

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年4月26日(26.04.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/074031 A1

(51) 国際特許分類:
H03L 7/26 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/027674

(22) 国際出願日: 2017年7月31日(31.07.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-205098 2016年10月19日(19.10.2016) JP

(71) 出願人: 株式会社村田製作所
(MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/
JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1
丁目 10 番 1 号 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 松田 賢二 (MATSUDA, Kenji);
〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 10 番
1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).

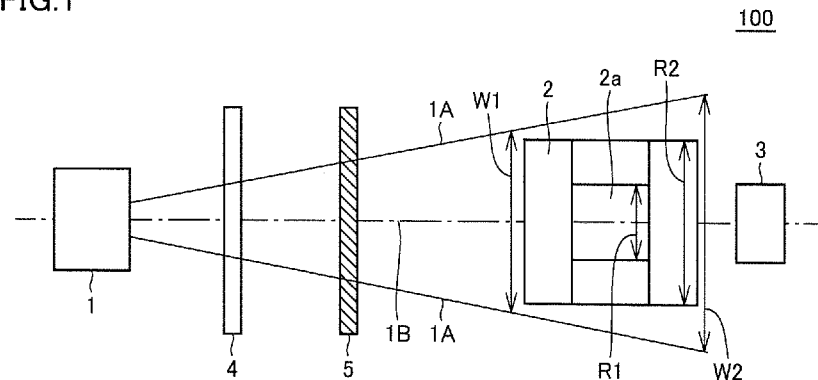
(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI
PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大
阪市北区中之島三丁目 2 番 4 号 中之島フェス
ティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: ATOMIC OSCILLATOR AND ELECTRONIC DEVICE

(54) 発明の名称: 原子発振器および電子機器

FIG.1



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a highly accurate atomic oscillator and an electronic device having an atomic oscillator in which an obtained EIT signal has a thinner line width. An atomic oscillator (100) according to the present invention is provided with: a light source (1); a gas cell (2) having an internal space (2a) in which atoms of an alkali metal are sealed; and a light detector (3) for detecting light emitted from the light source (1) that has traversed the gas cell (2). The atomic oscillator (100) is configured such that the irradiation area (area based on a spot diameter (W2) of the light source (1)) of the light source (1) at the distal end (the emission side of the gas cell (2)) of the gas cell (2) relative to the light source (1) is wider than a cross-sectional area of the internal space (2a) (area based on the internal diameter (R1)).

(57) 要約: 本発明の目的は、得られる EIT 信号の線幅がより細く、精度の高い原子発振器および原子発振器を備える電子機器を提供する。本発明は、光源 (1) と、アルカリ金属原子が封入された内部空間 (2a) を有するガスセル (2) と、光源 (1) から出射され、ガスセル (2) を透過した光を検出する光検出器 (3) とを備える原子発振器 (100) である。原子発振器 (100) は、光源 (1) に対するガスセル (2) の遠方端 (ガスセル (2) の出射側) において、光源 (1) の照射領域 (光源 (1) のスポット径 (W2) に基づく面積) が内部空間 (2a) の断面積 (内径 (R1) に基づく面積) より広い。

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：原子発振器および電子機器

技術分野

[0001] 本発明は、原子発振器および原子発振器を備える電子機器に関する。

背景技術

[0002] 原子発振器は、ルビジウム、セシウム等の原子を気密封入したガスセルに2種類の波長の異なるレーザ光を照射することで、量子干渉効果（Coherent Population Trapping（CPT））を利用して共鳴周波数を得ることができ、ガスセル中の原子はレーザ光を吸収し、2種類の光の周波数差に応じて光吸収特性（透過率）が変化することが知られている。特に、原子発振器は、2種類の光のいずれも吸収されずに透過する現象（Electromagnetically Induced Transparency（EIT））を利用して、原子に吸収されず透過する透過光スペクトルをEIT信号として検出している。具体的な原子発振器の構成については、例えば特許文献1（特開2009-164331号公報）に開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2009-164331号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 検出されるEIT信号は、特定の周波数においてローレンツ関数的な信号となり、線幅が細いほど良好な信号であり、精度の高い原子発振器となる。しかし、ガスセルに入射される光の強度によりEIT信号が影響を受けることが知られており、従来の原子発振器では、当該影響によりEIT信号の線幅が太くなってしまう問題があった。

[0005] 具体的に、原子発振器の信号源として用いられる水晶発振器は温度などの環境変化により発振する周波数が変動するが、当該変動を補正するために原

子発振器の量子部における E I T 信号を利用している。原子発振器は、水晶発振器で発振する周波数を検知して補正しているが、E I T 信号の線幅が太いと大きな周波数変動が生じないと補正が行われず、精度の高い発振器を実現することができない。

[0006] そこで、本発明の目的は、得られる E I T 信号の線幅がより細く、精度の高い原子発振器および原子発振器を備える電子機器を提供する。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一形態に係る原子発振器は、光源と、アルカリ金属原子が封入された内部空間を有するガスセルと、光源から出射され、ガスセルを透過した光を検出する光検出部とを備え、光源に対するガスセルの遠方端において、光源の照射領域が内部空間の断面積より広い。

[0008] 本発明の別の形態に係る原子発振器は、光源と、アルカリ金属原子が封入された内部空間を有するガスセルと、光源から出射され、ガスセルを透過した光を検出する光検出部とを備え、光源に対する近方端において光源から出射された光の一部をガスセルに入射させる。

[0009] 本発明の一形態に係る電子機器は、上記に記載の原子発振器を備える。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、光源に対するガスセルの遠方端において、光源の照射領域が内部空間の断面積より広くなるように、または光源に対する近方端において光源から出射された光の一部をガスセルに入射させるようにすることで、線幅がより細い E I T 信号が得られ、精度を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の実施の形態 1 に係る原子発振器の構成を説明するための概略図である。

[図2]本発明の実施の形態 1 に係る原子発振器の機能を説明するためのブロック図である。

[図3]光源のスポット径に対する相対的光強度と位置との関係を説明するための図である。

[図4]光源のスポット径とE I T信号の線幅との関係を説明するための図である。

[図5]本発明の実施の形態1の変形例に係る原子発振器の構成を説明するための概略図である。

[図6]本発明の実施の形態1の変形例に係る内部空間の形状と光源のスポット径との関係を説明するための概略図である。

[図7]アライメントずれ量とE I T信号の線幅との関係を説明するための図である。

[図8]本発明の実施の形態2に係る原子発振器の構成を説明するための概略図である。

[図9]本発明の実施の形態3に係る原子発振器の構成を説明するための概略図である。

[図10]本発明の実施の形態3に係る原子発振器の装置構成を説明するための断面図である。

[図11]本発明の実施の形態3に係る原子発振器の別の装置構成を説明するための断面図である。

[図12]本発明の実施の形態3に係る原子発振器の変形例の構成を説明するための概略図である。

[図13]本発明の実施の形態4に係る原子発振器の構成を説明するための概略図である。

[図14]原子発振器の構成による光強度の密度の違いを説明するための概略図である。

[図15]本発明の実施の形態5に係る原子発振器の構成を説明するための概略図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下に、本発明の実施の形態に係る原子発振器について図面を参照して詳しく説明する。なお、図中同一符号は同一または相当部分を示す。

[0013] (実施の形態1)

以下に、本発明の実施の形態１に係る原子発振器について図面を参照しながら説明する。図１は、本発明の実施の形態１に係る原子発振器１００の構成を説明するための概略図である。図１では、原子発振器１００の構成のうち、光源から光検出器までは量子部について図示してある。原子発振器は、量子部以外に、後述する光源波長制御回路および周波数制御回路の構成（図２参照）や、特に図示していないが信号源となる水晶発振器および量子部からの出力信号を水晶発振器にフィードバックするフィードバック回路などの構成を含んでいる。本願明細書では、説明を簡単にするために原子発振器の量子部について説明する。また、以下の記載において、原子発振器の量子部を単に原子発振器と記載する場合がある。

[0014] 図１に示す原子発振器１００は、光源１、ガスセル２、光検出器３、波長板４およびND（Neutral Density）フィルタ５で構成されている。原子発振器１００は、光源１からの光１Ａを波長板４およびNDフィルタ５を介してガスセル２に入射し、ガスセル２を透過した光を光検出器３で検出してEIT信号を得ている。

[0015] 図２は、本発明の実施の形態１に係る原子発振器１００の機能を説明するためのブロック図である。図２に示す原子発振器１００では、図１に示した原子発振器１００の量子部の構成以外に、駆動するために必要な温度コントロール回路６、９、光源波長制御回路７、および周波数制御回路８も図示している。

[0016] さらに、図１および図２に示した原子発振器１００の構成要素について詳しく説明する。光源１は、例えばシングルモードのVCSEL（Vertical Cavity Surface Emitting LASER）を用いる。具体的には、光の波長が 894.6 nm のCs-D1線のVCSELを光源１に用いる。なお、光源１には、光の波長が 852.3 nm のCs-D2線のVCSEL、 795.0 nm のRb-D1線のVCSEL、 780.2 nm のRb-D2線のVCSELなどを用いてもよい。また、光源１は、VCSELに限定されずDFB（Distributed Feedback）レーザやDBR（Distributed Bragg Reflector）

レーザなどを用いてもよい。

[0017] 光源 1 に VCSEL を用いる場合、VCSEL の個体差により光の波長がばらつくため、温度コントロール回路 6 を用いて 894.6 nm の波長の光が出力できるように調整している。温度コントロール回路 6 は、光源 1 の近傍に設けたサーミスタや熱電対で測定した温度に基づき、光源 1 に設けたヒータで温度を調節する。なお、VCSEL から出力される光の波長を制御する方法として、温度を調整する以外に動作電流を調整する方法もある。

[0018] 光源 1 からの光は、ガスセル 2 に入射されるまでに、波長板 4 および ND フィルタ 5 を通過する。波長板 4 は、光源 1 からの光の偏光を変えるために用いる。光源 1 から出た光は、一般的に直線偏光である。直線偏光を用いた EIT 信号は、外部磁場により大きく変動するエネルギー準位を使用するため周波数変動が生じやすい。そのため、通常、原子発振器では、外部磁場による周波数変動の小さい準位を用いるため、波長板 4 を用いて光源 1 からの直線偏光の光を波長板 4 で円偏光の光に変えてガスセル 2 に入射している。なお、波長板 4 で変換した円偏光は、右回り円偏光でも左回り円偏光でもよい。

[0019] ND フィルタ 5 は、光源 1 からの光の強度を減衰させるための光学部品である。原子発振器では、ガスセルに入射する光の強度が強すぎると EIT 信号の線幅が太くなるパワーブロードニング効果が知られている。そのため、光源 1 に数 mW 以下の VCSEL を用いる場合でも、良好な EIT 信号（EIT 信号の線幅が細い）を得るために透過率 30% 以下程度の ND フィルタ 5 を用いる。なお、ND フィルタ 5 でガスセル 2 に入射する光の強度を減衰させすぎると EIT 信号自体が観測できなくなるので、EIT 信号の検出限界を踏まえて最適の ND 値を設定する必要がある。ND フィルタ 5 には、ガラス基板に金属膜を蒸着し光を反射する反射型や素材自体が光を吸収する吸収型がある。

[0020] ガスセル 2 は、K, Na, Cs, Rb などのアルカリ金属ガス（原子）を気密封入した密封容器である。ガスセル 2 は、光源 1 に対する近方端に光を

入射する入射窓（入射側）と、遠方端に光を出射する出射窓（出射側）と、入射窓と出射窓とを保持する側壁（側面）とで構成されている。原子発振器のガスセルでは、Cs, Rbのアルカリ金属ガスが気密封入されている。ガスセル2のサイズが10mm以下の場合、内部空間2a内のアルカリ金属ガスを増やすため、ヒータ等を温度コントロール回路9で調節してガスセル2を温めている。例えば、原子発振器に用いるガスセルであれば、使用温度として30℃～125℃程度である。温度コントロール回路9は、ガスセル2の近傍に設けたサーミスタや熱電対で測定した温度に基づき、ガスセル2に設けたヒータで温度を調節する。

[0021] ガスセル2で必要とされるアルカリ金属ガスの量は、飽和蒸気圧の量である。しかし、アルカリ金属ガスはガスセル2の容器と反応する等により徐々に消費されるため、ガスセル2には飽和蒸気圧の量よりも多くのアルカリ金属ガスが封入されている。具体的に、一辺の長さが数mm程度のガスセルであれば数 μ g程度のアルカリ金属がガスセル2に封入してある。なお、飽和蒸気圧の量よりも多く封入したアルカリ金属は固体または液体の状態で内部空間2a内に留まることになる。

[0022] ガスセル2は、光源1からの光を入射するため、少なくとも光経路上において透明であることが必要である。そのため、ガスセル2の入出射窓には、石英ガラス、ホウケイ酸ガラス、アルミノケイ酸ガラスなどのガラスが用いられる。なお、ガスセル2の側面には、ガラスやガラスと陽極接合が可能なSiが用いられる。

[0023] ガスセル2の容器サイズは、光軸方向および光軸に対して垂直方向のいずれの方向においても大きい方が良好なEIT信号を得ることができる。これは、ガスセル2内でアルカリ金属ガスに光が当たる領域が広くなり、アルカリ金属ガスに光が当たる時間が長くなるためである。ただし、小型の原子発振器が望まれており、ガスセルの容器サイズは、一辺の長さが1mm～10mm程度である。

[0024] ガスセル2には、アルカリ金属ガス以外にバッファガスが封入されている

。ガスセル内にアルカリ金属ガスのみであると、容器壁面にアルカリ金属原子が短時間で衝突して観測する時間が短くなる問題があった。そこで、観測する時間を延ばすためにバッファガスと呼ばれる不活性ガスをアルカリ金属ガスと共にガスセル内に封入する。これにより、アルカリ金属ガスがバッファガスと衝突することで移動速度を低減して容器壁面に衝突するまでの時間を長くして、観測する時間を延ばしている。封入する不活性ガスは、He, N₂, Ne, Ar, Kr, Xeがある。ガスセルには、300 Torr以下程度の不活性ガスを封入する。なお、バッファガスの温度特性によるEIT信号への影響を抑えるため、温度特性の異なる不活性ガスを同時に封入する。例えば、ガスセルにマイナスの温度特性を持つArとプラスの温度特性を持つN₂とを同時に封入する。

[0025] ガスセル2では、アルカリ金属ガスとしてCs、バッファガスとしてArとNeとの混合ガス（ArとNeとの比率は7：3で合計圧力75 Torr）を封入している。また、ガスセル2の動作温度は70℃で、ガスセル2の容器サイズは光軸方向の長さが2 mmである。

[0026] ガスセル2に外部磁場が加わるとアルカリ金属のエネルギー準位がゼーマン分裂し、複数のEIT信号が得られることが知られている。そこで、ガスセル2は、外部磁場の影響を低減するために、磁気シールド2bおよびバイアス磁場2cを加える構成を採用している。磁気シールド2bは、電磁軟鉄、珪素鋼、パーマロイ、アモルファス等の磁性材料が用いられる。バイアス磁場2cは、3軸のヘルムホルツコイル（図示せず）を用いて光軸方向に加えている。なお、ガスセル2にバイアス磁場2cを印加する構成は、ヘルムホルツコイルに限定されない。

[0027] 光検出器3には、PD（photo diode）を用いている。PDは、光を電流に変換する素子で、例えば近赤外波長に吸収帯を持つSiのPINフォトダイオードである。PINフォトダイオードは、逆バイアス電圧を印加することで高速な応答が可能となるが、原子発振器に用いる場合は特に高速な応答を必要としないため逆バイアス電圧は印加していない。

- [0028] 光検出器 3 は、P D で得た信号から E I T 信号のピーク位置と吸収線のピーク位置を検出する。良好な E I T 信号を得るためには吸収線のピーク位置で C P T を生じさせる必要があり、吸収線のピーク位置が光源 1 からの光の波長に相当する。
- [0029] 光源波長制御回路 7 は、光源 1 からの光の波長を制御している。具体的に、光源波長制御回路 7 は、光検出器 3 で得た吸収線のピーク位置に応じて D C 電源（図示せず）の電流（または電圧）を補正して、吸収線のピーク位置で光源 1 からの光の波長が安定するように制御している。
- [0030] 周波数制御回路 8 は、光検出器 3 から得た信号に応じて光源 1 の駆動電流に重畳させる R F 信号を生成し、ガスセル 2 内が C P T 状態となるように R F 信号の周波数を制御している。具体的に、周波数制御回路 8 は、光源 1 に入力する 4. 5 9 6 3 1 5 8 8 5 k H z の R F 信号を、温度補償水晶発振器（T C X O）の信号（1 0 M H z）を基に電圧制御発振器（V C O）および位相同期回路（P L L）を用いて生成している。なお、周波数制御回路 8 は、E I T 信号のピーク位置および吸収線のピーク位置を光検出器 3 で検出できるように、R F 信号の周波数を変調（例えば、1 0 k H z）して光源 1 からの光の波長を掃引している。
- [0031] 本実施の形態 1 に係る原子発振器 1 0 0 では、前述した構成のうち光源 1 とガスセル 2 との位置関係を見直してガスセル 2 に入射する光源 1 からの光の強度が均一になるように構成している。
- [0032] 光源 1 に用いる V C S E L のようなレーザ光では、光の強度が中心部に近づくほど強くなり、光軸に対して垂直な方向において光の強度がガウス分布となっている。そのため、光源 1 は、スポット径（照射領域）を大きくするほど光源 1 の中心部から一定の距離（例えば、中心部から 1 m m）にある周辺部における光の強度差が小さくなる特性を有している。当該特性を利用して、本実施の形態 1 に係る原子発振器 1 0 0 では、ガスセル 2 に入射する光源 1 のスポット径を大きくして光の強度の均一化を図っている。
- [0033] ここで、ガスセル 2 に入射する光の強度が均一でない場合、E I T 信号の

線幅が太くなる理由について説明する。まず、パワーブロードニングが理由の一つと考えられる。パワーブロードニングは、Cs等のアルカリ金属ガスに入射する光の強度密度が大きいほどEIT信号の線幅が太くなる現象である。そのため、光の強度が均一でない場合、光の強度密度が大きい領域においてパワーブロードニングが生じてEIT信号の線幅が太くなり、全体の領域におけるEIT信号の線幅に影響を与える。

[0034] 次に、ライトシフトが理由の一つと考えられる。ライトシフトは、アルカリ金属ガスに光が入射した場合、当該光の影響でアルカリ金属ガスが持つ固有のエネルギー準位が変化する現象である。ライトシフトによるエネルギー準位の変化量は、光の強度によって異なる。そのため、光の強度が均一でない場合、光の強度が強い領域と、光の強度が弱い領域とでライトシフトによるエネルギー準位の変化量が異なり、EIT信号の線幅に影響を与える。

[0035] 具体的に、本実施の形態1に係る原子発振器100では、光の強度の均一化を図るために、ガスセル2の容器サイズに対する光源1のスポット径の大きさを見直している。図1に示す原子発振器100では、ガスセル2の内径R1が2mm、ガスセル2の幅R2が4mmである場合に、ガスセル2の入射側での光源1のスポット径W1が4mmより大きくなっている。つまり、ガスセル2の入射側での光源1のスポット径W1は、ガスセル2の内径R1およびガスセル2の幅R2よりも大きい。なお、ガスセル2の断面形状は正方形であり、その外形の一辺の長さがガスセル2の幅R2である。光源1のスポット径は光軸方向に広がるため、ガスセル2の出射側での光源1のスポット径W2は、スポット径W1よりさらに大きくなっている。

[0036] ここで、光源1のスポット径と光の強度との関係についてさらに説明する。図3は、光源1のスポット径に対する相対的光強度と位置との関係を説明するための図である。図3には、光源1のスポット径が2mmの場合のグラフA、光源1のスポット径が3mmの場合のグラフB、光源1のスポット径が4mmの場合のグラフCがそれぞれ図示されている。グラフAの場合、光源1の中心部（位置0.0mm）で相対的光強度が1.0であるのに対して

、光源 1 の周辺部（位置 ± 1. 0 mm）で相対的光強度が約 0. 1 と大幅に変化している。しかし、グラフ B の場合、光源 1 の中心部（位置 0. 0 mm）で相対的光強度が約 0. 25 であるのに対して、光源 1 の周辺部（位置 ± 1. 0 mm）で相対的光強度が約 0. 15 と変化が小さい。また、グラフ C の場合、光源 1 の中心部（位置 0. 0 mm）で相対的光強度が約 0. 1 であるのに対して、光源 1 の周辺部（位置 ± 1. 0 mm）で相対的光強度が約 0. 1 とさらに変化が小さい。

[0037] そのため、原子発振器 100 は、ガスセル 2 の入射側での光のスポット径を大きくすることでガスセル 2 内での光の強度を均一化して良好な E | T 信号を得ることができる。具体的に、図 4 は、光源 1 のスポット径と E | T 信号の線幅との関係を説明するための図である。図 4 には、光源 1 のスポット径が 2 mm、3 mm、4 mm において E | T 信号の線幅を測定した結果が示されている。なお、図 4 の測定では、ガスセル 2 に形成された内部空間 2 a に照射される光源 1 からの光量が、スポット径を 2 mm、3 mm、4 mm と変化させても同じになるように調整してある。光源 1 のスポット径が 2 mm の場合、E | T 信号の線幅が約 1 kHz であるのに対して、光源 1 のスポット径が 3 mm の場合、E | T 信号の線幅が約 0. 7 kHz と細くなっている。また、光源 1 のスポット径が 4 mm の場合、E | T 信号の線幅が約 0. 7 kHz と細くなっている。従って、光源 1 のスポット径は、ガスセル 2 の内部空間 2 a の内径 R1 よりも 1. 5 倍以上にすることが好ましい。

[0038] 原子発振器 100 では、ガスセル 2 の入射側での光源 1 のスポット径を大きくするために、光源 1 とガスセル 2 との間の距離を変えることで調整している。なお、光源 1 のスポット径は、ピークの光強度に対して $1/e^2$ の光強度となる範囲とする一般的な定義を用いている。

[0039] 図 1 に示した原子発振器 100 では、ガスセル 2 の入射側での光源 1 のスポット径 W1 がガスセル 2 の幅 R2 より大きくなる例を示しているが、これに限定されない。原子発振器は、少なくともガスセルの出射側での光源のスポット径がガスセルの幅より大きくなればよく、ガスセルの入射側で光源の

スポット径がガスセルの幅より小さくてもよい。具体的に、図5は、本発明の実施の形態1の変形例に係る原子発振器100aの構成を説明するための概略図である。原子発振器100aでは、ガスセル2の出射側での光源1のスポット径W4がガスセル2の幅R2より大きくなる。しかし、原子発振器100aでは、ガスセル2の入射側での光源1のスポット径W3がガスセル2の幅R2より小さくなっている。なお、ガスセル2の容器には厚みがあり、ガスセル2に形成された内部空間2aのサイズは容器サイズより小さい。つまり、ガスセル2の幅R2に対してガスセル2の内径R1は小さい。そのため、厳密に規定するならば、原子発振器100aは、ガスセル2の出射側での光源1のスポット径W4がガスセル2の内径R1より大きければよい。なお、内部空間2aは、直方体のガスセル2の内側に円柱状に形成されており、内部空間2aの断面形状は内径R1の円形である。

[0040] 以上のように、本実施の形態1に係る原子発振器100, 100aでは、少なくともガスセル2の出射側での光源1のスポット径W2, W4がガスセル2の内径R1より大きければ、良好なEIT信号を得ることができる。つまり、原子発振器100, 100aは、光源1に対するガスセル2の遠方端（ガスセル2の出射側）において、光源1の照射領域（光源1のスポット径W2, W4に基づく面積）が内部空間2aの断面積（内径R1に基づく面積）より広い。そのため、本実施の形態1に係る原子発振器100, 100aでは、得られるEIT信号の線幅がより細く、精度の高い原子発振器となる。

[0041] 図1および図5に示すように、原子発振器100, 100aでは、光源1に対する近方端（ガスセル2の入射側）において光源1から出射された光の一部のみをガスセル2に入射させている。すなわち、ガスセル2は、光源1から出射された光において中央部を入射させているが、周辺部を入射させていない。本来、光源1からの光を有効に利用するのであれば、ガスセル2の入射側においてガスセル2の内径R1よりも光源1のスポット径を小さくする必要がある。しかし、本実施の形態1に係る原子発振器100, 100a

では、光の強度を均一化させるために光を有効に利用せず、あえて光源 1 から出射された光の一部のみをガスセル 2 に入射させている。そのため、原子発振器 100, 100a では、EIT 信号の線幅が細くなり、良好な EIT 信号を得ることができる。

[0042] なお、ガスセル 2 の形状が幅 R2 の直方体で、内部空間 2a の形状が内径 R1 の円柱状であると説明したが、これに限定されない。例えば、ガスセル 2 の形状が円柱状であっても、内部空間 2a の形状が直方体であってもよい。原子発振器 100, 100a は、内部空間 2a の形状が直方体の場合であっても、光源 1 に対するガスセル 2 の遠方端（ガスセル 2 の出射側）において、光源 1 の照射領域が内部空間 2a の断面積より広ければよい。ここで、内部空間 2a の形状が直方体とした場合に、一部に光が入射しない部分があってもよい。具体的に、図 6 は、本発明の実施の形態 1 の変形例に係る内部空間 2a の形状と光源 1 のスポット径との関係を説明するための概略図である。図 6 (a) では、内部空間 2a の形状が円柱状とした場合の内部空間 2a の断面と光源 1 のスポット 1a との関係を示しており、光源 1 のスポット 1a が内部空間 2a の断面を全て覆っている。一方、図 6 (b) では、内部空間 2a の形状が直方体とした場合の内部空間 2a の断面と光源 1 のスポット 1a との関係を示しており、光源 1 のスポット 1a が内部空間 2a の断面を全て覆うことができず一部に光が入射しない部分が残っている。しかし、光源 1 のスポット 1a の面積（光源 1 の照射領域）は、内部空間 2a の断面積より広がっている。

[0043] （実施の形態 2）

図 3 で示したように、光源 1 のスポット径が小さいと光源 1 の中心部から少しずれても光の強度が大きく変化するが、光源 1 のスポット径を大きくすると光源 1 の中心部から少しずれても光の強度の変化が小さい。このことは、原子発振器において、光源の光軸がガスセルの中心軸からずれてもガスセルに入射される光の強度が変化しないことを意味しており、光軸のずれ（アライメントずれ）に対する耐性が大きくなることを示している。

[0044] 図7は、アライメントずれ量とE I T信号の線幅との関係を説明するための図である。図7には、光源1のスポット径が2 mmの場合のアライメントずれ量とE I T信号の線幅との変化を測定した結果を点Aで示している。同様に、図7には、光源1のスポット径が3 mm、4 mmの場合のアライメントずれ量とE I T信号の線幅との変化を測定した結果を点B、点Cでそれぞれ示している。具体的に、光源1のスポット径が2 mmの場合（点A）、光源の光軸がガスセルの中心軸と一致しているとき（アライメントずれ量0 mm）にE I T信号の線幅が約1 kHzである。しかし、アライメントずれ量が-1 mmのときE I T信号の線幅が約1.08 kHzに、アライメントずれ量が1 mmのときE I T信号の線幅が約1.12 kHzに、それぞれ大きく変化している。一方、光源1のスポット径が3 mmの場合（点B）、アライメントずれ量0 mmのときも±1 mmのときもE I T信号の線幅が約0.7 kHzとほぼ一定である。同様に、光源1のスポット径が4 mmの場合（点C）、アライメントずれ量0 mmのときも±1 mmのときもE I T信号の線幅が約0.7 kHzとほぼ一定である。なお、アライメントずれ量±2 mmのとき、E I T信号の線幅への影響が最も小さいのが光源1のスポット径が4 mmの場合（点C）である。

[0045] 前述のように、ガスセルに光源からの光を均一化して入射することで、アライメントずれに対する耐性が大きくなることを利用して、原子発振器において、あえて光源の光軸をガスセルの中心軸からずらした構成を採用してもよい。図8は、本発明の実施の形態2に係る原子発振器100bの構成を説明するための概略図である。原子発振器100bは、光源1の光軸1Bがガスセル2の中心軸からずれた構成である。なお、原子発振器100bにおいて、図1に示す原子発振器100と同じ構成については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0046] 原子発振器100bでは、光源1の光軸1Bとガスセル2の中心軸とのズレ量をDとしている。ズレ量Dが1 mmの場合であっても、原子発振器100bでは、少なくともガスセル2の出射側での光源1のスポット径をガスセ

ル 2 の内径より大きくしていれば、図 7 で示したように良好な E I T 信号を得ることができる。

[0047] (実施の形態 3)

実施の形態 1 に係る原子発振器 100, 100a では、光源 1 に対する近方端（ガスセル 2 の入射側）において光源 1 から出射された光の一部をガスセル 2 に入射させている。そのため、光源 1 から出射された光のうちガスセル 2 の内部空間 2a に入射しない光が存在し、当該光が光検出器 3 で検出される可能性がある。光検出器 3 で検出された当該光は、E I T 信号のノイズ成分となる。そこで、内部空間に入射しない光を光検出器で検出しない構成の原子発振器について説明する。図 9 は、本発明の実施の形態 3 に係る原子発振器 100c の構成を説明するための概略図である。なお、原子発振器 100c において、図 1 に示す原子発振器 100 と同じ構成については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0048] 原子発振器 100c では、ガスセル 2 の側壁（側面）に遮光部 2d を設けた。遮光部 2d は、内部空間 2a に入射しない光をガスセル 2 の外側へ透過させないことで、光検出器 3 に至る光路を遮断している。なお、遮光部 2d は、光を吸収する部材、光を反射する部材のどちらでもよい。具体的に、遮光部 2d の部材として、例えば Si や金属膜などが考えられる。

[0049] 例えば、Si を遮光部 2d の部材として用いた場合、光の波長が 894 nm のとき吸収係数 α が $300 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$ である。ここで、吸収係数 α を用いて、遮光部 2d に入射した光（光の強度 I_0 ）が遮光部 2d の中を $x \text{ cm}$ 進んだときの光の強度 $I(x)$ を、 $I(x) = I_0 \exp(-\alpha x)$ と表すことができる。遮光部 2d は、設計上 90% 以上の吸収量が望ましく、遮光部 2d の厚みを 1 mm とした場合少なくとも吸収係数 α が 23 cm^{-1} 以上であればよい。

[0050] 次に、原子発振器 100c を具体的な装置として構成した場合について説明する。図 10 は、本発明の実施の形態 3 に係る原子発振器の装置構成を説明するための断面図である。なお、図 10 に示す原子発振器 100c におい

て、図 1 に示す原子発振器 100 と同じ構成については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。まず、原子発振器 100 c は、プリント基板 1 b に設けた光源 1 を回路基板 10 の上に載せ、図中上向きに光を照射してガスセル 2 に光を入射させる構成である。プリント基板 1 b は、光源 1 として VCSEL を実装しており、当該 VCSEL の温度を調節するためのヒータ 6 a とサーミスタ 6 b とを接続するための配線パターンが形成してある。ヒータ 6 a およびサーミスタ 6 b は、温度コントロール回路 6 に接続されている。

[0051] 光を上向きに照射してガスセル 2 に光を入射させる構成であるため、ガスセル 2 は、スペーサ 11 を介して光源 1 の上側に設けられている。スペーサ 11 は、ガスセル 2 を保持し光源 1 との光軸位置、距離を一定にする機能を有している。そのため、光源 1 のスポット径は、スペーサ 11 の高さにより調整することができる。

[0052] ガスセル 2 の出射側には、プリント基板 3 a に設けた光検出器 3 が配置されている。プリント基板 3 a は、光検出器 3 として PD を実装しており、ガスセル 2 の温度を調節するためのヒータ 9 a とサーミスタ 9 b とを接続するための配線パターンが形成してある。ヒータ 9 a およびサーミスタ 9 b は、温度コントロール回路 9 に接続されている。

[0053] 原子発振器 100 c は、光源 1、ガスセル 2 および光検出器 3 などセラミック部材 12 で 1 つにパッケージされている。セラミック部材 12 は、プリント基板 1 b、3 a と導通しており、回路基板 10 の配線と接続してある。プリント基板 3 a と回路基板 10 とは、ワイヤ配線 3 b を介して接続されている。セラミック部材 12 でパッケージした内部は、ヒータ 6 a、9 a の効率を高めるために真空封止してもよい。

[0054] 次に、図 10 に示した原子発振器 100 c において、遮光部 2 d がどのように機能しているかについて説明する。説明を分かりやすくするために、遮光部 2 d を設けない別の装置構成を図示する。図 11 は、本発明の実施の形態 3 に係る原子発振器 100 d の別の装置構成を説明するための断面図である。図 11 に示す原子発振器 100 d は、ガスセル 2 が遮光部 2 d を有して

いない以外、同じ構成である。

[0055] まず、原子発振器 100d は、光源 1 から出射した光がガスセル 2 の内部空間 2a を透過し光検出器 3 に至る光路 1C により EIT 信号を得ることができる。しかし、原子発振器 100d では、遮光部 2d を有していないため、光源 1 から出射した光がセラミック部材 12 で反射してガスセル 2 の側面から入射し、ガスセル 2 の内部空間 2a を透過し光検出器 3 に至る光路 1D が存在する。光路 1D のようにガスセル 2 の内部空間 2a を上手く透過しないで光検出器 3 で検出される光は、EIT 信号のノイズ成分となり、原子発振器 100d は、良好な EIT 信号を得ることができない。そこで、図 10 に示した原子発振器 100c は、ガスセル 2 に遮光部 2d を設けることで光路 1D のような光が光検出器 3 で検出されないようにして、良好な EIT 信号を得ている。

[0056] また、原子発振器 100d は、遮光部 2d を有していないため、光源 1 から出射した光がガスセル 2 の側面を通過しサーミスタ 9b に至る光路 1E が存在する。原子発振器 100d では、図 11 に示すようにガスセル 2 付近に温度をセンシングのためのサーミスタ 9b が配置されており、当該サーミスタ 9b に不要な光が当たると正確な温度測定ができない虞がある。そこで、図 10 に示した原子発振器 100c は、ガスセル 2 に遮光部 2d を設けることで光路 1E のような光がサーミスタ 9b に当たらないようにして、サーミスタ 9b の誤動作を防止している。特に、図 10 に示すように、ガスセル 2 の入射側で光源 1 のスポット径をガスセルの幅より小さくさせることで、ガスセル外に向かう光が存在しなくなり、さらにガスセル 2 に照射された光が遮光部 2d を設けることで、サーミスタ 9b の誤動作を防止できる。例えば、ガスセル 2 の幅 R2 が 3mm～5mm 程度であれば、ガスセル 2 の入射側で光源 1 のスポット径を 3mm～5mm 程度以下にする。

[0057] 以上のように、本実施の形態に係る原子発振器 100c は、ガスセル 2 の側壁に光を吸収する部材または光を反射する部材で構成された遮光部 2d を設けているので、ガスセル 2 の内部空間 2a を上手く透過しないで光検出器

3に至る光を取り除き、E I T信号のノイズ成分を低減して良好なE I T信号を得ることができる。なお、遮光部2 dは、光の吸収係数が 2.3 cm^{-1} 以上であることが望ましい。

[0058] なお、原子発振器1 0 0 cでは、ガスセル2の側壁に遮光部2 dを設ける構成について説明したが、これに限定されない。例えば、原子発振器は、光源から出射された光の一部がガスセルに入射されないように遮光する遮光部材を光源とガスセルとの間に設けてもよい。具体的に、図1 2は、本発明の実施の形態3に係る原子発振器1 0 0 eの変形例の構成を説明するための概略図である。なお、原子発振器1 0 0 eにおいて、図1に示す原子発振器1 0 0と同じ構成については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0059] 図1 2に示す原子発振器1 0 0 eでは、ガスセル2の入射側に遮光部材2 5を配置している。遮光部材2 5は、光源1から出射された光の一部をガスセル2に入射させないように遮光することで、ガスセル2の内部空間2 aを上手く透過しないで光検出器3に至る光を遮光している。遮光部材2 5は、光源1とガスセル2との間に配置されれば、いずれの位置であってもよい。例えば、NDフィルタ5に光源1から出射された光の一部を遮光するように遮光機能を持たせることで遮光部材2 5として用いてもよい。つまり、NDフィルタ5は、ガスセル2の内部空間2 aを上手く透過して光検出器3に至る光の強度を調節するとともに、ガスセル2の内部空間2 aを上手く透過しないで光検出器3に至る光を遮光する。

[0060] (実施の形態4)

前述の原子発振器では、光源から出た光が検出器に至るまで広がる光であると説明したが、本実施の形態に係る原子発振器では、光源から出た広がる光を平行光にしてガスセルを透過させる構成について説明する。図1 3は、本発明の実施の形態4に係る原子発振器1 0 0 fの構成を説明するための概略図である。なお、原子発振器1 0 0 fにおいて、図1に示す原子発振器1 0 0と同じ構成については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0061] 原子発振器1 0 0 fは、光源1とガスセル2の間に平行光にするレンズ等

の光学部材 13 を配置してある。平行光にするレンズ等の光学部材 13 として、例えばコリメータレンズなどが考えられる。原子発振器 100 f では、光学部材 13 で平行光になった光がガスセル 2 を透過して光検出器 3 に至る。なお、原子発振器 100 f では、波長板 4 および ND フィルタ 5 を配置していないが、必要に応じて波長板 4 および ND フィルタ 5 を配置してもよい。

[0062] ガスセル 2 を透過する光が平行光である場合と、平行光でない場合との違いについてさらに詳しく説明する。図 14 は、原子発振器の構成による光強度の密度の違いを説明するための概略図である。図 14 (a) には原子発振器 100 が図示されており、光源 1 から出た光 1 A は光検出器 3 に至るまで広がる光である。そのため、ガスセル 2 の入射側での光強度の密度 1 G とガスセル 2 の出射側での光強度の密度 1 H とを比較すると、光強度の密度 1 H の方が低くなる。よって、ガスセル 2 の内部空間 2 a を透過する光は、光軸方向に光強度の密度が連続的に変化することになり、ガスセル 2 の位置によって光強度の密度が異なることになる。

[0063] 一方、図 14 (b) には原子発振器 100 f が図示されており、光源 1 から出た光 1 A が光学部材 13 で平行光 1 F に変換され光検出器 3 に至る。そのため、ガスセル 2 の入射側での光強度の密度 1 I とガスセル 2 の出射側での光強度の密度 1 J とを比較すると、同じ光強度の密度である。よって、ガスセル 2 の内部空間 2 a を透過する光は、光軸方向に光強度の密度が一定となり、ガスセル 2 の位置によって光強度の密度が変化しない。ガスセル 2 の内部空間 2 a を透過する光強度の密度が一定の方が、E I T 信号の線幅が細くなり良好な E I T 信号を得ることができる。

[0064] 以上のように、本実施の形態に係る原子発振器 100 f は、光源 1 とガスセル 2 との間に、光源 1 から出射され光を光軸に沿った平行光にする光学部材 13 をさらに備えるので、良好な E I T 信号を得ることができる。なお、光学部材 13 に広がる光を平行光にする機能に加えて、光の強度を均一化する機能を付加するのであればフライアイレンズを用いてもよい。

[0065] (実施の形態5)

実施の形態1に係る原子発振器100では、光源1からの光の強度を均一化する手段として光源1のスポット径を大きくする構成について説明した。本実施の形態に係る原子発振器では、拡散板を用いて光源1からの光の強度を均一化する手段について説明する。図15は、本発明の実施の形態5に係る原子発振器100gの構成を説明するための概略図である。なお、原子発振器100gにおいて、図9に示す原子発振器100cと同じ構成については同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0066] 原子発振器100gは、光源1とガスセル2の間に、光源1から出射される光を拡散させる拡散部材14を配置してある。拡散部材14として、例えばポリカーボネート板などが考えられる。原子発振器100gでは、光源1からの光1Aを拡散部材14で光を拡散して拡散光1Kに変換する。拡散光1Kは、光1Aに比べて光の強度が均一化されている。なお、原子発振器100gでは、波長板4およびNDフィルタ5を配置していないが、必要に応じて波長板4およびNDフィルタ5を配置してもよい。

[0067] 以上のように、原子発振器100gでは、拡散部材14で光源1からの光1Aの強度が均一化されているので、EIT信号の線幅が細くなり、良好なEIT信号を得ることができる。また、原子発振器100gでは、拡散部材14で光の強度の均一化を図っているので、光源1のスポット径を大きくすることを抑制することができる。光源1のスポット径を大きくすると光源1とガスセル2との距離を確保する必要があるが、拡散部材14で光の強度の均一化を図ることで光源1とガスセル2との距離を短くして原子発振器100gを小型化することが可能となる。

[0068] (変形例)

前述の実施の形態に係る原子発振器では、量子干渉効果(CPT)を利用して共鳴周波数を得る構成について説明したが、これに限られない。原子発振器の動作原理には、光とマイクロ波を利用した二重共鳴法と呼ばれる方法があり、前述の実施の形態に係る原子発振器は、二重共鳴法にも同様に適用

することができる。

[0069] 前述の実施の形態に係る原子発振器は、原子時計の基準発振器として使用することができると共に、基準発振器を必要とする携帯電話基地局の電子機器、携帯電話（スマートフォン）、カーナビケーションシステムのようなGPSシステムを利用した位置情報を必要とする受信機などの電子機器に用いることができる。また、前述の実施の形態に係る原子発振器の量子部は、磁気センサ等の各種センサとしても使用することが可能であり、センサとして原子発振器の量子部を組み込む電子機器にも用いることができる。

[0070] 前述の実施の形態に係る原子発振器は、特に制限がない限り、それぞれの実施の形態を自由に組み合わせてもよい。例えば、実施の形態1に係る原子発振器100に記載の構成と、実施の形態5に係る原子発振器100gに記載の構成とを組み合わせてもよい。また、実施の形態1の変形例に係る原子発振器100bに記載の構成と、実施の形態4に係る原子発振器100fに記載の構成とを組み合わせてもよい。

[0071] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した説明ではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0072] 1 光源、1b, 3a プリント基板、2 ガスセル、2a 内部空間、2b 磁気シールド、2c バイアス磁場、2d 遮光部、3 光検出器、3b ワイヤ配線、4 波長板、5 NDフィルタ、6, 9 温度コントロール回路、6a, 9a ヒータ、6b, 9b サーミスタ、7 光源波長制御回路、8 周波数制御回路、10 回路基板、11 スペース、12 セラミック部材、13 光学部材、14 拡散部材、25 遮光部材、100, 100a~100g 原子発振器。

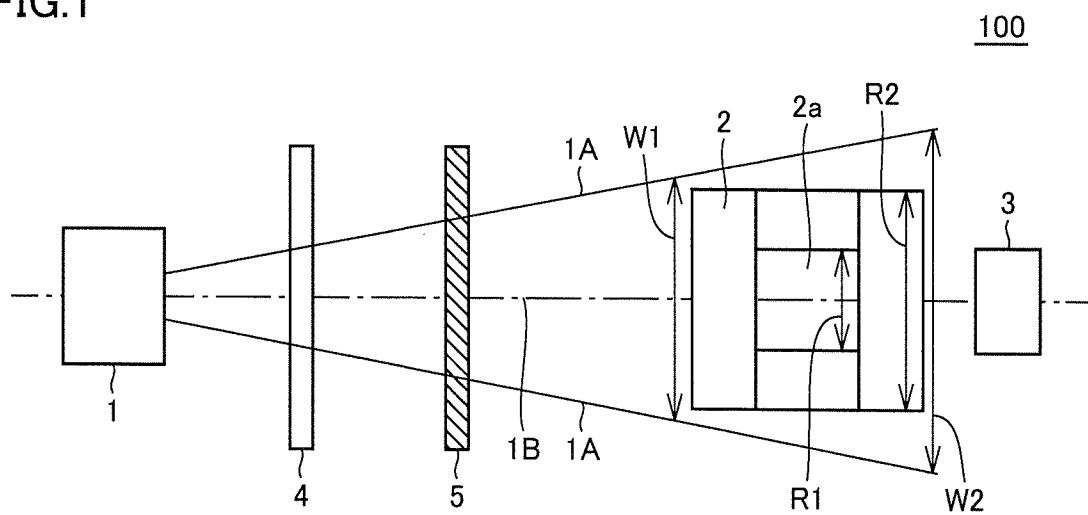
請求の範囲

- [請求項1] 光源と、
 アルカリ金属原子が封入された内部空間を有するガスセルと、
 前記光源から出射され、前記ガスセルを透過した光を検出する光検出部とを備え、
 前記光源に対する前記ガスセルの遠方端において、前記光源の照射領域が前記内部空間の断面積より広い、原子発振器。
- [請求項2] 前記光源の照射領域は、前記内部空間内において前記光検出部に近づくにつれて広くなる、請求項1に記載の原子発振器。
- [請求項3] 前記ガスセルは、
 前記光源に対する前記ガスセルの近方端に、前記光源からの光を入射する入射窓と、
 前記ガスセルの前記遠方端に、前記内部空間を透過した光を前記光検出部に出射する出射窓と、
 前記入射窓と前記出射窓とを保持する側壁とを備え、
 前記側壁は、光を吸収する部材で構成された遮光部を有する請求項1または請求項2に記載の原子発振器。
- [請求項4] 前記遮光部は、光の吸収係数が 2.3 cm^{-1} 以上である請求項3に記載の原子発振器。
- [請求項5] 前記光源と前記ガスセルとの間に、前記光源から出射された光の一部が前記ガスセルに入射されないように遮光する遮光部材をさらに備える、請求項1～請求項4のいずれか1項に記載の原子発振器。
- [請求項6] 前記光源と前記ガスセルとの間に、前記光源から出射された光を光軸に沿った平行光にする光学部材をさらに備える、請求項1～請求項5のいずれか1項に記載の原子発振器。
- [請求項7] 前記光源と前記ガスセルとの間に、前記光源から出射された光を拡散させる拡散部材を備える、請求項1～請求項6のいずれか1項に記載の原子発振器。

- [請求項8] 前記光源の光軸が、前記ガスセルの中心軸からずれている、請求項1～請求項7のいずれか1項に記載の原子発振器。
- [請求項9] 光源と、
アルカリ金属原子が封入された内部空間を有するガスセルと、
前記光源から出射され、前記ガスセルを透過した光を検出する光検出部とを備え、
前記光源に対する近方端において前記光源から出射された光の一部を前記ガスセルに入射させる、原子発振器。
- [請求項10] 請求項1～請求項9のいずれか1項に記載の前記原子発振器を備える、電子機器。

[図1]

FIG.1



[図2]

FIG.2

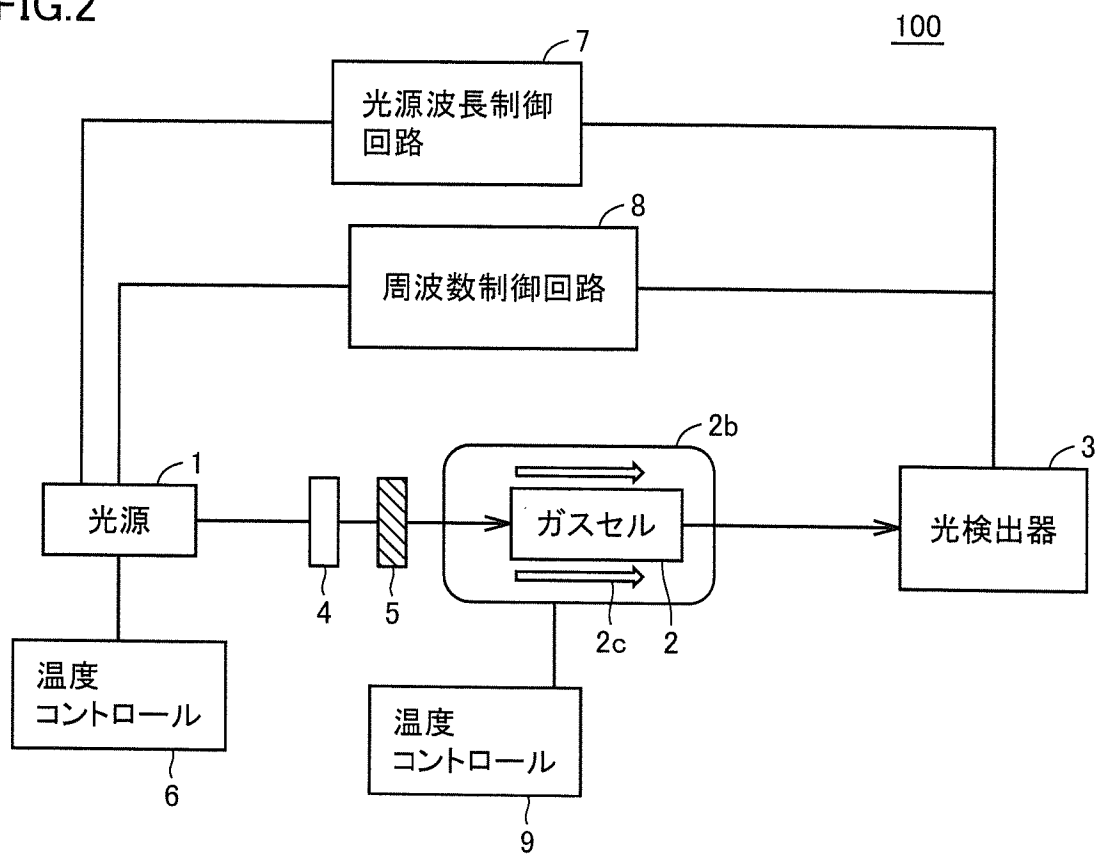


FIG.3

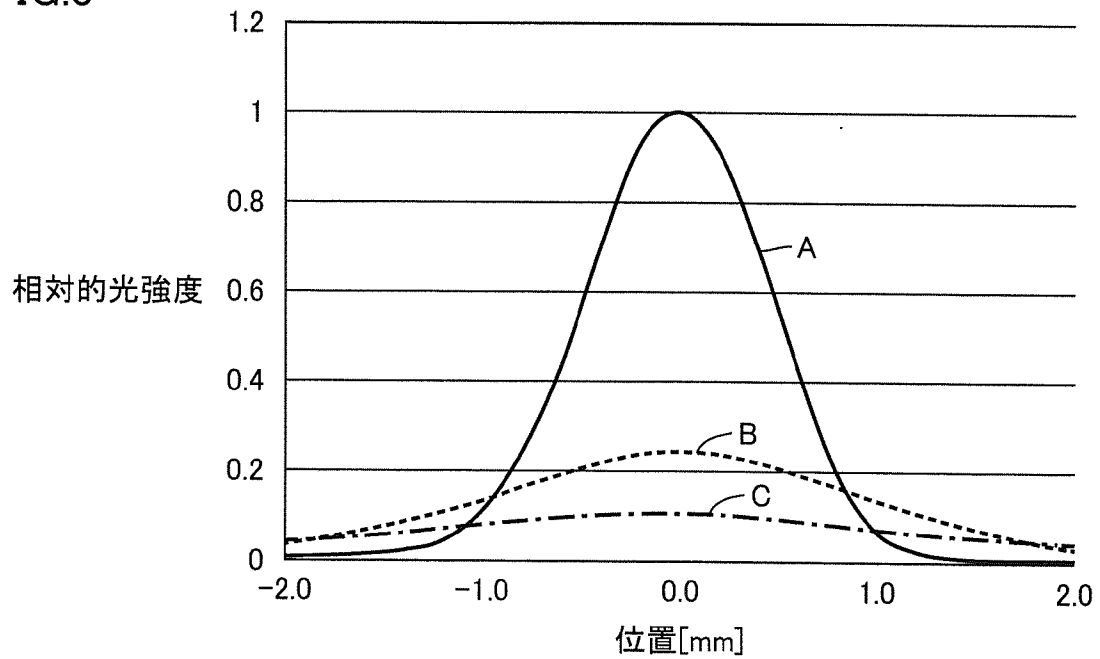


FIG.4

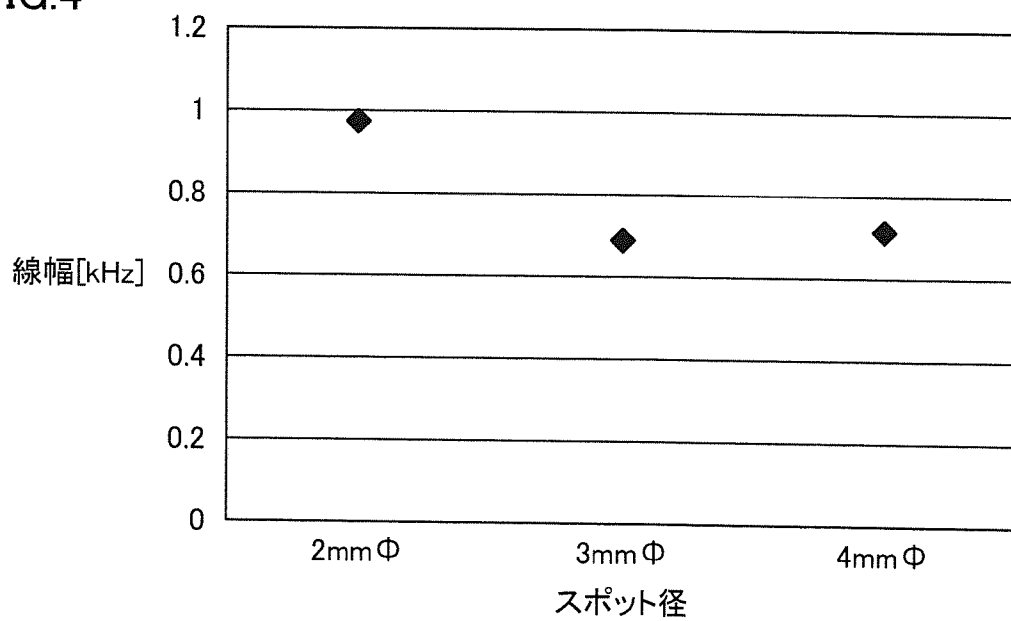
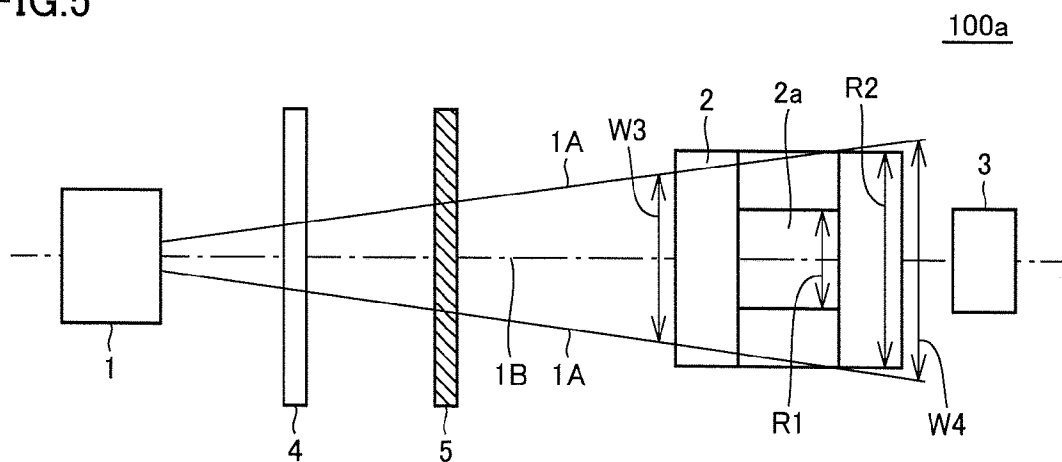
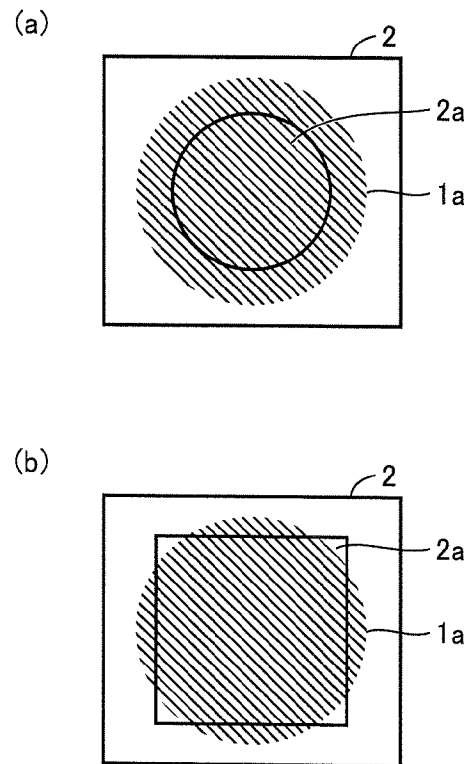


FIG.5



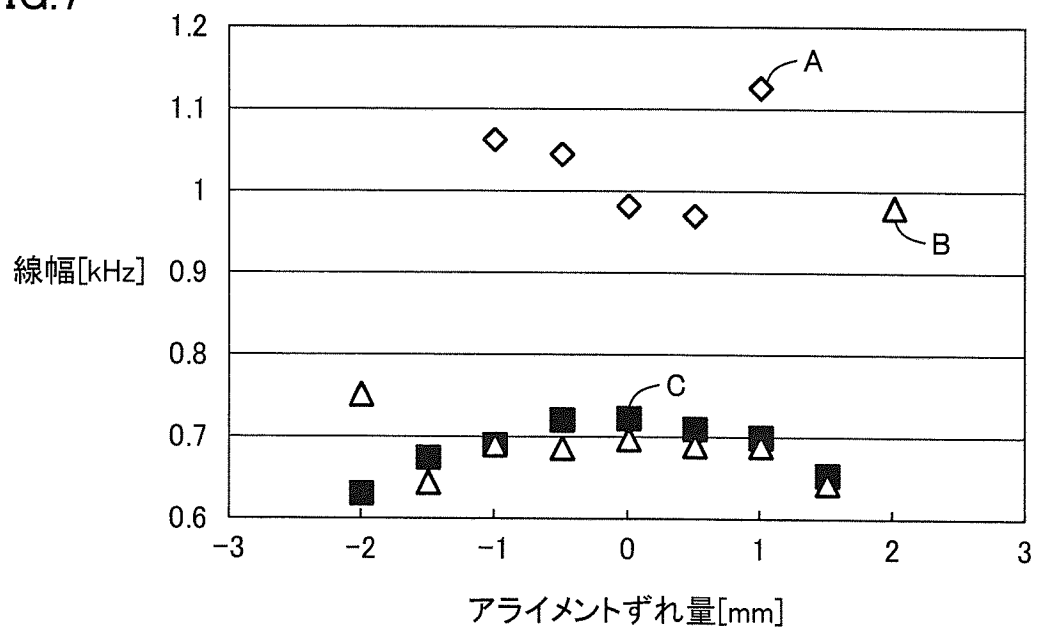
[図6]

FIG.6



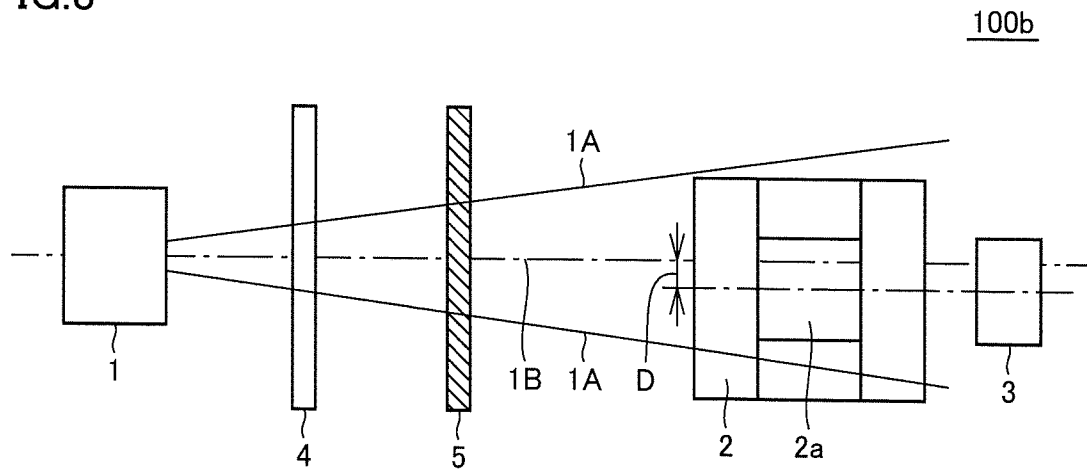
[図7]

FIG.7



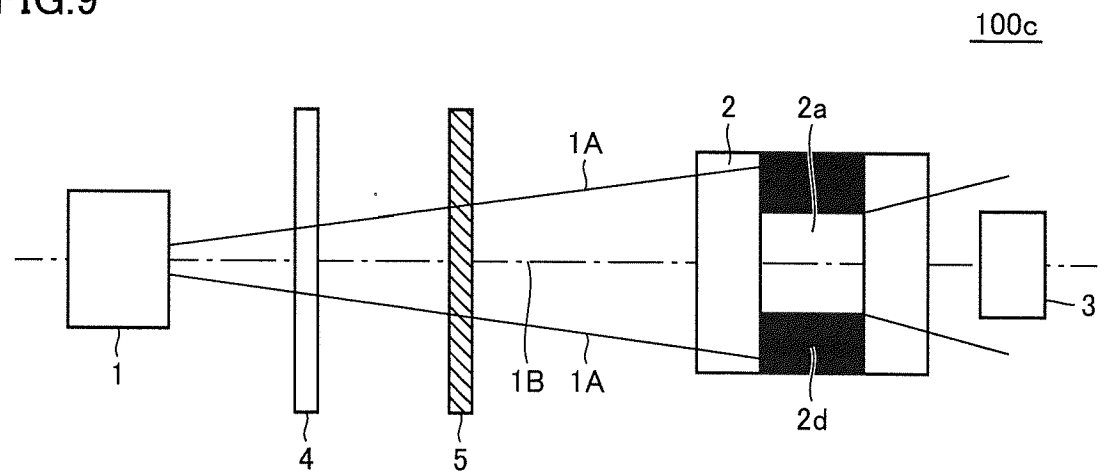
[図8]

FIG.8



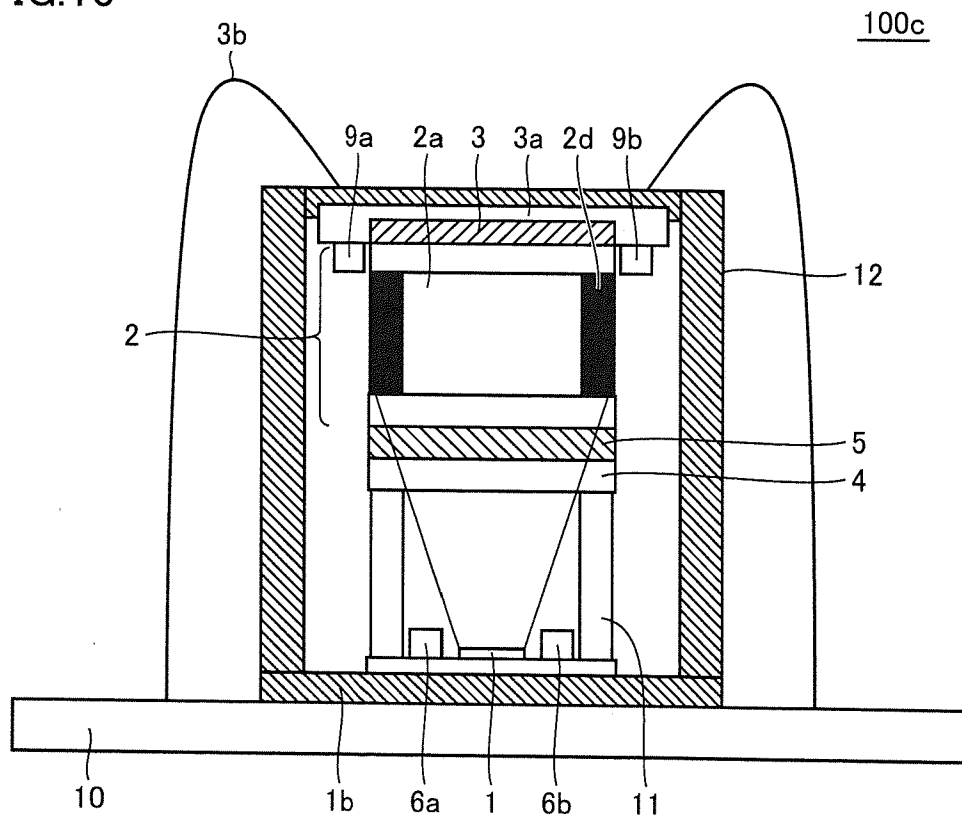
[図9]

FIG.9



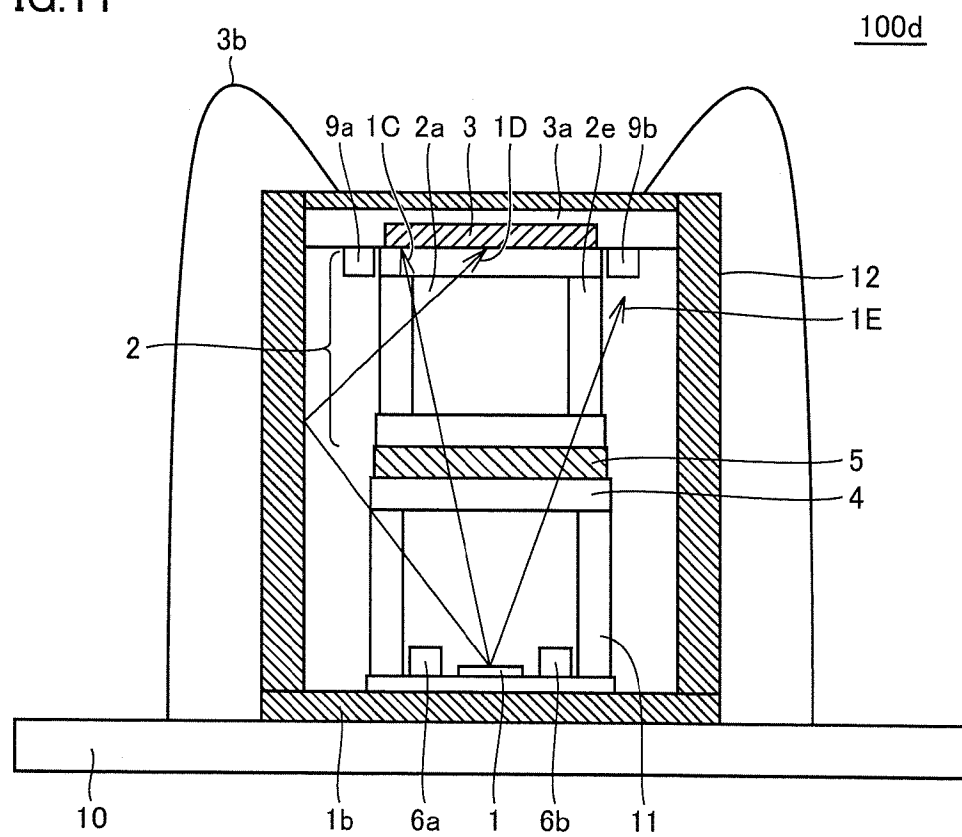
[図10]

FIG.10



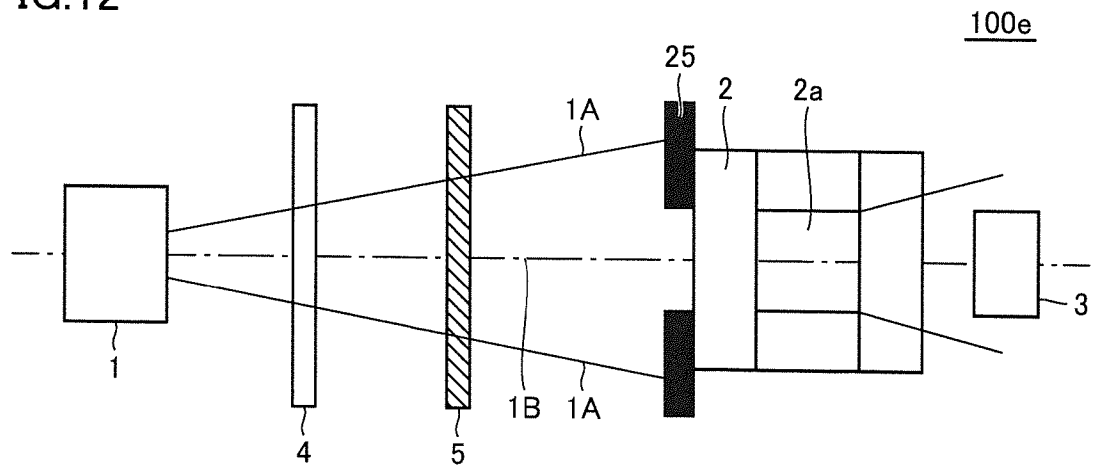
[図11]

FIG.11



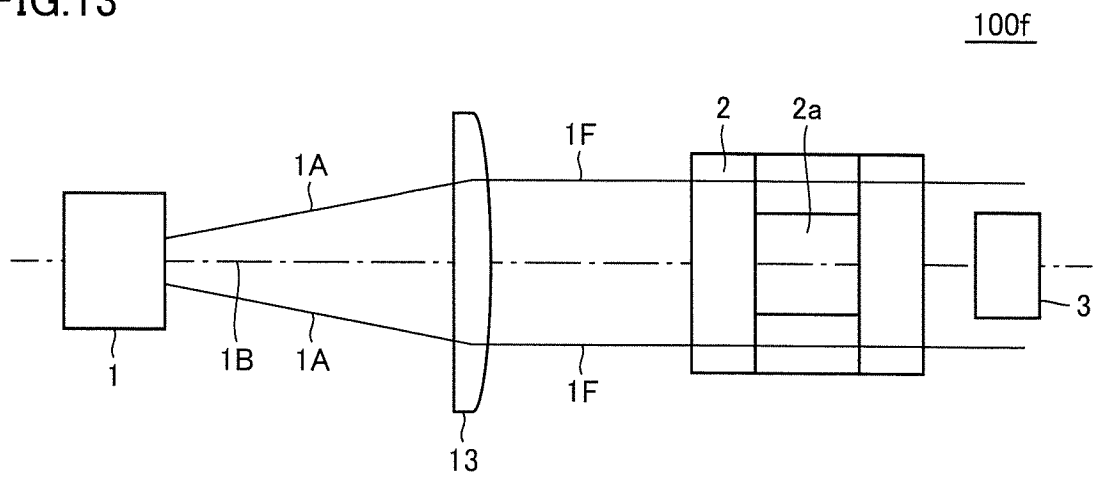
[図12]

FIG.12



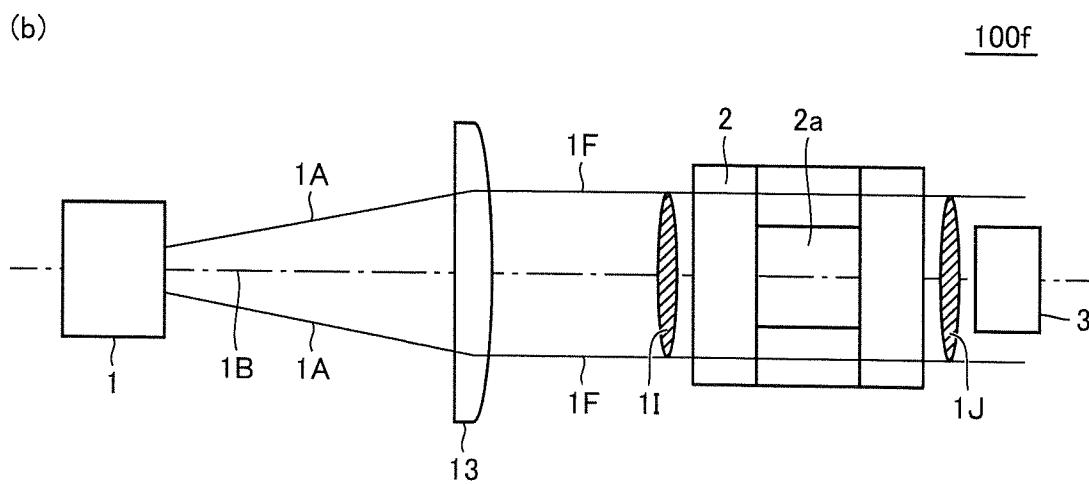
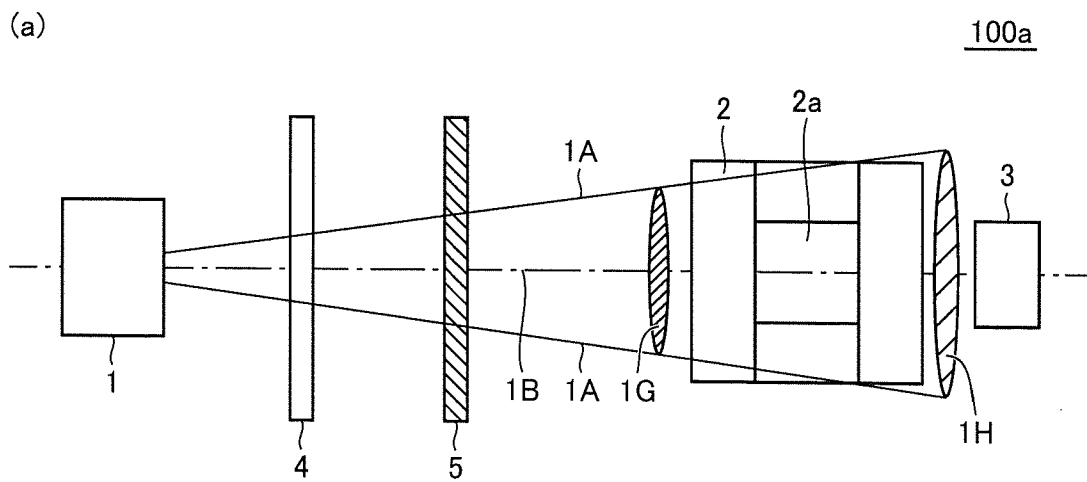
[図13]

FIG.13



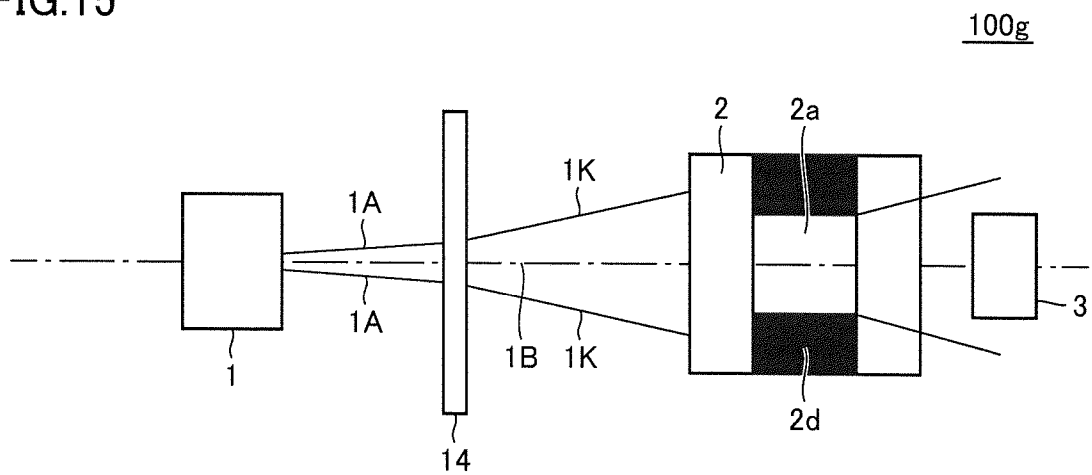
[図14]

FIG.14



[図15]

FIG.15



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/027674

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03L7/26(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03L7/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2013-171881 A (Seiko Epson Corp.), 02 September 2013 (02.09.2013), paragraphs [0030], [0057], [0058]; fig. 7 to 8 (Family: none)	1-6, 9-10 7 8
Y	JP 2009-164331 A (Epson Toyocom Corp.), 23 July 2009 (23.07.2009), paragraph [0041]; fig. 2 (Family: none)	7
A	JP 2015-70228 A (Seiko Epson Corp.), 13 April 2015 (13.04.2015), paragraphs [0109] to [0111]; fig. 1, 9 & US 2015/0091662 A1 paragraphs [0226] to [0232]; fig. 1, 9 & CN 104518794 A	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
28 September 2017 (28.09.17)

Date of mailing of the international search report
17 October 2017 (17.10.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/027674

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2015-228461 A (Seiko Epson Corp.), 17 December 2015 (17.12.2015), fig. 1, 4 & US 2015/0349790 A1 fig. 1, 4 & CN 105306055 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H03L7/26 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H03L7/26

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A Y A	JP 2013-171881 A (セイコーエプソン株式会社) 2013.09.02, [0030], [0057], [0058], 図 7-8 (ファミリーなし) JP 2009-164331 A (エプソントヨコム株式会社) 2009.07.23, [0041], 図 2 (ファミリーなし) JP 2015-70228 A (セイコーエプソン株式会社) 2015.04.13, [0109]-[0111], 図 1, 図 9 & US 2015/0091662 A1, [0226]-[0232], 図 1, 図 9 & CN 104518794 A	1-6, 9-10 7 8 7 1-10

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28.09.2017

国際調査報告の発送日

17.10.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

橋本 和志

5W

4183

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2015-228461 A (セイコーエプソン株式会社) 2015. 12. 17, 図 1, 図 4 & US 2015/0349790 A1, 図 1, 図 4 & CN 105306055 A	1-10