

(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
2025年1月2日(02.01.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/004352 A1

(51) 国際特許分類:
H03L 7/26 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/024450

(22) 国際出願日: 2023年6月30日(30.06.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: T D K株式会社(**TDK CORPORATION**)
[JP/JP]; 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 新海 正博 (**SHINKAI Masahiro**);
〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号
T D K株式会社内 Tokyo (JP). 味岡 厚(**AJIOKA**

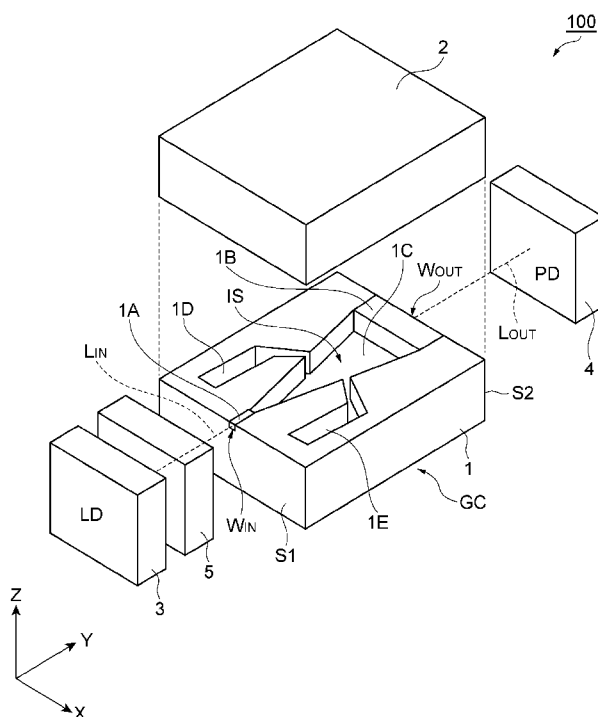
Atsushi); 〒1036128 東京都中央区日本橋二丁目5番1号 T D K株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(**HASEGAWA Yoshiki et al.**); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,

(54) **Title:** GAS CELL, AND STRUCTURE FOR ATOMIC CLOCK

(54) 発明の名称: ガスセル及び原子時計用構造



(57) **Abstract:** This gas cell GC is provided with a plate-shaped substrate having an internal space IS filled with gas, and is provided, on a first side surface S1 of the substrate, with a laser light introduction port W_{IN} that is optically coupled to the internal space IS. The gas cell GC is provided, on a second side surface S2 of the substrate on the reverse side to the first side surface S1, with a laser light emission port W_{OUT} that is optically coupled to the internal space IS. In the gas cell GC, a dimension L1 in the thickness direction of the

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

internal space IS and an optical path length L2 of laser light traveling in the internal space IS, in a plane perpendicular to the thickness direction, satisfy the relationship $L1 < L2$.

(57) 要約: このガスセルGCは、ガスが充填された内部空間ISを有する板状の基板を備え、基板の第1側面S1に、内部空間ISに光学的に結合したレーザ光導入口 W_{IN} を備えている。ガスセルGCは、基板の第1側面S1とは逆側の第2側面S2に、内部空間ISに光学的に結合したレーザ光出射口 W_{OUT} を備えている。ガスセルGCにおいて、内部空間ISにおける厚み方向の寸法L1と、厚み方向に垂直な平面内において、内部空間IS内を進行するレーザ光の光路長L2とは、 $L1 < L2$ の関係を満たしている。

明 細 書

発明の名称： ガスセル及び原子時計用構造

技術分野

[0001] 本開示は、ガスセル及び原子時計用構造に関する。

背景技術

[0002] 原子時計は、正確な時間を計測する装置として知られている。原子時計には、幾つかの種類がある。近年では、CPT (Coherent Population Trapping) のように、ガスセル内のガスに、レーザ光を照射するタイプの原子時計が期待されている。ガスセル内には、ルビジウム (Rb) 又はセシウム (Cs) などのアルカリ金属等を含むガスが封入される。計測方式としては、様々なタイプのものが考えられる。原子時計における物理的な構造部分、すなわち、レーザ素子、光検出器及びガスセルを備えた原子時計用構造についても、検討が行われている。特許文献1～特許文献3は、ガスセルを備えた原子時計を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2009-273088号公報

特許文献2：特開2019-007763号公報

特許文献3：特開2016-171419号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ガスセル及びガスセルを備えた原子時計用構造の小型化が期待されている。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示のガスセルは、ガスが充填された内部空間を有する板状の基板を備え、基板の側面に、前記内部空間に光学的に結合したレーザ光導入口を備える。本開示のガスセルは、内部空間における厚み方向の寸法L1と、厚み方

向に垂直な平面内において、内部空間内を進行するレーザ光の光路長 L_2 とは、 $L_1 < L_2$ の関係を満たす。原子時計用構造は、ガスセルと、前記レーザ光導入口に光学的に結合したレーザ素子と、前記内部空間に光学的に結合した光検出器とを備える。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図1は、第1実施形態に係るガスセルを備えた原子時計用構造の分解斜視図である。F

[図2]図2は、第1実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[図3]図3は、第1実施形態に係るガスセルの水平断面図である。

[図4]図4は、ヒータを備えた原子時計用構造の縦断面構成を示す図である。

[図5]図5は、ヒータを備えた原子時計用構造の縦断面構成を示す図である。

[図6]図6は、原子時計の縦断面構成を示す図である。

[図7]図7は、原子時計のブロック図である。

[図8]図8は、第2実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[図9]図9は、第3実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[図10]図10は、第4実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[図11]図11は、第5実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[図12]図12は、第6実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[図13]図13は、第7実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[図14]図14は、ガスセルの水平断面図である。

[図15]図15は、ガスセルの水平断面図である。

[図16]図16は、ガスセルの水平断面図である。

[図17]図17は、ガスセルの水平断面図である。

[図18]図18は、ガスセルの水平断面図である。

[図19]図19は、ガスセルの水平断面図である。

[図20]図20は、ガスセルの水平断面図である。

[図21]図21は、ガスセルの水平断面図である。

[図22]図22は、ガスセルの水平断面図である。

[図23]図 2 3 は、ガスセルの水平断面図である。

発明を実施するための形態

[0007] 以下、実施の形態に係るガスセル及び原子時計用構造について説明する。
なお、同一要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

[0008] 図 1 は、第 1 実施形態に係るガスセルを備えた原子時計用構造の分解斜視図である。

[0009] 原子時計用構造 100 は、ガスセル GC と、ガスセル GC のレーザ光導入口 W_{IN} に光学的に結合したレーザ素子 3 と、ガスセル GC の内部空間 IS（第 1 凹部 1C 内の空間を含む）に、レーザ光出射口 W_{OUT} を介して、光学的に結合した光検出器 4 とを備えている。レーザ素子 3 として垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL）を用いることができ、光検出器 4 としてフォトダイオードを用いることができるが、別のタイプの素子を用いてもよい。

[0010] ガスセル GC と、レーザ素子 3 との間には、光学部品 5 が介在している。光学部品 5 は、レンズ、光学フィルタ及び 1/4 波長板などの光学要素群から選択される 1 個以上の光学要素である。光学部品 5 は、レンズ、光学フィルタ及び 1/4 波長板を全て備えていてもよく、これらの光学要素をレーザ素子 3 の側からガスセル GC に向けて、順番に並べて配置することもできる。

[0011] ガスセル GC は、ガスが充填された内部空間 IS を有する板状の基板を備えている。板状の基板は、基板 1 と蓋材 2 を組み合わせてなる。説明においては、XYZ 直交座標系を設定する。基板 1 の厚み方向を Z 軸とし、基板 1 の長手方向を Y 軸とし、基板 1 の幅方向を X 軸とし、これらの軸は、互いに直交している。板状の基板の第 1 側面 S1 には、この内部空間 IS に光学的に結合したレーザ光導入口 W_{IN} が設けられている。レーザ素子 3 から出射されたレーザ光 L_{IN} は、Y 軸方向に進行し、光学部品 5 を介して、レーザ光導入口 W_{IN} に到達する。ガスセル GC は、レーザ光導入口 W_{IN} と内部空間 IS との間に配置された光導波路 1A を備えている。レーザ光導入口 W_{IN} は、光

導波路 1 A の一方の端面である。光導波路 1 A は、Y 軸に沿って延びている。

[0012] 光導波路 1 A 内に導入されたレーザ光は、光導波路 1 A 内を Y 軸方向に進行して、光導波路 1 A の他方の端面から出射される。光導波路 1 A から出射したレーザ光は、内部空間 I S 内のガスに照射される。このガスは、セシウム (Cs) 又はルビジウム (Rb) などのアルカリ金属を含むガスである。このガスは、希ガスを含むこともできる。

[0013] このガスが、アルカリ金属を含む場合、そのエネルギーレベルに応じて、レーザ光の吸収が生じる。レーザ光のエネルギーレベル及び周波数を制御することで、ガスにおけるレーザ光の吸収率が変化する。ガスを構成するアルカリ原子の特定のエネルギーレベル差に一致するように、レーザ素子 3 に与える制御信号をフィードバック制御すると、フィードバック制御回路からの出力信号の周波数 (クロック) は、正確な値となる。

[0014] 内部空間 I S 内を Y 軸方向に沿って進行し、これを通過したレーザ光は、第 1 窓材 1 B の一方の端面に入射し、他方の端面 (レーザ光出射口 W_{OUT}) から外部に出射される。換言すれば、ガスセル GC は、板状の基板の第 1 側面 S 1 とは逆側の第 2 側面 S 2 に、内部空間 I S に光学的に結合したレーザ光出射口 W_{OUT} を備えている。レーザ光出射口 W_{OUT} から出射したレーザ光 L_{OUT} は、光検出器 4 に入射する。

[0015] ガスセル GC は、内部空間 I S に連通し、内部空間 I S 内のガスの原料の一部が残留可能な第 1 補助空間 1 D 及び第 2 補助空間 1 E を備えている。すなわち、第 1 補助空間 1 D 及び第 2 補助空間 1 E 内には、予め、アルカリ金属を含む固体原料が配置されている。製造時において、この固体原料を加熱することで気化させ、内部空間内のガスに変換すると、第 1 補助空間 1 D 及び第 2 補助空間 1 E 内に原料の一部 (不純物などを含む) が残留する場合がある。

[0016] ガスセル GC は、基板 1 の上面に固定された蓋材 2 を備えている。基板 1 の上面は、XY 平面に平行である。蓋材 2 は、内部空間 I S 内を密閉状態と

するために用いられる。蓋材 2 と基板 1 との間に接着剤を介在させることができる。基板 1 及び蓋材 2 の一方又は両方の材料は、それぞれ半導体又は金属とすることもできる。基板 1 及び蓋材 2 の一方又は両方の材料は、それぞれガラス又は樹脂とすることもできる。基板 1 及び蓋材 2 のいずれかの材料が、熱に対して溶ける材料であれば、これらの界面に熱と圧力を加えて、接着させることもできる。なお、本例の基板 1 の材料はシリコン (Si) であり、蓋材 2 の材料もシリコン (Si) であるとする。

[0017] 図 2 は、第 1 実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[0018] 板状の基板の第 1 側面 S 1 側には、光導波路 1 A が配置されている。光導波路 1 A は、基板 1 の上面をエッチングして溝を形成した後、溝内部にレーザ光透過材料を埋め込むことで、形成することができる。レーザ光透過材料の一例はガラス (SiO₂) である。蓋材 2 には、光導波路は形成されていない。光導波路が無い点を除いて、蓋材 2 の形状と、基板 1 の形状は同一である。すなわち、蓋材 2 は、図 1 に示した第 1 補助空間 1 D 及び第 2 補助空間 1 E と同一形状の第 1 補助空間及び第 2 補助空間を備えている。

[0019] ガスセル GC の内部空間 IS の主要空間は、基板 1 に形成された第 1 凹部 1 C と、蓋材 2 に形成された第 2 凹部 2 C とから構成される。第 1 凹部 1 C の深さ方向は Z 軸の負方向であり、第 2 凹部 2 C の深さ方向は Z 軸の正方向である。第 1 凹部 1 C は、第 1 原料ガス導入口 1 D 1 を介して、第 1 補助空間 1 D に連通している。同様に、第 2 凹部 2 C は、第 2 原料ガス導入口 2 D 1 を介して、蓋材 2 の第 1 補助空間 (図示せず) に連通している。同様に、図示しない原料ガス導入口を介して、第 1 凹部 1 C は、第 2 補助空間 1 E (図 1 参照) に連通している。同様に、図示しない原料ガス導入口を介して、第 2 凹部 2 C は、蓋材 2 の第 2 補助空間 (図示せず) に連通している。

[0020] 第 1 凹部 1 C の第 2 側面 S 2 側の領域内には、第 1 窓材 1 B が埋め込まれている。同様に、第 2 凹部 2 C の第 2 側面 S 2 側の領域内には、第 2 窓材 2 B が埋め込まれている。これらの窓材は、それぞれの凹部の形成後に、その第 2 側面側の領域内に、レーザ光透過材料を埋め込むことで、形成すること

ができる。レーザ光透過材料の一例はガラス (SiO_2) である。窓材のブロックを別工程で作成しておき、凹部の第2側面側の領域内に、ブロックを固定することで、これを形成してもよい。

[0021] ガスセルGCの内部空間ISにおける厚み方向(Z軸方向)の寸法L1は、小さく設定されている。この厚み方向(Z軸方向)に垂直な平面(XY平面)内において、内部空間IS内を、Y軸に沿って進行するレーザ光の光路長L2は、寸法L1よりも大きい。すなわち、寸法 $L1 < \text{光路長} L2$ の関係を満たしている。本例の内部空間IS内の光路長L2は、内部空間ISのY軸方向の寸法でもある。

[0022] レーザ光が、内部空間ISの内部をY軸方向に沿って往復するようにレーザ光を反射させる構造とすることも可能である。この構造においても、 $L1 < L2$ の関係は満たされている。レーザ光を往復させるには、内部空間ISを規定するY軸方向両端の壁面の角度をXZ面から僅かに傾斜させ、これらの壁面に反射膜を設ければよい。

[0023] 寸法L1は、 $0.1 \mu\text{m} \leq L1 \leq 1000 \mu\text{m}$ を満たしている。L1が、下限値よりも小さくなると、実質的にレーザ光を導入することが難しくなる。L1が、上限値を超えると、ガスセルを十分に小型化できない。寸法L1は、更に好ましくは $1 \mu\text{m} \leq L1 \leq 500 \mu\text{m}$ を満たすことができる。このガスセルGCは、既存の構造よりも薄いので、携帯電話などの小型機器に搭載することも可能となる。

[0024] 光路長L2(寸法)は、例えば、 $100 \mu\text{m} \leq L2 \leq 5000 \mu\text{m}$ に設定することができる。L2が、下限値よりも小さくなると、原子時計用のガス量が十分ではなくなる。L2が、上限値を超えると、ガスセルを十分に小型化できない。

[0025] 図3は、第1実施形態に係るガスセルの水平断面図である。同図は、図2に示したII-II矢印線に沿ったXY断面図である。

[0026] 同図に示されるように、内部空間ISが存在する基板1の水平断面内において、第1補助空間1D及び第2補助空間1Eも位置している。第1補助空

間 1 D 及び第 2 補助空間 1 E は凹部から形成されるので、これらの凹部は、第 1 凹部 1 C の形成時に同時に形成することができる。凹部の形成方法としては、エッチング等を用いることができる。

[0027] 光導波路 1 A の水平断面形状は、長方形である。光導波路 1 A は Y 軸方向に沿って延びている。なお、光導波路 1 A の X Z 断面の形状も長方形であるが、台形又は三角形とすることも可能である。なお、長方形は、加工しやすい形状であり、また、レーザ光を十分に伝達することもできる。

[0028] 内部空間 1 S の水平断面形状は、台形を含んでいる。内部空間 1 S は、光検出器側の第 2 幅 X 2 が、レーザ素子側の第 1 幅 X 1 よりも広い。レーザ光が光検出器に向かうにしたがって広がっても、十分にレーザ光を検出することができる。

[0029] 水平断面内において、台形の内部空間 1 S の斜辺には、第 1 原料ガス導入口 1 D 1 及び第 2 原料ガス導入口 1 E 1 が連通し、第 1 補助空間 1 D 及び第 2 補助空間 1 E にそれぞれ連通している。水平断面内において、第 1 補助空間 1 D の形状を長方形とし、ここから第 1 原料ガス導入口 1 D 1 に至る経路の形状の第 1 中心線 D X 1 の方向は、ガスセルの出射側の端面を含む X Z 面の方向に向かっている。同様に、水平断面内において、第 2 補助空間 1 E の形状を長方形とし、ここから第 2 原料ガス導入口 1 E 1 に至る経路の形状の第 2 中心線 E X 1 の方向は、ガスセルの出射側の端面を含む X Z 面の方向に向かっている。これらの中心線の延長線上に窓材が位置ないように配置することもできる。ガス導入経路の形状により、内部空間内へガス導入を行う場合の光導波路及び窓材への原料の付着を抑制することもできる。なお、各補助空間の形状は、長方形ではなく、円形又は楕円形等に設定することも可能である。

[0030] 図 4 は、ヒータを備えた原子時計用構造の縦断面構成を示す図である。

[0031] 同図では、構造を分かりやすく説明するために、レーザ素子 3、光検出器 4、光学部品 5、ガスセル G C は、隙間を介して、示されている。これらの素子は、必要に応じて、密着させることもできる。原子時計用構造 1 0 0 は

、板状の基板を構成する上部の蓋材 2 に取り付けられた第 2 ヒータ H 2 を備えている。原子時計用構造 100 は、板状の基板（基板 1 及び蓋材 2）を Y 軸方向に沿って囲むコイル CL を備えている。コイル CL は、ガスセル内部に静磁場を与えるものであり、地磁気等による外部磁場の影響を抑制している。第 2 ヒータ H 2 による加熱により、原料を気化させることができる。その他、第 2 ヒータ H 2 は、必要に応じて、内部空間 1 S 内のガス圧力制御に用いることもでき、或いは、近接配置されたレーザ素子 3 の温度制御を行うことも可能である。

[0032] 図 5 は、ヒータを備えた原子時計用構造の縦断面構成を示す図である。

[0033] この原子時計用構造 100 は、図 4 に示した原子時計用構造 100 における基板 1 の下面に、さらに第 1 ヒータ H 1 を取り付けした構造を有している。第 1 ヒータ H 1 は、第 2 ヒータ H 2 と同様に機能させることができる。

[0034] 図 6 は、原子時計の縦断面構成を示す図である。

[0035] 原子時計 200 は、配線基板 10 と、配線基板 10 上に搭載された原子時計用構造 100 と、配線基板 10 上に搭載された制御回路 20 を備えている。制御回路 20 は、原子時計用構造 100 における電気信号を処理し、クロック信号を出力する。制御回路 20 は、レーザ素子 3 に駆動信号を供給し、光検出器 4 からの信号を受信し、受信した信号からフィードバック信号を生成し、フィードバック信号からレーザ素子 3 の駆動信号を生成することができる。制御回路 20 は、フィードバック信号に基づいて、或いは、フィードバック信号とは独立して、第 1 ヒータ H 1 及び第 2 ヒータ H 2 への供給電力を制御することもできる。

[0036] 図 7 は、原子時計のブロック図である。

[0037] 制御回路 20 は、駆動信号（駆動電流）を生成する駆動回路 20 A と、光検出器 4 の出力信号を受信して、駆動信号のフィードバック制御を行うフィードバック制御回路 20 B を備えている。レーザ光照射タイプの原子時計においては、レーザ光をガスセルに照射し、ガスセルからの出力光を検出する。ガスのエネルギーレベル遷移に起因して、出力光強度が変化する。原子時

計においては、アルカリ原子におけるエネルギーレベル差に相関する目的の出力光強度が得られるように、光検出器4の出力信号をフィードバック制御して、特定の周波数の駆動信号を生成し、この周波数を利用して時間を計測している。この周波数の信号に含まれるパルス数を計測し、クロック信号 S_{UT} を出力することもできる。

[0038] フィードバック制御回路20Bは、光検出器4の低周波成分のレベルを検出し、検出レベルが目的の条件を満たすように、駆動回路20Aから出力される駆動信号の周波数及び振幅を調整する。例えば、フィードバック制御回路20Bは、光検出器4の出力信号が入力される同期検波回路と、同期検波回路の誤差信号が入力されるループフィルタと、ループフィルタから出力される制御信号が入力される局部発振器と、局部発振器の出力が入力される高周波シンセサイザを備えることができる。高周波シンセサイザから出力された駆動信号は、駆動回路20Aに入力される。フィードバック制御回路20Bは、CPT (Coherent Population Trapping)の現象を利用して、正確な周波数を得ることもできる。この場合、駆動信号は、レーザ素子の出力周波数を変調するものであり、2つのサイドバンド周波数のレーザ光を発生させることができる。これらのサイドバンド周波数の差周波数が、アルカリ原子の特定のエネルギーレベル差に対応した遷移周波数に一致した場合、CPT共鳴が生じる。CPT共鳴時には、透過光強度が増加するので、光検出器4の低周波成分のレベルをモニタすれば、原子の特定のエネルギーレベル差に対応した周波数を得ることができる。

[0039] また、レーザ素子3から出力されるレーザ光の波長を変更することもできる。レーザ光の波長は、駆動信号自身によりレーザ素子3の発生する温度、ヒータへの供給電力により制御されるレーザ素子3の温度、又は、レーザ素子3に圧電素子を取り付けた場合にレーザ素子3に与えられる圧力などにより、制御することもできる。必要に応じて、このような制御を行うことも可能である。原子時計においては、数多くの種類の制御法が知られているので、適当なものを採用することができる。

[0040] 図8は、第2実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[0041] このガスセルGCは、図2に示したガスセルにおける第1窓材1B及び第2窓材2Bを一体化し、一体化したものを第1窓材1Bとしたものである。このガスセルは、窓材の継ぎ目がないため、光透過率が増加するという利点がある。

[0042] 図9は、第3実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[0043] このガスセルGCは、図8に示したガスセルにおける第1窓材1Bを、凹部内から取り出して、これを第3窓材GCBとして、基板1及び蓋材2の光出射面側の側面に貼り付けたものである。このガスセルは、図8の構造よりも、製造しやすいという利点がある。

[0044] 図10は、第4実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[0045] このガスセルGCは、図9に示したガスセルの蓋材2を単なる板に変更したものである。すなわち、蓋材2の下面は、平坦面である。蓋材2を加工しないという利点がある。

[0046] 図11は、第5実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[0047] このガスセルGCは、図10に示したガスセルの蓋材2の厚みを薄くしたものである。すなわち、基板1の厚みよりも、蓋材2の厚みの方が小さい。この構造は、ガスセルをさらに小型化できるという利点がある。

[0048] 図12は、第6実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[0049] このガスセルGCは、図11に示した基板1の第1凹部1Cの深さを、光導波路1Aの深さと同一とし、基板1の厚みを薄くしたものである。この構造は、ガスセルをさらに小型化できるという利点がある。なお、第1凹部1Cの形成を省略して、代わりに、光導波路1Aと同じ厚みの枠状の板材を、基板1と蓋材2との間に配置することもできる。なお、凹部の深さが必要な場合は、基板1上に枠状の板材を配置し、その上に光導波路と窓材を配置し、さらにその上に枠状の板材を積層し、その上に蓋材2を配置する構造を採用することもできる。この構造の場合、必要に応じて、板材間に樹脂又はガラスなどを介在させてもよい。

[0050] 図13は、第7実施形態に係るガスセルの縦断面図である。

[0051] このガスセルGCは、第1凹部1Cを備えた基板1の上面に蓋材2を貼りつけたものである。基板1及び蓋材2は、レーザ光透過材料(SiO_2)から構成されている。外部からの光を抑制するため、ガスセルの周囲を遮光材料で被覆することができる。また、レーザ光透過材料内において、レーザ光を透過させない領域内に、カーボン等の遮光材料を含有させることも可能である。

[0052] 図14は、ガスセルの水平断面図である。

[0053] このガスセルは、図3に示したガスセルにおける内部空間ISの水平断面形状を、台形から長方形に変形したものである。すなわち、内部空間ISのX軸方向の幅が一定(第2幅X2)である。この構造は、図3の構造よりも、水平面内のガス容量を増加させることができる。

[0054] 図15は、ガスセルの水平断面図である。

[0055] このガスセルは、図14に示したガスセルにおいて、第1補助空間1Dの位置を、基板1のレーザ光入射面側の壁面内に設定した例である。第1補助空間1Dは、光導波路1Aに隣接する。第1補助空間1Dは、第1原料ガス導入口1D1を介して、第1凹部1C内に連通している。上述の例と同様に、第1補助空間1D及び第1原料ガス導入口1D1に対向する蓋材内の位置に、補助空間及びこれに連通した原料ガス導入口を設けてもよい。この構造によれば、内部空間ISの第2幅X2の外側に位置する壁の厚さを薄くすることができ、さらなる小型化が可能である。

[0056] 図16は、ガスセルの水平断面図である。

[0057] このガスセルは、図15に示したガスセルにおいて、第2補助空間1Eを、基板1のレーザ光入射面側の壁面内に設定した例である。第2補助空間1Eは、光導波路1Aに隣接する。第2補助空間1Eは、第2原料ガス導入口1E1を介して、第1凹部1C内に連通している。上述の例と同様に、第2補助空間1E及び第2原料ガス導入口1E1に対向する蓋材内の位置に、補助空間及びこれに連通した原料ガス導入口を設けてもよい。この構造によれ

ば、ガスセルが複数の補助空間を備えているので、個々の補助空間の体積を小さくすることができ、光入射面側の壁面の厚さを小さくすることも可能であり、さらなる小型化が可能である。

[0058] 図 1 7 は、ガスセルの水平断面図である。

[0059] このガスセルは、図 1 5 に示したガスセルにおいて、第 1 補助空間 1 D の数を複数にしたものであり、個々の第 1 補助空間 1 D は、それぞれ第 1 原料ガス導入口 1 D 1 を介して、第 1 凹部 1 C 内に連通している。これらの第 1 補助空間 1 D の位置は、同一の水平面内に無くてもよく、厚み方向に沿って分散して配置されていてもよい。上述の例と同様に、第 1 補助空間 1 D 及び第 1 原料ガス導入口 1 D 1 に対向する蓋材内の位置に、補助空間及びこれに連通した原料ガス導入口を設けてもよい。この構造によれば、ガスセルが分散配置された複数の補助空間を備えているので、ガス導入時の原料ガス流の均一性を増加させることも可能である。

[0060] 図 1 8 は、ガスセルの水平断面図である。

[0061] このガスセルは、図 1 6 に示したガスセルにおいて、第 1 補助空間 1 D 及び第 2 補助空間 1 E の位置を、基板 1 のレーザ光出射面側の壁面内に移動させた例である。第 1 補助空間 1 D は、第 1 原料ガス導入口 1 D 1 を介して、第 1 凹部 1 C 内に連通している。第 2 補助空間 1 E は、第 2 原料ガス導入口 1 E 1 を介して、第 1 凹部 1 C 内に連通している。上述の例と同様に、基板 1 に形成した補助空間及び原料ガス導入口に対向する蓋材内の位置に、補助空間及びこれに連通した原料ガス導入口を設けてもよい。このガスセルは、図 1 6 に示したガスセルと同様の効果を得ることができる。なお、補助空間の水平面内形状は、円形に限定されず、楕円形等の様々な形状とすることが可能である。

[0062] 図 1 9 は、ガスセルの水平断面図である。

[0063] 同図では、補助空間の図示を省略しているが、上述のような補助空間を採用することができる。本例のガスセルは、図 1 4 のガスセルにおいて、内部空間 1 S の第 2 幅 X 2 を小さく設定した例である。補助空間は、幅方向両端

に位置する壁面内に設けることも可能である。この場合、ガスセルを小型化することができる。

[0064] 図20は、ガスセルの水平断面図である。

[0065] 同図では、補助空間の図示を省略しているが、上述のような補助空間を採用することができる。本例のガスセルは、図15のガスセルにおいて、光導波路1Aの長手方向をY軸に対して傾斜させた例である。なお、レーザ光入射側の第1窓材1Bの第2幅X2は、内部空間ISの第2幅X2に設定することができる。このガスセルでは、内部空間IS内を進行するレーザ光の光路長L2を、内部空間ISのY軸方向の寸法よりも、長く設定することができる。内部空間IS内のレーザ光は、基板1の内壁面において反射される構成とすることができる。この内壁面上に反射膜を設けることとしてもよい。この場合、ガスセルを小型化することができる。

[0066] 図21は、ガスセルの水平断面図である。

[0067] 同図では、補助空間の図示を省略しているが、上述のような補助空間を採用することができる。本例のガスセルは、図20のガスセルにおいて、レーザ光入射面側の壁面内に複数の光導波路1Aを設け、各光導波路1Aの長手方向をY軸に平行とした場合の例である。この構造は、複数の光導波路1Aを備えているので、レーザ光の入射光量を増加させることができる。

[0068] 図22は、ガスセルの水平断面図である。

[0069] 同図では、補助空間の図示を省略しているが、上述のような補助空間を採用することができる。本例のガスセルは、図15のガスセルにおいて、内部空間ISの位置を光導波路1AのX軸方向位置に対して、非対称に配置した例である。この構造においても、ガスセルの小型化が可能である。

[0070] 図23は、ガスセルの水平断面図である。

[0071] 同図では、補助空間の図示を省略しているが、上述のような補助空間を採用することができる。本例のガスセルは、図15に示したガスセルにおける第1窓材1Bの位置を、レーザ光入射面側の壁面内に移動させた例である。内部空間IS内のY軸方向の端部に位置する内壁面上には、必要に応じて、

反射膜M1を設けてもよい。反射膜M1の材料としては、アルミニウム等の金属が例示される。光導波路1Aから内部空間IS内に導入されたレーザ光は、反射膜M1により反射され、第1窓材1Bを介して外部に出力され、光検出器に導入される。レーザ光の内部空間IS内の光路長L2は、反射により長くなるので、ガスセルのY軸方向の寸法は小さくなる。なお、この構造においては、レーザ素子と光検出器は、X軸方向に沿って隣接して配置される。

[0072] 上述のように、ガス原料の供給源となる補助空間は、内部空間内に連通していれば、その位置、形状、寸法、数量としては、様々な例を採用することができ、上述の例に限定されない。いずれの場合も、補助空間内において、原料分解により発生したガスは、内部空間内に供給される。なお、基板は光導波路を備えた方が好ましいが、光導波路を備えないで、単なる貫通孔を用いて、レーザ光を導入する構造も可能である。

[0073] 以上、説明したように、上述のガスセル及び原子時計用構造は、小型化が可能である。原子時計を十分に小型化できると、様々な機器に、原子時計を搭載することが可能となる。例えば、携帯電話、自動車、ロボット、ドローン、全地球測位システム（GPS）、又は、セキュリティシステムなどに、小型化された原子時計を搭載することができる。

[0074] 以上、種々の例示的实施形態について説明してきたが、上述した例示的实施形態に限定されることなく、様々な省略、置換、及び変更がなされてもよい。また、異なる実施形態における要素を組み合わせることで他の実施形態を形成することが可能である。また、以上の説明から、本開示の種々の実施形態は、説明の目的本明細書において説明されており、本開示の範囲及び主旨から逸脱することなく種々の変更をなし得ることが、理解されるであろう。したがって、本明細書に開示した種々の実施形態は限定することを意図しておらず、真の範囲と主旨は、添付の特許請求の範囲によって示される。

符号の説明

[0075] 1…基板、1A…光導波路、2…蓋材、3…レーザ素子、4…光検出器、

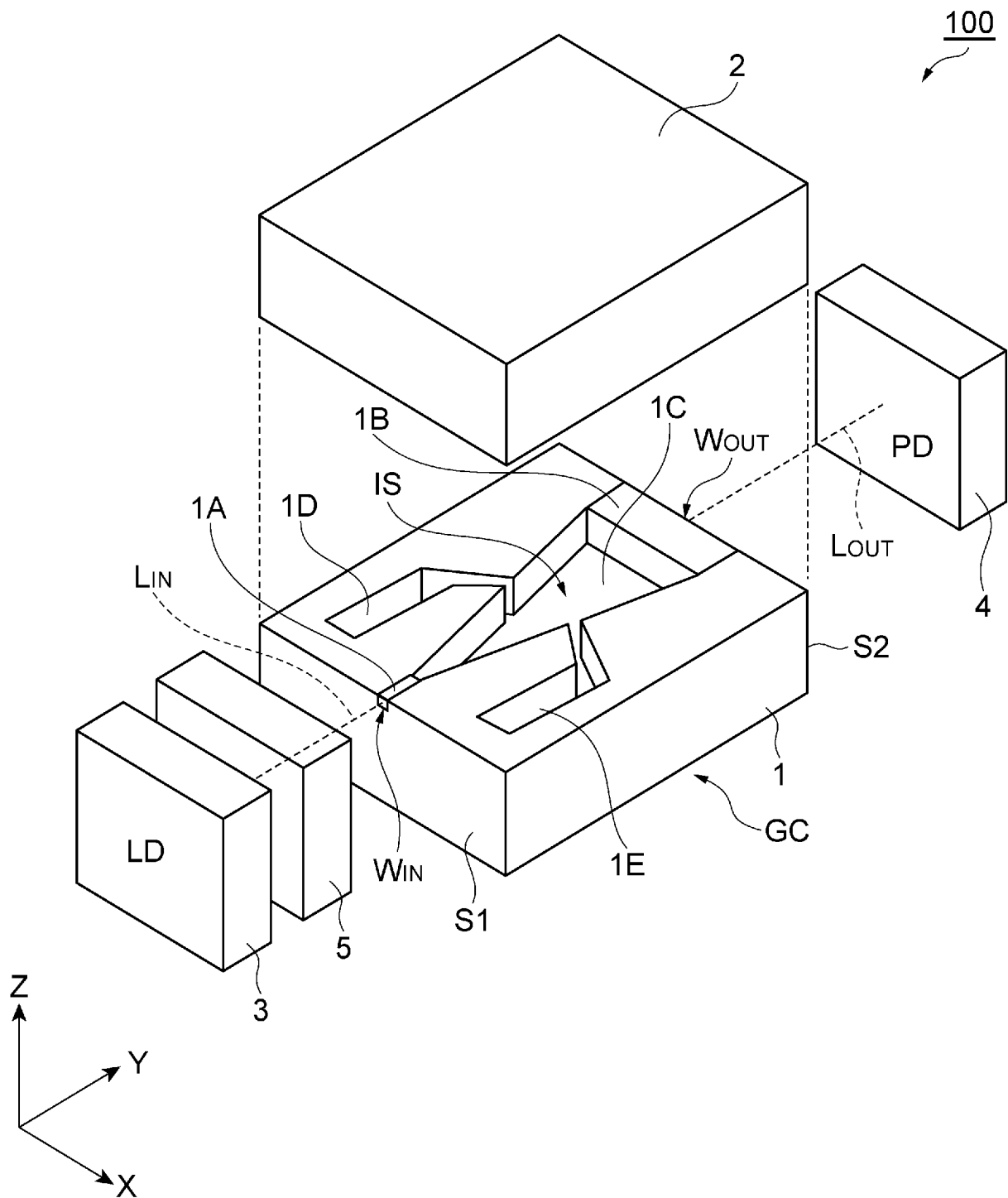
100…原子時計用構造、GC…ガスセル、IS…内部空間、 L_{IN} , L_{OUT} …レーザ光、 W_{IN} …レーザ光導入口、 W_{OUT} …レーザ光出射口。

請求の範囲

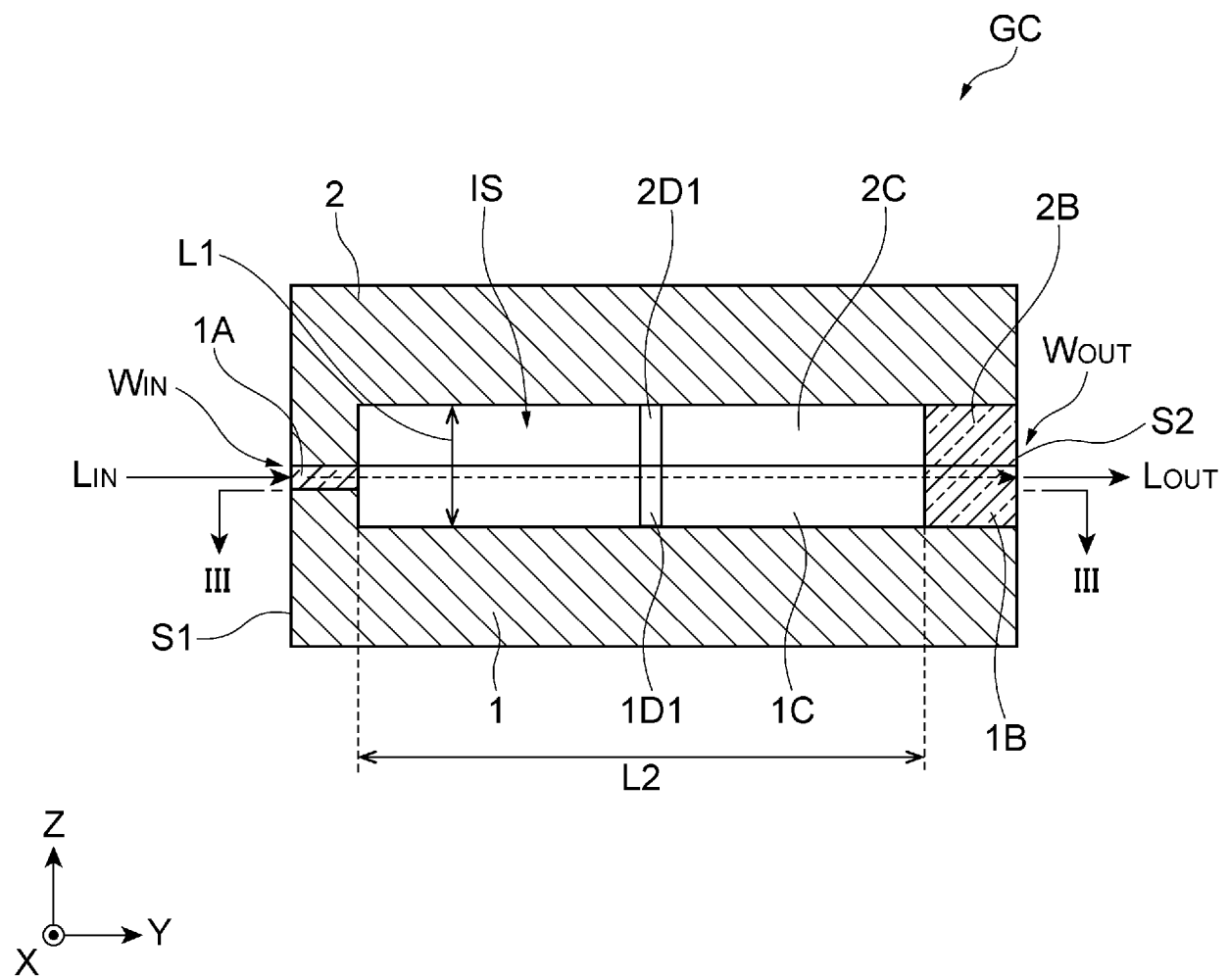
- [請求項1] ガスが充填された内部空間を有する板状の基板を備え、
 前記基板の側面に、前記内部空間に光学的に結合したレーザ光導入口を備える、
 ガスセル。
- [請求項2] 前記基板の前記側面とは逆側の側面に、前記内部空間に光学的に結合したレーザ光出射口を備える、
 請求項1に記載のガスセル。
- [請求項3] 前記内部空間における厚み方向の寸法 L_1 と、
 前記厚み方向に垂直な平面内において、前記内部空間内を進行するレーザ光の光路長 L_2 とは、
 $L_1 < L_2$ の関係を満たす、
 請求項1に記載のガスセル。
- [請求項4] 前記寸法 L_1 は、 $0.1\ \mu\text{m} \leq L_1 \leq 1000\ \mu\text{m}$ を満たす、
 請求項3に記載のガスセル。
- [請求項5] 前記内部空間に連通し、前記ガスの原料の一部が残留可能な補助空間を有する、
 請求項1に記載のガスセル。
- [請求項6] 前記内部空間が存在する前記基板の水平断面内において、前記補助空間も位置する、
 請求項5に記載のガスセル。
- [請求項7] 前記ガスは、アルカリ金属を含む、
 請求項1に記載のガスセル。
- [請求項8] 前記レーザ光導入口と前記内部空間との間に配置された光導波路備える、
 請求項1に記載のガスセル。
- [請求項9] 前記光導波路の水平断面形状は、長方形である、
 請求項8に記載のガスセル。

- [請求項10] 前記内部空間の水平断面形状は、台形を含む、
請求項1に記載のガスセル。
- [請求項11] 前記内部空間の水平断面形状は、長方形を含む、
請求項1に記載のガスセル。
- [請求項12] 前記基板に取り付けられたヒータを備える、
請求項1に記載のガスセル。
- [請求項13] 請求項1～請求項12のいずれか一項に記載のガスセルと、
前記レーザ光導入口に光学的に結合したレーザ素子と、
前記内部空間に光学的に結合した光検出器と、
を備える原子時計用構造。

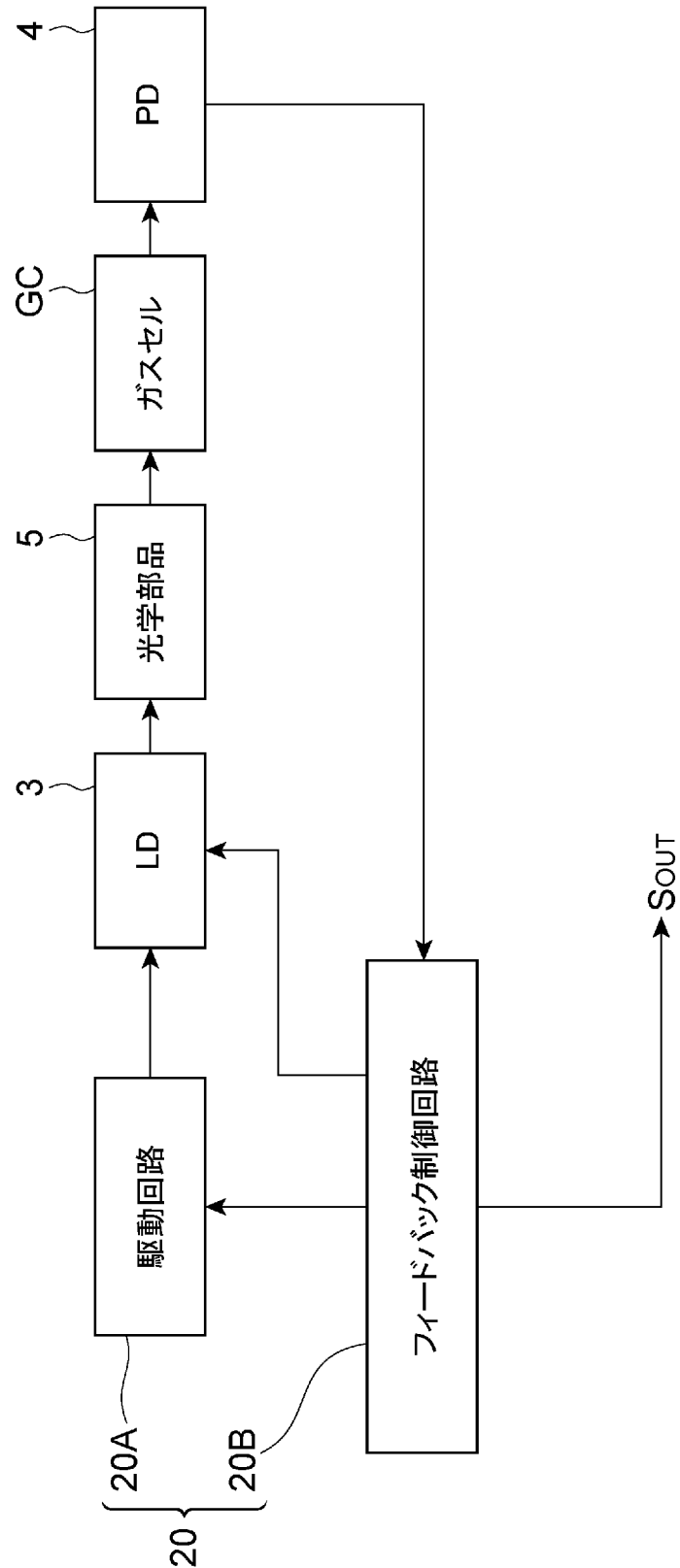
[図1]



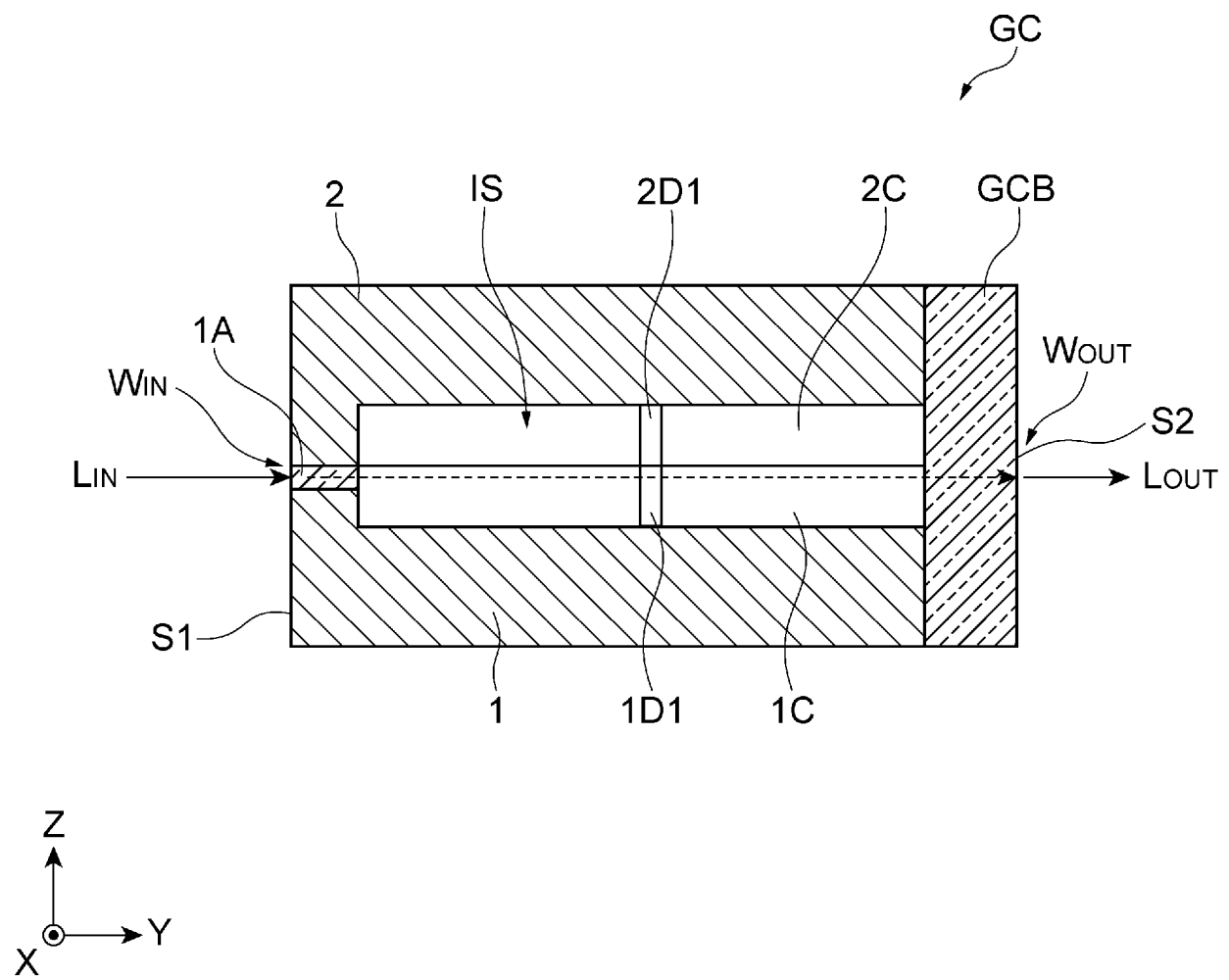
[図2]



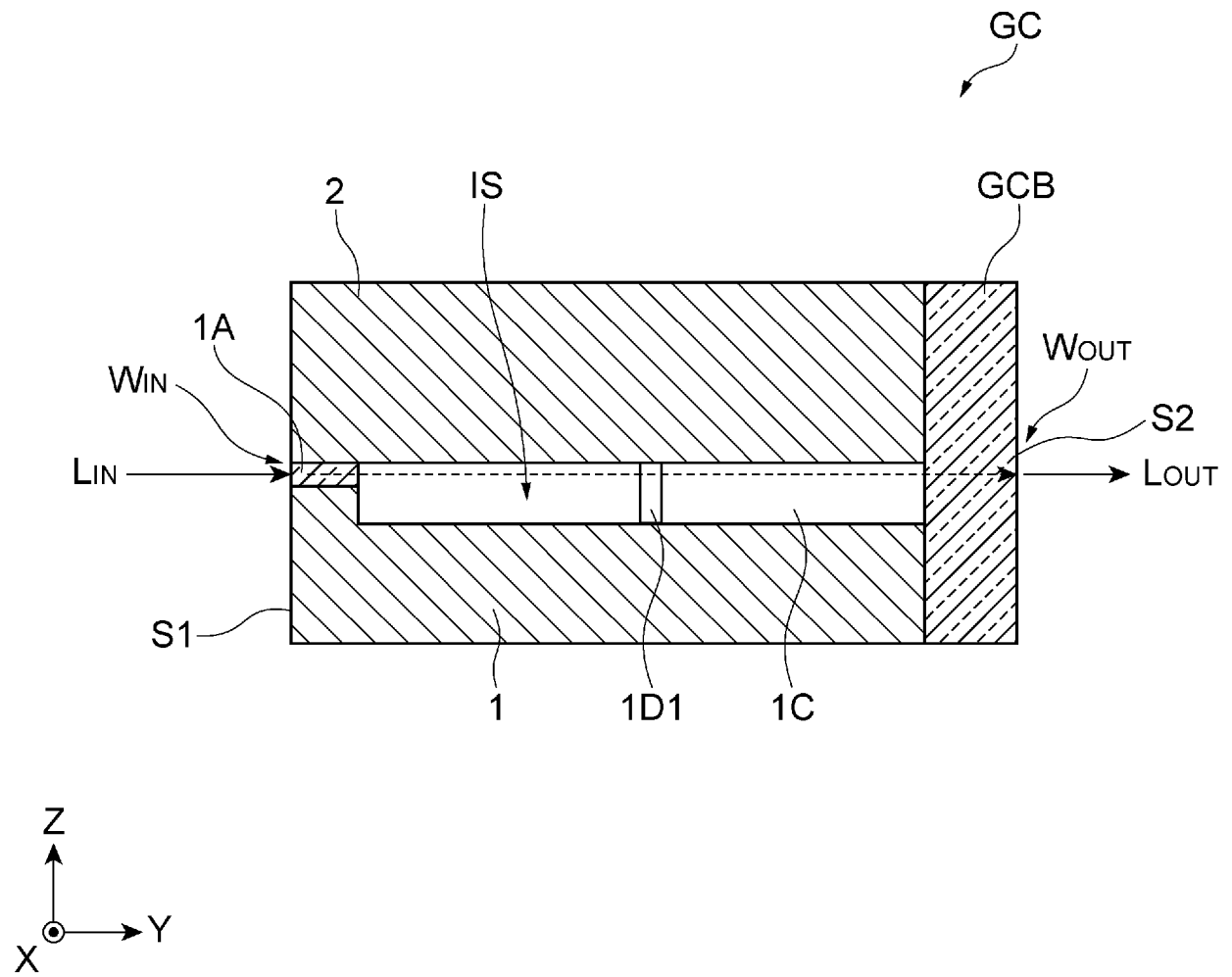
[図7]



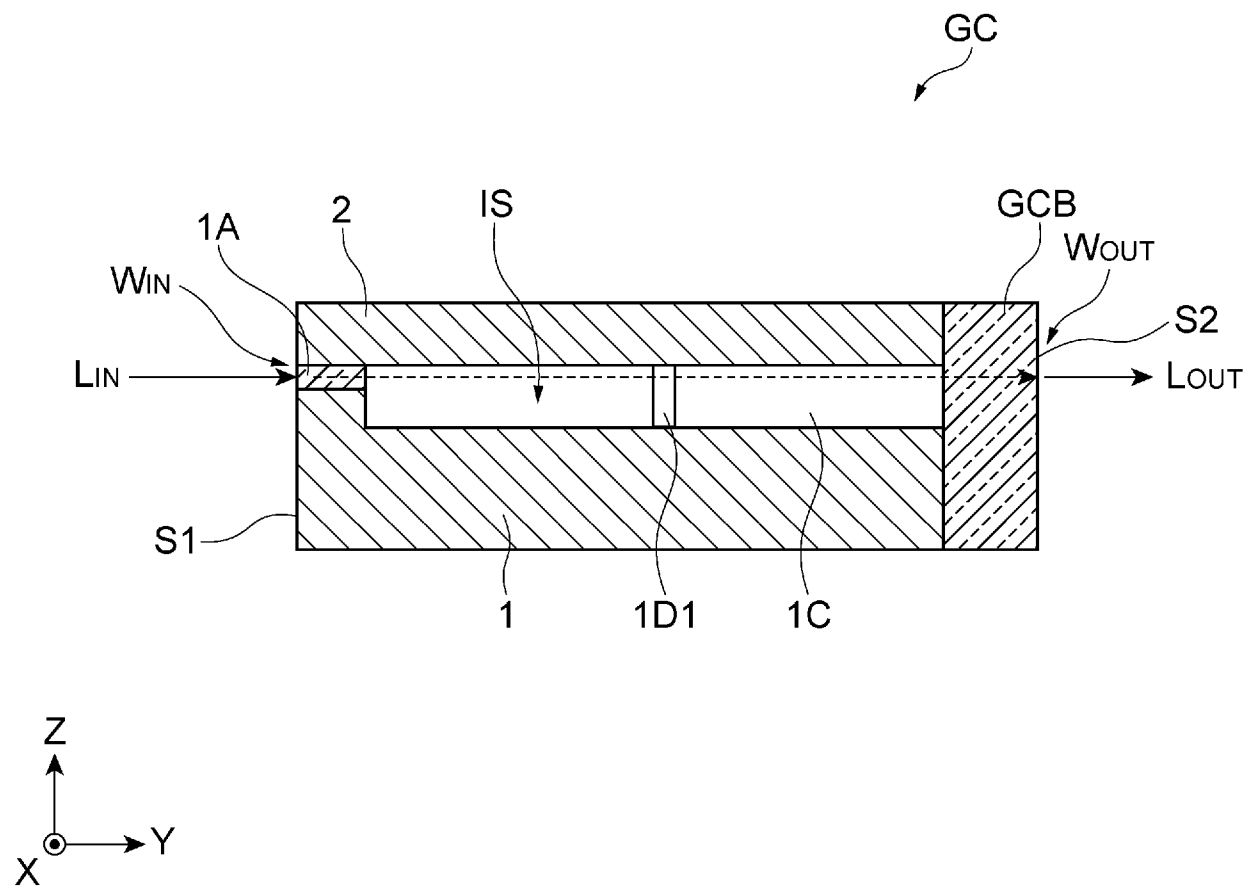
[図9]



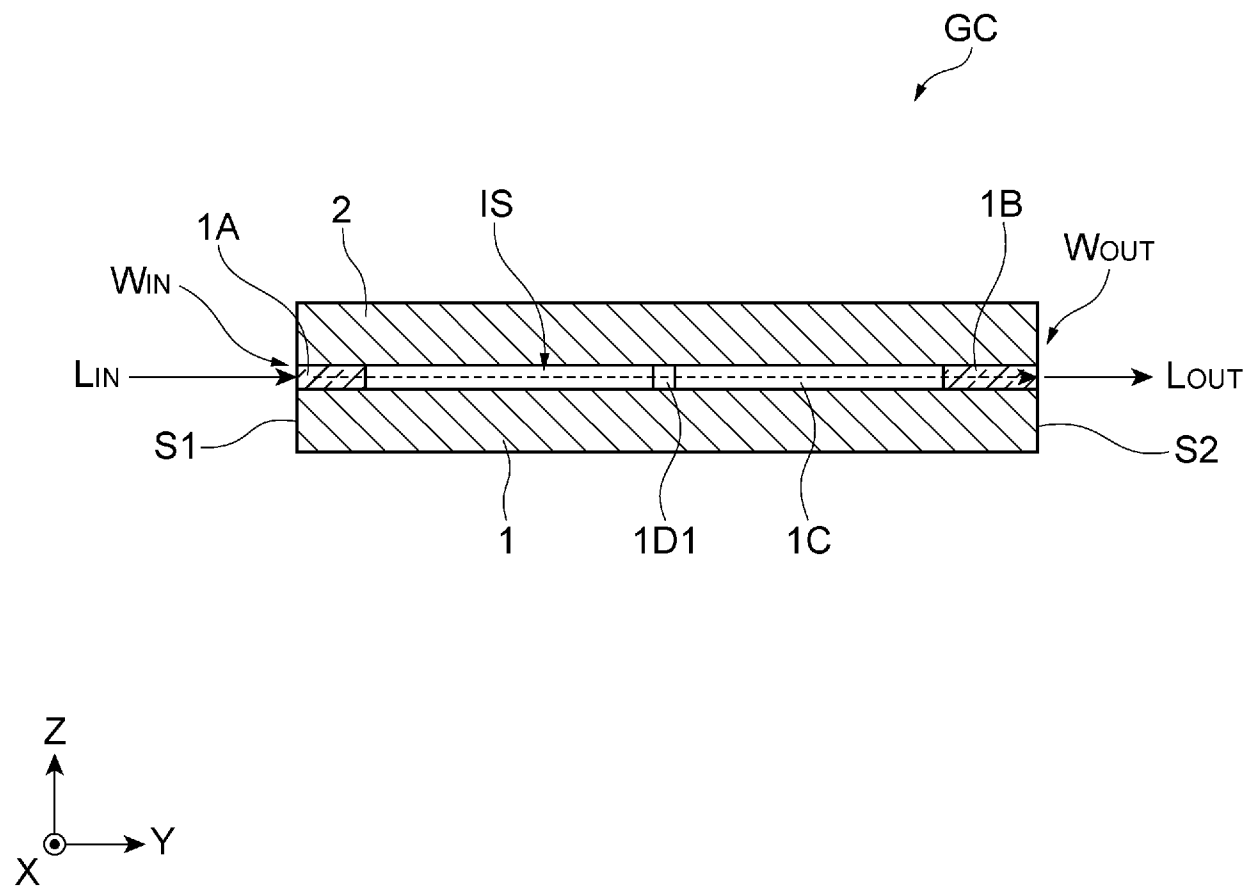
[図10]



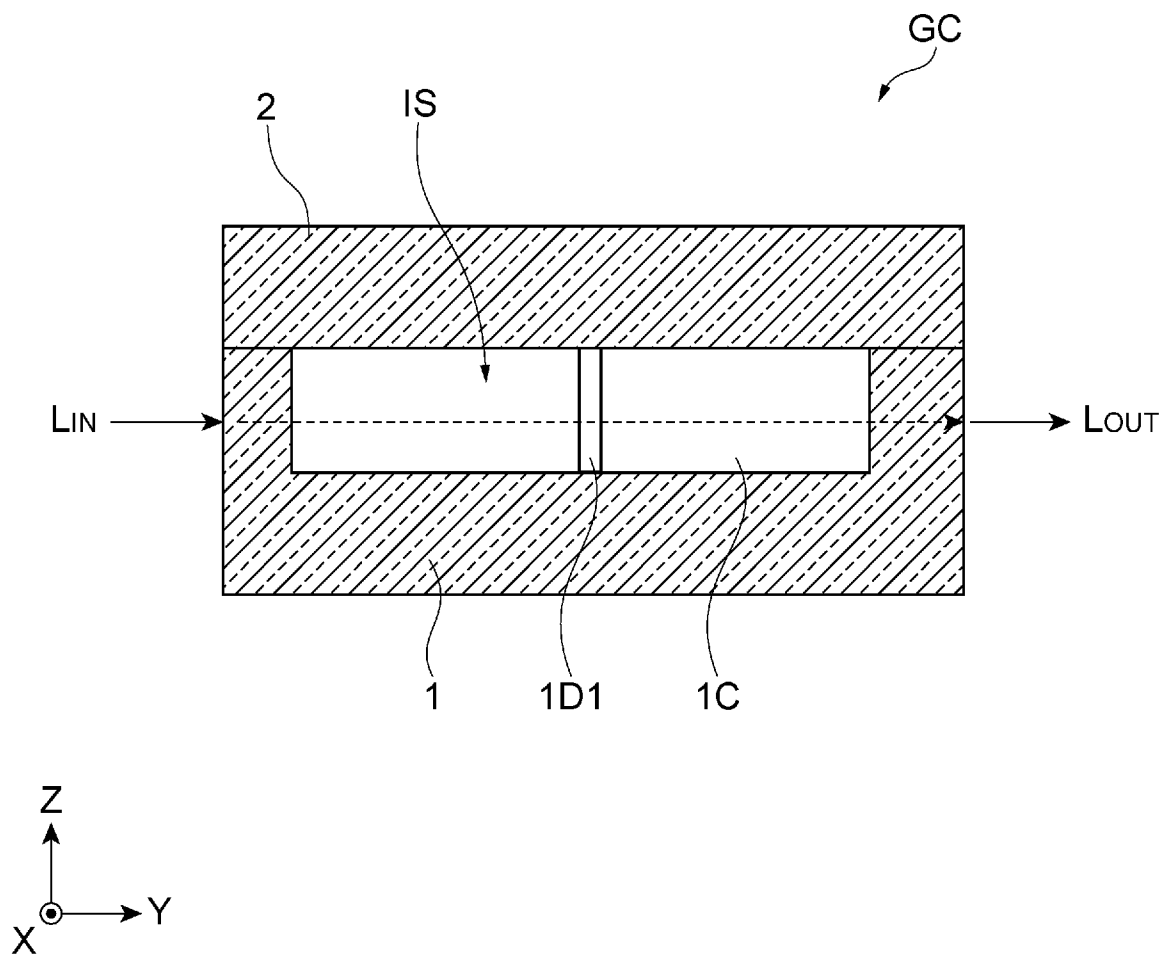
[図11]



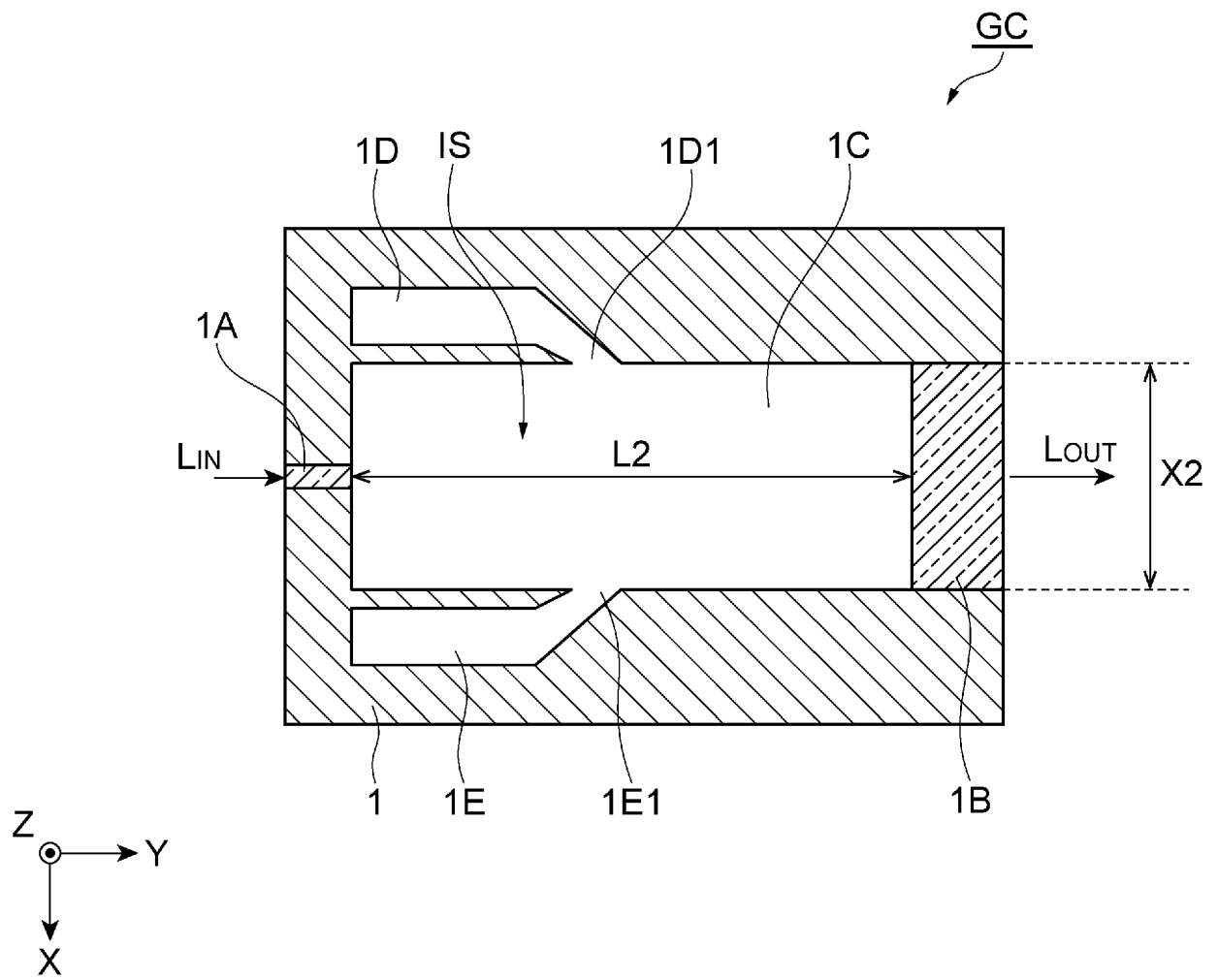
[図12]



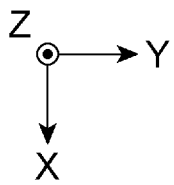
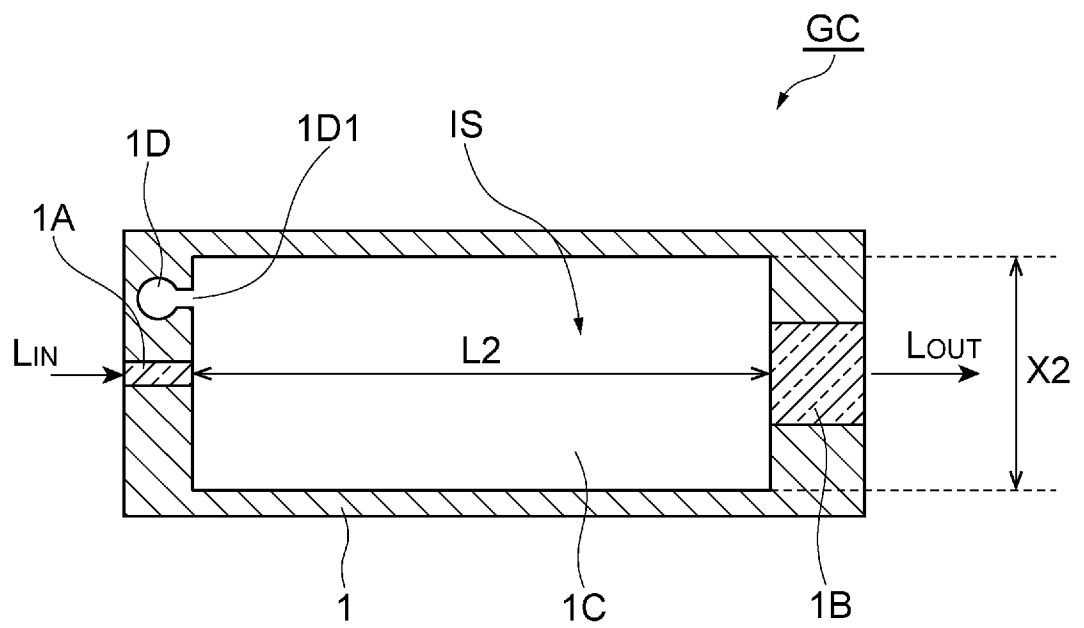
[図13]



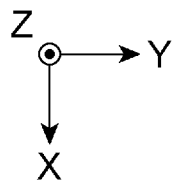
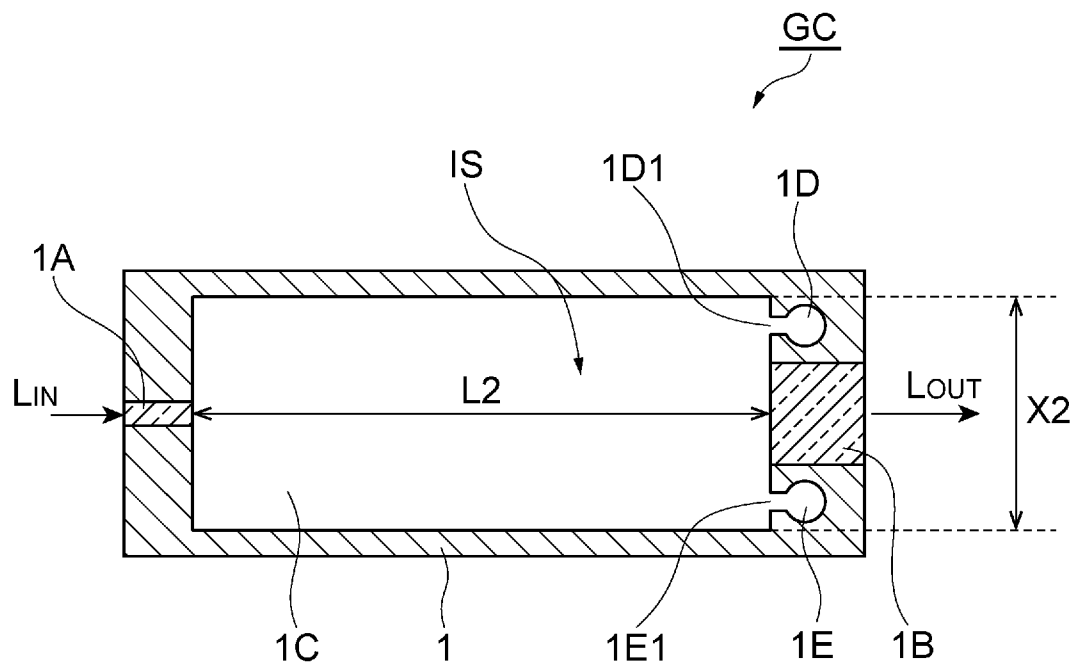
[図14]



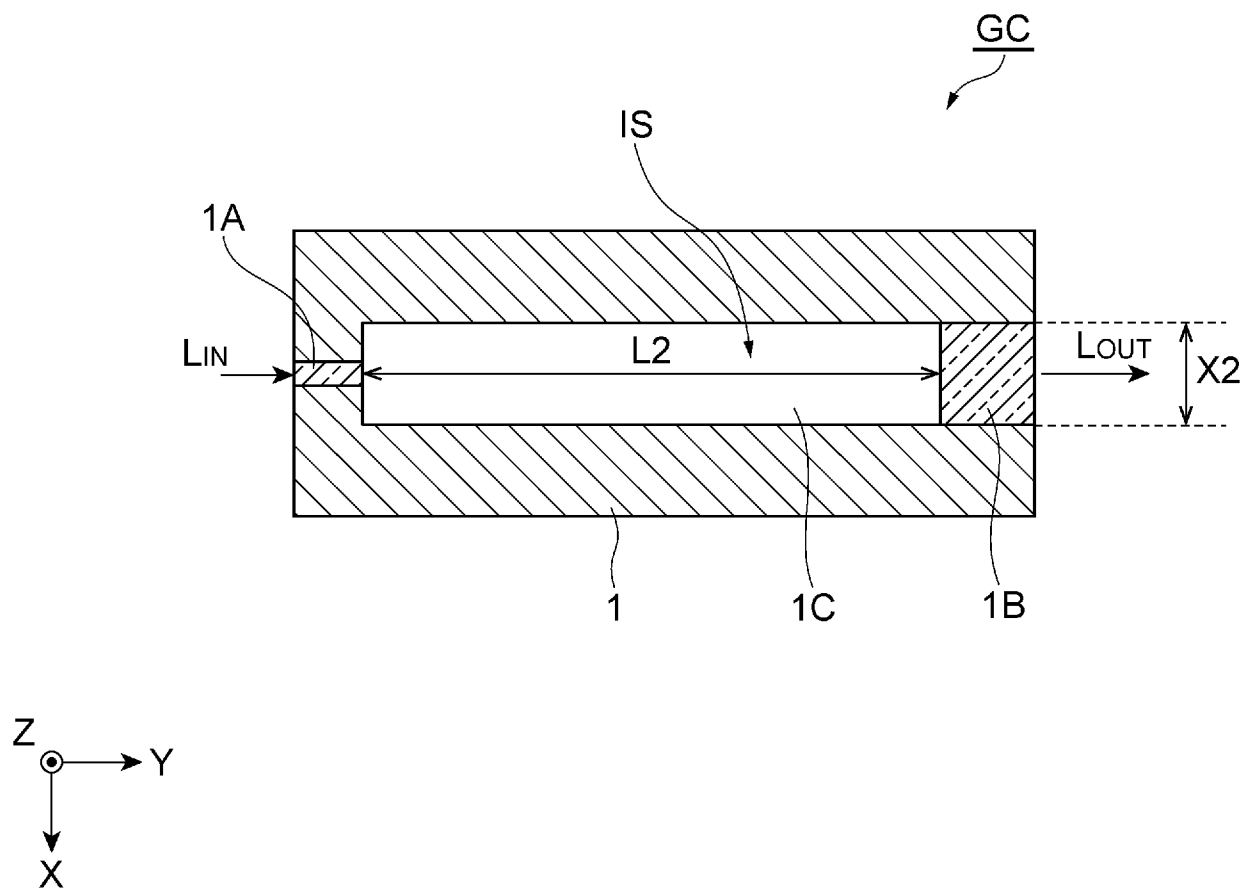
[図15]



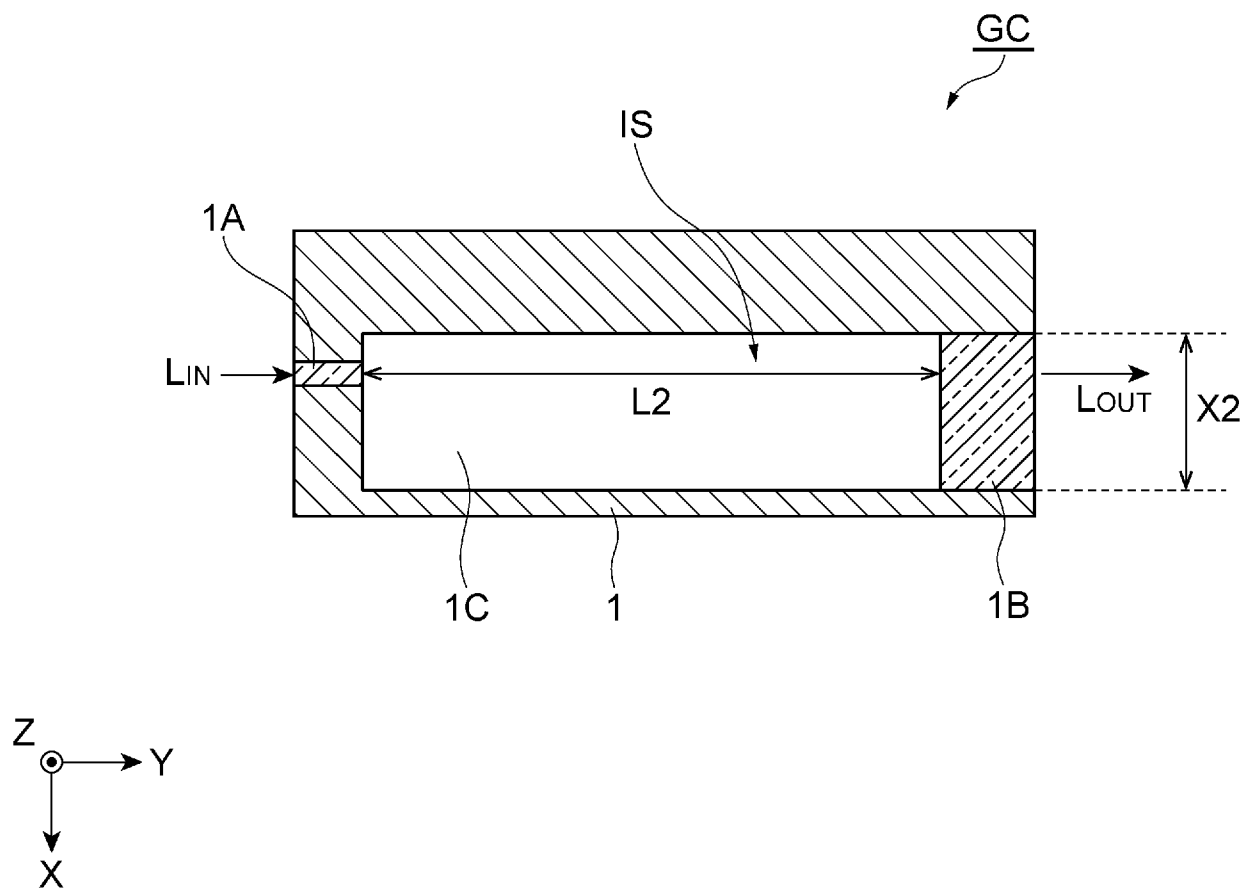
[図18]



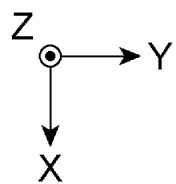
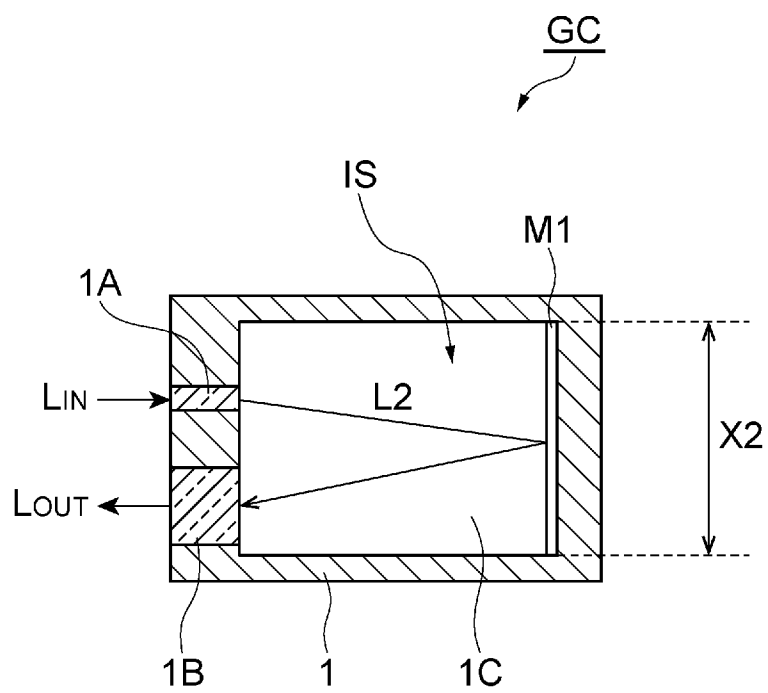
[図19]



[図22]



[図23]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/024450

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H03L 7/26**(2006.01)i

FI: H03L7/26

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	US 2018/0366904 A1 (STC.UNM) 20 December 2018 (2018-12-20) paragraphs [0031], [0047]-[0050], fig. 3	1-3, 8-11
Y		4-7, 12-13
X	JP 2020-123883 A (NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION & COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) 13 August 2020 (2020-08-13) paragraphs [0001]-[0003], [0025]-[0030], fig. 2(A)-(C), 9	1-4, 7, 10-13
Y	JP 2018-515012 A (TEXAS INSTRUMENTS JAPAN LIMITED) 07 June 2018 (2018-06-07) paragraphs [0023]-[0050], fig. 1, 15	4, 13
Y	JP 2-151122 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 11 June 1990 (1990-06-11) p. 2, upper right column, line 14 to lower left column, line 3, p. 6, upper right column, line 13 to p. 7, upper left column, line 5, p. 8, lower left column, lines 9-15, fig. 1, 4	5-7, 12-13
Y	JP 2020-61451 A (US RES CO., LTD.) 16 April 2020 (2020-04-16) paragraphs [0026]-[0030], fig. 1(b)	5-7, 12-13

☒ 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

25 August 2023

Date of mailing of the international search report

05 September 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/024450

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2014/027637 A1 (RIKEN) 20 February 2014 (2014-02-20) entire text, all drawings	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/024450

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2018/0366904	A1	20 December 2018	(Family: none)	
JP	2020-123883	A	13 August 2020	(Family: none)	
JP	2018-515012	A	07 June 2018	US 2016/0291549 A1 paragraphs [0023]-[0051], fig. 1, 15 EP 3278184 A1 CN 107209480 A	
JP	2-151122	A	11 June 1990	(Family: none)	
JP	2020-61451	A	16 April 2020	US 2021/0341717 A1 paragraphs [0037]-[0041], fig. 1B	
WO	2014/027637	A1	20 February 2014	US 2015/0194972 A1 entire text, all drawings EP 2887466 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H03L 7/26(2006.01)i FI: H03L7/26										
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）） 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年									
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	US 2018/0366904 A1 (STC,UNM) 20.12.2018 (2018 - 12 - 20) 段落[0031], [0047]-[0050], 図3	1-3, 8-11								
Y		4-7, 12-13								
X	JP 2020-123883 A (国立研究開発法人情報通信研究機構) 13.08.2020 (2020 - 08 - 13) 段落[0001]-[0003], [0025]-[0030], 図2(A)-(C), 9	1-4, 7, 10-13								
Y	JP 2018-515012 A (日本テキサス・インスツルメンツ株式会社) 07.06.2018 (2018 - 06 - 07) 段落[0023]-[0050], 図1, 15	4, 13								
Y	JP 2-151122 A (日本電信電話株式会社) 11.06.1990 (1990 - 06 - 11) 第2ページ右上欄第14行-左下欄第3行, 第6ページ右上欄第13行-第7ページ左上欄第5行, 第8ページ-左下欄第9行-第15行, 第1図, 第4図	5-7, 12-13								
Y	JP 2020-61451 A (株式会社USリサーチ) 16.04.2020 (2020 - 04 - 16) 段落[0026]-[0030], 図1(b)	5-7, 12-13								
A	WO 2014/027637 A1 (独立行政法人理化学研究所) 20.02.2014 (2014 - 02 - 20) 全文, 全図	1-13								
☐ 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抵触するものではなく、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 25.08.2023		国際調査報告の発送日 05.09.2023								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 志津木 康 5W 1787 電話番号 03-3581-1101 内線 3576								

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/024450

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
US	2018/0366904	A1	20.12.2018	(ファミリーなし)	
JP	2020-123883	A	13.08.2020	(ファミリーなし)	
JP	2018-515012	A	07.06.2018	US	2016/0291549 A1
				段落[0023]-[0051], 図1, 15	
				EP	3278184 A1
				CN	107209480 A
JP	2-151122	A	11.06.1990	(ファミリーなし)	
JP	2020-61451	A	16.04.2020	US	2021/0341717 A1
				段落[0037]-[0041], 図1B	
WO	2014/027637	A1	20.02.2014	US	2015/0194972 A1
				全文, 全図	
				EP	2887466 A1