(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
2019年9月12日(12.09.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/172323 A1

(51) 国際特許分類:
G01N 5/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2019/008897

(22) 国際出願日： 2019年3月6日(06.03.2019)

(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 2018-043359 2018年3月9日(09.03.2018) JP

(71) 出願人:日本電波工業株式会社(**NIHON DEMPA KOGYO CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒1518569 東京都渋谷区笹塚１－４７－１ Tokyo (JP).

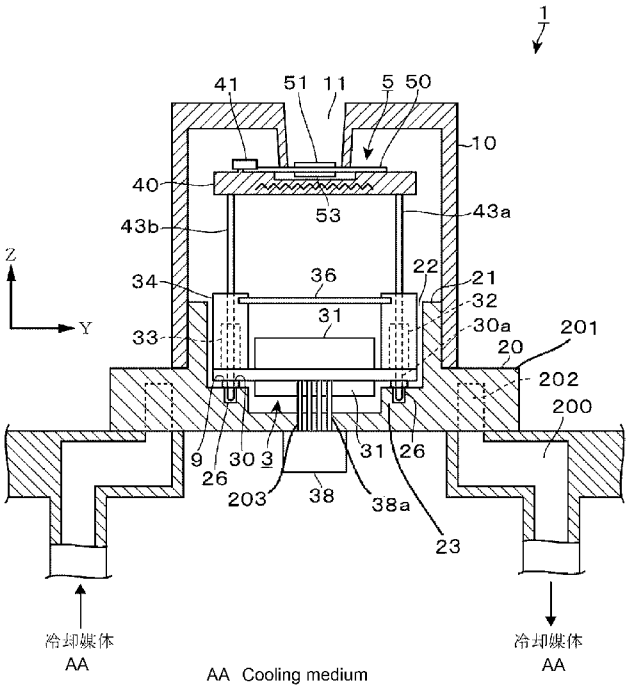
(72) 発明者: 茎田 啓行 (**KUKITA, Hiroyuki**); 〒3501321 埼玉県狭山市大字上広瀬１２７５番地の２ 日本電波工業株式会社 狭山事業所内 Saitama (JP). 塩原 毅(**SHIOBARA, Tsuyoshi**); 〒3501321 埼玉県狭山市大字上広瀬１２７５番地の２ 日本電波工業株式会社 狭山事業所内 Saitama (JP).

(74) 代理人:特許業務法人弥生特許事務所(**YAYOY PATENT OFFICE**); 〒2310058 神奈川県横浜市中区弥生町２丁目１５番１号ストークタワー大通り公園３６０１号 Kanagawa (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,

(54) **Title:** SENSING SENSOR

(54) 発明の名称： 感知センサ



(57) **Abstract:** Provided is a sensing sensor in which a crystal oscillator is used, wherein detection involving a broader and stable measurement dynamic range is performed. A spacer 9 is provided between an oscillation circuit that causes a crystal oscillator 5 to oscillate and a base body 20 that cools the oscillation circuit 62 to an ultra-low temperature, and a heater resistor 64 for heating the oscillation circuit 62 is provided to an oscillation circuit substrate 3. Therefore, the temperature of the oscillation circuit 62 can be set as low as possible without falling below the functional limitation temperature. The

WO 2019/172323 A1

[続葉有]

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, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, 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)）

negative resistance of the oscillation circuit 62 can be increased, the measurement dynamic range can be broadened, and the crystal oscillator 5 can be caused to oscillate stably.

(57) 要約：水晶振動子を用いた感知センサにおいて、測定ダイナミックレンジを広くすると共に安定した検出を行う技術を提供する。水晶振動子５を発振させる発振回路と、発振回路６２を極低温に冷却するベース体２０との間に、スペーサ９を設けると共に、発振回路基板３に発振回路６２を加熱するためのヒータ抵抗６４を設けている。そのため発振回路６２の温度を、機能限界温度を下回らず、かつ極力低温とすることができる。発振回路６２の負性抵抗を大きくすることができ、測定ダイナミックレンジを広くすると共に、水晶振動子５を安定して発振させることができる。

明　細　書

発明の名称 ： 感知センサ

技術分野

[0001] 本発明は、圧電振動子の周波数変化により感知対象物を感知する感知センサに関する。

背景技術

[0002] 例えばガス中に含まれる物質を感知する感知センサを用いた感知装置として、水晶振動子を用いたＱＣＭ（Quartz crystal microbalance）が知られている。このようなＱＣＭとしては、例えば水晶振動子を極低温に冷却することにより水晶振動子にガスを付着させ、続いて水晶振動子の温度を徐々に上げて、水晶振動子に付着したガスを脱離させる。この時ガスの脱離前後の周波数変化量を測定することで、ガスの付着量を測定すると共に、ガスが脱離する温度を計測することでガスの成分を特定する感知装置が知られている。

[0003] ここでＱＣＭにおいては、物質の付着により水晶振動子のＣＩ（クリスタルインピーダンス）が高くなっていくため、測定のダイナミックレンジを少しでも大きくするために、発振回路の負性抵抗を極力大きくすることが好ましい。発振回路に用いられる半導体は、その特性として低温下で駆動させることにより、その負性抵抗が大きくなる傾向があるため、発振回路は、例えば液体窒素などの熱冷却を利用し、極力冷やした状態とすることが好ましい。

[0004] しかしながら発振回路の温度を下げたときに、例えばシリコン製の半導体素子は、－１１０℃付近の温度からキャリアの密度が少なくなり、絶縁性が高まる傾向にある。そのためあまりに極低温とした場合には、発振回路に設けられる発振用のＩＣ（集積回路）やレギュレータなどの半導体素子が機能限界温度を下回ってしまい、発振回路が停止してしまう。そのため半導体の機能限界温度を下回らない温度で、極力低温にて発振回路基板を動作させることで最も負性抵抗が取れ、測定ダイナミックレンジも広く取れ、かつ安定

した発振を行うことができる。

[0005] 特許文献１には、水晶振動子を冷却して感知センサを高感度化する技術が記載されているが、発振回路の冷却を目的とした技術ではない。また特許文献２には、ＩＣチップが設置される基板を冷却する技術が記載されているが、極低温に冷却する技術ではなく、半導体素子の温度特性を考慮した技術ではない。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２０１１－２０３００７号公報

特許文献2：特開２０１２－２２０４５４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明はこのような事情に基づいてなされたものであり、その目的は、圧電振動子を冷却加熱し物質を脱離付着させて感知する感知センサにおいて、測定ダイナミックレンジを広くすると共に安定した検出を行う技術を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の感知センサは、気体である被感知物質を圧電振動子に付着させ、当該圧電振動子の温度を変化させて被感知物質を脱離させ、圧電振動子の発振周波数の変化と前記温度との関係に基づいて、被感知物質を感知する感知センサにおいて、

液体窒素により冷却されるベース体と、

前記ベース体により冷却される圧電振動子と、

前記圧電振動子の温度を変化させるために当該圧電振動子を加熱する加熱部と、

前記ベース体に取り付けられ、その上に前記圧電振動子を発振させる発振回路部及び当該発振回路部を加熱するためのヒータ回路が搭載された基板と

、

前記ベース体から基板を介して発振回路部に冷熱が伝熱されることを妨げるために、前記ベース体と前記発振回路部との間に設けられた断熱部と、を備えたことを特徴とする。

発明の効果

[0009] 本発明は、気体である被感知物質を圧電振動子に付着させ、当該圧電振動子の温度を変化させて被感知物質を脱離させ、圧電振動子の発振周波数の変化と前記温度との関係に基づいて、被感知物質を感知する感知センサにおいて、圧電振動子を液体窒素により冷却されるベース体により冷却すると共に加熱部により加熱するように構成している。さらにベース体に圧電振動子を発振させる発振回路部及び当該発振回路部を加熱するためのヒータ回路が搭載された基板を設け、ベース体と前記発振回路部との間に設けられた断熱部を設けている。そのため発振回路の温度を、発振回路の機能限界温度を下回らず、かつ極力低温とすることができる。従って発振回路の負性抵抗が大きくなり、測定ダイナミックレンジを広くすることができると共に安定した発振を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の実施の形態に係る感知センサの分解斜視図である。

[図2]本発明の実施の形態に係る感知センサの縦断面図である。

[図3]感知センサに用いられるスペーサを示す平面図及び側面図である。

[図4]感知センサに用いられる水晶振動子の表面側及び裏面側を示す平面図である。

[図5]水晶振動子を設置したセンサ基板を示す平面図である。

[図6]感知センサの一部を示す断面図である。

[図7]センサ基板、発振回路基板及びコネクタの接続を示す縦断面図である。

[図8]感知センサを接続した感知装置を示す概略構成図である。

[図9]発振回路の温度とインピーダンスとの関係を示す特性図である。

[図10]半導体素子における温度とキャリア密度との関係を示す特性図である

。

[図11]本発明の実施の形態に係る断熱部の他の例を示す平面図である。

発明を実施するための形態

[0011] 本発明の感知センサ１の全体構成について、図１～図２を参照して説明する。図１に示すように感知センサ１は、下方側が開放された円筒状の蓋部１０と、蓋部１０の下方を塞ぐベース体２０を備えている。図１、図２に示すようにベース体２０は、例えばニッケル鍍金がされた銅により円板状に構成され、一面側（上面側）の中心部に平面形状円形の突出部２１が形成されている。突出部２１には、平面形状矩形の凹部２２が形成され、凹部２２の底部における図１中のＸ方向の両端には、図２に示すように後述の発振回路基板３を両持ち状に支持する段部２３が各々形成されている。また凹部２２の底部には、図２に示すように後述するコネクタ３８と接続されるケーブル３８ａが挿入される孔部２０３が形成されている。段部２３には、後述するピン４３ａ、４３ｂが挿入される孔部２６が、各ピン４３ａ、４３ｂに対応する位置に形成されている。

[0012] また図１に示すように突出部２１の上面には、Ｘ方向に２本離間して配置された支柱２４が凹部２２を介して、Ｙ方向に２列並んで配置されている。支柱２４の上端には、後述のセンサ基板４を固定するための固定部材２５が夫々上方に向けて伸び出している。

また図２に示すようにベース体２０の取り付け部２０１の内部には、冷媒流路２００を流れた冷媒が溜まる冷媒液溜まり２０２が形成されている。冷媒としては、例えば液体窒素が用いられる。

[0013] 凹部２２の内部には、発振回路基板３が配置される。図１、図２に示すように発振回路基板３は、基板３０の表面側及び裏面側に各々発振回路や、レギュレータなどの発振回路部、が実装されたシリコン製の半導体素子であるＩＣ（集積回路）が収納された回路エリア３１が設けられている。また基板３０のＸ方向の両端には、回路エリア３１内のＩＣと電気的に接続するための筒状のソケット３２、３３が各々４つづつ並べて配置されている。また図

２にしめすように基板３０における各ソケット３２、３４に対応する位置には、各々各ソケット３２、３３と連通する孔部３０ａが形成されている。なおこの例では、ソケット３２、３３が配置される孔部３０ａが基板３０のＸ方向両端に６か所づつ予め形成されており、ソケット３２は、外側の２つづつの孔部３０ａに各々配置され、ソケット３３は、中心寄りの４つの孔部３０ａに配置されている。また発振回路基板３のＹ軸方向一方側の端部には、下面側にコネクタ３８と回路エリア３１内のＩＣとを電気的に接続させるためのケーブル３８ａが接続されている。なお図１ではケーブル３８ａとコネクタ３８とを接続した図で示しているがコネクタ３８はベース体２０の下面側に配置される。

[0014] 発振回路基板３は、スペーサ９を介して凹部２２内に設けられる。スペーサ９は、図３に示すように例えばテフロン（登録商標）により厚さ０．５ｍｍの板状体で構成され、厚さ方向に貫通するＸ字型の透孔部９０が形成されている。透孔部９０は、基板３０のＸ方向端部に形成された６つの孔部３０ａに対応する位置に設けられている。

スペーサ９は、各段部２３の上面に各々透孔部９０と孔部２６との位置が揃うように配置され、発振回路基板３は、６つの孔部３０ａが透孔部９０に揃うように配置される。この時発振回路基板３における回路エリア３１及び後述するスイッチ６０、６１、やヒータ抵抗６４などの素子が設けられる領域から離間した外側の領域が、スペーサ９の上方に位置する。

[0015] また図１、図２に戻って、発振回路基板３の上方には、各ソケット３２、３３をガイドするガイド部材３４が設けられている。ガイド部材３４には、各ソケット３２、３３をガイドするための貫通孔３４ａが形成されている。またガイド３４の上方には板状部材３６が設けられている。板状部材３６はＹ軸方向両端部３６ａに各々孔部３７が設けられ、両端部３６ａ間の領域がＸ軸方向に広がるように構成されている。そして板状部材３６は、Ｚ軸方向からガイド３４に押し当てられ、孔部３７に挿入されたネジ部材３７ａにより板状部材３６における図１に示すＹ方向の両端部３６ａが各々ベース体２

０の突出部２１の上面に固定される。これによりガイド部材３４、発振回路基板３及びスペーサ９が凹部２２の内部に固定される。

[0016] 図１に示すように板状部材３６の上方には、水晶振動子５が設置されたセンサ基板４が設けられる。水晶振動子５は、図４に示すように、例えばＡＴカットの圧電片である円板状の水晶片５０を備えている。この水晶片５０の上面側（図４中（ａ））及び下面側（図４中（ｂ））には、夫々例えば金（Ａｕ）などからなる一対の第１の励振電極（反応電極）５１、５３と、一対の第２の励振電極（リファレンス電極）５２、５４と図１中のＹ軸方向に互いに離間して配置されている。

[0017] 上面側の第１及び第２の励振電極５１、５２には、夫々引出電極５５、５６の一端が接続されており、この引出電極５５、５６は、水晶片５０の側面を引き回され、下面の周縁部にて端子部５５ａ、５６ａが形成されている。また下面側の第１及び第２の励振電極５３、５４には、夫々引出電極５７、５８の一端が接続されており、この引出電極５７、５８は、周縁部にて端子部５７ａ、５８ａが形成されている。

[0018] 図１、図２、図５、図６に示すようにセンサ基板４は、支持部材である概略矩形の基板４０を備えている。基板４０の上面には、水晶振動子５に形成された下面側の第１及び第２の励振電極５３、５４に対応する位置に小判型の凹部４０ａが形成されている。また基板４０の上面には、水晶振動子５の下面に形成された端子部５５ａ、５６ａ、５７ａ、５８ａに対応する位置に、夫々配線４４、４５、４６、４７が設けられている。図１に示すにセンサ基板４の下面側におけるＸ軸方向一端側には、発振回路基板３のソケット３２に対応する位置に、下方側に向けて４本の導電性のピン４３ａが伸び出している。またセンサ基板４の下面側におけるＸ軸方向他端側には、発振回路基板３のソケット３３に対応する位置に、下方側に向けて４本の導電性のピン４３ｂが伸び出している。図５に示す各配線４４、４５、４６、４７は、基板４０の側面を介して下面側に引き回され、ピン４３ａに夫々接続されている。

[0019] またセンサ基板４における基板４０の内部には、水晶振動子５を加熱する例えば発熱抵抗で構成された加熱部４９が埋設されている。さらにセンサ基板４には、水晶振動子５の温度を検出するための温度検出部４１が設けられている。加熱部４９及び温度検出部４１は、配線４２及びスルーホール４２ａを介して基板４０の下面側に引き回されて、ピン４３ｂに接続されている。

また基板４０のＹ軸方向の周縁部には、各支柱２４の固定部材２５に対応する位置に孔部４８が夫々形成されている。図６に示すようにセンサ基板４は、各孔部４８に固定部材２５が挿入されることにより、Ｘ軸方向及びＹ軸方向の位置決めがされると共に、基板４０が支柱２４上面に載置されて、図２に示すように高さ位置が固定される。この時各ピン４３、４４は、ガイド部材３４の貫通孔３４ａに各々挿入され、対応するソケット３２、３３に挿入される。図７に示すようにピン４３ａは、ソケット３２に夫々挿入されると、電気的に接続される。またピン４３ａの先端は、基板３０に形成された孔部３０ａ及びスペーサ９に形成された透孔部９０に挿入されて、段部２３に形成された孔部２６に夫々挿入されている。また発振回路基板３に接続されたケーブル３８ａは、ベース体２０に形成された孔部２０３を介してベース体の下方に引き回されてコネクタ３８に接続されている。これにより基板４０に設けられた水晶振動子５と、回路エリア３１と、コネクタ３８とが互いに電気的に接続される。

[0020] そして図２に示すようにセンサ基板４がベース体２０に設置されると、蓋部１０がセンサ基板４の上方を覆い突出部２１の周囲を囲むように配置され、蓋部１０とベース体２０とが係合される。蓋部１０の上面におけるＹ軸方向一端側に寄った位置には、図２に示すようにすり鉢状の開口部１１が形成されている。そして図６に示すように蓋部１０をベース体２０に係合させたときに、開口部１１に水晶振動子５の上面側の第１の励振電極５１が臨むように配置される。この時開口部１１の下端は、水晶振動子５の表面から０．５ｍｍ離間している。

[0021] 続いて感知センサ１を接続した感知装置の全体構成について説明する。図８に示すように発振回路基板３には、各々回路エリア３１で構成された発振回路６２と、発振回路６２に供給される電圧を調整するためのレギュレータ６３と、が設けられている。発振回路６２と、レギュレータ６３とは、発振回路部６に相当する。そしてセンサ基板４と発振回路基板３とが接続されることにより、水晶振動子５における上面側の第１及び第２の励振電極５１、５２が発振回路基板３上に設けられたスイッチ６０を介して発振回路６２に接続される。また水晶振動子５における下面側の第１及び第２の励振電極５３、５４が発振回路基板３上に設けられたスイッチ６１を介して発振回路６２に接続される。

[0022] また感知センサ１は、コネクタ３８を介して、本体部７に接続される。本体部７は、例えば感知センサ１に設けられた発振回路６２に駆動電圧を供給する電源部７０と、発振回路６２から出力される周波数を測定する周波数測定部７１と、を備えている。そして周波数測定部７１にて測定された周波数信号は、制御部７２に入力されるように構成されている。また本体部７は、温度検出部４１にて検出された温度検出値に基づいて、加熱部４９の出力を調整して、水晶振動子５の温度を制御する温度調整部７３を備えている。そして制御部７２は、温度調整部７３の設定温度を調整して、水晶振動子５の温度を液体窒素で冷却された温度である－１９０℃から、１℃／１分の速度で昇温できるように構成されている。

[0023] また感知センサ１に本体部７を接続すると、電源部７０がレギュレータ６３に接続される。これにより例えば電源部７０から出力される５Ｖの電圧が、レギュレータ６３により調整されて３Ｖの電圧となり、発振回路６２に印加される。また発振回路基板３は、発振回路６２を加熱するヒータ回路である、例えば３３０Ωの電気抵抗のヒータ抵抗６４を備えている。ヒータ抵抗６４は、レギュレータ６３と並列に接続されており、電源部７０から出力される５Ｖの電圧により発熱する。このヒータ抵抗６４により、回路エリア３１で構成された発振回路６２及びレギュレータ６３（発振回路部６）が加熱

される。

[0024] また感知センサ１と本体部７とを接続すると、周波数測定部７１は、発振回路６２に接続される。本発明の感知センサ１は、スイッチ６０及びスイッチ６１を切り替えることで、発振回路６２に接続される励振電極を反応電極側（第１の励振電極５１、５３）とリファレンス電極側（第２の励振電極５２、５４）との間で切り替える。これにより周波数測定部７１においては、反応電極側の第１の発振周波数Ｆ１と、リファレンス電極側の第２の発振周波数Ｆ２とが夫々測定される。

そして感知センサ１に向けて、感知対象物を含むガスが供給されると、開口部１１に臨む反応電極側の上面側の励振電極５１に感知対象物が付着するため、感知対象物の量に対応して第１の発振周波数Ｆ１が大きく変化する。制御部７２には、予め測定された反応電極側の第１の励振電極５１、５３の第１の発振周波数Ｆ１とリファレンス電極側の第２の励振電極５２、５４の第２の発振周波数Ｆ２との差分と、感知対象物の量（質量）と、の関係が記憶されている。そして周波数測定部７１にて測定された第１の発振周波数Ｆ１と第２の発振周波数Ｆ２との差分から、当該差分に対応する感知対象物の量を検出する。

[0025] 続いて、本発明の実施の形態に係る感知センサ１の作用について説明する。まず感知センサ１のコネクタ３８に本体部７を接続し、さらに冷媒流路２００に液体窒素を通流させる。これによりベース体２０が例えば－１９０℃に冷却される。この時センサ基板４は、ピン４３、４４及び支柱２４を介して冷却され例えば－１８４℃に冷却される。従ってピン４３、４４及び支柱２４は、伝熱部材に相当する。そして水晶振動子５を液体窒素により冷却した状態で、感知センサ１の開口部１１に向けて感知対象物となるガスを供給する。この時供給されたガスが開口部１１の底部に臨む反応電極側の第１の励振電極５１に接触することにより冷却されて付着する。

[0026] 次いで、スイッチ６０、６１を時間分割により切替えて、制御部７２により反応電極側（第１の励振電極５１、５３）の発振周波数Ｆ１とリファレン

ス電極側（第２の励振電極５２、５４）の発振周波数Ｆ２とを計測しながら、加熱部４９を例えば１℃／１分で徐々に昇温していく。水晶振動子５を徐々に加熱すると、第１の励振電極５１に付着した感知対象物が脱離する。その際第１の励振電極５１から脱離するときに、反応電極側の第１の励振電極５１、５３の発振周波数Ｆ１が大きく変化する。一方リファレンス電極側の第２の励振電極５２、５４においては、感知対象物が付着しないため、温度を上昇させたときに質量変化が起こらず、発振周波数Ｆ２は、ほとんど変化しない。

[0027] 制御部７２では、発振周波数Ｆ１、Ｆ２を観測することで、このガスの脱離のタイミングを把握し、第１の発振周波数Ｆ１と第２の発振周波数Ｆ２との差分に基づいて、感知対象物の質量を検出する。また、温度検出部４１では常時温度検出が行われるが、前記タイミングにおける温度を感知対象物の脱離温度として検出する。これにより検出された脱離温度に基づいて感知対象物の種類を特定することができる。

このように感知対象となるガスの検知を行うが、上述の実施の形態においては、発振回路基板３は、ベース体２０の段部２３の上面に配置されたテフロン性のスペーサ９の上方に両もちの状態で支持されている。そのためベース体２０と発振回路基板３との間の熱伝導は、スペーサ９により緩和される。この結果発振回路基板３及び発振回路基板３に設置された回路エリア３１は、冷却される温度が、ベース体２０の温度よりも高くなる。

[0028] また電源部７０を投入することにより、レギュレータ６３を介して３Ｖに調整された電圧が発振回路６２に印加される。これにより発振回路６２が駆動して、水晶振動子５が発振する。この時電源部７０から印加される電圧は、ヒータ抵抗６４にも印加され、ヒータ抵抗６４が発熱する。

[0029] 発振回路６２は、図９に示すように温度を低くすることで負性抵抗が大きくなる。そして本発明の感知センサ１は、既述のように感知対象物を水晶振動子５に付着させ、周波数変化量により、感知対象物の検出を行うが、水晶振動子５は、物質が付着すると、ＣＩ値が上昇するため、正常に発振する周

波数の範囲が狭くなる。そのため測定可能な周波数範囲を広くする観点から、発振回路３２側の負性抵抗を大きくすることが好ましく、温度を低くした方が好ましい。

[0030] ここで例えばシリコンにより形成される半導体素子は、図１０に示すように温度によりキャリア密度が異なる。このキャリア密度は、半導体素子の導電性を示しており、キャリア密度が高まることにより、導電性が高まり、キャリア密度が低くなることで絶縁性が高まる。そしてシリコン製の半導体素子においては、－１１０℃（１６３Ｋ）から３００℃（５７３Ｋ）の温度帯においては、安定したキャリア密度を保っているが、温度がＴｂ、例えば－１１０℃程度の温度を下回ると、キャリア密度が徐々に下がる。さらに温度が下がりキャリア密度が低くなり過ぎてしまう温度Ｔａを下回ると、半導体素子の絶縁性が高まりすぎ、機能限界温度を下回る。そのため発振回路６２やレギュレータ６３（発振回路部６）を構成する回路エリア３１が機能を停止し、発振が停止する。従って既述の負性抵抗を大きくする観点と相俟って、回路エリア３１は、極低温であって、半導体素子の機能限界温度以上の温度に調整されることが好ましい。極低温かつ半導体素子の機能限界温度以上の温度としては、キャリア密度が下がり、十分に発振回路の負性抵抗を高めることができる温度である温度Ｔｂよりも低く、半導体素子が機能を保てなくなる温度Ｔａよりも高い温度帯の温度、具体的には、シリコン半導体の場合には－１７０℃（１０３Ｋ）から－１１０℃（１６３Ｋ）程度である。

[0031] 上述の実施の形態において冷却媒体として用いている、液体窒素の温度が－１９６℃である。そして後述の実施例に示すようにスペーサ９及びヒータ抵抗６４を除去したことを除いて、既述の実施の形態に示した感知センサ１と同様に構成された感知センサ１の場合には、発振回路基板３の温度が－１８４℃に下がってしまい、発振回路部６が停止してしまっている。これに対して上述の実施の形態に示した感知センサ１では、スペーサ９により熱伝導が遮断されるため、発振回路部６の冷却が緩和される。さらにヒータ抵抗６４が発熱するため、発振回路基板３に設けた発振回路６２及びレギュレータ

６３（発振回路部６）が加熱される。この発振回路６２やレギュレータ６３などＩＣを含む回路エリア３１は、液体窒素により極低温に冷却されると共に、スペーサ９による冷却の緩和、及びヒータ抵抗６３による加熱が相俟って、例えば－１６０℃程度の温度に維持される。これにより後述の実施例にも示すように発振回路部６の温度を、発振回路部６の負性抵抗が高まる極低温の温度帯でありながら、発振回路部６が正常に動作させることができる温度に調整することができる。

[0032] また。本実施の形態では、発振回路部６の温度を－１６０℃程度の温度に維持しており、発振回路部６の負性抵抗が大きくなっているため周波数測定における測定範囲が広くなり、感知センサ１における感知対象物の検出されるレンジが広くなっている。さらには発振回路部６が停止することなく正常に発振する温度帯に調整されている。従って反応電極側の上面側の励振電極５１に感知対象物が付着することにより、水晶振動子５のＣＩ値が上昇したときにも水晶振動子５を安定して発振させることができる。

[0033] 上述の実施の形態によれば、水晶振動子５に感知対象物を付着させて検出する感知センサ１において、水晶振動子５を発振させる発振回路部６と、発振回路６２を極低温に冷却するベース体２０との間に、スペーサ９を設けると共に、発振回路基板３に発振回路部６を加熱するためのヒータ抵抗６４を設けている。そのため発振回路部６の温度を、シリコン半導体の機能限界温度を下回らず、かつ極力低温とすることができる。従って発振回路部６の負性抵抗を大きくすることができ、測定ダイナミックレンジを広くすると共に、水晶振動子５を安定して発振させることができる。

また機能限界温度を下回らず、かつ極力低温とは、発振回路部６を構成する半導体素子の主たる材料がシリコンである場合には、－１７０℃～－１１０℃が好ましい。

[0034] またセンサ基板４から伸びだし、発振回路基板３と導通を取るためのピン４３ａ、４３ｂの先端をベース体２０に接触させるように構成し、発振回路基板３とピン４３ａ、４３ｂとを電通を取りながら、接触面積が小さくなる

ように構成している。そのためピン４３ａ、４３ｂへの発振回路基板３側からの熱の伝導を抑制すると共に、ピン４３ａ、４３ｂをベース体２０により冷却することができ、センサ基板４の昇温を抑制することができる。

[0035] また本発明の実施の形態の他の例について説明する。例えばスペーサ９を用いることに代えて、発振回路基板３における回路エリア３１の設置領域よりも外側の領域を段部２３上に配置すると共に、基板３０における段部２３上の領域と、回路エリア３１の設置領域と、の間の熱伝導を抑制するようにしてもよい。例えば図１１に示すように発振回路基板３に用いる基板３０の回路エリア３１の設置領域と、基板３０における段部２３上の領域との間にスルーホール９１（透孔部）を並べて形成する。これにより段部２３上の領域側と、回路エリア３１の設置領域との間の部位の断面積が狭くなり、熱伝導が抑制され、回路エリア３１の設置領域が冷却されにくくなるため同様の効果を得ることができる。また図１１に示した発振回路基板３を用いると共に、段部２３と発振回路基板３との間にスペーサ９を設置してもよい。またスルーホール９１を並べて形成することに代えて、スリットなどの透孔を設けるようにしてもよい。

実施例

[0036] 本発明の実施の形態の効果を検証するために実施例として、図１～図８に示した感知センサ１を用い、ベース体２０に液体窒素を通流させて冷却した後、発振回路６２を駆動させて、発振回路基板３における回路エリア３１が設置される領域の温度を測定した。また発振回路６２を駆動させている間に発振回路６２が停止が確認されるか否かを観察した。

またヒータ抵抗６４を設けないことを除いて実施例を同様に構成した感知センサを用い、実施例を同様に処理した例を比較例１とした。

さらにスペーサ９を除き段部２３の上面に発振回路基板３を配置したことを除いて比較例１と同様に構成した感知センサを用い、実施例と同様に処理した例を比較例２とした。

[0037] 表１は、この結果を示し、実施例及び比較例１、２における発振回路６２

の電源投入から１０分後の発振回路基板３の温度と、発振回路部６の電源投入後１０分間における発振回路部６の発振の停止が確認されたか否かを示している。

［表１］

	発振回路基板温度(℃)	発振停止の有無
実施例	-164.0	なし
比較例1	-173.4	あり
比較例2	-184.1	あり

表１に示すように比較例１、２では、いずれも発振回路基板３の温度は－１７０℃以下となっており、発振回路部６の停止が確認された。これに対して実施例では、発振回路基板３の温度は、－１６４℃まで上昇しており、発振回路部６の停止も確認されなかった。このことから本発明によれば、発振回路部６の温度を、機能限界温度を下回らず、かつ極力低温とすることができ、発振回路部６の負性抵抗が大きくなり、測定ダイナミックレンジを広くすることができると言える。

[0038] また実施例に係る感知センサ１において、発振回路部６の駆動開始から水晶振動子５の温度上昇を測定したところ発振回路６２の電源投入直後は、－１９１℃であり、１０分後においても－１８７℃であった。このことから発振回路部６を加熱するヒータ抵抗６４を設けた場合にも水晶振動子５においては温度上昇は、十分に小さくほとんど影響していないと言える。

請求の範囲

[請求項1] 気体である被感知物質を圧電振動子に付着させ、当該圧電振動子の温度を変化させて被感知物質を脱離させ、圧電振動子の発振周波数の変化と前記温度との関係に基づいて、被感知物質を感知する感知センサにおいて、

液体窒素により冷却されるベース体と、

前記ベース体により冷却される圧電振動子と、

前記圧電振動子の温度を変化させるために当該圧電振動子を加熱する加熱部と、

前記ベース体に取り付けられ、その上に前記圧電振動子を発振させる発振回路部及び当該発振回路部を加熱するためのヒータ回路が搭載された基板と、

前記ベース体から基板を介して発振回路部に冷熱が伝熱されることを妨げるために、前記ベース体と前記発振回路部との間に設けられた断熱部と、を備えたことを特徴とする感知センサ。

[請求項2] 前記発振回路部は、シリコンを含む半導体素子を含み、

前記発振回路部の温度が、－１７０℃から－１１０℃の間で調整されることを特徴とする請求項１に記載の感知センサ。

[請求項3] 前記断熱部は、前記基板と前記ベース体との間に設けられる断熱性のスペーサであることを特徴とする請求項１に記載の感知センサ。

[請求項4] 前記基板において、前記発振回路部が設けられた領域が前記ベース体から離間すると共に当該領域よりも外側の領域が前記ベース体に接触し、

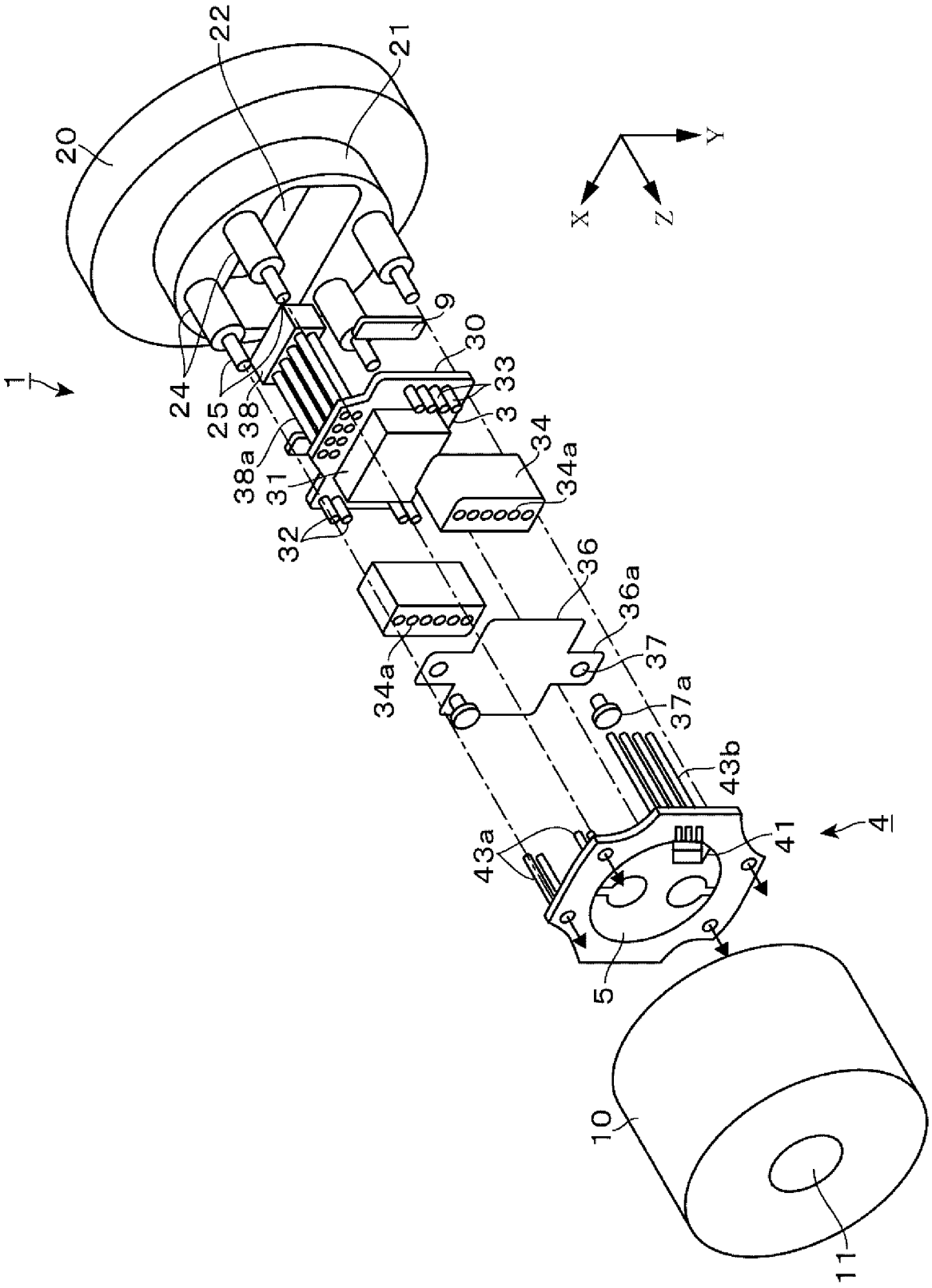
前記断熱部は、前記基板に形成された透孔部であることを特徴とする請求項１に記載の感知センサ。

[請求項5] 前記圧電振動子は、前記発振回路部に対して前記ベース体とは反対側の位置にて支持部材により支持され、

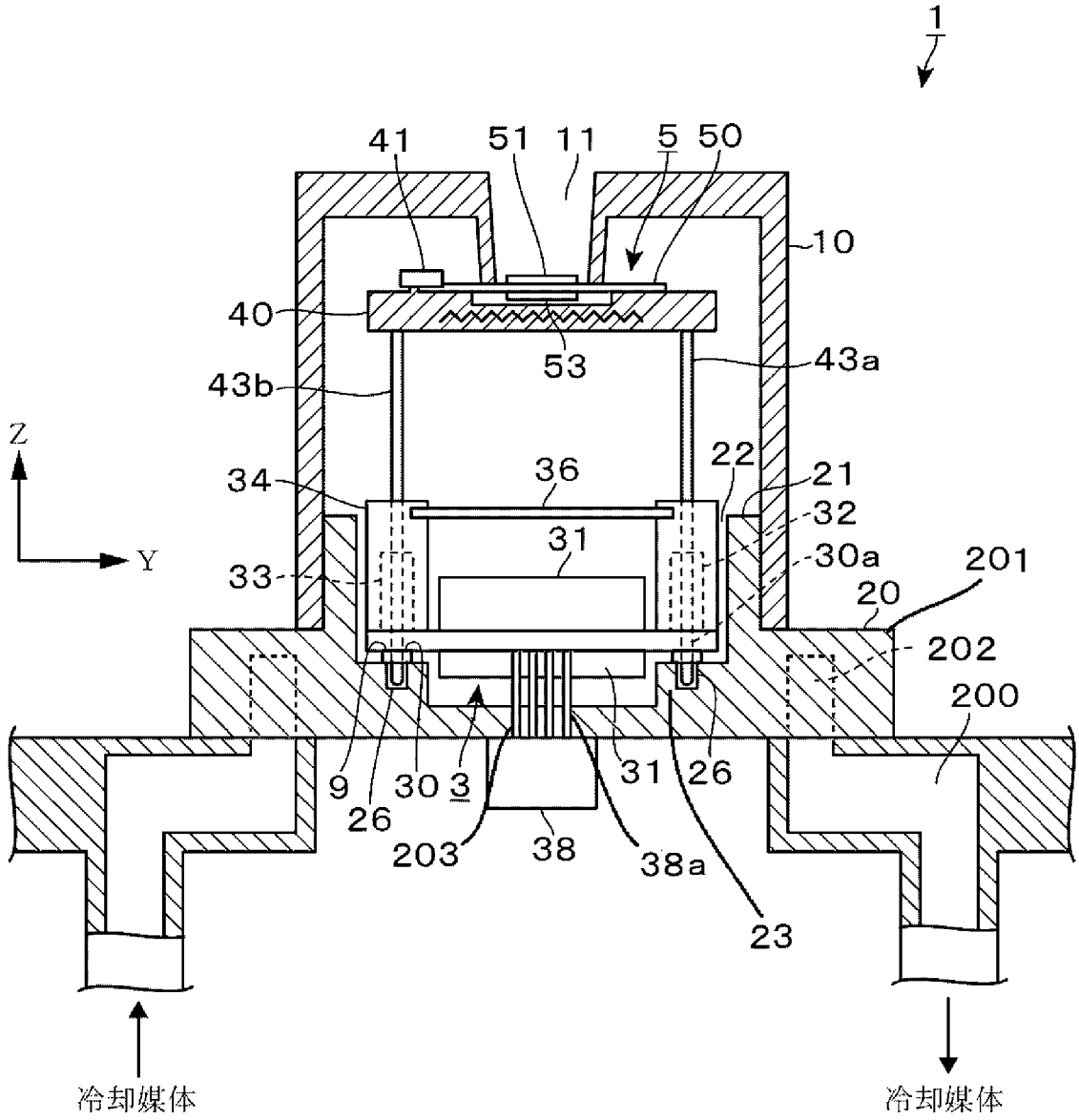
前記支持部材と前記ベース体とは、圧電振動子の熱をベース体に伝

熱させるための伝熱部材により互いに接続されていることを特徴とする請求項１に記載の感知センサ。

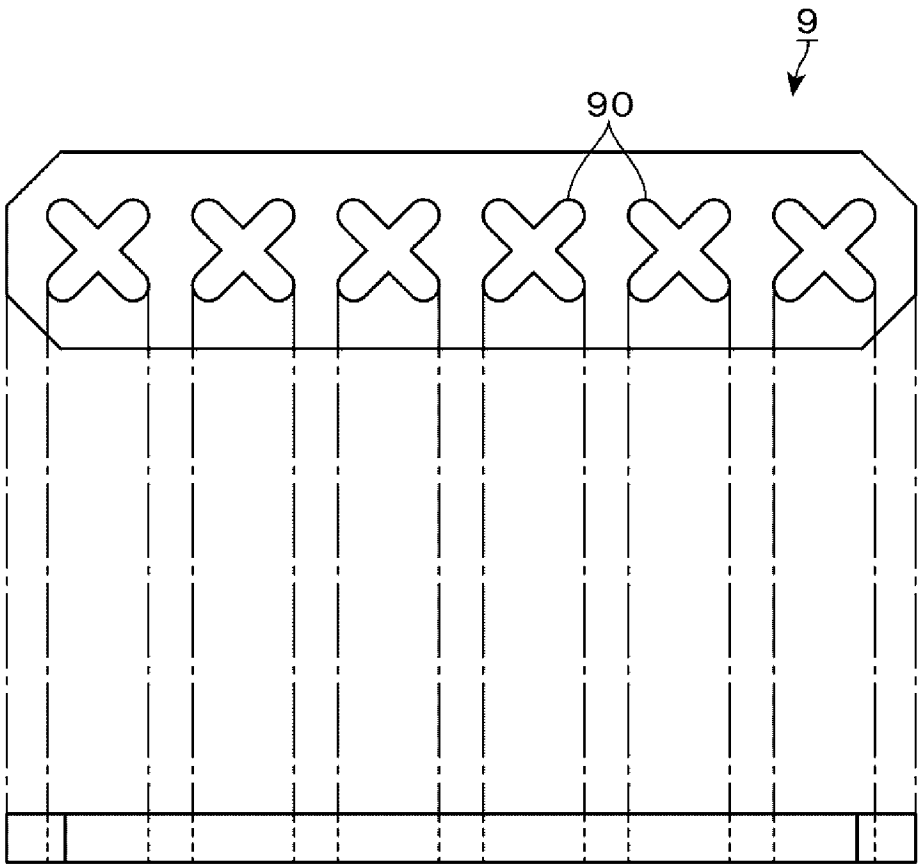
[図1]


1
20
22
21
24
25
38
38a
31
32
9
30
33
34
34a
36
36a
37
37a
43a
43b
41
4
5
10
11
Y
X
Z

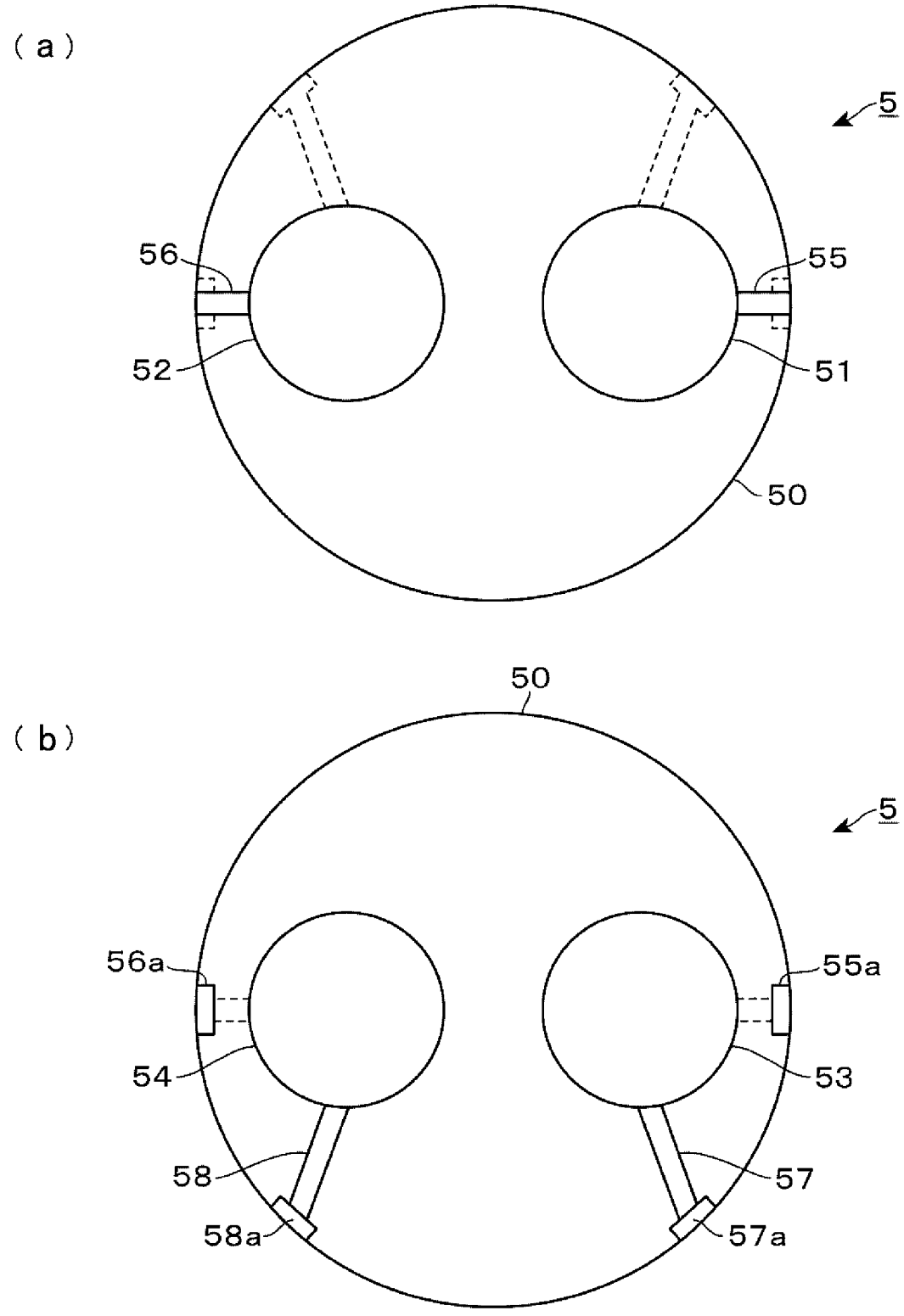
[図2]


1
41
51
11
5
50
10
40
53
43a
43b
Z
Y
34
36
22
21
32
31
30a
33
201
20
202
200
9
26
30
3
31
26
203
38
38a
23
冷却媒体
冷却媒体

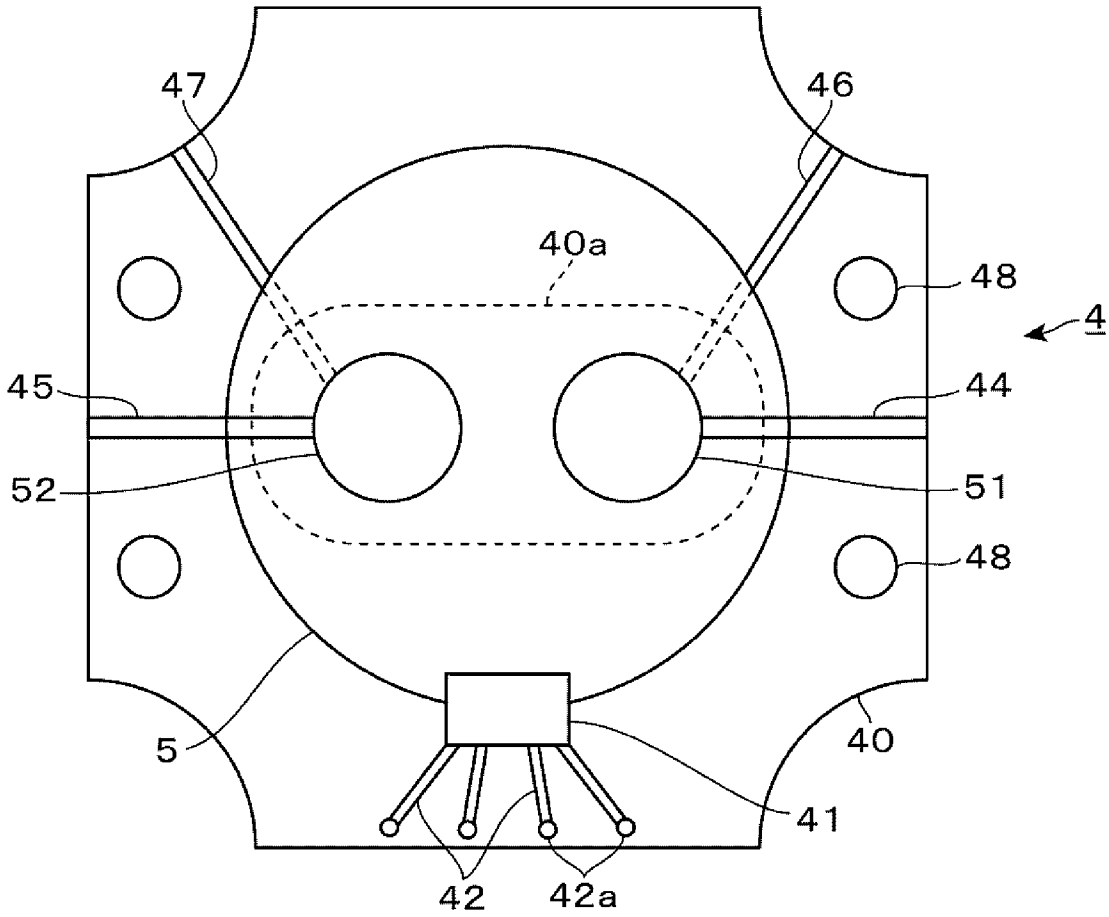
[図3]



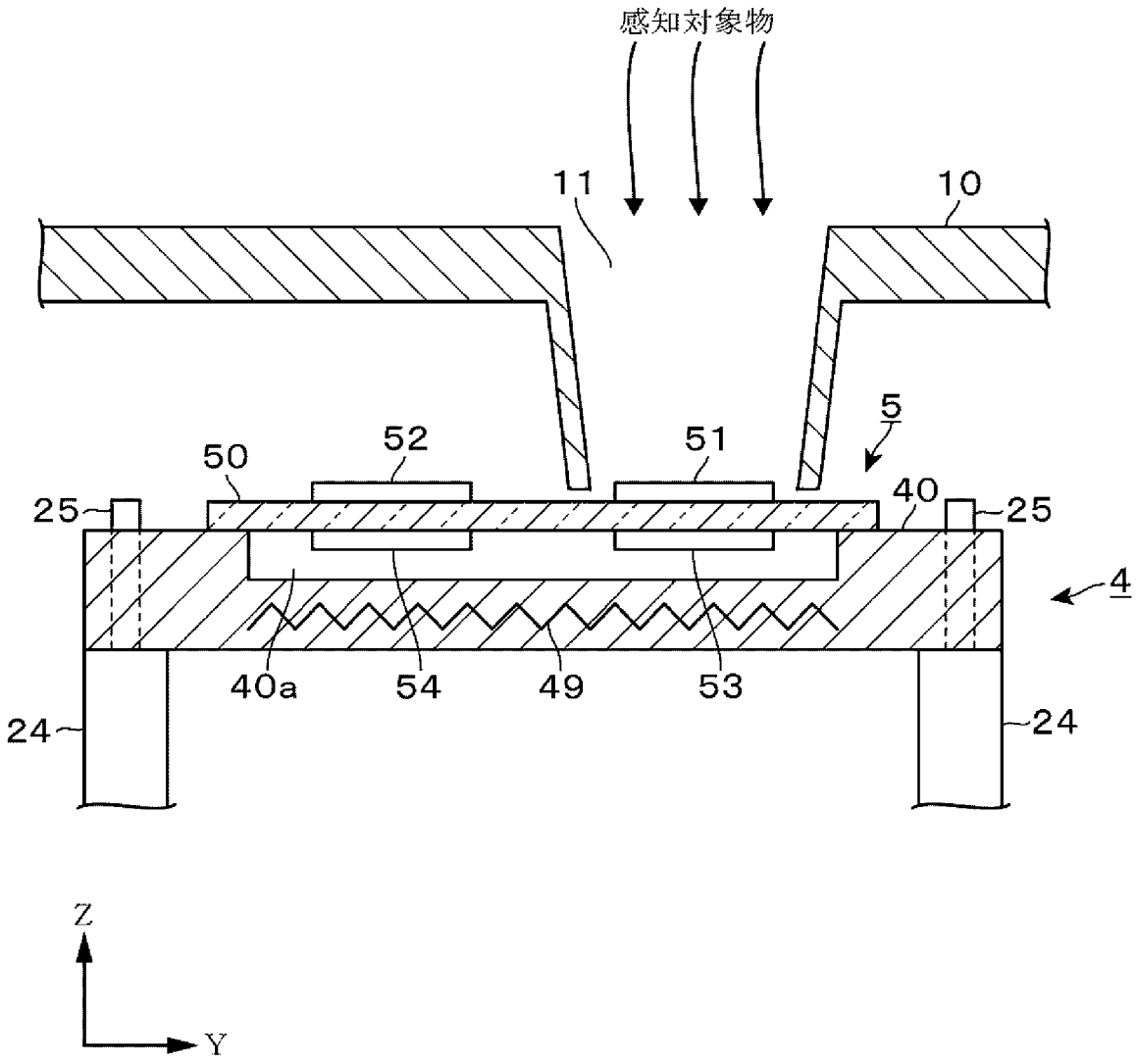
[図4]



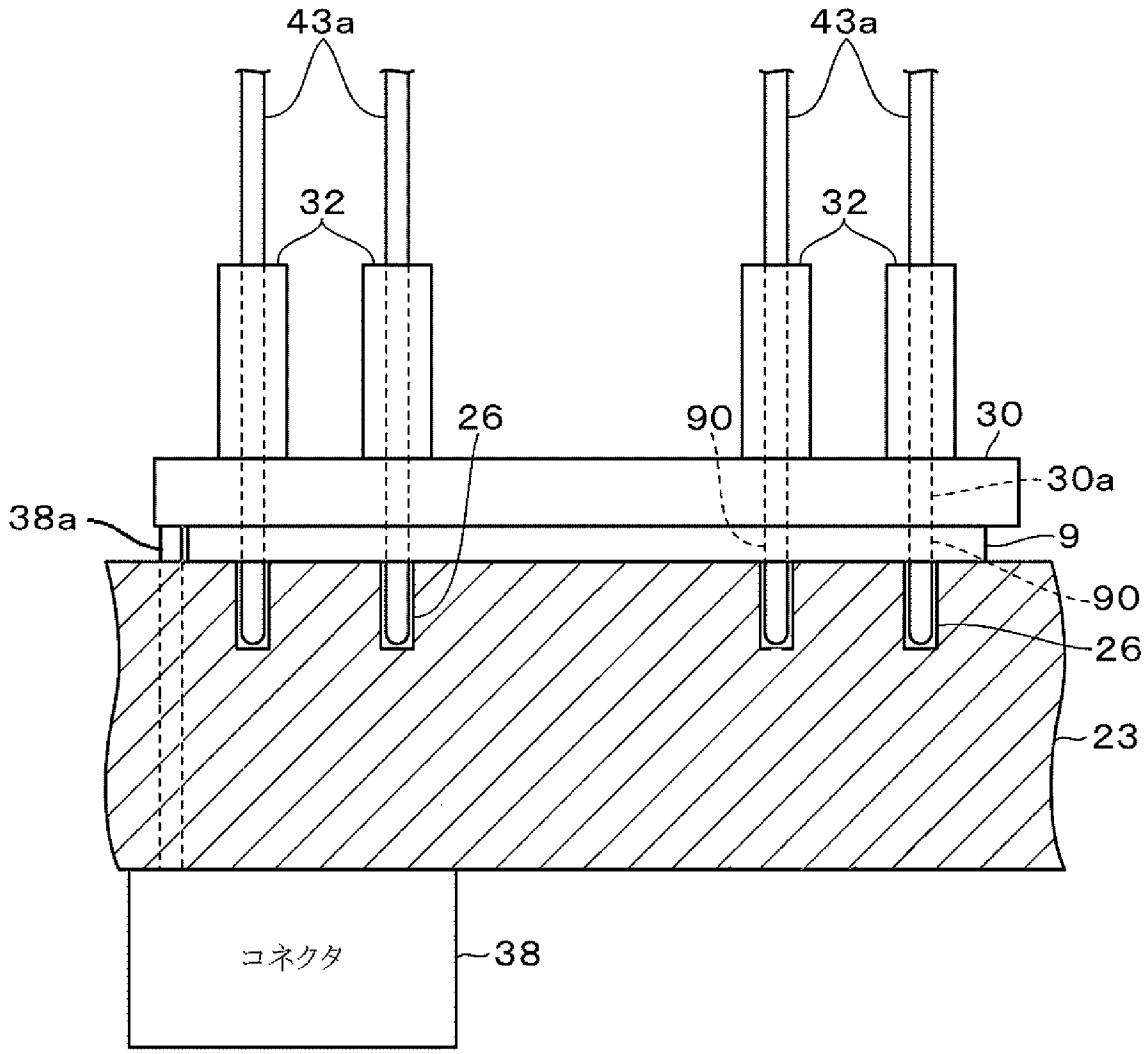
[図5]



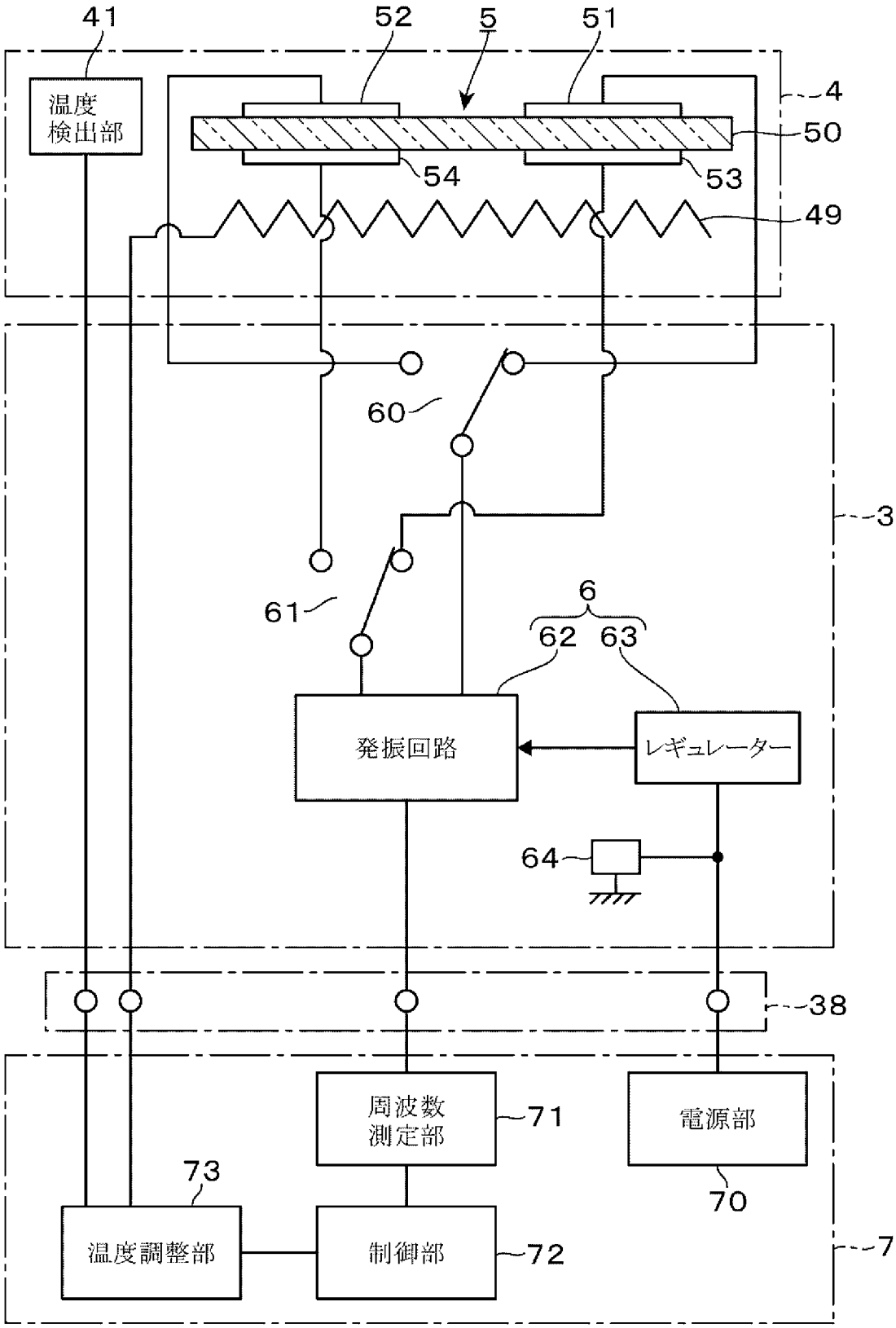
[図6]



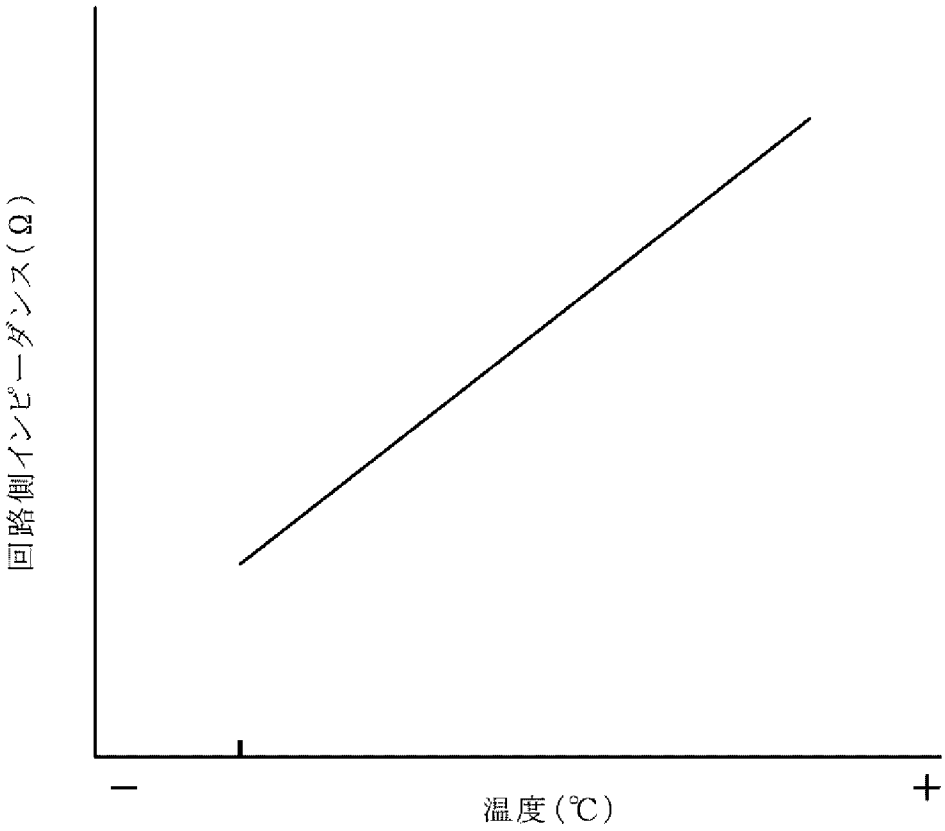
[図7]



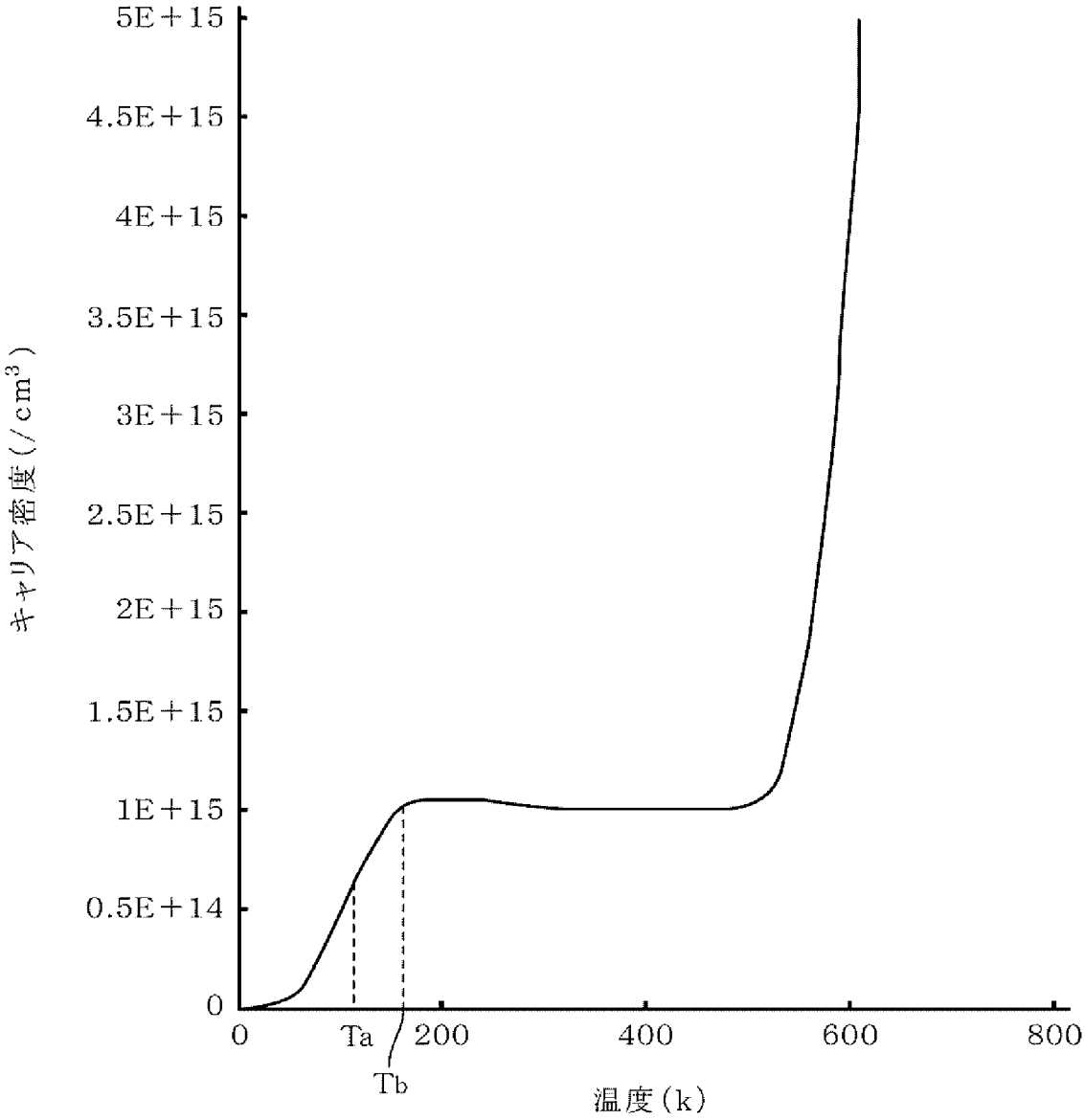
[図8]


41
52
5
51
温度
検出部
4
50
54
53
49
60
3
61
6
62
63
発振回路
レギュレーター
64
38
周波数
測定部
71
電源部
73
70
温度調整部
制御部
72
7

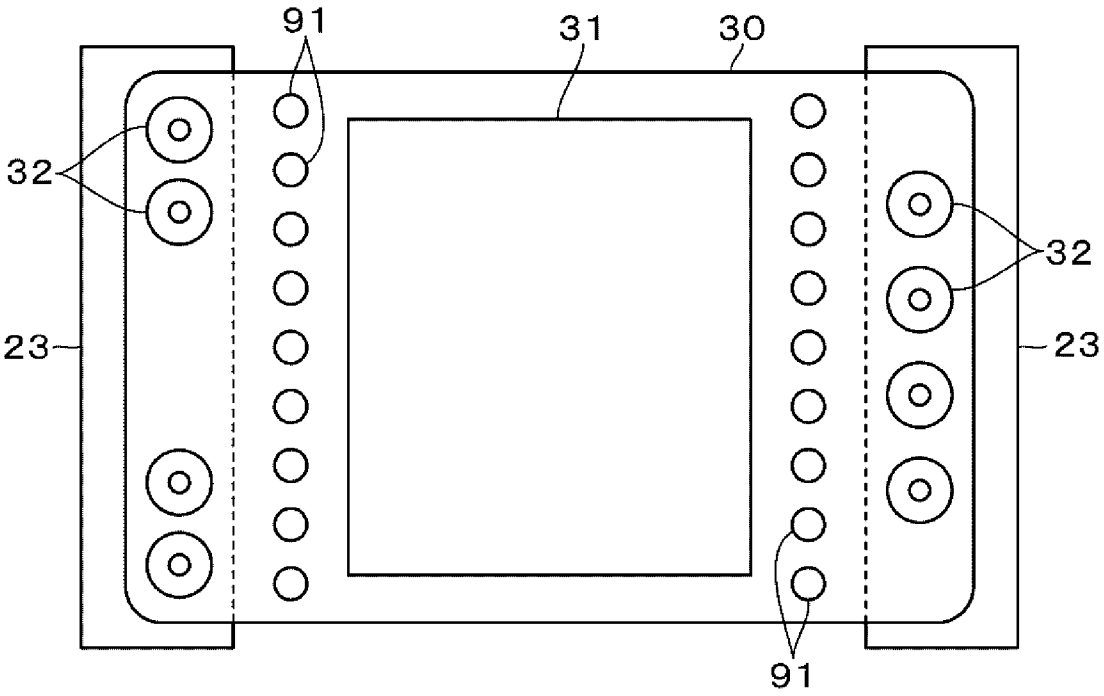
[図9]



[図10]


5E+15
4.5E+15
4E+15
3.5E+15
3E+15
2.5E+15
2E+15
1.5E+15
1E+15
0.5E+14
0
キャリア密度(/cm3)
0
Ta
200
Tb
400
600
800
温度(k)

[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/008897

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01N5/02(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)
Int.Cl. G01N5/02

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
(JDreamIII) & キーワード： QCM, 液体窒素及びそれに類する用語

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-64599 A (SEIKO EG&G CO., LTD.) 31 March 2011, entire text, all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 2004-264254 A (SEIKO EPSON CORP.) 24 September 2004, entire text, all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 10-38784 A (SOGO PHARMACEUTICAL CO., LTD.) 13 February 1998, entire text, all drawings (Family: none)	1-5

☒ 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	Date of mailing of the international search report
28 May 2019 (28.05.2019)	04 June 2019 (04.06.2019)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/008897

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 2011-203007 A (OLYMPUS CORP.) 13 October 2011, entire text, all drawings (Family: none)	1-5
A	JP 2009-182881 A (KYOCERA KINSEKI CORP.) 13 August 2009, entire text, all drawings (Family: none)	1-5
P,A	JP 2018-80947 A (NIHON DEMPA KOGYO CO., LTD.) 24 May 2018, entire text, all drawings (Family: none)	1-5
A	土屋佑太, 水晶ツイン電極技術を用いたアウトガス測定用新国産QCMセンサ(Twin-CQCM)の開発, 宇宙科学技術連合講演会講演集(CD-ROM), vol. 61st, 2017, page. ROMBUNNO.2D11, non-official translation (TSUCHIYA, Yuta, "Development of a newly domestically produced QCM sensor (Twin-CQCM) for outgassing measurement using quartz crystal twin electrode technology", Proceedings of the Space Sciences and Technology Conference (CD-ROM))	1-5
A	土屋佑太, プラスチックの最新計測・測定技術 宇宙環境でのアウトガスを計測するセンサの特徴と適用例〈国産Twin-CQCMセンサの紹介〉, プラスチックス, vol. 68 no. 8, 10 August 2017, pp. 33-37, non-official translation (TSUCHIYA, Yuta, "Latest measurement and measurement technology of plastic, Features of the sensor for measuring outgassing in space environment and application example <Introduction of Domestic Twin-CQCM Sensor>, Japan plastics)	1-5

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／００８８９７

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01N5/02(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.　G01N5/02

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	１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１９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）

（JDreamⅢ）＆　キーワード：ＱＣＭ、液体窒素及びそれに類する用語

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
A	JP 2011-64599 A (セイコー・イージーアンドジー株式会社) 2011.03.31, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2004-264254 A (セイコーエプソン株式会社) 2004.09.24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 10-38784 A (相互薬工株式会社) 1998.02.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5

☑　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	国際調査報告の発送日
２８．０５．２０１９	０４．０６．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｊ　４４５５
野田　華代
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２５２

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 2011-203007 A (オリンパス株式会社) 2011.10.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2009-182881 A (京セラキンセキ株式会社) 2009.08.13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
P,A	JP 2018-80947 A (日本電波工業株式会社) 2018.05.24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5
A	土屋佑太, 水晶ツイン電極技術を用いたアウトガス測定用新国産QCMセンサ(Twin－CQCM)の開発, 宇宙科学技術連合講演会講演集 (CD-ROM), Vol.61st, 2017, Page.ROMBUNNO.2D11	1-5
A	土屋佑太, プラスチックの最新計測・測定技術 宇宙環境でのアウトガスを計測するセンサの特徴と適用例〈国産Twin－CQCMセンサの紹介〉, プラスチックス, Vol.68 No.8, 2017.08.10, Page.33-37	1-5