

(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2012-191582

(P2012-191582A)

(43) 公開日 平成24年10月4日(2012.10.4)

(51) Int.Cl.
H03L 7/26 (2006.01)

F I
H03L 7/26

テーマコード(参考)
5J106

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2011-55656 (P2011-55656)
(22) 出願日 平成23年3月14日(2011.3.14)

(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(74) 代理人 100091292
弁理士 増田 達哉
(74) 代理人 100091627
弁理士 朝比 一夫
(72) 発明者 珣道 幸治
東京都日野市日野4-2-1-8 エプソント
ヨコム株式会社内
Fターム(参考) 5J106 AA01 CC07 GG02 JJ01 KK05
KK15 LL10

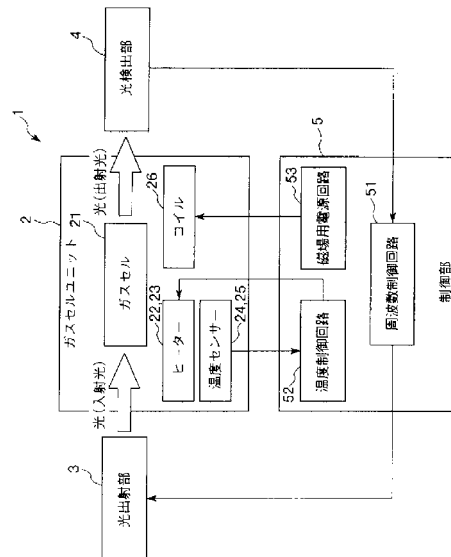
(54) 【発明の名称】 ガスセルユニット、原子発振器および電子装置

(57) 【要約】

【課題】周波数精度を向上させることができるガスセルユニット、原子発振器および電子装置を提供すること。

【解決手段】本発明のガスセルユニット2は、ガス状のアルカリ金属原子を封入したガスセル21と、ガスセル21を加熱するヒーター22と、ガスセル21を介してヒーター22に対向して設けられ、ガスセル21を加熱するヒーター23とを有し、ヒーター22、23は、それぞれ、互いに対向して設けられ、通電により発熱するとともに、その通電に伴って生じた磁場を互いに相殺させる第1発熱抵抗体および第2発熱抵抗体を備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ガスセルと、

第 1 抵抗体及び第 2 抵抗体を有し前記ガスセルを加熱する第 1 ヒーターと、を備え、
前記第 1 抵抗体と前記第 2 抵抗体とが互いに接続され、
前記第 1 抵抗体と前記第 2 抵抗体が前記ガスセルの表面に重ねられて配置され、
前記第 1 抵抗体に流す電流の方向と前記第 2 抵抗体に流す電流の方向とを互いに逆方向
にしたことを特徴とするガスセルユニット。

【請求項 2】

前記第 1 ヒーターと同一の構成を有する第 2 ヒーターを備え、
前記ガスセルが前記第 1 ヒーターと前記第 2 ヒーターとに挟まれた構成を有する請求項
1 記載のガスセルユニット。

10

【請求項 3】

前記第 1 ヒーターまたは前記第 2 ヒーターは基板を有し、該基板の一方の面側と他方の
面側にそれぞれ前記第 1 抵抗体と前記第 2 抵抗体が設けられ、前記第 1 抵抗体が前記ガス
セルの表面に接触している請求項 1 または 2 に記載のガスセルユニット。

【請求項 4】

前記第 1 抵抗体が前記基板の一方の面に接合され、前記第 2 抵抗体が前記基板の他方の
面に接合されている請求項 3 に記載のガスセルユニット。

【請求項 5】

前記第 1 抵抗体は前記ガスセルの表面に接合され、前記第 2 抵抗体は前記基板の他方の
面に接合されている請求項 3 に記載のガスセルユニット。

20

【請求項 6】

前記第 1 ヒーターの前記第 1 抵抗体に流れる電流の方向と、前記第 2 ヒーターの前記第
1 抵抗体に流れる電流の方向とが互いに同方向である請求項 3 ないし 6 のいずれかに記載
のガスセルユニット。

【請求項 7】

前記第 1 抵抗体および第 2 抵抗体は、いずれも複数の帯状部を備えた構成を有し、前記
帯状部は互いに間隔を隔てて並設されていることを特徴とする請求項 3 ないし 7 のいずれ
かに記載のガスセルユニット。

30

【請求項 8】

前記複数の帯状部は、互いに隣り合う帯状部に流れる電流の方向が互いに逆方向である
請求項 7 に記載のガスセルユニット。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載のガスセルユニットと、
前記ガスセル中のアルカリ金属原子を励起する励起光を出射する光出射部と、
前記ガスセルを透過した前記励起光の強度を検出する光検出部とを備えることを特徴と
する原子発振器。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の原子発振器を備えたことを特徴とする電子装置。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、ガスセルユニット、原子発振器および電子装置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
子発振器は、一般に、光およびマイクロ波による二重共鳴現象を利用したもの（例えば、
特許文献 1 参照）と、波長の異なる 2 種類の光による量子干渉効果（CPT: Coherent P
opulation Trapping）を利用したもの（例えば、特許文献 2 参照）とに大別される。

50

いずれの原子発振器においても、一般に、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、ガスセルを所定温度に加熱する必要がある。

【0003】

例えば、特許文献3に記載の原子発振器では、ガス状の金属原子を封入したガスセルの外表面上にITOで構成された膜状の発熱体が設けられ、この発熱体を通電により発熱させる。これにより、ガスセルを加熱して、ガスセル内の金属原子をガス状に保つことができる。

このような原子発振器では、通常、ガスセル内の温度が一定となるように、発熱体へ供給される電流が調整される。そのため、例えば外気温変化に伴って、発熱体に流れる電流が変化してしまう。

このように発熱体に流れる電流が変化すると、発熱体から生じる磁場も変化してしまう。

発熱体から生じる磁場が変化すると、ガスセル中の金属原子の基底準位間のエネルギー差に相当する周波数が変動してしまう。そのため、従来の原子発振器では、出力周波数がずれてしまうという問題があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平10-284772号公報

【特許文献2】米国特許第6806784号明細書

【特許文献3】米国特許出願公開第2006/002276号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、周波数精度を向上させることができるガスセルユニット、原子発振器および電子装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

[適用例1]

本発明のガスセルユニットは、ガスセルと、

第1抵抗体及び第2抵抗体を有し前記ガスセルを加熱する第1ヒーターと、を備え、

前記第1抵抗体と前記第2抵抗体とが互いに接続され、

前記第1抵抗体と前記第2抵抗体が前記ガスセルの表面に重ねられて配置され、

前記第1抵抗体に流す電流の方向と前記第2抵抗体に流す電流の方向とを互いに逆方向にしたことを特徴とする。

これにより、ヒーター（具体的には第1発熱抵抗体および第2発熱抵抗体）への通電量が変動しても、ガスセル内の磁場の変化を抑制または防止することができる。そのため、ガスセル内の磁場の変化を抑えつつ、ガスセル内の温度を所望の温度に維持することができる。その結果、本発明のガスセルユニットは、周波数精度を向上させることができる。

【0007】

[適用例2]

本発明のガスセルユニットでは、前記第1ヒーターと同一の構成を有する第2ヒーターを備え、

前記ガスセルが前記第1ヒーターと前記第2ヒーターとに挟まれた構成を有することが好ましい。

これにより、第1ヒーターおよび第2ヒーター（具体的には第1発熱抵抗体および第2発熱抵抗体）への通電量がそれぞれ変動しても、ガスセル内の磁場の変化を抑制または防

10

20

30

40

50

止することができる。そのため、ガスセル内の磁場の变化を抑えつつ、ガスセル内の温度を所望の温度に維持することができる。その結果、本発明のガスセルユニットは、周波数精度を向上させることができる。

【0008】

[適用例3]

本発明のガスセルユニットでは、前記第1ヒーターまたは前記第2ヒーターは基板を有し、該基板の一方の面側と他方の面側にそれぞれ前記第1抵抗体と前記第2抵抗体が設けられ、前記第1抵抗体が前記ガスセルの表面に接触していることが好ましい。

これにより、第1発熱抵抗体と第2発熱抵抗体との短絡を防止しつつ、第1発熱抵抗体と第2発熱抵抗体との間の距離を小さくすることができる。そのため、第1発熱抵抗体および第2発熱抵抗体から生じた磁場を互いに効率的に相殺させることができる。

10

【0009】

[適用例4]

本発明のガスセルユニットでは、前記第1抵抗体が前記基板の一方の面に接合され、前記第2抵抗体が前記基板の他方の面に接合されていることが好ましい。

これにより、第1発熱抵抗体の設置が容易となる。

[適用例5]

本発明のガスセルユニットでは、前記第1抵抗体は前記ガスセルの表面に接合され、前記第2抵抗体は前記基板の他方の面に接合されていることが好ましい。

これにより、第1発熱抵抗体とガスセルとの間に隙間が生じるのを防止することができる。そのため、ガスセルを均一かつ効率的に加熱することができる。また、第2発熱抵抗体の設置が容易となる。また、第1発熱抵抗体と第2発熱抵抗体との間の距離を基板の厚さで高精度に規定することができる。

20

【0010】

[適用例6]

本発明のガスセルユニットでは、前記第1ヒーターの前記第1抵抗体に流れる電流の方向と、前記第2ヒーターの前記第1抵抗体に流れる電流の方向とが互いに同方向であることが好ましい。

これにより、ガスセル内における第1ヒーターの第1発熱抵抗体と第2ヒーターの第1発熱抵抗体とから生じた磁場を互いに相殺させることができる。

30

【0011】

[適用例7]

本発明のガスセルユニットは、前記第1抵抗体および第2抵抗体は、いずれも複数の帯状部を備えた構成を有し、前記帯状部は互いに間隔を隔てて並設されていることを特徴とする。

これにより、複数の帯状部の幅、ピッチ、長さ等に応じて第1発熱抵抗体および第2発熱抵抗体の発熱量や発熱分布等を設定することができる。

【0012】

[適用例8]

本発明のガスセルユニットでは、前記複数の帯状部は、互いに隣り合う帯状部に流れる電流の方向が互いに逆方向であることが好ましい。

40

これにより、互いに隣り合う帯状部から生じた磁場を互いに相殺させることができる。

[適用例9]

本発明の原子発振器は、本発明のガスセルユニットと、前記ガスセル中のアルカリ金属原子を励起する励起光を出射する光出射部と、前記ガスセルを透過した前記励起光の強度を検出する光検出部とを備えることを特徴とする。

これにより、優れた周波数精度を有する原子発振器を提供することができる。

[適用例10]

本発明の電子装置は、請求項9に記載の原子発振器を備えたことを特徴とする。

50

これにより、優れた信頼性を有する電子装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1実施形態に係る原子発振器の概略構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示す原子発振器に備えられたガスセル内のアルカリ金属のエネルギー状態を説明するための図である。

【図3】図1に示す原子発振器に備えられた光出射部および光検出部について、光出射部からの2つの光の周波数差と、光検出部の検出強度との関係を示すグラフである。

【図4】図1に示す原子発振器に備えられたガスセルユニットの概略構成を示す斜視図である。

10

【図5】図4に示すガスセルユニットを示す断面図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係るガスセルユニットを示す断面図である。

【図7】本発明の第3実施形態に係るガスセルユニットを示す断面図である。

【図8】本発明の第4実施形態に係るガスセルユニットを示す断面図である。

【図9】本発明の第5実施形態に係るガスセルユニットの概略構成を示す斜視図である。

【図10】図9に示すガスセルユニットを示す断面図である。

【図11】(a)は、図9に示すガスセルユニットに備えられたヒーターの第1発熱抵抗体の形状を示す図、(b)は、図9に示すガスセルユニットに備えられたヒーターの第2発熱抵抗体の形状を示す図である。

20

【図12】本発明の第6実施形態に係るガスセルユニットを示す断面図である。

【図13】(a)は、図12に示すガスセルユニットに備えられたヒーターの第1発熱抵抗体の形状を示す図、(b)は、図12に示すガスセルユニットに備えられたヒーターの第2発熱抵抗体の形状を示す図である。

【図14】GPS衛星を利用した測位システムに本発明の原子発振器を用いた場合のシステム構成概要図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明のガスセルユニット、原子発振器および電子装置を添付図面に示す実施形態に基づいて詳細に説明する。

<第1実施形態>

30

図1は、本発明の第1実施形態に係る原子発振器の概略構成を示すブロック図、図2は、図1に示す原子発振器に備えられたガスセル内のアルカリ金属のエネルギー状態を説明するための図、図3は、図1に示す原子発振器に備えられた光出射部および光検出部について、光出射部からの2つの光の周波数差と、光検出部の検出強度との関係を示すグラフ、図4は、図1に示す原子発振器に備えられたガスセルユニットの概略構成を示す斜視図、図5は、図4に示すガスセルユニットを示す断面図である。なお、以下では、説明の便宜上、図4、5中の上側を「上」、下側を「下」と言う。また、図4、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、X軸に平行な方向を「X軸方向」、Y軸に平行な方向を「Y軸方向」、Z軸に平行な方向(上下方向)を「Z軸方向」と言う。

40

【0015】

(原子発振器)

まず、図1～図3に基づいて、本実施形態に係る原子発振器の全体構成を簡単に説明する。

なお、以下では、量子干渉効果を利用した原子発振器に本発明を適用した場合を一例として説明するが、本発明は、これに限定されるものではなく、二重共鳴効果を利用した原子発振器にも適用可能である。

【0016】

図1に示す原子発振器1は、ガスセルユニット2と、光出射部3と、光検出部4と、制御部5とを有している。

50

また、ガスセルユニット 2 は、ガス状のアルカリ金属を封入したガスセル 2 1 と、ガスセル 2 1 を加熱するヒーター 2 2、2 3 と、ガスセル 2 1 の温度を検出する温度センサー 2 4、2 5 と、ガスセル 2 1 に作用する磁場を発生させるコイル 2 6 とを有している。

【0017】

ガスセル 2 1 の内部には、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。

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。

【0018】

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、2 を前述したようなガス状のアルカリ金属に照射すると、共鳴光 1 の周波数 ω_1 と共鳴光 2 の周波数 ω_2 との差 ($\omega_1 - \omega_2$) 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 ω_1 と共鳴光 2 の周波数 ω_2 との差 ($\omega_1 - \omega_2$) 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 CPT 現象または電磁誘起透明化現象（EIT: Electromagnetically Induced Transparency）と呼ぶ。

【0019】

光出射部 3 は、ガスセル 2 1 中のアルカリ金属原子を励起する励起光を出射するものである。

より具体的には、光出射部 3 は、周波数の異なる 2 種の光（共鳴光 1 および共鳴光 2）を出射するものである。

共鳴光 1 の周波数 ω_1 は、ガスセル 2 1 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。

【0020】

また、共鳴光 2 の周波数 ω_2 は、ガスセル 2 1 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。

光検出部 4 は、ガスセル 2 1 を透過した共鳴光 1、2 の強度を検出するものである。

例えば、前述した光出射部 3 が共鳴光 1 の周波数 ω_1 を固定し、共鳴光 2 の周波数 ω_2 を変化させていくと、共鳴光 1 の周波数 ω_1 と共鳴光 2 の周波数 ω_2 との差 ($\omega_1 - \omega_2$) 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 ω_0 に一致したとき、光検出部 4 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。

制御部 5 は、ヒーター 2 2、2 3 および光出射部 3 を制御する機能を有する。

このような制御部 5 は、光出射部 3 の共鳴光 1、2 の周波数を制御する周波数制御回路 5 1 と、ガスセル 2 1 中のアルカリ金属の温度を制御する温度制御回路 5 2 と、ガスセル 2 1 に印加する磁場を制御する磁場用電源回路 5 3 とを有する。

【0021】

周波数制御回路 5 1 は、前述した光検出部 4 の検出結果に基づいて、光出射部 3 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、周波数制御回路 5 1 は、前述した光検出部 4 によって検出された ($\omega_1 - \omega_2$) が前述したアルカリ金属固有の周波数 ω_0 となるように、光出射部 3 から出射される共鳴光 1、2 の周波数を制御する。

また、温度制御回路 5 2 は、温度センサー 2 4、2 5 の検出結果に基づいて、ヒーター 2 2、2 3 への通電を制御する。

また、磁場用電源回路 5 3 は、コイル 2 6 が発生する磁場が一定となるように、コイル 2 6 への通電を制御する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 2 】

(ガスセルユニット)

次に、ガスセルユニット 2 について詳述する。

ガスセルユニット 2 は、図 4 に示すように、ガスセル 2 1 と、ガスセル 2 1 を挟持するように設けられた 1 対のヒーター 2 2、2 3 とを有している。

[ガスセル]

ガスセル 2 1 は、1 対の板状部 2 1 1、2 1 2 と、これらの間に設けられたスペーサー 2 1 3 とを有している。

【 0 0 2 3 】

板状部 2 1 1、2 1 2 は、それぞれ、前述した光出射部 3 からの励起光に対する透過性を有している。本実施形態では、板状部 2 1 2 は、ガスセル 2 1 内へ入射する励起光が透過するものであり、板状部 2 1 1 は、ガスセル 2 1 内から出射した励起光が透過するものである。

10

本実施形態では、板状部 2 1 1、2 1 2 は、それぞれ、板状をなしている。また、板状部 2 1 1、2 1 2 は、平面視にて四角形をなしている。なお、板状部 2 1 1、2 1 2 の形状は、前述したものに限定されず、例えば、平面視にて円形をなしていてもよい。

【 0 0 2 4 】

このような板状部 2 1 1、2 1 2 を構成する材料は、前述したような励起光に対する透過性を有していれば、特に限定されないが、ガラス材料、水晶等が挙げられる。

また、スペーサー 2 1 3 は、前述した 1 対の板状部 2 1 1、2 1 2 間に空間 S を形成するものである。

20

本実施形態では、スペーサー 2 1 3 は、棒状または筒状をなし、平面視にて外周および内周がそれぞれ四角形をなしている。なお、スペーサー 2 1 3 の形状は、前述したものに限定されず、例えば、平面視にて外周および内周がそれぞれ円形をなしていてもよい。

【 0 0 2 5 】

また、スペーサー 2 1 3 は、各板状部 2 1 1、2 1 2 に対して気密的に接合されている。これにより、1 対の板状部 2 1 1、2 1 2 間の空間 S を気密空間とすることができる。スペーサー 2 1 3 と各板状部 2 1 1、2 1 2 との接合方法としては、スペーサー 2 1 3 や各板状部 2 1 1、2 1 2 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。

30

このようなスペーサー 2 1 3 を構成する材料は、特に限定されず、金属材料、樹脂材料等であってもよく、板状部 2 1 1、2 1 2 と同様にガラス材料、水晶等であってもよい。

【 0 0 2 6 】

[ヒーター]

ヒーター 2 2、2 3 は、それぞれ、前述したガスセル 2 1 (より具体的にはガスセル 2 1 中のアルカリ金属) を加熱する機能を有する。これにより、ガスセル 2 1 中のアルカリ金属の蒸気圧が所定の圧力値以上となるように維持され、アルカリ金属をガス状に保つことができる。

【 0 0 2 7 】

本実施形態では、ヒーター 2 2、2 3 は、ガスセル 2 1 を挟むように設けられ、ガスセル 2 1 を介して対称 (図 5 に示す断面においてガスセル 2 1 を中心とした回転対称) となるように配置されている。なお、ヒーター 2 2、2 3 は、図 5 に示す断面において、ガスセル 2 1 を介して上下対称となるように配置されていてもよい。また、ヒーター 2 2、2 3 は、ガスセル 2 1 を介して非対称となるように配置されていてもよい。

40

【 0 0 2 8 】

このようなヒーター 2 2 は、基板 2 2 1 と、基板 2 2 1 の一方の面 (図 5 にて下側の面) 上に設けられた発熱抵抗体 (第 1 抵抗体) 2 2 2 と、基板 2 2 1 の他方の面 (図 5 にて上側の面) 上に設けられた発熱抵抗体 (第 2 抵抗体) 2 2 3 と、発熱抵抗体 2 2 2 と発熱抵抗体 2 2 3 とを電氣的に接続する導体部 2 2 4 と、発熱抵抗体 2 2 2 上に設けられた電極 2 2 5 と、発熱抵抗体 2 2 3 上に設けられた電極 2 2 6 とを有している。

50

【0029】

同様に、ヒーター23は、基板231と、基板231の一方の面(図5にて上側の面)上に設けられた発熱抵抗体(第1抵抗体)232と、基板231の他方の面(図5にて下側の面)上に設けられた発熱抵抗体(第2抵抗体)233と、発熱抵抗体232と発熱抵抗体233とを電気的に接続する導体部234と、発熱抵抗体232上に設けられた電極235と、発熱抵抗体233上に設けられた電極236とを有している。

【0030】

以下、ヒーター22の各部を詳細に説明する。なお、ヒーター23の構成については、ヒーター22の構成と同様であるため、その説明を省略する。

本実施形態では、基板221は、平面視にて四角形(より具体的には長方形)をなしている。なお、基板221の平面視形状は、長方形に限定されず、正方形、菱形、台形等の他の四角形であってもよいし、三角形、五角形等の他の多角形であってもよいし、円形、楕円形、異形状等であってもよい。

10

【0031】

基板221は、発熱抵抗体222と発熱抵抗体223との間に設けられている。この基板221は、絶縁性を有する。これにより、発熱抵抗体222と発熱抵抗体223との短絡を防止しつつ、発熱抵抗体222と発熱抵抗体223との間の距離を小さくすることができる。そのため、後述するように発熱抵抗体222および発熱抵抗体223から生じた磁場を互いに効率的に相殺させることができる。

20

【0032】

また、基板221は、ガスセル21中のアルカリ金属原子を励起する励起光に対する透過性を有する。これにより、励起光の光路上にヒーター22を設けることができる。そのため、ガスセル21の励起光の出射部をヒーター22により効率的に加熱することができる。なお、本実施形態では、図4に示すように、励起光は、ヒーター23を介してガスセル21内に入射され、ガスセル21内からヒーター22を介して出射される。

【0033】

このような基板221の構成材料としては、前述したような絶縁性および光透過性を有し、発熱抵抗体222、223の発熱に耐え得るものであれば、特に限定されないが、例えば、ガラス材料、水晶等を用いることができる。

また、基板221の厚さは、特に限定されないが、例えば、0.01~10mm程度である。

30

【0034】

このような基板221のガスセル21側には、発熱抵抗体(第1抵抗体)222が設けられ、一方、基板221のガスセル21とは反対側には、発熱抵抗体(第2抵抗体)223が設けられている。

発熱抵抗体222、223は、それぞれ、通電により発熱するものである。また、本実施形態では、発熱抵抗体222、223は、それぞれ、ガスセル21中のアルカリ金属原子を励起する励起光に対する透過性を有する。これにより、ガスセル21の励起光の出射部をヒーター22により効率的に加熱することができる。

40

【0035】

特に、発熱抵抗体222、223は、互いに対向して設けられ、通電により発熱するとともに、その通電に伴って生じた磁場を互いに相殺させるものである。これにより、ヒーター22(発熱抵抗体222、223)への通電量が変動しても、ガスセル21内の磁場の変化を抑制または防止することができる。そのため、ガスセル21内の磁場の変化を抑えつつ、ガスセル21内の温度を所望の温度に維持することができる。その結果、ガスセルユニット2は、周波数精度を向上させることができる。ここで、発熱抵抗体(第1抵抗体)222と発熱抵抗体(第2抵抗体)223のうちいずれか一方を抵抗値がゼロに近い抵抗体(導体)とし、発熱のほとんどない状態としてもよい。例えば、発熱抵抗体(第2抵抗体)223を抵抗値がゼロに近い抵抗体(導体)とすれば、この導体への通電に伴って生じた磁場によって、発熱抵抗体(第1抵抗体)222への通電に伴って生じた磁場を

50

相殺することが可能である。つまり、発熱抵抗体 222 を磁場相殺のための専用の手段とするのである。なお、これ以降の説明において、発熱抵抗体 222 (または第 1 抵抗体) と発熱抵抗体 223 (または第 2 抵抗体) との関係についても同様である。

【0036】

具体的に説明すると、発熱抵抗体 222 は、基板 221 のガスセル 21 側の面に接合されている。これにより、発熱抵抗体 222 の設置が容易となる。

また、発熱抵抗体 223 は、基板 221 のガスセル 21 とは反対側の面に接合されている。これにより、発熱抵抗体 223 の設置が容易となる。また、基板 221 の一方の面に発熱抵抗体 222 を接合するとともに、基板 221 の他方の面に発熱抵抗体 223 を接合することにより、発熱抵抗体 222 と発熱抵抗体 223 との間の距離を基板 221 の厚さ
10
で高精度に規定することができる。その結果、後述するように発熱抵抗体 222 からの磁場と発熱抵抗体 223 からの磁場とを相殺させる際に、その作用を基板 221 の面方向に均一に生じさせることができる。

【0037】

また、発熱抵抗体 222、223 は、それぞれ、薄膜状をなしている。これにより、発熱抵抗体 222、223 を成膜により簡単かつ高精度に形成することができる。

本実施形態では、発熱抵抗体 222 は、基板 221 の下面の全域に亘って一様に形成され、発熱抵抗体 223 は、基板 221 の上面の全域に亘って一様に形成されている。

このような発熱抵抗体 222、223 の構成材料としては、前述したように通電により発熱するとともに励起光に対する光透過性を有するものであれば、特に限定されないが、
20
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を用いるのが好ましい。

【0038】

このような透明電極材料は、好適な光透過性を有するとともに、通電により効率的に発熱することができる。

また、発熱抵抗体 222、223 がそれぞれ透明電極材料で構成されていると、励起光の光路上にヒーター 22 を設けることができる。そのため、ガスセル 21 の励起光の出射部をヒーター 22 により効率的に加熱することができる。

【0039】

発熱抵抗体 222、223 の厚さは、特に限定されないが、例えば、 $0.1 \mu m$ 以上 $1 mm$ 以下程度である。

また、発熱抵抗体 222、223 の形成は、特に限定されないが、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することができる。

【0040】

このような発熱抵抗体 222 と発熱抵抗体 223 とは、導電性を有する導体部 224 を介して電氣的に接続されている。

この導体部 224 は、基板 221 の側面に設けられている。より具体的には、導体部 224 は、四角状をなす基板 221 の 1 つの辺に沿って設けられている。

導体部 224 は、Y 軸方向に沿って延在する帯状をなしている。そして、導体部 224 は、発熱抵抗体 222、223 の Y 軸方向での全域に亘って設けられている。これにより、発熱抵抗体 222、223 間の導通を Y 軸方向での全域に亘って均一な電位で行うことができる。

【0041】

また、導体部 224 は、発熱抵抗体 222、223 と一体的に形成されている。このような導体部 224 は、発熱抵抗体 222、223 と同じ構成材料で構成することができ、また、前述したような成膜方法により発熱抵抗体 222、223 と一括して形成することができる。

このような導体部 224 により発熱抵抗体 222 と発熱抵抗体 223 とが電氣的に直列
50

に接続される。

【0042】

また、発熱抵抗体222の基板221とは反対の面上には、電極225が設けられ、また、発熱抵抗体223の基板221とは反対の面上には、電極226が設けられている。

電極225、226は、それぞれ、基板221の前述した導体部224が設けられた側（図5中右側）の辺とは反対側（図5中左側）の辺に沿って設けられている。

電極225、226は、それぞれ、Y軸方向に沿って延在する帯状をなしている。そして、電極225は、発熱抵抗体222のY軸方向での全域に亘って設けられ、電極226は、発熱抵抗体223のY軸方向での全域に亘って設けられている。これにより、発熱抵抗体222、223に対してY軸方向での全域に亘って均一な電位で給電することができる。

10

【0043】

このような電極225、226の構成材料としては、特に限定されないが、導電性に優れた材料が好適に用いられ、例えば、アルミニウム、アルミニウム合金、銀、銀合金、金、金合金、クロム、クロム合金、金等の金属材料が挙げられる。

また、電極225、226の厚さは、特に限定されないが、例えば、0.1μm以上1mm以下程度である。

【0044】

また、電極225、226の形成方法としては、スパッタリング法、真空蒸着法等の物理成膜法、CVD等の化学蒸着法、インクジェット法等の各種塗布法等が挙げられる。

このような電極225、226は、温度制御回路52に電氣的に接続され、電極225と電極226との間に電圧が印加される。

このような電極225と電極226との間に電圧を印加すると、発熱抵抗体222、223にそれぞれ通電される。

20

【0045】

このとき、この通電により発熱抵抗体222に流れる電流の方向と発熱抵抗体223に流れる電流の方向とが互いに逆方向となる。具体的には、発熱抵抗体222には、導体部224から電極225へ向けて図5の矢印a1で示す方向に電流が流れ、発熱抵抗体223には、電極226から導体部224へ向けて図5の矢印a2で示す方向に電流が流れる。これにより、発熱抵抗体222から生じた磁場と発熱抵抗体223から生じた磁場とを互いに相殺させることができる。より具体的には、発熱抵抗体222から生じた磁場のZ軸方向成分と、発熱抵抗体223から生じた磁場のZ軸方向成分とを互いに相殺させることができる。また、磁場のY軸方向成分同士についても概ね互いに相殺させることができる。

30

【0046】

なお、図5では、電極225を陽極、電極226を陰極とした場合を一例として図示しており、矢印a1、a2の方向（矢印b1、b2の方向についても同様）が図示のものとは逆方向であってもよい。

また、ヒーター23についても同様に、通電により発熱抵抗体232に流れる電流の方向と発熱抵抗体233に流れる電流の方向とが互いに逆方向となる。具体的には、発熱抵抗体232には、電極235から導体部234へ向けて図5の矢印b1で示す方向に電流が流れ、発熱抵抗体233には、導体部234から電極236へ向けて図5の矢印b2で示す方向に電流が流れる。

40

【0047】

また、ヒーター22の発熱抵抗体222に流れる電流の方向は、ヒーター23の発熱抵抗体232に流れる電流の方向と同方向である。これにより、ガスセル21内におけるヒーター22の発熱抵抗体222とヒーター23の発熱抵抗体232とから生じた磁場を互いに相殺させることができる。より具体的には、発熱抵抗体222と発熱抵抗体232との間において、発熱抵抗体222から生じた磁場のY軸方向成分と、発熱抵抗体232から生じた磁場のY軸方向成分とを互いに相殺させることができる。

50

【 0 0 4 8 】

[温度センサー]

また、ガスセルユニット 2 は、温度センサー 2 4、2 3 を有する。前述したようなヒーター 2 2、2 3 の発熱量は、この温度センサー 2 4、2 5 の検出結果に基づいて制御される。これにより、ガスセル 2 1 内のアルカリ金属原子を所望の温度に維持することができる。

【 0 0 4 9 】

温度センサー 2 4 は、ヒーター 2 2 またはガスセル 2 1 の板状部 2 1 1 の温度を検出するものである。また、温度センサー 2 5 は、ヒーター 2 3 またはガスセル 2 1 の板状部 2 1 2 の温度を検出するものである。

10

このような温度センサー 2 4、2 5 の設置位置は、特に限定されず、図示しないが、例えば、温度センサー 2 4 にあっては、ヒーター 2 2 上またはガスセル 2 1 の外表面の板状部 2 1 1 付近上、温度センサー 2 5 にあっては、ヒーター 2 3 上またはガスセル 2 1 の外表面の板状部 2 1 2 付近上である。

【 0 0 5 0 】

温度センサー 2 4、2 5 としては、それぞれ、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。

このような温度センサー 2 4、2 5 は、図示しない配線を介して、前述した温度制御回路 5 2 に電気的に接続されている。

そして、温度制御回路 5 2 は、温度センサー 2 4 の検知結果に基づいて、前述したヒーター 2 2 の通電量を制御する。また、温度制御回路 5 2 は、温度センサー 2 5 の検知結果に基づいて、前述したヒーター 2 3 への通電量を制御する。

20

このように 2 つの温度センサー 2 4、2 5 を用いて、ヒーター 2 2、2 3 への通電量を制御することにより、より高精度な温度制御が可能となる。また、ガスセル 2 1 内の温度のバラツキ（励起光の入射側と出射側との温度差）を防止することができる。

【 0 0 5 1 】

[コイル]

また、ガスセルユニット 2 は、コイル 2 6 を有する（図 1 参照）。

このようなコイル 2 6 は、通電により、磁場を発生させる。これにより、ガスセル 2 1 中のアルカリ金属に磁場を印加することにより、アルカリ金属の縮退している異なるエネルギー状態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 1 の発振周波数の精度を高めることができる。

30

【 0 0 5 2 】

このコイル 2 6 の設置位置は、特に限定されず、図示しないが、例えば、ソレノイド型を構成するようにガスセル 2 1 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 2 1 を介して対向させてもよい。

このコイル 2 6 は、図示しない配線を介して、前述した磁場用電源回路 5 3 に電気的に接続されている。これにより、コイル 2 6 に通電を行うことができる。

【 0 0 5 3 】

このようなコイル 2 6 の構成材料としては、特に限定されないが、例えば、銀、銅、パラジウム、白金、金、または、これらの合金等が挙げられ、これらのうち 1 種または 2 種以上を組み合わせ用いることができる。

40

以上説明したような本実施形態のガスセルユニット 2 によれば、ヒーター 2 2 の発熱抵抗体 2 2 2、2 2 3 が通電に伴って生じた磁場を互いに相殺させるとともに、ヒーター 2 3 の発熱抵抗体 2 3 2、2 3 3 が通電に伴って生じた磁場を互いに相殺させるので、ヒーター 2 2、2 3 への通電量が変動しても、ガスセル 2 1 内の磁場の変化を抑制または防止することができる。そのため、ガスセル 2 1 内の磁場の変化を抑えつつ、ガスセル 2 1 内の温度を所望の温度に維持することができる。その結果、ガスセルユニット 2 は、周波数精度を向上させることができる。

また、このようなガスセルユニット 2 を備える原子発振器 1 によれば、優れた周波数精

50

度を有する。

【0054】

<第2実施形態>

次に、本発明の第2実施形態について説明する。

図6は、本発明の第2実施形態に係るガスセルユニットを示す断面図である。

本実施形態にかかるガスセルユニットは、ヒーターの数が異なる以外は、前述した第1実施形態にかかるガスセルユニットと同様である。

【0055】

なお、以下の説明では、第2実施形態のガスセルユニットに関し、第1実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図6において、前述した実施形態と同様の構成については、同一符号を付している。

図6に示すガスセルユニット2Aは、前述した第1実施形態のガスセルユニット2において、ヒーター22のガスセル21と反対側に基板271を介してもう一つのヒーター22が設けられているとともに、ヒーター23のガスセル21と反対側に基板272を介してもう一つのヒーター23が設けられている。

【0056】

基板271、272は、前述した基板221、231と同様に構成されている。

2つのヒーター22は、一方(図6にて上側)のヒーター22の発熱抵抗体222と、他方(図6にて下側)のヒーター22の発熱抵抗体223とが基板271を介して対向している。

そして、上記一方のヒーター22の発熱抵抗体222に流れる電流の方向と、上記他方のヒーター22の発熱抵抗体223に流れる電流の方向とが互いに逆方向となっている。これにより、2つのヒーター22から漏れる磁場を抑制することができる。

【0057】

同様に、2つのヒーター23は、一方(図6にて下側)のヒーター23の発熱抵抗体232と、他方(図6にて上側)のヒーター23の発熱抵抗体233とが基板272を介して対向している。

そして、上記一方のヒーター23の発熱抵抗体232に流れる電流の方向と、上記他方のヒーター23の発熱抵抗体233に流れる電流の方向とが互いに逆方向となっている。これにより、2つのヒーター23から漏れる磁場を抑制することができる。

以上説明したような第2実施形態に係るガスセルユニット2Aによっても、周波数精度を向上させることができる。

【0058】

<第3実施形態>

次に、本発明の第3実施形態について説明する。

図7は、本発明の第3実施形態に係るガスセルユニットを示す断面図である。

本実施形態にかかるガスセルユニットは、ヒーターの構成が異なる以外は、前述した第1実施形態にかかるガスセルユニットと同様である。

【0059】

なお、以下の説明では、第3実施形態のガスセルユニットに関し、第1実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図7において、前述した実施形態と同様の構成については、同一符号を付している。

図7に示すガスセルユニット2Bは、ガスセル21と、ガスセル21を挟持するように設けられた1対のヒーター22B、23Bとを有している。

【0060】

ヒーター22Bは、基板221と、基板221に対してガスセル21側(図7にて下側)に設けられた発熱抵抗体(第1抵抗体)222Bと、基板221に対してガスセル21とは反対側(図7にて上側)に設けられた発熱抵抗体(第2抵抗体)223Bと、発熱抵抗体222B上に設けられた電極225B、227Bと、発熱抵抗体223B上に設けられた電極226B、228Bとを有している。

【0061】

同様に、ヒーター23Bは、基板231と、基板231に対してガスセル21側（図7にて上側）に設けられた発熱抵抗体（第1抵抗体）232Bと、基板231に対してガスセル21とは反対側（図7にて下側）に設けられた発熱抵抗体（第2抵抗体）233Bと、発熱抵抗体232B上に設けられた電極235B、237Bと、発熱抵抗体233B上に設けられた電極236B、238Bとを有している。

【0062】

以下、ヒーター22Bについて説明する。なお、ヒーター23Bについては、ヒーター22Bと同様であるため、その説明を省略する。

発熱抵抗体222Bは、ガスセル21の外表面に接合されている。より具体的には、発熱抵抗体222Bは、ガスセル21の板状部211の外表面に接合されている。これにより、発熱抵抗体222Bとガスセル21との間に隙間が生じるのを防止することができる。そのため、ガスセル21を均一かつ効率的に加熱することができる。

【0063】

また、発熱抵抗体223Bは、基板221のガスセル21とは反対側の面に接合されている。これにより、発熱抵抗体223Bの設置が容易となる。

このような発熱抵抗体222Bのガスセル21とは反対の面上には、電極225B、227Bが設けられ、また、発熱抵抗体223Bの基板221とは反対の面上には、電極226B、228Bが設けられている。

【0064】

電極225B、226Bは、それぞれ、基板221のX軸方向に対向する1対の辺のうち、一方（図5中左側）の辺に沿って設けられ、電極227B、228Bは、それぞれ、基板221のX軸方向に対向する1対の辺のうち、他方（図5中右側）の辺に沿って設けられている。

電極225B、226B、227B、228Bは、それぞれ、Y軸方向に沿って延在する帯状をなしている。

このような電極225Bと電極227Bとの間に電圧を印加することにより、発熱抵抗体222Bに通電させることができる。また、電極226Bと電極228Bとの間に電圧を印加することにより、発熱抵抗体223Bに通電させることができる。

【0065】

このヒーター22Bにおいても、通電により発熱抵抗体222Bに流れる電流の方向と発熱抵抗体223Bに流れる電流の方向とが互いに逆方向となる。具体的には、発熱抵抗体222Bには、電極227Bから電極225Bへ向けて図7の矢印a1で示す方向に電流が流れ、発熱抵抗体223Bには、電極226Bから電極228Bへ向けて図7の矢印a2で示す方向に電流が流れる。これにより、発熱抵抗体222Bから生じた磁場と発熱抵抗体223Bから生じた磁場とを互いに相殺させることができる。なお、矢印a1、a2の方向（矢印b1、b2の方向についても同様）が図示のものとは逆方向であってもよい。

以上説明したような第3実施形態に係るガスセルユニット2Bによっても、周波数精度を向上させることができる。

【0066】

<第4実施形態>

次に、本発明の第4実施形態について説明する。

図8は、本発明の第4実施形態に係るガスセルユニットを示す断面図である。

本実施形態にかかるガスセルユニットは、ヒーターの構成が異なる以外は、前述した第1実施形態にかかるガスセルユニットと同様である。

【0067】

なお、以下の説明では、第4実施形態のガスセルユニットに関し、第1実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図8において、前述した実施形態と同様の構成については、同一符号を付している。

図 8 に示すガスセルユニット 2 C は、ガスセル 2 1 と、ガスセル 2 1 を挟持するように設けられた 1 対のヒーター 2 2 C、2 3 C とを有している。

【 0 0 6 8 】

ヒーター 2 2 C は、基板 2 7 3 と、基板 2 7 3 の一方（図 8 にて上側）の面上に設けられた発熱抵抗体（第 1 抵抗体）2 2 2 C と、基板 2 7 4 と、基板 2 7 4 の一方（図 8 にて上側）の面上に設けられた発熱抵抗体（第 2 抵抗体）2 2 3 C と、発熱抵抗体 2 2 2 C 上に設けられた電極 2 2 5 C、2 2 7 C と、発熱抵抗体 2 2 3 C 上に設けられた電極 2 2 6 C、2 2 8 C とを有している。

【 0 0 6 9 】

同様に、ヒーター 2 3 C は、基板 2 7 5 と、基板 2 7 5 の一方（図 8 にて下側）の面上に設けられた発熱抵抗体（第 1 抵抗体）2 3 2 C と、基板 2 7 6 と、基板 2 7 6 の一方（図 8 にて下側）の面上に設けられた発熱抵抗体（第 2 抵抗体）2 3 3 C と、発熱抵抗体 2 3 2 C 上に設けられた電極 2 3 5 C、2 3 7 C と、発熱抵抗体 2 3 3 C 上に設けられた電極 2 3 6 C、2 3 8 C とを有している。

【 0 0 7 0 】

以下、ヒーター 2 2 C について説明する。なお、ヒーター 2 3 C については、ヒーター 2 2 C と同様であるため、その説明を省略する。

基板 2 7 3、2 7 4 は、それぞれ、前述した基板 2 2 1、2 3 1 と同様に構成されている。

基板 2 7 3 は、その下面がガスセル 2 1 の板状部 2 1 1 の上面に接触している。そして、基板 2 7 3 の上面には、発熱抵抗体 2 2 2 C が接合されている。

【 0 0 7 1 】

また、基板 2 7 4 は、その下面が発熱抵抗体 2 2 2 C の上面に接触している。そして、基板 2 7 4 の上面には、発熱抵抗体 2 2 3 C が接合されている。

このような発熱抵抗体 2 2 2 C の基板 2 7 3 と反対側の面上には、電極 2 2 5 C、2 2 7 C が設けられ、また、発熱抵抗体 2 2 3 C の基板 2 7 4 とは反対の面上には、電極 2 2 6 C、2 2 8 C が設けられている。

【 0 0 7 2 】

このような電極 2 2 5 C と電極 2 2 7 C との間に電圧を印加することにより、発熱抵抗体 2 2 2 C に通電させることができる。また、電極 2 2 6 C と電極 2 2 8 C との間に電圧を印加することにより、発熱抵抗体 2 3 2 C に通電させることができる。

このヒーター 2 2 C においても、通電により発熱抵抗体 2 2 2 C に流れる電流の方向と発熱抵抗体 2 2 3 C に流れる電流の方向とが互いに逆方向となる。具体的には、発熱抵抗体 2 2 2 C には、電極 2 2 7 C から電極 2 2 5 C へ向けて図 8 の矢印 a 1 で示す方向に電流が流れ、発熱抵抗体 2 2 3 C には、電極 2 2 6 C から電極 2 2 8 C へ向けて図 8 の矢印 a 2 で示す方向に電流が流れる。これにより、発熱抵抗体 2 2 2 C から生じた磁場と発熱抵抗体 2 2 3 C から生じた磁場とを互いに相殺させることができる。なお、矢印 a 1、a 2 の方向（矢印 b 1、b 2 の方向についても同様）が図示のものとは逆方向であってもよい。

【 0 0 7 3 】

また、本実施形態では、発熱抵抗体 2 2 2 C の熱を基板 2 7 3 を介してガスセル 2 1 へ伝達するので、発熱抵抗体 2 2 2 C の熱がガスセル 2 1 の空間 S に伝達されるまでに程よく拡散され、加熱を均一化することができる。

以上説明したような第 4 実施形態に係るガスセルユニット 2 C によっても、周波数精度を向上させることができる。

【 0 0 7 4 】

< 第 5 実施形態 >

次に、本発明の第 5 実施形態について説明する。

図 9 は、本発明の第 5 実施形態に係るガスセルユニットの概略構成を示す斜視図、図 10 は、図 9 に示すガスセルユニットを示す断面図、図 11 (a) は、図 9 に示すガスセル

10

20

30

40

50

ユニットに備えられたヒーターの第1抵抗体の形状を示す図、図11(b)は、図9に示すガスセルユニットに備えられたヒーターの第2抵抗体の形状を示す図である。

【0075】

本実施形態にかかるガスセルユニットは、ヒーターの構成が異なる以外は、前述した第1実施形態にかかるガスセルユニットと同様である。

なお、以下の説明では、第5実施形態のガスセルユニットに関し、第1実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図9～11において、前述した実施形態と同様の構成については、同一符号を付している。

【0076】

図9に示すガスセルユニット2Dは、ガスセル21と、ガスセル21を挟持するように設けられた1対のヒーター22D、23Dとを有している。

ヒーター22Dは、基板221と、基板221に対してガスセル21側(図10にて下側)に設けられた発熱抵抗体(第1抵抗体)222Dと、基板221に対してガスセル21とは反対側(図10にて上側)に設けられた発熱抵抗体(第2抵抗体)223Dと、発熱抵抗体222D上に設けられた電極225と、発熱抵抗体223D上に設けられた電極226とを有している。

【0077】

同様に、ヒーター23Dは、基板231と、基板231に対してガスセル21側(図10にて上側)に設けられた発熱抵抗体(第1抵抗体)232Dと、基板231に対してガスセル21とは反対側(図10にて下側)に設けられた発熱抵抗体(第2抵抗体)233Dと、発熱抵抗体232D上に設けられた電極235と、発熱抵抗体233D上に設けられた電極236とを有している。

【0078】

以下、ヒーター22Dについて説明する。なお、ヒーター23Dについては、ヒーター22Dと同様であるため、その説明を省略する。

発熱抵抗体222Dは、基板221の下面に接合され、一方、発熱抵抗体223Dは、基板221の上面に接合されている。

発熱抵抗体222Dは、互いに間隔を隔てて並設された複数の帯状部222aを有する。同様に、発熱抵抗体223Dは、互いに間隔を隔てて並設された複数の帯状部223aを有する。

【0079】

各帯状部222aおよび各帯状部223aは、それぞれ、X軸方向に沿って延在している。

このような複数の帯状部222aおよび複数の帯状部223aは、互に対応して対向している。すなわち、複数の帯状部222aおよび複数の帯状部223aは、基板221を介して対称となるように設けられている。

【0080】

このような発熱抵抗体222D、223Dは、複数の帯状部222a、223aの幅、ピッチ、長さ等に応じて発熱量や発熱分布等を設定することができる。

このような複数の帯状部222aおよび複数の帯状部223aは、導電性を有する複数の導体部224Dを介して電氣的に接続されている。本実施形態では、導体部224Dは、発熱抵抗体222D、223Dと一体的に形成されている。なお、複数の導体部224Dに代えて、前述した第1実施形態の導体部224を用いることもできる。

【0081】

電極225、226は、それぞれ、基板221の前述した導体部224Dが設けられた側(図10中右側)の辺とは反対側(図10中左側)の辺に沿って設けられている。

このような電極225と電極226との間に電圧を印加することにより、発熱抵抗体222D、223Dにそれぞれ通電させることができる。

このヒーター22Dでは、図11にて矢印で示すように、通電により発熱抵抗体222Dの各帯状部222aに流れる電流の方向と発熱抵抗体223Dの各帯状部223aに流

10

20

30

40

50

れる電流の方向とが互いに逆方向となる。これにより、発熱抵抗体 222D から生じた磁場と発熱抵抗体 223D から生じた磁場とを互いに相殺させることができる。

以上説明したような第 5 実施形態に係るガスセルユニット 2D によっても、周波数精度を向上させることができる。

【0082】

< 第 6 実施形態 >

次に、本発明の第 6 実施形態について説明する。

図 12 は、本発明の第 6 実施形態に係るガスセルユニットを示す断面図、図 13 (a) は、図 12 に示すガスセルユニットに備えられたヒーターの第 1 抵抗体の形状を示す図、図 13 (b) は、図 12 に示すガスセルユニットに備えられたヒーターの第 2 抵抗体の形状を示す図である。

10

【0083】

本実施形態にかかるガスセルユニットは、ヒーターの構成が異なる以外は、前述した第 1 実施形態にかかるガスセルユニットと同様である。

なお、以下の説明では、第 6 実施形態のガスセルユニットに関し、第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図 12、13 において、前述した実施形態と同様の構成については、同一符号を付している。

【0084】

図 12 に示すガスセルユニット 2E は、ガスセル 21 と、ガスセル 21 を挟持するように設けられた 1 対のヒーター 22E、23E とを有している。

20

ヒーター 22E は、基板 221 と、基板 221 に対してガスセル 21 側 (図 12 にて下側) に設けられた発熱抵抗体 (第 1 抵抗体) 222E と、基板 221 に対してガスセル 21 とは反対側 (図 12 にて上側) に設けられた発熱抵抗体 (第 2 抵抗体) 223E とを有している。

同様に、ヒーター 23E は、基板 231 と、基板 231 に対してガスセル 21 側 (図 12 にて上側) に設けられた発熱抵抗体 (第 1 抵抗体) 232E と、基板 231 に対してガスセル 21 とは反対側 (図 12 にて下側) に設けられた発熱抵抗体 (第 2 抵抗体) 233E とを有している。

【0085】

以下、ヒーター 22E について説明する。なお、ヒーター 23E については、ヒーター 22E と同様であるため、その説明を省略する。

30

発熱抵抗体 222E は、基板 221 の下面に接合され、一方、発熱抵抗体 223E は、基板 221 の上面に接合されている。

発熱抵抗体 222E は、互いに間隔を隔てて並設された複数の帯状部 222b を有する。同様に、発熱抵抗体 223E は、互いに間隔を隔てて並設された複数の帯状部 223b を有する。

【0086】

各帯状部 222b および各帯状部 223b は、それぞれ、X 軸方向に沿って延在している。

このような複数の帯状部 222b および複数の帯状部 223b は、互いに対応して対向している。すなわち、複数の帯状部 222b および複数の帯状部 223b は、基板 221 を介して対称となるように設けられている。

40

【0087】

このような発熱抵抗体 222E、223E は、複数の帯状部 222b、223b の幅、ピッチ、長さ等に応じて発熱量や発熱分布等を設定することができる。

このヒーター 22E では、基板 221 を介して対向する帯状部 222b および帯状部 223b は、通電により流れる電流の方向が互いに逆方向となる。これにより、発熱抵抗体 222E から生じた磁場と発熱抵抗体 223E から生じた磁場とを互いに相殺させることができる。

【0088】

50

また、ヒーター 2 2 E は、図 1 3 にて矢印で示すように、互いに隣り合う帯状部 2 2 2 b に流れる電流の方向が互いに逆方向となるとともに、互いに隣り合う帯状部 2 2 3 b に流れる電流の方向が互いに逆方向となるように構成されている。これにより、互いに隣り合う帯状部から生じた磁場を互いに相殺させることができる。より具体的には、互いに隣り合う帯状部 2 2 2 b から生じた磁場の Y 軸方向成分同士を互いに相殺させることができる。また、磁場の Z 軸方向成分同士もほぼ互いに相殺させることができる。

以上説明したような第 6 実施形態に係るガスセルユニット 2 E によっても、周波数精度を向上させることができる。

以上説明したような原子発振器は、各種電子装置に組み込むことができる。以下、本発明の原子発振器を備える電子装置の応用例を説明する。

【 0 0 8 9 】

図 1 4 は、GPS 衛星を利用した測位システムに本発明の原子発振器を用いた場合のシステム構成概要図である。

図 1 4 に示す測位システム 1 0 0 は、GPS 衛星 2 0 0 と、基地局装置 3 0 0 と、GPS 受信装置 4 0 0 とで構成されている。

GPS 衛星 2 0 0 は、測位情報 (GPS 信号) を送信する。

【 0 0 9 0 】

基地局装置 3 0 0 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 3 0 1 を介して GPS 衛星 2 0 0 からの測位情報を高精度に受信する受信装置 3 0 2 と、この受信装置 3 0 2 で受信した測位情報をアンテナ 3 0 3 を介して送信する送信装置 3 0 4 とを備える。

ここで、受信装置 3 0 2 は、その基準周波数発振源として前述した本発明の原子発振器 1 を備える電子装置である。このような受信装置 3 0 2 は、優れた信頼性を有する。また、受信装置 3 0 2 で受信された測位情報は、リアルタイムで送信装置 3 0 4 により送信される。

【 0 0 9 1 】

GPS 受信装置 4 0 0 は、GPS 衛星 2 0 0 からの測位情報をアンテナ 4 0 1 を介して受信する衛星受信部 4 0 2 と、基地局装置 3 0 0 からの測位情報をアンテナ 4 0 3 を介して受信する基地局受信部 4 0 4 とを備える。

以上、本発明のガスセルユニット、原子発振器および電子装置について、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い。

【 0 0 9 2 】

また、本発明のガスセルユニットおよび原子発振器では、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、本発明のガスセルユニットおよび原子発振器は、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。

【 0 0 9 3 】

例えば、前述した実施形態では、ガスセルユニットに備えられた 2 つのヒーター (第 1 ヒーター、第 2 ヒーター) は互いに同じ構成である場合を説明したが、ガスセルユニットが 2 つのヒーターを有する場合、一方のヒーターと他方のヒーターとが異なる構成であってもよい。

また、ガスセル 2 1 の大きさ、用いるアルカリ金属の種類、ヒーターの発熱量等によっては、ヒーター 2 2、2 3 のいずれか一方を省略してもよい。また、ガスセルユニットが備えるヒーターの数は、3 つあるいは 5 つ以上であってもよい。

また、前述した実施形態では、2 つの温度センサーを設けた場合を説明したが、温度センサーの数は 1 つであってもよいし、3 つ以上であってもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 4 】

1 原子発振器 2 ガスセルユニット 2 A ガスセルユニット 2 B ガス

10

20

30

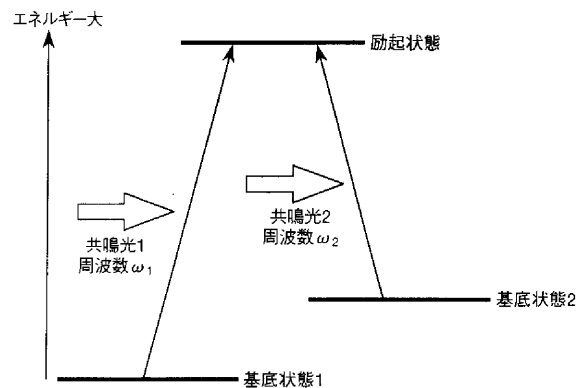
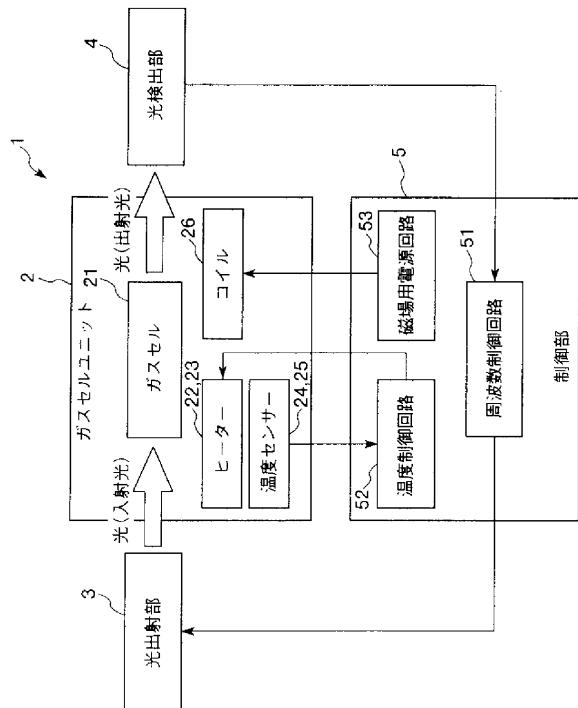
40

50

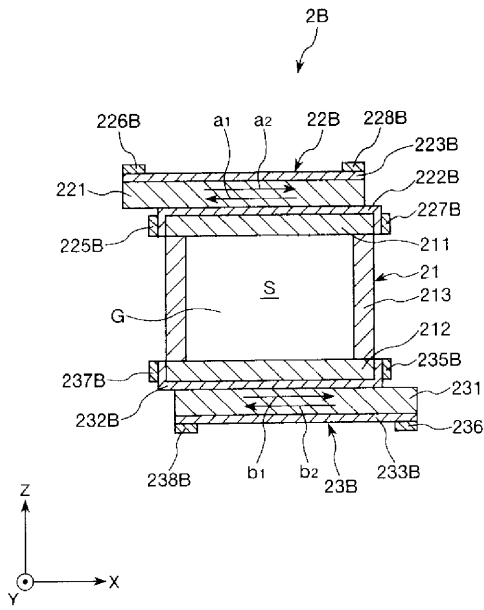
セルユニット	2 C	ガスセルユニット	2 D	ガスセルユニット	2 E	ガスセル	2 2				
セルユニット	3	光出射部	4	光検出部	5	制御部	2 1				
ヒーター	2 2 A	ヒーター	2 2 B	ヒーター	2 2 C	ヒーター	2 2 D				
ヒーター	2 2 E	ヒーター	2 3	ヒーター	2 3 A	ヒーター	2 3 B				
ヒーター	2 3 C	ヒーター	2 3 D	ヒーター	2 3 E	ヒーター	2 4				
温度センサー	2 5	温度センサー	2 6	コイル	5 1	周波数制御回路	5 2				
温度制御回路	5 3	磁場用電源回路	2 1 1	板状部	2 1 2	板状部	2				
1 3	スペーサー	2 2 1	基板	2 2 2	発熱抵抗体	2 2 2 B	発熱抵抗体	10			
2 2 2 C	発熱抵抗体	2 2 2 D	発熱抵抗体	2 2 2 E	発熱抵抗体	2 2 2	発熱抵抗体	2 2 2			
a	带状部	2 2 2 b	带状部	2 2 3	発熱抵抗体	2 2 3 B	発熱抵抗体	10			
2 2 3 C	発熱抵抗体	2 2 3 D	発熱抵抗体	2 2 3 E	発熱抵抗体	2 2 3 a	発熱抵抗体	2 2 3 a			
带状部	2 2 3 b	带状部	2 2 4	導体部	2 2 4 D	導体部	2 2 5				
電極	2 2 5 B	電極	2 2 5 C	電極	2 2 6	電極	2 2 6 B	電極	2 2		
6 C	電極	2 2 7 B	電極	2 2 7 C	電極	2 2 8 B	電極	2 2 8 C			
電極	2 3 1	基板	2 3 2	発熱抵抗体	2 3 2 B	発熱抵抗体	2 3 2 C				
発熱抵抗体	2 3 2 D	発熱抵抗体	2 3 3	発熱抵抗体	2 3 3 B	発熱抵抗体	2 3 3				
2 3 3 C	発熱抵抗体	2 3 3 D	発熱抵抗体	2 3 4	導体部	2 3 5	電				
極	2 3 5 B	電極	2 3 5 C	電極	2 3 6	電極	2 3 6 B	電極	2 3 6		
C	電極	2 7 1	基板	2 7 2	基板	2 7 3	基板	2 7 4	基板	2 7	
5	基板	2 7 6	基板	a 1	矢印	a 2	矢印	b 1	矢印	b 2	
印	S	空間	0	周波数	1	周波数	2	周波数	1 0 0	測位シ	20
システム	2 0 0	GPS衛星	3 0 0	基地局装置	3 0 1	アンテナ	3 0 2	アンテナ	3 0 2	アンテナ	3 0 2
受信装置	3 0 3	アンテナ	3 0 4	送信装置	4 0 0	GPS受信装置	4	GPS受信装置	4	GPS受信装置	4
0 1	アンテナ	4 0 2	衛星受信部	4 0 3	アンテナ	4 0 4	基地局受信	4	基地局受信	4	
部											

【図1】

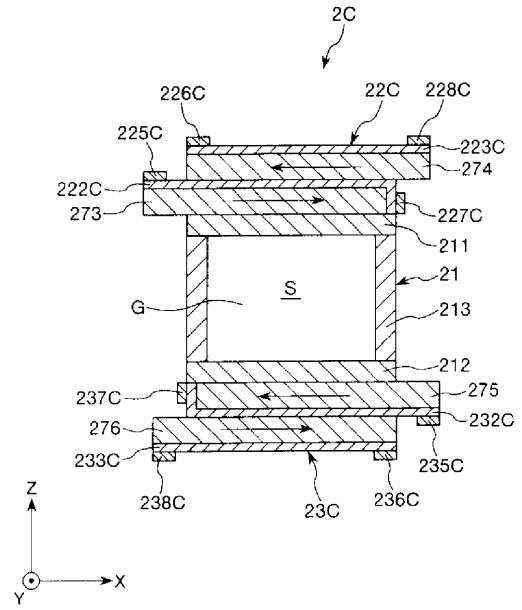
【図2】



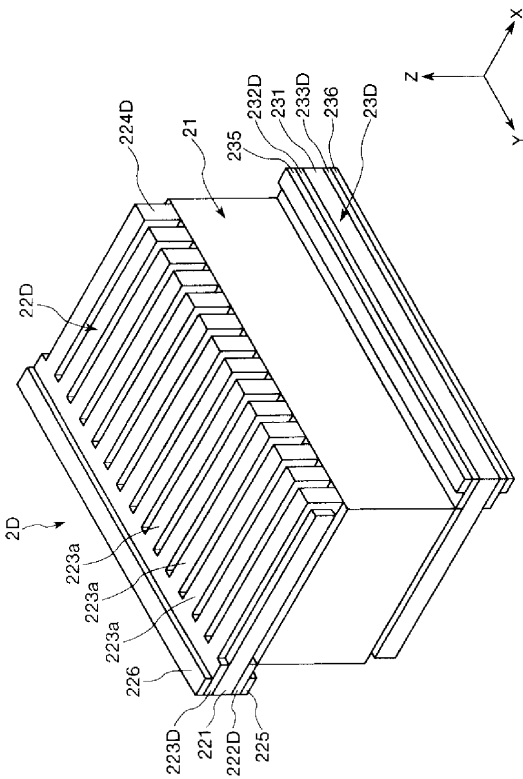
【 図 7 】



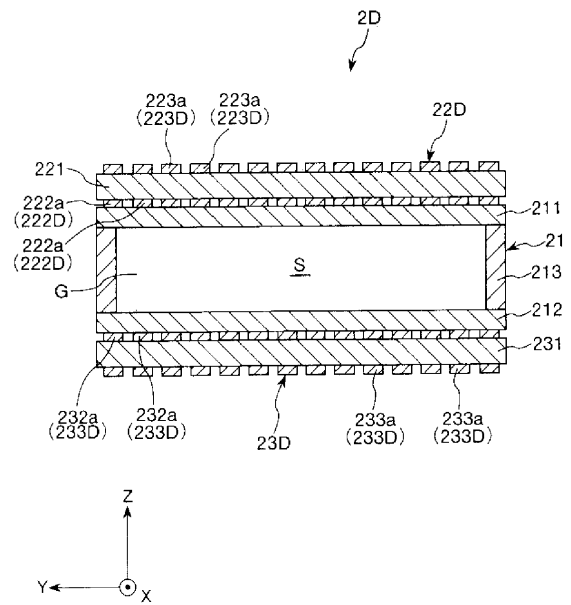
【 図 8 】



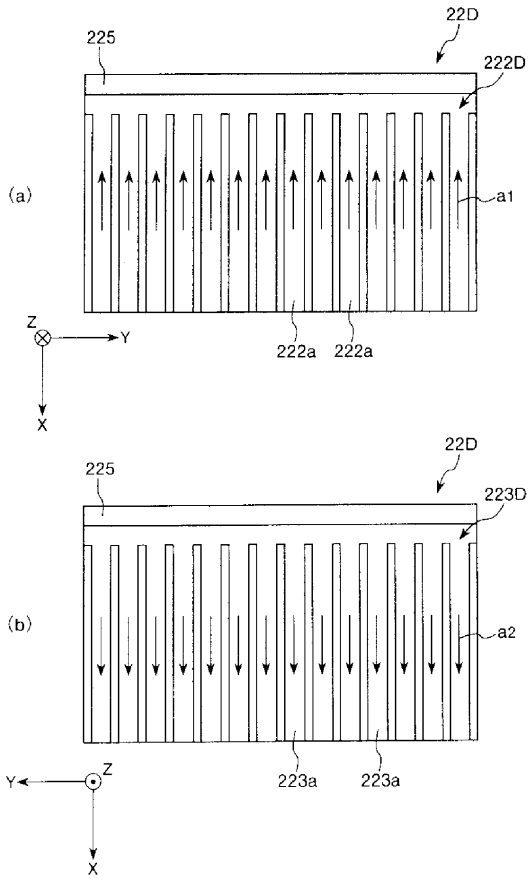
【 図 9 】



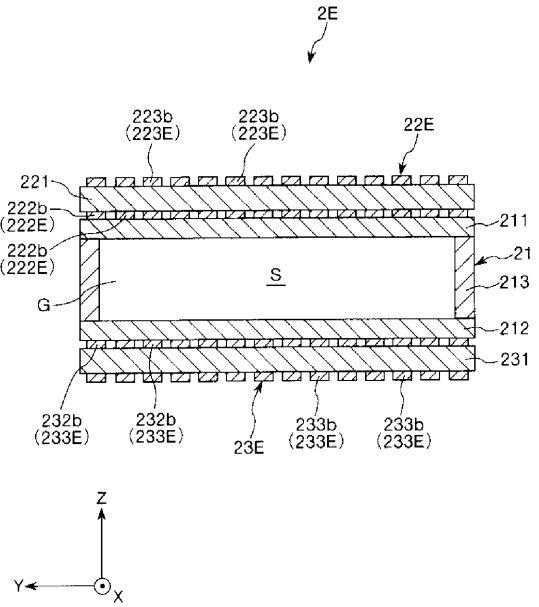
【 図 10 】



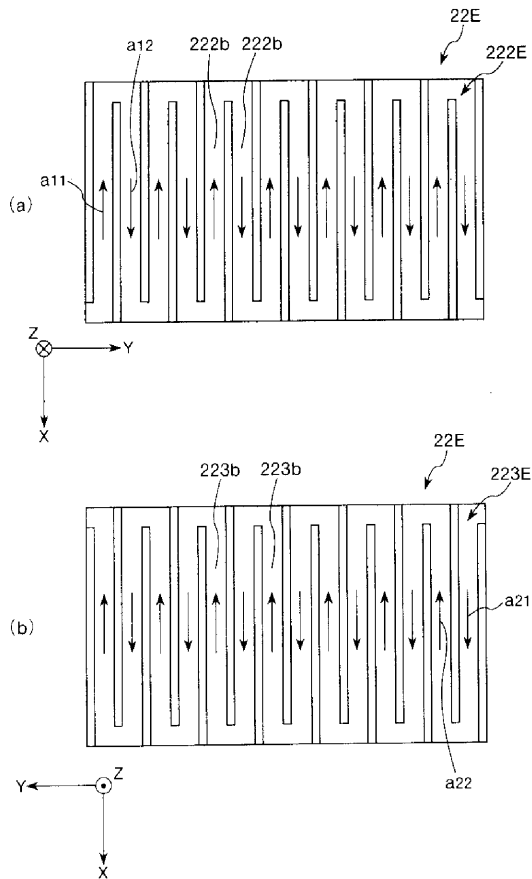
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

