁部 3 7 0 b, 3 7 0 d に、隙間 c_{11} , c_{12} を介してガスセル 3 1 0 の窓部 3 1 2, 3 1 3 から熱 Q_7 が伝達されることとなる。この場合、隙間 c_{11} , c_{12} は、空気などのガスセル 3 1 0 周囲の気体環境の気体が存在している。空気の場合には、周知の通り熱伝導率は極めて低く、むしろ断熱性を備えている。従って、ガスセル 3 1 0 から、吸熱部 3 7 0 へ、熱伝達口スを抑制させながら熱を伝達させるために、熱伝導性弾性部材としての伝熱部材 6 1 1, 6 1 2 が隙間 c_{11} , c_{12} に装着されている。

【 0 0 8 4 】

図 5 に示す B - B' 部の断面を図 9 に示す。図 9 に示すように、上述した隙間 c_{11} , c_{12} に加えて、Z 軸方向にも壁部 3 7 0 c とガスセル 3 1 0 との間に隙間 c_{21} と、壁部 3 7 0 e とガスセル 3 1 0 との間に隙間 c_{22} と、が設定されている。設計段階での Z 軸方向の隙間 c_2 とすると、

$$c_2 = c_{21} + c_{22}$$

$$\begin{array}{ccc} 0 & c_{21} & c_2 \\ 0 & c_{22} & c_2 \end{array}$$

で表される。

【0085】

そして、隙間 c 1 1 には伝熱部材 6 1 1 が、隙間 c 1 2 には伝熱部材 6 1 2 が、隙間 c 2 1 には伝熱部材 6 1 3 が、隙間 c 2 2 には伝熱部材 6 1 4 が、装着されている。伝熱部材 6 1 1, 6 1 2, 6 1 3, 6 1 4 は弾性を有し、かつ熱伝導性を有する材料、例えばシリコンゴム、金属フィラー入りゴム、などが好適に用いられる。すなわち、伝熱部材 6 1 1, 6 1 2, 6 1 3, 6 1 4 を介してガスセル 3 1 0 から各壁部 3 7 0 b, 3 7 0 c, 3 7 0 d, 3 7 0 e に熱を伝達させるためには、伝熱部材 6 1 1, 6 1 2, 6 1 3, 6 1 4 が、ガスセル 3 1 0 と各壁部 3 7 0 b, 3 7 0 c, 3 7 0 d, 3 7 0 e とに、密着させることで効率よく熱伝達が行える。従って、伝熱部材 6 1 1, 6 1 2, 6 1 3, 6 1 4 が弾性を有することで、伝熱部材 6 1 1, 6 1 2, 6 1 3, 6 1 4 が常態として各壁部 3 7 0 b, 3 7 0 c, 3 7 0 d, 3 7 0 e と、ガスセル 3 1 0 と、を押圧するように作用し、密着させることができる。

10

【0086】

このように、伝熱部材 6 1 1, 6 1 2, 6 1 3, 6 1 4 を備えることによって、図 5 に矢印で示す熱 Q 8 の伝熱経路で表されるように、伝熱部材 6 1 1, 6 1 2, 6 1 3, 6 1 4 を介して各壁部 3 7 0 b, 3 7 0 c, 3 7 0 d, 3 7 0 e へガスセル 3 1 0 からの熱伝達口スを軽減して、効率よく熱を供給することができる。

【0087】

また、ガスセル 3 1 0 の本体部 3 1 1 に設けられた突出部 3 1 1 b は、吸熱部 3 7 0 の貫通孔 3 7 0 h に挿通され、突出部 3 1 1 b から熱 Q 9 が貫通孔 3 7 0 h の内周面を介して吸熱部 3 7 0 に熱伝達される。このように、ガスセル 3 1 0 から熱 Q 6, Q 7, Q 8, Q 9 のそれぞれの経路を経て吸熱部 3 7 0 に伝達された熱は、吸熱部 3 7 0 から磁気遮蔽体 3 8 0 に熱 Q 1 0 となって、磁気遮蔽体 3 8 0 の外部に放熱され、ガスセル 3 1 0 の余剰熱が除去され、ガスセル 3 1 0 が所定の温度に維持され、安定した発振性を有する原子発振器 1 0 0 を得ることができる。

20

【0088】

図 1 0 は図 5 に示す原子発振器 1 0 0 に備えるガスセル 3 1 0 の C - C ' 線に沿った内部温度分布を説明する模式図である。図 1 0 に示すように、伝熱部 3 6 0 と、吸熱部 3 7 0 と、はガスセル 3 1 0 を介して、Y 軸方向に対向させて配置される。そして、伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b, 3 6 0 c, 3 6 0 d, 3 6 0 e と、吸熱部 3 7 0 の壁部 3 7 0 b, 3 7 0 c, 3 7 0 d, 3 7 0 e と、を離間させるように伝熱部 3 6 0 の第 1 凹部 3 6 0 f、および吸熱部 3 7 0 の第 1 凹部 3 7 0 f (図 6、図 8 参照) のガスセル 3 1 0 の挿入量が設定され、離間距離 H が設けられる。

30

【0089】

離間距離 H を設けることにより、伝熱部 3 6 0 から吸熱部 3 7 0 への直接熱移動が防止でき、更に離間させることで伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b, 3 6 0 c, 3 6 0 d, 3 6 0 e と、吸熱部 3 7 0 の壁部 3 7 0 b, 3 7 0 c, 3 7 0 d, 3 7 0 e と、の間に、例えば空気などの気体領域が形成され、断熱部として作用させることができる。また、伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b, 3 6 0 c, 3 6 0 d, 3 6 0 e と、磁気遮蔽体 3 8 0 の内壁とは空間部 J を設ける。空間部 J は、空気などの気体が断熱部材として機能し、伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b, 3 6 0 c, 3 6 0 d, 3 6 0 e から磁気遮蔽体 3 8 0 への熱移動を防止することができる、伝熱部 3 6 0 からガスセル 3 1 0 への熱伝達口スを抑制することができる。

40

【0090】

ガスセル 3 1 0 の温度分布は、図 1 0 に示すように伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b, 3 6 0 c, 3 6 0 d, 3 6 0 e から伝達されたヒーター 3 3 0 からの熱によって、励起光 L L の透過領域、すなわち伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b, 3 6 0 c, 3 6 0 d, 3 6 0 e によって覆われる D h 領域においてアルカリ金属原子数を所望の数、存在させることを可能とする所定温度 T s に維持させることができる。

【0091】

50

しかし、ガスセル 310 内に余剰なアルカリ金属原子が存在した場合、例えばガスセル 310 の窓部 312, 313 に結露し、励起光 LL の透過を妨げる虞がある。そこで、ガスセル 310 内における励起光 LL の透過領域を除く領域に、余剰アルカリ金属原子を結露させ、励起光 LL の透過領域でのアルカリ金属原子数を安定させるため、結露領域を形成させる吸熱部 370 が備えられる。

【0092】

所定温度 T_s が維持される伝熱部 360 の壁部 360b, 360c, 360d, 360e で覆われた Dh 領域に隣り合う離間距離 H の Dd 領域では、伝熱部 360 の壁部 360b, 360c, 360d, 360e と、吸熱部 370 の壁部 370b, 370c, 370d, 370e と、の間に形成される空間部にガスセル 310 から放熱され、所定温度 T_s から温度低下 t1 分、温度下降する。

10

【0093】

更に、吸熱部 370 の壁部 370b, 370c, 370d, 370e で覆われた Dc1 領域では、上述したように、吸熱部 370 の壁部 370b, 370c, 370d, 370e がガスセル 310 から吸熱し、温度低下 t2 分、温度下降させる。これによって、吸熱部 370 の壁部 370b, 370c, 370d, 370e で覆われた Dc1 領域が、アルカリ金属原子の余剰分の結露領域として形成される。

【0094】

加えて、ガスセル 310 の本体部 311 に設けられた突出部 311b が挿通される吸熱部 370 の貫通孔 370h によって囲われる Dc2 領域では、更に、突出部 311b から貫通孔 370h を経て吸熱部 370 へ熱伝達され、Dc1 領域より更に温度低下 t3 分、温度下降し、液だまり部 311c にアルカリ金属原子の余剰分を結露させて保持させる。

20

【0095】

上述の図 5 に示す原子発振器 100 は、4 個の伝熱部材 511, 512, 513, 514 が、ガスセル 310 と、伝熱部 360 の壁部 360b, 360c, 360d, 360e と、の隙間に配設される形態であるが、これに限定されない。図 11, 12, 13, 14 は図 7 に示すガスセル 310 と、伝熱部 360 の壁部 360b, 360c, 360d, 360e と、の隙間に配置される伝熱部材 511, 512, 513, 514 のその他の形態を示す断面図であり、図 5 に示す A - A' 部の断面に相当する図である。

【0096】

30

図 11 に示すように、ガスセル 310 を、伝熱部 360 の壁部 360d に向けて X (-) 方向に押圧する伝熱部材 521 と、ガスセル 310 を、伝熱部 360 の壁部 360e に向けて Z (+) 方向に押圧する伝熱部材 522 と、を備えていてもよい。図 11 に示すように伝熱部材 521, 522 を配置させた場合、ガスセル 310 の外面の一部は、壁部 360e、あるいは壁部 360d と直接接触して熱的接続が確保される。

【0097】

図 7 に示した構成では、伝熱部材 511, 512, 513, 514 の 4 部品によって、それぞれを伝熱部 360 の壁部 360b, 360c, 360d, 360e と、ガスセル 310 と、で形成される隙間 h11, h12, h21, h22 に配置させていたが、図 12 に示すように、伝熱部材 511, 512, 513, 514 を一体的に形成させた、いわゆるパッキンの形態を備える伝熱部材 530 であってもよい。このように、一体的な伝熱部材 530 を用いることで、伝熱部 360 の壁部 360b, 360c, 360d, 360e と、ガスセル 310 と、を切れ目なく熱的な接続を得ることができる。

40

【0098】

図 13 に示す形態は、X 軸方向に伝熱部 360 の壁部 360b とガスセル 310 の窓部 312 と、の間に伝熱部材 541 が配設され、伝熱部 360 の壁部 360d とガスセル 310 の窓部 313 と、の間に伝熱部材 542 が配設されている。言い換えると、ガスセル 310 と、伝熱部 360 の X 軸方向に対向配置された壁部 360b, 360d によって伝熱部材 541, 542 を挟持されている。また、図 14 に示す形態では、ガスセル 310 の X 軸方向の一方の窓部 313 が伝熱部 360 の壁部 360d に直接、熱的に接続され、

50

他方の窓部 3 1 2 と、伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b と、の間に伝熱部材 5 5 0 が配設されている。

【 0 0 9 9 】

図 1 3 , 1 4 に示す伝熱部材 5 4 1 , 5 4 2 , 5 5 0 の配置によれば、図示されないが、図 5 に示す励起光 L L の光軸に沿った、すなわち X 軸に沿った方向に伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b , 3 6 0 d からガスセル 3 1 0 に対して熱伝達される。従って、少ない伝熱部材数であっても、励起光 L L の光軸に沿った透過領域を効果的に加熱させることができ、原子発振器 1 0 0 の発振特性を安定させることができる。

【 0 1 0 0 】

なお、上述したが、図 7 に示す伝熱部材 5 1 1 , 5 1 2 , 5 1 3 , 5 1 4 、図 1 1 に示す伝熱部材 5 2 1 , 5 2 2 、図 1 2 に示す伝熱部材 5 3 0 は、熱伝導性を有する弾性部材、例えばシリコンゴムによって、シート状の形状に形成して、ガスセル 3 1 0 と、伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b , 3 6 0 c , 3 6 0 d , 3 6 0 e と、の間に挟持して配置させることができる。また、凝固することで熱伝導性と弾性を備えるゴム系充填剤を、ガスセル 3 1 0 と、伝熱部 3 6 0 の壁部 3 6 0 b , 3 6 0 c , 3 6 0 d , 3 6 0 e と、の間に充填した後、凝固させてもよい。

【 0 1 0 1 】

上述は、伝熱部 3 6 0 における伝熱部材の配置のその他の形態を説明したが、吸熱部 3 7 0 においても、同様に伝熱部材（図 9 に示す、伝熱部材 6 1 1 , 6 1 2 , 6 1 3 , 6 1 4 ）の配置を、伝熱部 3 6 0 と同様に、図 1 1 , 1 2 , 1 3 , 1 4 に示す配置形態であってもよい。

【 0 1 0 2 】

（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 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。

【 0 1 0 3 】

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 1 0 4 】

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 実施形態の原子発振器 1 0 0 を備える電子装置である。このような受信装置 1 2 0 2 は、優れた信頼性を有する。また、受信装置 1 2 0 2 で受信された測位情報は、リアルタイムで送信装置 1 2 0 4 により送信される。G P S 受信装置 1 3 0 0 は、G P S 衛星 1 1 0 0 からの測位情報を、アンテナ 1 3 0 1 を介して受信する衛星受信部 1 3 0 2 と、基地局装置 1 2 0 0 からの測位情報を、アンテナ 1 3 0 3 を介して受信する基地局受信部 1 3 0 4 とを備える。

【 0 1 0 5 】

（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 1 0 0 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 1 6 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。

【 0 1 0 6 】

図 1 6 に示すクロック伝送システム 2 0 0 0 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（N o r m a l ）系および E（E m e r g e n c y ）系の冗長構成を有するシステムである。

【0107】

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（CSM: 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。

10

【0108】

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畳し、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。

【0109】

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畳し、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と同期して、クロック信号を生成する。

20

【0110】

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系のクロック信号と同期して、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系のクロック信号と同期して、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、クロックパ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。

30

【0111】

（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100を備える移動体の一例として自動車为例に説明する。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。

【0112】

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。

40

【0113】

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（モバイル型パーソナルコンピュータ、ラップトップ型パーソナルコンピュータ）、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

50

む)、電子辞書、電卓、電子ゲーム機器、ワードプロセッサ、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。

【0114】

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

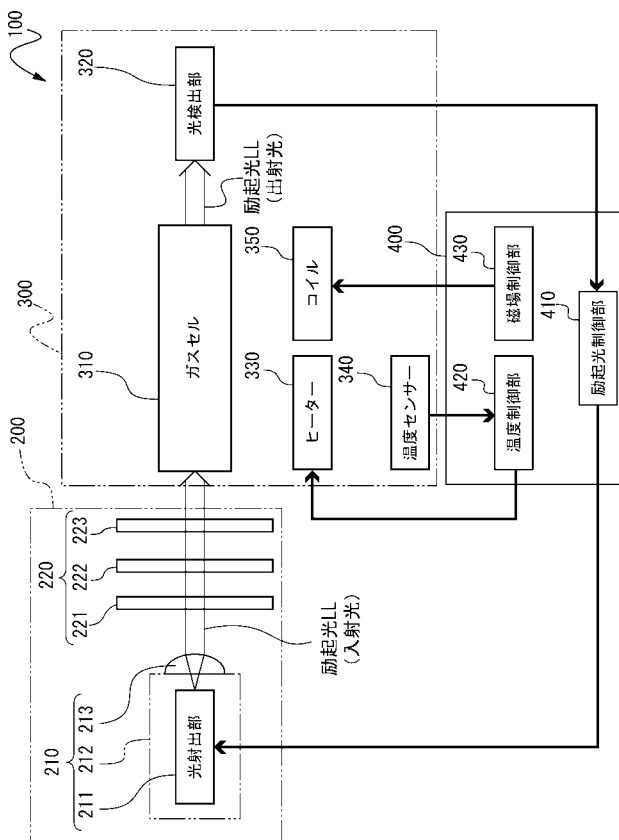
10

【符号の説明】

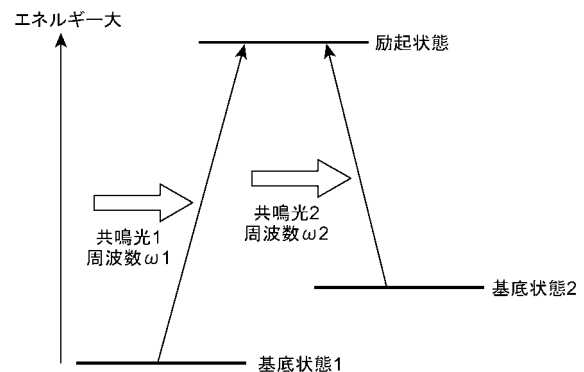
【0115】

100...原子発振器、200...第1ユニット、300...第2ユニット、310...ガスセル、320...光検出部、330...ヒーター、340...温度センサー、350...コイル、360...伝熱部、370...吸熱部、380...磁気遮蔽体、390...伝熱板。

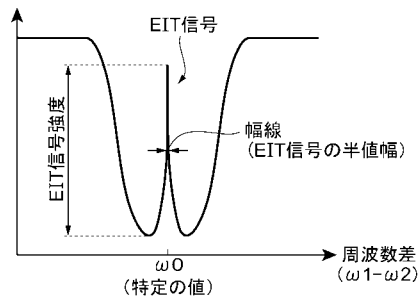
【図1】



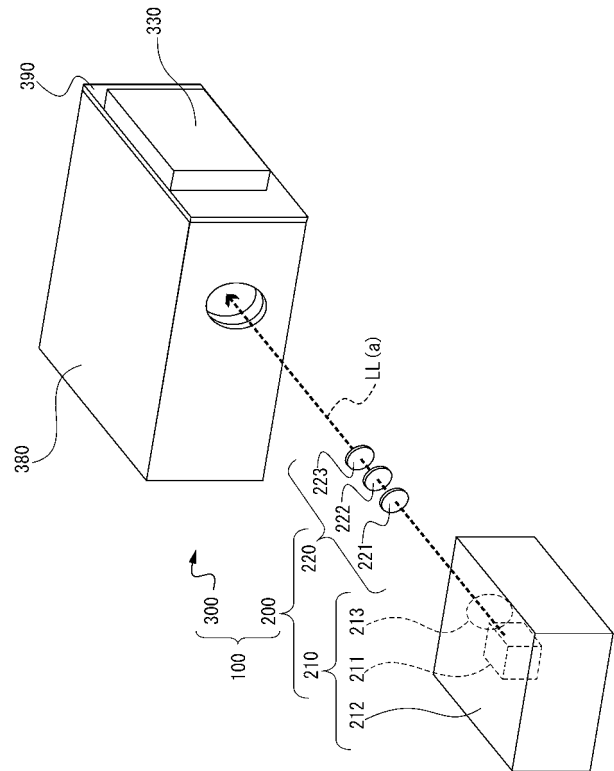
【図2】



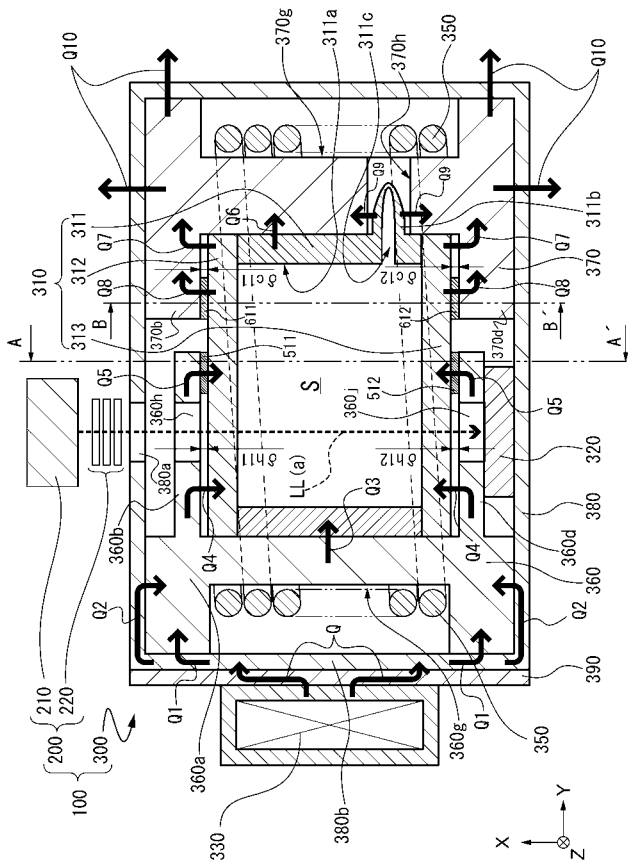
【図 3】



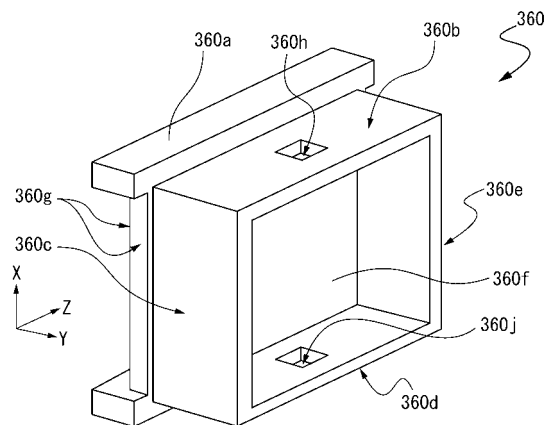
【図 4】



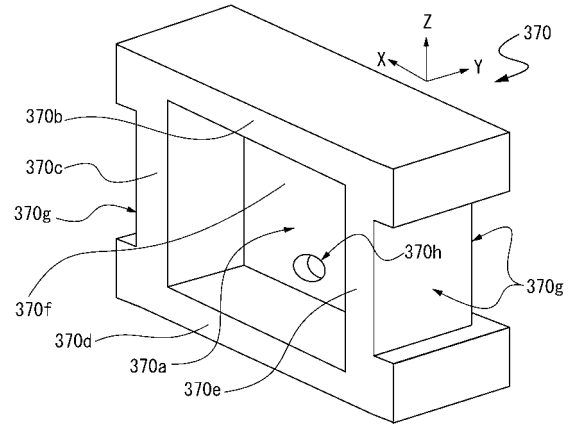
【図 5】



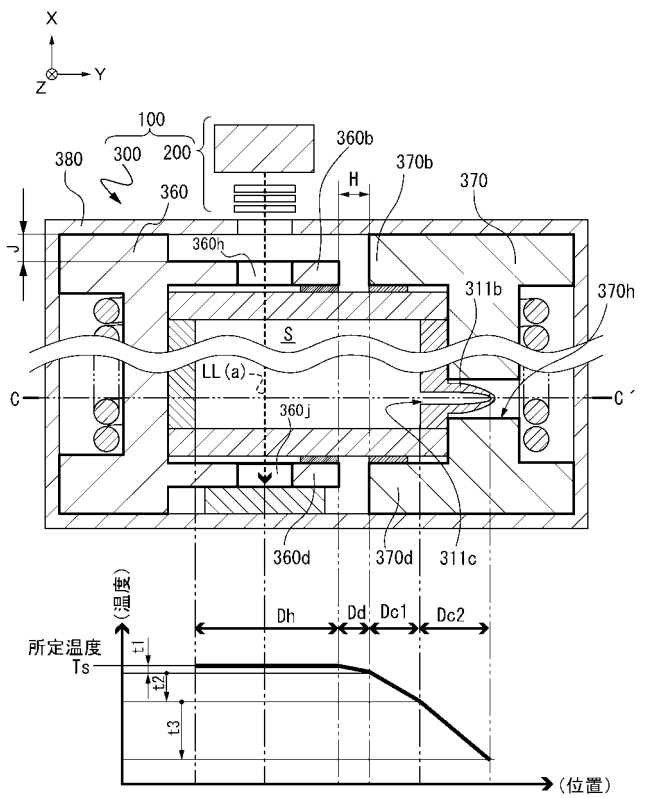
【図 6】



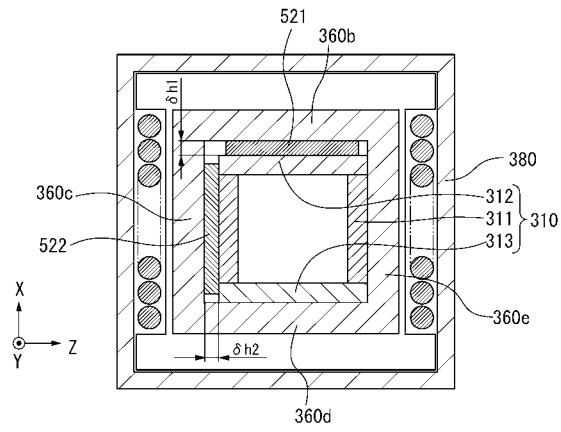
【 図 8 】



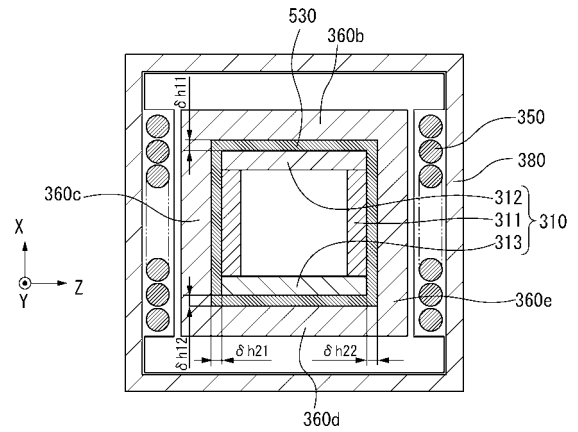
【 ㄨ 1 0 】



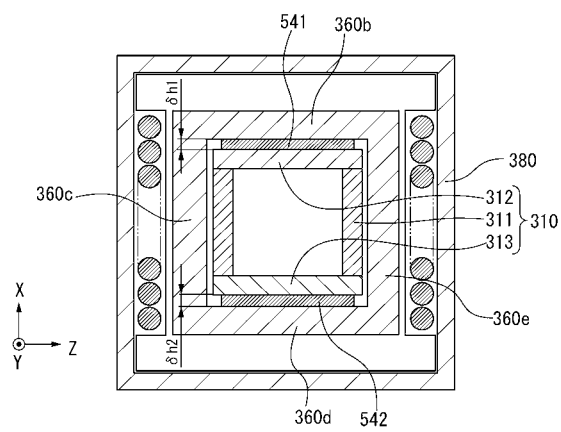
【図 1 1】



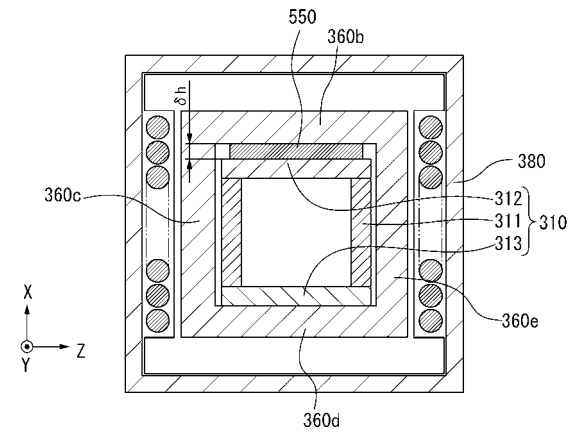
【図 1 2】



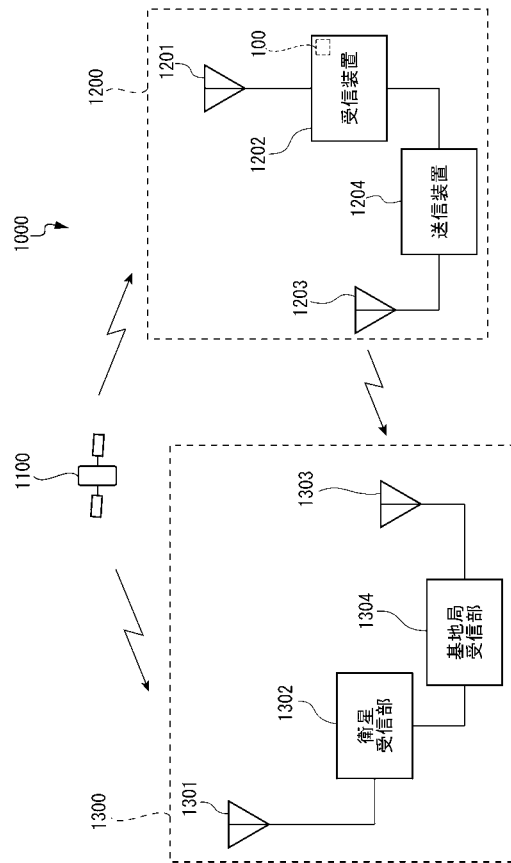
【図 1 3】



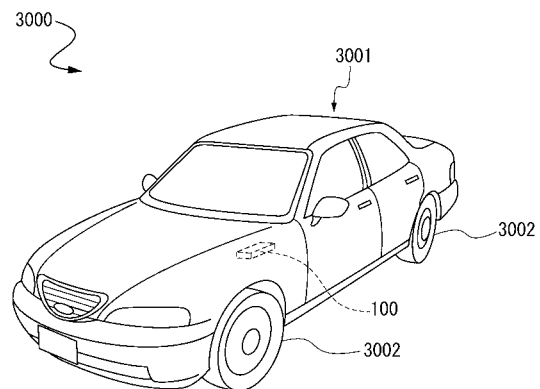
【図 1 4】



【図 15】



【図 17】



【図 16】

