(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
2023年8月10日(10.08.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/149572 A1

(51) 国際特許分類:
G01R 27/22 (2006.01) *G01N 27/06* (2006.01)
G01N 27/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/003771

(22) 国際出願日： 2023年2月6日(06.02.2023)

(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：
PCT/JP2022/004631 2022年2月7日(07.02.2022) JP

(71) 出願人: 日本碍子株式会社(**NGK INSULATORS, LTD.**) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号 Aichi (JP).

(72) 発明者: 森下 瑛文 (**MORISHITA Akifumi**); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 大西 孝生 (**OHNISHI Takao**); 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP).

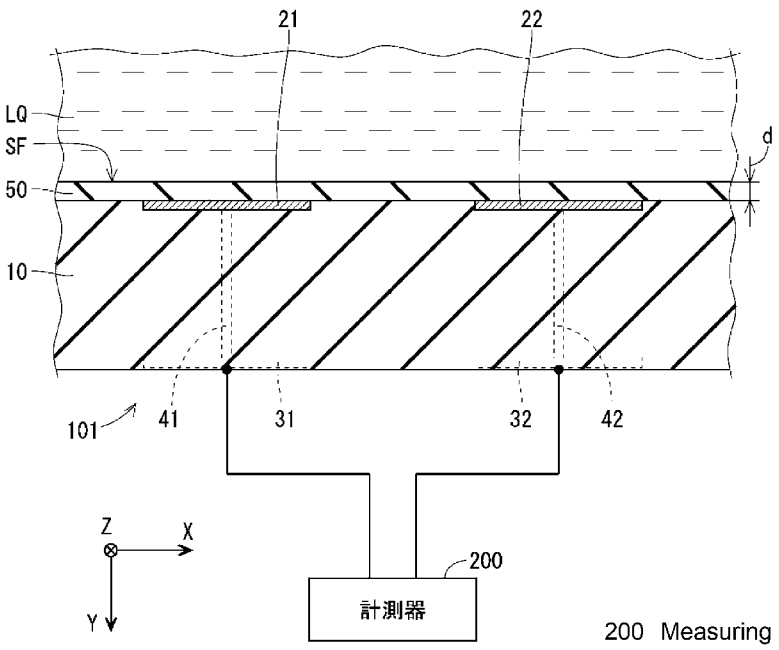
(74) 代理人: 吉竹 英俊, 外 (**YOSHITAKE Hidetoshi** et al.); 〒5400001 大阪府大阪市中央区城見１丁目４番７０号住友生命ＯＢＰプラザビル１０階 Osaka (JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) **Title:** ELECTRICAL CONDUCTIVITY MEASURING METHOD

(54) 発明の名称： 導電率測定方法

[図5]



200 Measuring instrument

(57) **Abstract:** This electrical conductivity measuring method for measuring an electrical conductivity of a liquid includes: a) a step for measuring a first complex impedance between a first detecting electrode (21) and a second detecting electrode (22) at a first frequency, in a state in which a liquid (LQ) is in contact with a protective layer (50) in such a way as to face each of the first detecting electrode (21) and the second detecting electrode (22) across the protective layer (50); b) a step for extracting a first extracted value from the first complex impedance in accordance with a predetermined extraction

WO 2023/149572 A1

[続葉有]

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, LY, MA, MD, 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, 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, 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)）

rule; and c) a step for determining the electrical conductivity of the liquid (LQ) on the basis of the first extracted value. In the extraction rule, a real part of the complex impedance is taken into consideration, and an imaginary part of the complex impedance is ignored.

(57) 要約：液体の導電率を測定する導電率測定方法は、ａ）保護層（５０）を介して第１の検出電極（２１）および第２の検出電極（２２）の各々に面するように液体（ＬＱ）が前記保護層（５０）に接触した状態における、第１の周波数での前記第１の検出電極（２１）と前記第２の検出電極（２２）との間の第１の複素インピーダンスを測定する工程と、ｂ）予め定められた抽出規則に従って、前記第１の複素インピーダンスから第１の抽出値を抽出する工程と、ｃ）前記第１の抽出値に基づいて前記液体（ＬＱ）の導電率を決定する工程と、を備える。前記抽出規則において、複素インピーダンスの実数部は考慮され、かつ、複素インピーダンスの虚数部は無視される。

明　細　書

発明の名称 ： 導電率測定方法

技術分野

[0001] 本発明は、導電率測定方法に関するものであり、特に、導電率センサを用いて液体の導電率を測定する方法に関するものである。

背景技術

[0002] 国際公開第２０２１／２４１６２８号（特許文献１）は静電容量式センサを開示している。この静電容量式センサは、絶縁層と、第１の検出電極と、第２の検出電極と、保護層と、を含む。前記第１の検出電極は、前記絶縁層上に設けられている。前記第２の検出電極は、前記絶縁層上に前記第１の検出電極から離れて設けられており、前記第１の検出電極と共に前記静電容量を形成している。前記保護層は、前記第１の検出電極および前記第２の検出電極を覆っており、１μｍ≦ｄ≦１０μｍを満たす厚みｄを有しており、ジルコニアまたはアルミナからなる。

[0003] 特開２０１９－１０９２２４号公報（特許文献２）は、計測領域が小さい場合でも、液体の広い導電率のレンジを計測可能とすることが意図された、小型の導電率センサを開示している。前記導電率センサは、それぞれの電極が前記センサのセル定数を決定する表面積を有する第１電極および第２電極を含む。少なくとも一の前記電極には、それぞれの電極の表面積が変更可能でありそれにより前記センサの前記セル定数を変化させるように配置されたスイッチング手段が備えられている。例えば、前記第１電極および前記第２電極は複数のフィンガー電極を含む。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第２０２１／２４１６２８号

特許文献2：特開２０１９－１０９２２４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記特許文献１のような構成を有する静電容量式センサを用いて、十分な感度での液体の導電率測定を広い導電率範囲にわたって行う方法は、これまで十分に検討されていなかった。例えば、上記特許文献２の技術も、特許文献１で開示されているような保護層を形成することは想定していないと考えられる。なぜならば、保護層の形成は電極と液体との間のキャパシタンスの形成につながるところ、特許文献２によれば、電極と液体との界面のキャパシタンスの影響によって電極のインピーダンスが高くなることが、液体の導電率の計測レンジを広く確保する上で問題視されているからである。さらに、上記特許文献２は、電極と液体との化学的相互作用を避ける手段として、電極材料を不活性の導電性材料とすることのみしか開示しておらず、当該手段として保護層を適用することについては言及されていない。この理由は、引用文献２の技術においては、インピーダンスの増大につながる保護層の付加が想定されていないからであると考えられる。

[0006] 本発明は以上のような課題を解決するためになされたものであり、その目的は、十分な感度での液体の導電率測定を、広い導電率範囲にわたって行うことができる導電率測定方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 第１の態様は、絶縁層と、前記絶縁層上に設けられた第１の検出電極と、前記絶縁層上に前記第１の検出電極から離れて設けられた第２の検出電極と、前記第１の検出電極および前記第２の検出電極を覆い絶縁体からなる保護層と、を備える導電率センサを用いて液体の導電率を測定する導電率測定方法であって、

ａ）前記保護層を介して前記第１の検出電極および前記第２の検出電極の各々に面するように前記液体が前記保護層に接触した状態における、第１の周波数での前記第１の検出電極と前記第２の検出電極との間の第１の複素インピーダンスを測定する工程と、

ｂ）予め定められた抽出規則に従って、前記第１の複素インピーダンスか

ら第１の抽出値を抽出する工程と、

ｃ）前記第１の抽出値に基づいて前記液体の導電率を決定する工程と、

を備える。前記抽出規則において、複素インピーダンスの実数部は考慮され、かつ、複素インピーダンスの虚数部は無視される。

[0008] 第２の態様は、第１の態様の導電率測定方法であって、

前記導電率測定方法は、

ｄ）前記ｃ）の前に、前記第１の抽出値が、予め定められた許容範囲内にあるか否か、を判定する工程と、

ｅ）前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲外にあると判定された場合、前記保護層を介して前記第１の検出電極および前記第２の検出電極の各々に面するように前記液体が前記保護層に接触した状態における、前記第１の周波数とは異なる第２の周波数での前記第１の検出電極と前記第２の検出電極との間の第２の複素インピーダンスから前記抽出規則に従って抽出された第２の抽出値に基づいて前記液体の導電率を決定する工程と、

をさらに備え、

前記ｃ）は、前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲内にあると判定された場合に行われる。

[0009] 第３の態様は、第２の態様の導電率測定方法であって、前記ｅ）は、

ｅ１）前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲外にあると判定された場合にのみ、前記第２の複素インピーダンスを測定する工程

を含む。

[0010] 第４の態様は、第２の態様の導電率測定方法であって、

ｆ）前記ｄ）よりも前に、前記第２の複素インピーダンスを測定する工程

をさらに備える。

[0011] 第５の態様は、第１から第４の態様のいずれかひとつの導電率測定方法であって、前記抽出規則は、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数を抽出することに相当する。

[0012] 第６の態様は、第２から第４の態様のいずれかひとつの導電率測定方法で

あって、前記抽出規則は、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数を抽出することに相当し、前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲よりも大きい場合、前記ｅ）において前記第２の周波数は前記第１の周波数よりも高くされる。

[0013] 第７の態様は、第２から第４および第６の態様のいずれかひとつの導電率測定方法であって、前記抽出規則は、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数を抽出することに相当し、前記ｃ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲よりも小さい場合、前記ｅ）において前記第２の周波数は前記第１の周波数よりも低くされる。

[0014] 第８の態様は、第１から第７の態様のいずれかひとつの導電率測定方法であって、前記保護層は、ジルコニアまたはアルミナからなり、１μｍ以上１０μｍ以下の厚みを有している。

[0015] 第９の態様は、第１から第８の態様のいずれかひとつの導電率測定方法であって、前記保護層は焼結体からなる。

[0016] 第１０の態様は、第１から第９の態様のいずれかひとつの導電率測定方法であって、前記導電率センサにおいて、前記第１の検出電極と前記第２の検出電極とが交互に位置することによって、ライン幅およびスペース幅を有するラインアンドスペースパターンが構成されており、スペース幅は２００μｍ以下である。

[0017] 第１１態様は、第１から第９の態様のいずれかひとつの導電率測定方法であって、前記導電率センサにおいて、前記第１の検出電極と前記第２の検出電極とが交互に位置することによって、ライン幅およびスペース幅を有するラインアンドスペースパターンが構成されており、ライン幅は５００μｍ以上である。

[0018] 第１２態様は、第１から第９の態様のいずれかひとつの導電率測定方法であって、前記導電率センサにおいて、前記第１の検出電極と前記第２の検出電極とが交互に位置することによって、ライン幅およびスペース幅を有するラインアンドスペースパターンが構成されており、スペース幅は２００μｍ

以下であり、かつライン幅は５００μｍ以上である。

発明の効果

[0019] 一実施の形態によれば、抽出規則において、複素インピーダンスの実数部は考慮され、かつ、複素インピーダンスの虚数部は無視される。これにより、液体の導電率に対しての抽出値の十分な感受性を、高い導電率域でも確保しやすくなる。よって、十分な感度での液体の導電率測定を、広い導電率範囲にわたって行うことができる。

[0020] 前記導電率測定方法は、ｄ）前記ｃ）の前に、前記第１の抽出値が、予め定められた許容範囲内にあるか否か、を判定する工程と、ｅ）前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲外にあると判定された場合、前記保護層を介して前記第１の検出電極および前記第２の検出電極の各々に面するように前記液体が前記保護層に接触した状態における、前記第１の周波数とは異なる第２の周波数での前記第１の検出電極と前記第２の検出電極との間の第２の複素インピーダンスから前記抽出規則に従って抽出された第２の抽出値に基づいて前記液体の導電率を決定する工程と、をさらに備えてよい。前記ｃ）は、前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲内にあると判定された場合に行われる。

[0021] なお前記抽出規則は、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数を抽出することに相当してよい。この場合において、前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲よりも大きい場合、前記ｅ）において前記第２の周波数は前記第１の周波数よりも高くてよい。また、前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲よりも小さい場合、前記ｅ）において前記第２の周波数は前記第１の周波数よりも低くてよい。

[0022] 上記方法によれば、第１の周波数での第１の検出電極と第２の検出電極との間の第１の複素インピーダンスからの第１の抽出値が許容範囲内にあると判定された場合は第１の抽出値に基づいて液体の導電率が決定され、第１の周波数での第１の検出電極と第２の検出電極との間の第１の複素インピーダンスからの第１の抽出値が許容範囲外にあると判定された場合は、第２の周

波数での第２の複素インピーダンスからの第２の抽出値に基づいて液体の導電率が決定される。これにより、液体の導電率に対しての抽出値の十分な感受性を、より広い導電率範囲にわたって確保することができる。よって、十分な感度での液体の導電率測定を、より広い導電率範囲にわたって行うことができる。

[0023] 前記ｅ）は、ｅ１）前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲外にあると判定された場合にのみ、前記第２の複素インピーダンスを測定する工程、を含んでよい。これにより、第２の複素インピーダンスの測定が不必要なときにそれを省略することができる。

[0024] 前記導電率測定方法は、ｆ）前記ｄ）よりも前に、前記第２の複素インピーダンスを測定する工程、をさらに備えてよい。これにより、第２の複素インピーダンスを前記ｄ）の後に測定する必要がない。

[0025] 前記保護層は、ジルコニアまたはアルミナからなり、１μｍ以上１０μｍ以下の厚みを有していてよい。その場合、第１の検出電極および第２の検出電極のそれぞれと液体との間で保護層が形成する静電容量が第１の検出電極と前記第２の検出電極との間のインピーダンスの測定に及ぼす影響が大きいところ、上記実施の形態によれば、この影響下においても、十分な感度での液体の導電率測定を、広い導電率範囲にわたって行うことができる。

[0026] 前記保護層は焼結体からなっていてよい。これにより、導電率センサの製造において、非焼結体からなる保護層を形成することに起因して製造効率が低下することが避けられる。また、保護層および絶縁層が、一体の構造体としての焼結体であるので、これらの間の界面を起点とする不良が発生しにくくなる。よって、耐薬品性および耐熱衝撃などの特性が改善する。

[0027] 前記導電率センサにおいて、前記第１の検出電極と前記第２の検出電極とが交互に位置することによって、ライン幅およびスペース幅を有するラインアンドスペースパターンが構成されていてよく、スペース幅は２００μｍ以下であってよい。これにより、検出可能な導電率の範囲を、より低い値まで確保しやすくなる。

[0028] 前記導電率センサにおいて、前記第１の検出電極と前記第２の検出電極とが交互に位置することによって、ライン幅およびスペース幅を有するラインアンドスペースパターンが構成されていてよく、ライン幅は５００μｍ以上であってよい。これにより、検出可能な導電率の範囲を、より高い値まで確保しやすくなる。

[0029] 前記導電率センサにおいて、前記第１の検出電極と前記第２の検出電極とが交互に位置することによって、ライン幅およびスペース幅を有するラインアンドスペースパターンが構成されていてよく、スペース幅は２００μｍ以下であってよく、かつライン幅は５００μｍ以上であってよい。これにより、検出可能な導電率の範囲を、より低い値から、より高い値まで、広く確保しやすくなる。

[0030] この発明の目的、特徴、態様、および利点は、以下の詳細な説明と添付図面とによって、より明白となる。

図面の簡単な説明

[0031] [図1]実施の形態１における導電率センサを有する測定システムの構成を概略的に示す正面図である。

[図2]図１の概略的な背面図である。

[図3]図１および図２の線ＩＩＩ－ＩＩＩに沿う概略的な部分断面図である。

[図4]図１および図２の線ＩＶ－ＩＶに沿う概略的な部分断面図である。

[図5]図４の視野での導電率測定方法の実施中の様子を示す概略的な部分断面図である。

[図6]図５に対応する近似的な等価回路を示す回路図である。

[図7]図１の測定システムにおける導電率センサの構成を、保護層の図示を省略して示す、概略的な正面図である。

[図8]実施の形態１における導電率測定方法の概略的なフロー図である。

[図9]実施の形態１における導電率センサの製造方法における一工程を概略的に示す部分断面図である。

[図10]実施の形態２における導電率測定方法の概略的なフロー図である。

発明を実施するための形態

[0032] 以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。

[0033] ＜実施の形態１＞

（構成）

図１および図２のそれぞれは、本実施の形態における導電率センサ１０１を有する測定システム５００の構成を概略的に示す正面図および背面図である。図３は、図１および図２の線ＩＩＩ－ＩＩＩに沿う概略的な部分断面図である。図４は、図１および図２の線ＩＶ－ＩＶに沿う概略的な部分断面図である。図５は、図４の視野での導電率測定方法の実施中の様子を示す概略的な部分断面図である。図６は、図５に対応する近似的な等価回路を示す回路図である。図７は、導電率センサ１０１の構成を、保護層５０の図示を省略して示す、概略的な正面図である。なお、図１および図２においては、導電率センサ１０１によって導電率を測定されることになる液体ＬＱが仮想線によって示されている。また図５においては液体ＬＱが示されている。また、図面間の方向関係を理解しやすくするために、各図へＸＹＺ直交座標系が示されている。本実施の形態においては方向Ｚが鉛直上方に対応している。

[0034] 測定システム５００は、導電率センサ１０１と、計測器２００とを有している。導電率センサ１０１は、液体ＬＱの導電率を測定するためのセンサである。導電率センサ１０１は、絶縁層１０と、第１の検出電極２１と、第２の検出電極２２と、保護層５０とを含む。さらに、導電率センサ１０１は、第１のパッド電極３１と、第２のパッド電極３２と、第１のビア電極４１と、第２のビア電極４２とを含んでいてよい。導電率センサ１０１は、概略的な構成として、第１の検出電極２１および第２の検出電極２２を含む電極が埋設された絶縁基体を含む。当該絶縁基体は絶縁層１０および保護層５０によって構成されている。埋設された電極への、導電率センサ１０１の外部からの電気的接続のために、第１のパッド電極３１および第２のパッド電極３２が導電率センサ１０１に設けられている。

[0035] 絶縁層１０は、セラミック絶縁体からなることが好ましく、保護層５０と

同じ材料からなることがより好ましい。絶縁層１０の厚みは、例えば１ｍｍ程度である。

[0036] 第１の検出電極２１は、図３～図５に示されているように、絶縁層１０の一の面上に設けられている。第２の検出電極２２は、絶縁層１０の当該一の面上に第１の検出電極２１から離れて設けられている。第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との間の最小間隔は、好ましくは３０μｍ以上２０００μｍ以下であり、より好ましくは３０μｍ以上１０００μｍ以下である。

[0037] 導電率センサ１０１において、第１の検出電極２１と第２の検出電極２２とが交互に位置することによって、図７に示されているように、ラインアンドスペース（Ｌ／Ｓ）パターンＰＴが構成されていてよい。図７に示された例においては、ラインアンドスペースパターンＰＴは、Ｘ方向に沿った長さ方向と、Ｚ方向に沿った幅方向とを有している。ラインアンドスペースパターンＰＴのライン長ＬＬは、１ｍｍ以上２０ｍｍ以下が好ましい。またラインアンドスペースパターンＰＴは、第１の検出電極２１が有する少なくとも１つのラインＬ１（例えば、図７に示されているように、複数のラインＬ１）と、第２の検出電極２２が有する少なくとも１つのラインＬ２（例えば、図７に示されているように、複数のラインＬ２）とが交互に位置することによって構成されている。ラインＬ１とラインＬ２との最小間隔、すなわちラインアンドスペースパターンＰＴのスペース幅ＷＳ（「Ｓ寸法」とも称する）は、好ましくは３０μｍ以上２０００μｍ以下であり、より好ましくは３０μｍ以上１０００μｍ以下である。またラインＬ１とラインＬ２との各々の幅、すなわちラインアンドスペースパターンＰＴのライン幅ＷＬ（「Ｌ寸法」とも称する）は、好ましくは３０μｍ以上２０００μｍ以下であり、より好ましくは３０μｍ以上１０００μｍ以下である。

[0038] 第１の検出電極２１および第２の検出電極２２は、酸化しにくい高融点金属からなることが好ましく、例えば、白金、タングステンまたはコバルトからなる。第１の検出電極２１および第２の検出電極２２の厚みは、例えば５μｍ程度である。

[0039] 保護層５０は、第１の検出電極２１および第２の検出電極２２を覆っている。具体的には、保護層５０は、表面ＳＦと、表面ＳＦと反対の、第１の検出電極２１および第２の検出電極２２に面する面と、を有している。保護層５０は厚みｄを有しており、厚みｄは、好ましくは１μｍ≦ｄ≦１０μｍを満たし、より好ましくは、１μｍ≦ｄ≦５μｍを満たす。保護層５０は、絶縁体からなる。特に、保護層５０がジルコニアまたはアルミナからなる場合、導電率センサ１０１の耐食性および耐薬品性が高められる。保護層５０は比誘電率εを有しており、好ましくは、ε≧１０が満たされている。例えば、ジルコニアを用いることによって３０程度のεを得ることができ、また、アルミナを用いることによって１０程度のεを得ることができる。好ましくは、ε／ｄ≧１が満たされている。保護層５０は、例えば製造効率の観点で、焼結体からなることが好ましい。

[0040] なお図１および図３～図５に示された保護層５０は、第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との両方を連続的に覆う１つの層であり、特段のパターンを有していない。この場合、保護層５０の形状を簡素なものとすることができる。一方で、保護層の形状が、より複雑なものであることが許容される場合は、変形例として、保護層が何らかのパターンを有してよい。このパターンは、互いに離れた第１および第２の部分を有していてよく、第１の部分が第１の検出電極２１を覆い、かつ第２の部分が第２の検出電極２２を覆ってよい。この場合、保護層５０の第１の部分と第２の部分との間は、保護層５０が設けられない領域によって隔てられる。

[0041] 第１のパッド電極３１は、絶縁層１０の、上記一の面と反対の面上に設けられている。第２のパッド電極３２は、絶縁層１０の、上記一の面と反対の面上に、第１のパッド電極３１から離れて設けられている。第１のビア電極４１は、絶縁層１０を貫通しており、第１の検出電極２１につながれた一方端と、第１のパッド電極３１につながれた他方端とを有している。第２のビア電極４２は、絶縁層１０を貫通しており、第２の検出電極２２につながれた一方端と、第２のパッド電極３２につながれた他方端とを有している。

[0042] 計測器２００は、複素インピーダンスを測定する機能と、予め定められた抽出規則に従ってこの複素インピーダンスから抽出値を抽出する機能とを有している。計測器２００は、典型的なインピーダンスアナライザであってもよいが、後述の測定方法が実施可能な範囲でより簡素化された構成を有する計測器であってもよい。前記抽出規則において、複素インピーダンスの実数部は考慮され、かつ、複素インピーダンスの虚数部は無視される。抽出規則は、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数、すなわち１／Ｒ、を抽出することに相当してよい。

[0043] 計測器２００は、第１のパッド電極３１および第２のパッド電極３２に電気的に接続されている。ここで、図６の等価回路を参照して、複素インピーダンスＩＭＰは、図５に示された状態における、第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との間の複素インピーダンスである。図５に示された状態においては、保護層５０を介して第１の検出電極２１および第２の検出電極２２の各々に面するように液体ＬＱが保護層５０に接触している。複素インピーダンスＩＭＰに対しての、第１のパッド電極３１、第１の検出電極２１およびそれらの間の第１のビア電極４１が有する複素インピーダンスと、第２のパッド電極３２、第２の検出電極２２およびそれらの間の第２のビア電極４２が有する複素インピーダンスと、による影響は、ほとんど無視できる。よって、計測器２００が測定することになる複素インピーダンスは、実質的に、第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との間の複素インピーダンスでＩＭＰ（図６）ある。

[0044] 複素インピーダンスは、一般に、抵抗成分（すなわちＲ）とリアクタンス成分とを有している。本実施の形態の構成においては、リアクタンス成分は主に、第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との間の電気的経路に保護層５０および液体ＬＱが配置されていることによって形成される静電容量値に起因している。よって、以下において、リアクタンス成分を静電容量値（すなわちＣ）と称することがある。

[0045] 以下の表１に、検出可能導電率のシミュレーション結果について示す。

[0046] [表1]

抽出規則	L/S (μm)	測定周波数 (kHz)	検出可能導電率(μS/cm)		最大/最小
			最小	最大	
C	50/50	1	0.01	10	1000
		10	0.01	50	5000
		100	0.1	200	2000
		1000	10	700	70
1/R		1	0.2	10000	50000
		10	1	40000	40000
		100	10	100000	10000
		1000	100	200000	2000

[0047] なお上記表１において、抽出規則「Ｃ」は、抽出値として複素インピーダンスから静電容量値が抽出されることを意味しており、抽出規則「１／Ｒ」は、抽出値として複素インピーダンスから抵抗成分の逆数が抽出されることを意味している。よって、抽出規則「Ｃ」の行は比較例に対応し、抽出規則「１／Ｒ」の行は本実施の形態に対応する。

[0048] また「検出可能導電率」として示されているのは、導電率［単位：μＳ／ｃｍ］に対しての抽出値の傾き（言い換えれば、導電率に関しての抽出値の微分係数）が基準値以上となるような導電率の範囲である。抽出値が、アドミタンス絶対値［単位：Ｓ］、または抵抗成分の逆数［単位：Ｓ］である場合、周波数１ｋＨｚ、１０ｋＨｚ、１００ｋＨｚ、１０００ｋＨｚのそれぞれで、基準値は、10^{-10}、10^{-9}、10^{-8}、10^{-7}［単位：Ｓ／（μＳ／ｃｍ）］である。また、抽出値が静電容量値［単位：Ｆ］である場合、周波数１ｋＨｚ、１０ｋＨｚ、１００ｋＨｚ、１０００ｋＨｚの各々で、基準値は10^{-14}［単位：Ｆ／（μＳ／ｃｍ）］である。なお、抽出値がアドミタンス絶対値［単位：Ｓ］または抵抗成分の逆数［単位：Ｓ］である場合に「検出可能導電率」が上記のように周波数に依存している理由は、当該場合においては、測定ばらつきの周波数依存性が大きいことから、これを勘案して基準値が合理的に定められるようにするためである。後述の表２において、記

号「－」は、検出可能な導電率範囲がシミュレーション範囲において見出されないことを示す。例えば、寸法Ｌまたは測定周波数が大きくなるほど、導電率の変化に対する上記抽出値の変化が小さくなる傾向があり、当該傾向が過度に進むと、導電率の検出、言い換えれば、十分な精度での導電率の算出、が困難となる。

[0049] また、「Ｌ／Ｓ」として記載されている１対の値は、ラインアンドスペースパターンＰＴにおけるライン幅ＷＬとスペース幅ＷＳとの組を示している。なおライン幅ＷＬおよびスペース幅ＷＳの各々は、上記表１においては５０μｍであるが、これに限定されるものではない。また上記表１においてはライン幅ＷＬとスペース幅ＷＳとが同じであるが、これらは互いに異なってもよい。以下の表２に、抽出規則「１／Ｒ」が用いられる場合における、検出可能導電率の最小および最大についての、体系的にパラメータが変化させられた場合のシミュレーション結果を示す。

[0050]

[表2]

		L（μm）											
		100		500		1000		2000					
測定周波数（kHz）	S（μm）	検出可能導電率		検出可能導電率		検出可能導電率		検出可能導電率					
		最小（μS/cm）	最大（μS/cm）	最小（μS/cm）	最大（μS/cm）	最小（μS/cm）	最大（μS/cm）	最小（μS/cm）	最大（μS/cm）				
1	50	0.01	20000	0.2	50000	0.2	100000	0.1	100000				
	100	0.01	20000	0.2	50000	0.2	100000	0.1	100000				
	200	0.01	20000	0.2	50000	0.2	100000	0.1	100000				
	500	0.01	10000	0.2	50000	0.2	100000	0.1	100000				
10	50	1	60000	1	100000	1	200000	1	300000				
	100	1	60000	1	100000	1	200000	1	300000				
	200	1	50000	1	100000	1	200000	1	300000				
	500	1	40000	1	100000	1	200000	1	300000				
100	50	10	200000	10	300000	10	400000	10	200000				
	100	10	100000	10	300000	10	400000	10	200000				
	200	10	100000	10	300000	10	400000	10	200000				
	500	10	100000	10	200000	10	200000	20	100000				
1000	50	100	300000	100	300000	200	600	—	—				
	100	100	200000	100	200000	200	500	—	—				
	200	100	200000	200	100000	—	—	—	—				
	500	—	—	—	—	—	—	—	—				

[0051] 上記表１の結果においては、周波数が高いほど、検出可能導電率は、より高い導電率域へシフトする傾向がある。また、同じ周波数で比較されたとき、抽出規則「Ｃ」に比して抽出規則「１／Ｒ」の方が、検出可能導電率の比率「最大／最小」が顕著に高い。よって、抽出規則として、複素インピーダンスの虚数部に対応する「Ｃ」ではなく、複素インピーダンスの虚数部を無視している「１／Ｒ」を用いた方が、検出可能導電率を顕著に広くすること

ができることがわかる。

[0052] さらに上記表２の結果からわかるように、ラインアンドスペースパターンＰＴ（図７）のスペース幅ＷＳ（寸法Ｓ）は、好ましくは２００μｍ以下であり、より好ましくは１００μｍ以下である。これにより、検出可能な導電率の範囲を、より低い値まで確保しやすくなる。また、検出電極の製造容易性の観点では、スペース幅ＷＳは、好ましくは３０μｍ以上であり、より好ましくは５０μｍ以上である。

[0053] なおスペース幅ＷＳの増加によって検出可能導電率の最大が減少する現象が一部に見られる。この現象の理由は、スペース幅ＷＳの増加に起因して、単位面積当たりに占める電極面積が減少するからであると考えられる。

[0054] ラインアンドスペースパターンＰＴ（図７）のライン幅ＷＬ（寸法Ｌ）は、好ましくは５００μｍ以上であり、より好ましくは１０００μｍ以上である。これにより、検出可能な導電率の範囲を、より高い値まで確保しやすくなる。また、検出電極の小型化の観点では、ライン幅ＷＬは、好ましくは２０００μｍ以下であり、より好ましくは１０００μｍ以下である。

[0055] なおライン幅ＷＬの増加によって検出可能導電率の最大が減少する現象も、表２の結果の一部において見られる。具体的には、１００ｋＨｚでの測定においてライン幅ＷＬが１０００μｍから２０００μｍへ増大された場合、および、１０００ｋＨｚでの測定においてライン幅ＷＬが５００μｍから１０００μｍへ増大された場合に、この現象が見られる。この現象の理由は、ライン幅ＷＬの増大に起因して、相対的に検出感度の高い導電率範囲がより高い導電率へとシフトする一方で、抽出値の変化が全体的には緩やかとなるからである。この観点でライン幅ＷＬが１０００μｍ以下とされてもよい。

[0056] 上述した、スペース幅ＷＳおよびライン幅ＷＬについての両方の条件が満たされることが、より好ましい。これにより、検出可能な導電率の範囲を、より低い値から、より高い値まで、広く確保しやすくなる。

[0057] なお、検出可能導電率の最大値は、ある程度高い周波数を用いることによって増加させることができる一方で、過度に高い周波数を用いると、かえっ

て低下する。これは、測定周波数の増大に起因して、相対的に検出感度の高い導電率範囲がより高い導電率へとシフトする一方で、抽出値の変化が全体的には緩やかとなるからである。この観点で、測定周波数が１００ｋＨｚ以下であることが好ましいことがしばしばある。

[0058] 図８は、導電率センサ１０１を用いて液体ＬＱの導電率を測定する導電率測定方法の概略的なフロー図である。

[0059] ステップＳ１０１にて、図５の状態において、第１の周波数での第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との間の第１の複素インピーダンスが測定される。図５に示された状態においては、前述したように、保護層５０を介して第１の検出電極２１および第２の検出電極２２の各々に面するように液体ＬＱが保護層５０に接触している。この測定は、計測器２００が有する複素インピーダンス測定部（図示せず）によって行われてよい。複素インピーダンス測定部は、第１の周波数と、後述する第２の周波数とで、複素インピーダンスを測定する機能を有している。複素インピーダンスを測定する機能は、言い換えれば、測定対象に上記周波数の交流信号を印加し、かつ、当該交流信号の電圧と電流との間の比および位相差を測定する機能である。

[0060] ステップＳ１０２にて、予め定められた抽出規則に従って、第１の複素インピーダンスから第１の抽出値が抽出される。この抽出は、計測器２００が有する抽出部（図示せず）によって行われてよい。抽出された第１の抽出値は、計測器２００が有する記憶部（図示せず）によって記憶されてよい。

[0061] ステップＳ２００にて、第１の抽出値が、予め定められた許容範囲内にあるか否か、が判定される。この判定は、計測器２００が有する判定部（図示せず）によって行われてよい。許容範囲は、液体ＬＱの導電率に対しての抽出値の感受性が十分に高い範囲を予め調べておくことによって決定されていてよい。なお、ステップＳ２００の判定処理において、第１の抽出値から決定された液体ＬＱの暫定的な導電率が利用されてよい。その場合、前述の検出可能導電率の範囲が、許容範囲として用いられてよい。言い換えれば、暫定的な導電率が検出可能導電率の範囲内にあるか否かによって判定処理が行

われてよい。その場合においても、（暫定的ではなく）確定的な導電率は、後述のステップにて決定される。

[0062] ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲内にあると判定された場合、ステップＳ３０３にて、第１の抽出値に基づいて液体ＬＱの導電率が決定される。この決定は、予め調べられた抽出値と導電率との対応関係に基づいて決定されてよい。この対応関係は、例えば、実験的に定められたものであってよい。この決定は、計測器２００が有する決定部（図示せず）によって行われてよい。

[0063] ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲外にあると判定された場合、ステップＳ４０１～Ｓ４０３において、図５に示された状態における第２の周波数での第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との間の第２の複素インピーダンスから上記抽出規則に従って抽出された第２の抽出値に基づいて、液体ＬＱの導電率が決定される。ここで、第２の周波数は第１の周波数とは異なる。

[0064] 具体的には、まず、上記ステップＳ４０１にて、図５の状態において、第２の周波数での第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との間の第２の複素インピーダンスが測定される。なお本実施の形態においては、ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲外にあると判定された場合にのみ、第２の複素インピーダンスが測定される。よって本実施の形態においては、計測器２００において、判定部が複素インピーダンス測定部へステップＳ４０１の測定を開始させる。

[0065] 上記ステップＳ４０２にて、上記抽出規則に従って、第２の複素インピーダンスから第２の抽出値が抽出される。この抽出は、計測器２００が有する上記抽出部によって行われてよい。

[0066] 上記ステップＳ４０３にて、第２の抽出値に基づいて液体ＬＱの導電率が決定される。この抽出は、計測器２００が有する上記決定部によって行われてよい。

[0067] 以上により、液体ＬＱの導電率が決定される。

[0068] なお、上述した記憶部、判定部および決定部は、制御装置（図示せず）によって実現されてよい。制御装置は、電気回路を有する一般的なコンピュータによって構成されていてよい。一般的なコンピュータは、中央演算処理装置（ｃｅｎｔｒａｌ　ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ　ｕｎｉｔ、すなわち、ＣＰＵ）、リードオンリーメモリー（ｒｅａｄ　ｏｎｌｙ　ｍｅｍｏｒｙ、すなわち、ＲＯＭ）、ランダムアクセスメモリー（ｒａｎｄｏｍ　ａｃｃｅｓｓ　ｍｅｍｏｒｙ、すなわち、ＲＡＭ）、記憶装置、入力部、表示部および通信部と、これらを相互に接続するバスラインとを有している。

[0069] また、本実施の形態においては、第１の周波数および第２の周波数の２つの周波数を用いる方法について説明したが、第１の変形例として、２つよりも多い周波数が適宜用いられてもよい。その場合、ステップＳ４０２により抽出された第２の抽出値が、第２の抽出値用に予め定められた許容範囲にあるか否かが判定され、その判定結果に基づいて、第３の周波数での第３の複素インピーダンスの測定、およびそれに続く第３の抽出値の抽出などが行われる。これにより、２つよりも多い周波数のうち最適なものを用いて液体ＬＱの導電率を決定することができる。第２の変形例として、１つの周波数のみが用いられてもよい。具体的には、図８のフロー図において、ステップＳ２００およびステップＳ４０１～Ｓ４０３が省略されてよい。この場合、ステップＳ１０２の後、ステップＳ２００を経ることなくステップＳ３０３が実施される。なお、上記第２の変形例のように１つの周波数のみが用いられる場合は、それに対応して、複素インピーダンス測定部が測定対象に印加可能な交流信号が１つの周波数のみに限定されていてよい。

[0070] 次に、第１の周波数と第２の周波数との関係について、以下に説明する。

[0071] 抽出規則が、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数（１／Ｒ）を抽出することに相当する場合において、ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲よりも大きい場合、ステップＳ４０１において第２の周波数は第１の周波数よりも高くてよい。また、ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲よりも小さい場合、ステップＳ４０１において第２の周波数は第

１の周波数よりも低くてよい。

[0072] 抽出規則が、複素インピーダンスから抵抗成分（Ｒ）を抽出することに相当する場合において、ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲よりも大きい場合、ステップＳ４０１において第２の周波数は第１の周波数よりも低くてよい。また、ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲よりも小さい場合、ステップＳ４０１において第２の周波数は第１の周波数よりも高くてよい。上記表１において抽出値として抵抗成分の逆数が用いられる場合におけるシミュレーション結果を既に示したので、抵抗成分が抽出値として用いられる場合におけるシミュレーション結果については記載を省略する。

[0073] （製造方法）

図９は、本実施の形態における導電率センサ１０１の製造方法における一工程を概略的に示す部分断面図である。

[0074] 図３および図９を参照して、絶縁層１０となるグリーンシート１０Ｇと、第１の検出電極２１となるペースト層２１Ｇと、第２の検出電極２２となるペースト層２２Ｇと、第１のパッド電極３１となるペースト層３１Ｇと、第２のパッド電極３２となるペースト層３２Ｇと、第１のビア電極４１となるペースト層４１Ｇと、第２のビア電極４２となるペースト層４２Ｇと、を含む積層体が準備される。各ペースト層は、グリーンシート１０Ｇ上への、金属粉体およびセラミック粉体を含むペーストの印刷によって形成され得る。なおグリーンシート１０Ｇは、単層によって構成されていてよく、あるいは、複数のグリーンシートが積層されることによって構成されていてよい。

[0075] 上記の積層体上に、保護層５０となるグリーンシート５０Ｇが、矢印（図９）で示すように圧着される。この圧着は、加熱と共に行われることが好ましい。

[0076] 次に、上記のようにグリーンシート５０Ｇが圧着された積層体が焼成される。これにより導電率センサ１０１が得られる。よってこの場合、保護層５０は焼結体からなる。

[0077] （効果）

本実施の形態によれば、ステップＳ１０２で用いられる抽出規則において、複素インピーダンスの実数部は考慮され、かつ、複素インピーダンスの虚数部は無視される。これにより、液体ＬＱの導電率に対しての抽出値の十分な感受性を、高い導電率域でも確保しやすくなる。よって、十分な感度での液体ＬＱの導電率測定を、広い導電率範囲にわたって行うことができる。

[0078] 図８に示されたフローが実施される場合は、ステップＳ２００にて第１の抽出値が許容範囲内にあると判定された場合はステップＳ３０３にて第１の抽出値に基づいて液体ＬＱの導電率が決定され、ステップＳ２００にて第１の抽出値が許容範囲外にあると判定された場合はステップＳ４０１～Ｓ４０３にて第２の周波数での第２の複素インピーダンスからの第２の抽出値に基づいて液体ＬＱの導電率が決定される。これにより、液体ＬＱの導電率に対しての抽出値の十分な感受性を、より広い導電率範囲にわたって確保することができる。よって、十分な感度での液体ＬＱの導電率測定を、より広い導電率範囲にわたって行うことができる。

[0079] ステップＳ４０１は、本実施の形態においては、ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲外にあると判定された場合にのみ実施される。これにより、ステップＳ４０１の実施が不必要なときにそれを省略することができる。

[0080] ラインアンドスペースパターンＰＴのライン長ＬＬ（図７）は、１ｍｍ以上２０ｍｍ以下が好ましい。ライン長ＬＬが１ｍｍ以上であることによって、導電率センサ１０１の感度を高めることができる。ライン長ＬＬが２０ｍｍ以下であることによって、ラインアンドスペースパターンＰＴ上への異物の付着に起因しての不良の確率を抑制することができる。また、ライン長ＬＬが２０ｍｍ以下であることによって、導電率センサ１０１のサイズが過大となることが避けられる。

[0081] スペース幅ＷＳは、好ましくは３０μｍ以上２０００μｍ以下であり、より好ましくは３０μｍ以上１０００μｍ以下である。スペース幅ＷＳが３０

μｍ以上であることによって、スペース幅ＷＳを一般的な積層セラミック技術によって容易に管理可能である。スペース幅ＷＳが２０００μｍ以下（より好ましくは１０００μｍ以下）であることによって、第１の検出電極２１と第２の検出電極２２との液体ＬＱを介しての電気的結合が過小となることが避けられるので、導電率センサ１０１の感度が過小となることが避けやすくなる。

[0082] 保護層５０が、ジルコニアまたはアルミナからなり、かつ、１μｍ以上１０μｍ以下の厚みｄを有している場合、保護層５０のε／ｄが大きくなるので、第１の検出電極２１および第２の検出電極２２の各々と液体ＬＱとの間の電気的結合を十分に確保しやすい。これにより、センサ感度を高くすることができる。高感度が優先される場合、保護層５０の材料は、比誘電率εが高いことが好ましく、この観点で、ジルコニアまたはアルミナが好ましく、ジルコニアがより好ましい。一方で、導電率センサ１０１の温度依存性を抑制するためには、保護層５０の材料として、ジルコニアよりもアルミナの方が好ましい。導電率センサ１０１の耐熱性の観点でも、保護層５０の材料として、ジルコニアよりもアルミナの方が好ましい。

[0083] 保護層５０は焼結体からなっていてよい。これにより、導電率センサの製造において、非焼結体からなる保護層を形成することに起因して製造効率が低下することが避けられる。また、保護層５０および絶縁層１０が、一体の構造体としての焼結体であるので、これらの間の界面を起点とする不良が発生しにくくなる。よって、耐薬品性および耐熱衝撃などの特性が改善する。

[0084] 絶縁層１０および保護層５０は、共にセラミック絶縁体からなることが好ましく、同じ材料からなることがより好ましい。これにより、導電率センサ１０１を製造するための焼成工程における収縮率の相違が抑制される。よって、保護層５０の厚みｄが比較的小さくてもピンホールのない保護層５０を得ることができる。よって、保護層５０による耐食性および耐薬品性の向上効果を十分に得つつ、厚みｄを小さくすることができる。

[0085] 保護層５０となる部分は、グリーンシート５０Ｇ（図９）の圧着によって

形成されることが好ましい。これにより、当該部分がセラミックペーストの塗布によって形成される場合に比して、保護層５０の厚みｄが比較的小さくてもピンホールのない保護層５０を得ることができる。

[0086] 第１の検出電極２１および第２の検出電極２２は、高融点金属からなることが好ましく、例えば、白金、タングステンまたはコバルトからなる。これにより、導電率センサ１０１を製造するための焼成工程における電極の揮発・溶融を避けることができる。

[0087] 本実施の形態において示された、周波数１ｋＨｚ、１０ｋＨｚ、１００ｋＨｚ、１０００ｋＨｚでのシミュレーション結果のそれぞれは、１ｋＨｚオーダー、１０ｋＨｚオーダー、１００ｋＨｚオーダー、１０００ｋＨｚオーダーでの特徴をおおよそ反映していると予想される。特に、周波数１ｋＨｚ±１０％、１０ｋＨｚ±１０％、１００ｋＨｚ±１０％、１０００ｋＨｚ±１０％のそれぞれでの特性は、本発明者らの検討によれば、周波数１ｋＨｚ、１０ｋＨｚ、１００ｋＨｚ、１０００ｋＨｚでの、上記で開示された特性と、おおよそ同じであると考えられる。なお、「１００ｋＨｚオーダー」は、言い換えれば、１桁下の１０ｋＨオーダーの周波数と１桁上の１０００ｋＨｚオーダーの周波数との間の周波数であり、当然ながら約１００ｋＨｚの周波数（例えば、１００Ｈｚ±１０％の周波数）を含む。他の周波数オーダーについても同様である。

[0088] また本実施の形態において示されたシミュレーション結果における、寸法Ｌおよび寸法Ｓでの特性は、寸法Ｌ±１０％および寸法Ｓ±１０％での特性と、おおよそ同じであると考えられる。

[0089] ＜実施の形態２＞

本実施の形態２においては、上記実施の形態１において説明した測定システム５００とほぼ同様の測定システムを用いて液体ＬＱの導電率を測定するための他の方法について説明する。図１０は、本実施の形態における導電率測定方法の概略的なフロー図である。ステップＳ１０１およびステップＳ１０２は、上記実施の形態１の導電率測定方法（図８）と同様に行われる。一

方で、本実施の形態２においては、実施の形態１と異なり、ステップＳ４０１およびステップＳ４０２が、ステップＳ２００よりも前に行われる。よって本実施の形態２においては、実施の形態１と異なり、計測器２００において、判定部に依存することなく複素インピーダンス測定部がステップＳ４０１の測定を開始する。

[0090] ステップＳ２００にて、上記実施の形態１と同様に、第１の抽出値が、予め定められた許容範囲内にあるか否か、が判定される。ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲内にあると判定された場合、上記実施の形態１と同様に、ステップＳ３０３にて、第１の抽出値に基づいて液体ＬＱの導電率が決定される。ステップＳ２００において第１の抽出値が許容範囲外にあると判定された場合、ステップＳ４０３にて、第２の抽出値に基づいて液体ＬＱの導電率が決定される。

[0091] 以上により、液体ＬＱの導電率が決定される。本実施の形態によれば、第２の複素インピーダンスは、ステップＳ２００の前に既に測定されているので、ステップＳ２００の後に測定される必要がない。

[0092] なお、本実施の形態においては、第１の周波数および第２の周波数の２つの周波数を用いる方法について説明したが、変形例として、２つよりも多い周波数が適宜用いられてもよい。その場合、ステップＳ２００の前に、２つよりも多い周波数の各々での複素インピーダンスの測定と抽出値の抽出とが行われる。そしてこれら複数の抽出値のうちのどれに基づいて液体ＬＱの導電率が決定されるべきかが判定される。これにより、２つよりも多い周波数のうち最適なものを用いて液体ＬＱの導電率を決定することができる。

[0093] 本実施の形態２についての上記以外の特徴については、上記実施の形態１とほぼ同じであるため、その説明を繰り返さない。

[0094] 上述した実施の形態および変形例は、互いに自由に組み合わされてよい。この発明は詳細に説明されたが、上記した説明は、すべての態様において、例示であって、この発明がそれに限定されるものではない。例示されていない無数の変形例が、この発明の範囲から外れることなく想定され得るものと

解される。

符号の説明

[0095] １０　：絶縁層

２１　：第１の検出電極

２２　：第２の検出電極

３１　：第１のパッド電極

３２　：第２のパッド電極

４１　：第１のビア電極

４２　：第２のビア電極

５０　：保護層

１０１：導電率センサ

２００：計測器

５００：測定システム

ＰＴ　：ラインアンドスペースパターン

請求の範囲

[請求項1] 絶縁層（１０）と、前記絶縁層（１０）上に設けられた第１の検出電極（２１）と、前記絶縁層（１０）上に前記第１の検出電極（２１）から離れて設けられた第２の検出電極（２２）と、前記第１の検出電極（２１）および前記第２の検出電極（２２）を覆い絶縁体からなる保護層（５０）と、を備える導電率センサ（１０１）を用いて液体（ＬＱ）の導電率を測定する導電率測定方法であって、

ａ）前記保護層（５０）を介して前記第１の検出電極（２１）および前記第２の検出電極（２２）の各々に面するように前記液体（ＬＱ）が前記保護層（５０）に接触した状態における、第１の周波数での前記第１の検出電極（２１）と前記第２の検出電極（２２）との間の第１の複素インピーダンスを測定する工程と、

ｂ）予め定められた抽出規則に従って、前記第１の複素インピーダンスから第１の抽出値を抽出する工程と、

ｃ）前記第１の抽出値に基づいて前記液体（ＬＱ）の導電率を決定する工程と、

を備え、

前記抽出規則において、複素インピーダンスの実数部は考慮され、かつ、複素インピーダンスの虚数部は無視される、導電率測定方法。

[請求項2] 前記導電率測定方法は、

ｄ）前記ｃ）の前に、前記第１の抽出値が、予め定められた許容範囲内にあるか否か、を判定する工程と、

ｅ）前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲外にあると判定された場合、前記保護層（５０）を介して前記第１の検出電極（２１）および前記第２の検出電極（２２）の各々に面するように前記液体（ＬＱ）が前記保護層（５０）に接触した状態における、前記第１の周波数とは異なる第２の周波数での前記第１の検出電極（２１）と前記第２の検出電極（２２）との間の第２の複素インピーダンスか

ら前記抽出規則に従って抽出された第２の抽出値に基づいて前記液体（ＬＱ）の導電率を決定する工程と、

をさらに備え、

前記ｃ）は、前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲内にあると判定された場合に行われる、

請求項１に記載の導電率測定方法。

[請求項3] 前記ｅ）は、

ｅ１）前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲外にあると判定された場合にのみ、前記第２の複素インピーダンスを測定する工程

を含む、請求項２に記載の導電率測定方法。

[請求項4] ｆ）前記ｄ）よりも前に、前記第２の複素インピーダンスを測定する工程

をさらに備える、請求項２に記載の導電率測定方法。

[請求項5] 前記抽出規則は、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数を抽出することに相当する、請求項１から４のいずれか１項に記載の導電率測定方法。

[請求項6] 前記抽出規則は、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数を抽出することに相当し、

前記ｄ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲よりも大きい場合、前記ｅ）において前記第２の周波数は前記第１の周波数よりも高くされる、請求項２から４のいずれか１項に記載の導電率測定方法。

[請求項7] 前記抽出規則は、複素インピーダンスから抵抗成分の逆数を抽出することに相当し、

前記ｃ）において前記第１の抽出値が前記許容範囲よりも小さい場合、前記ｅ）において前記第２の周波数は前記第１の周波数よりも低くされる、請求項２から４のいずれか１項に記載の導電率測定方法。

[請求項8] 前記保護層（５０）は、ジルコニアまたはアルミナからなり、１μ

ｍ以上１０μｍ以下の厚み（ｄ）を有している、請求項１から４のいずれか１項に記載の導電率測定方法。

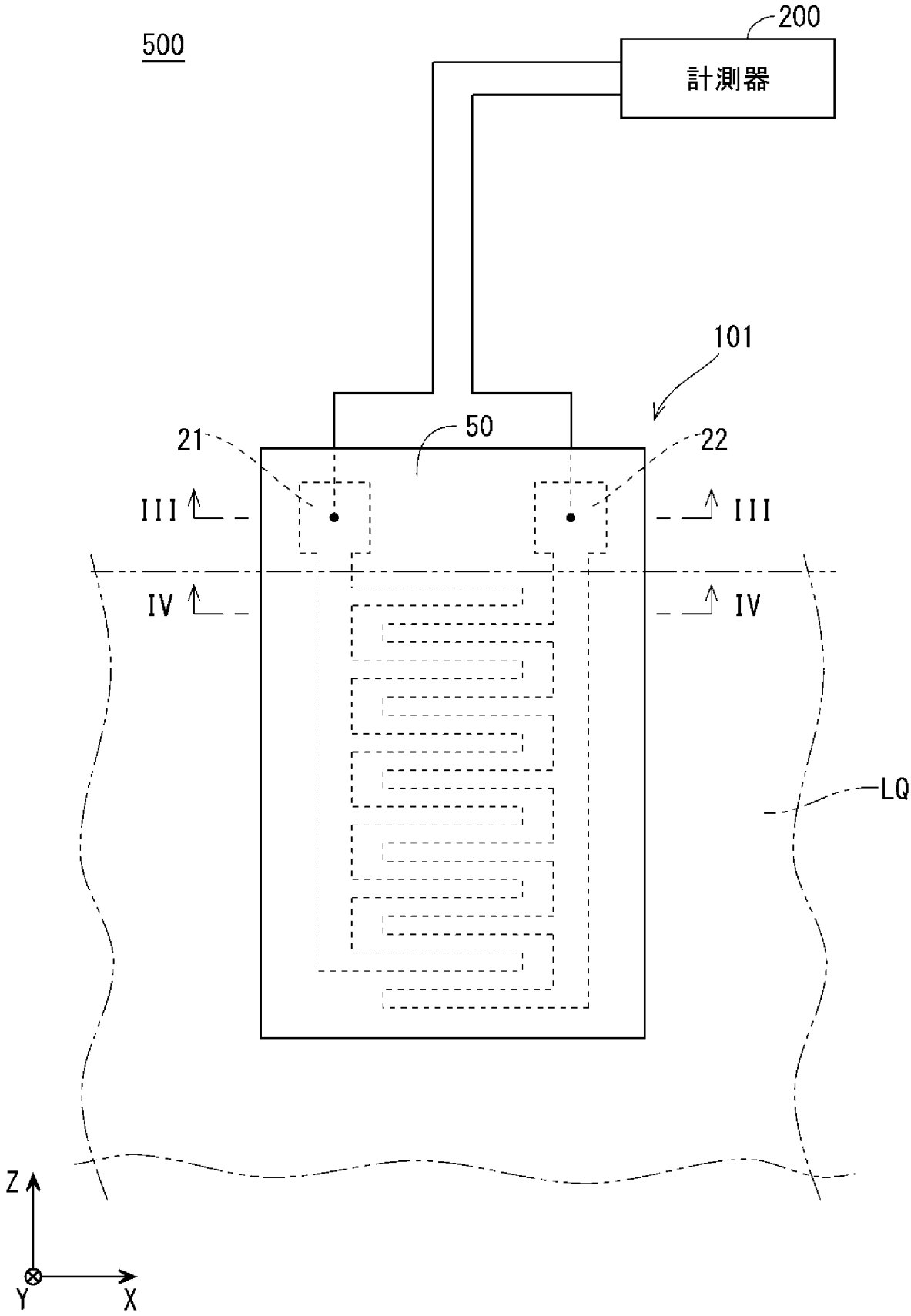
[請求項9] 前記保護層（５０）は焼結体からなる、請求項１から４のいずれか１項に記載の導電率測定方法。

[請求項10] 前記導電率センサ（１０１）において、前記第１の検出電極（２１）と前記第２の検出電極（２２）とが交互に位置することによって、ライン幅（ＷＬ）およびスペース幅（ＷＳ）を有するラインアンドスペースパターン（ＰＴ）が構成されており、スペース幅（ＷＳ）は２００μｍ以下である、請求項１から４のいずれか１項に記載の導電率測定方法。

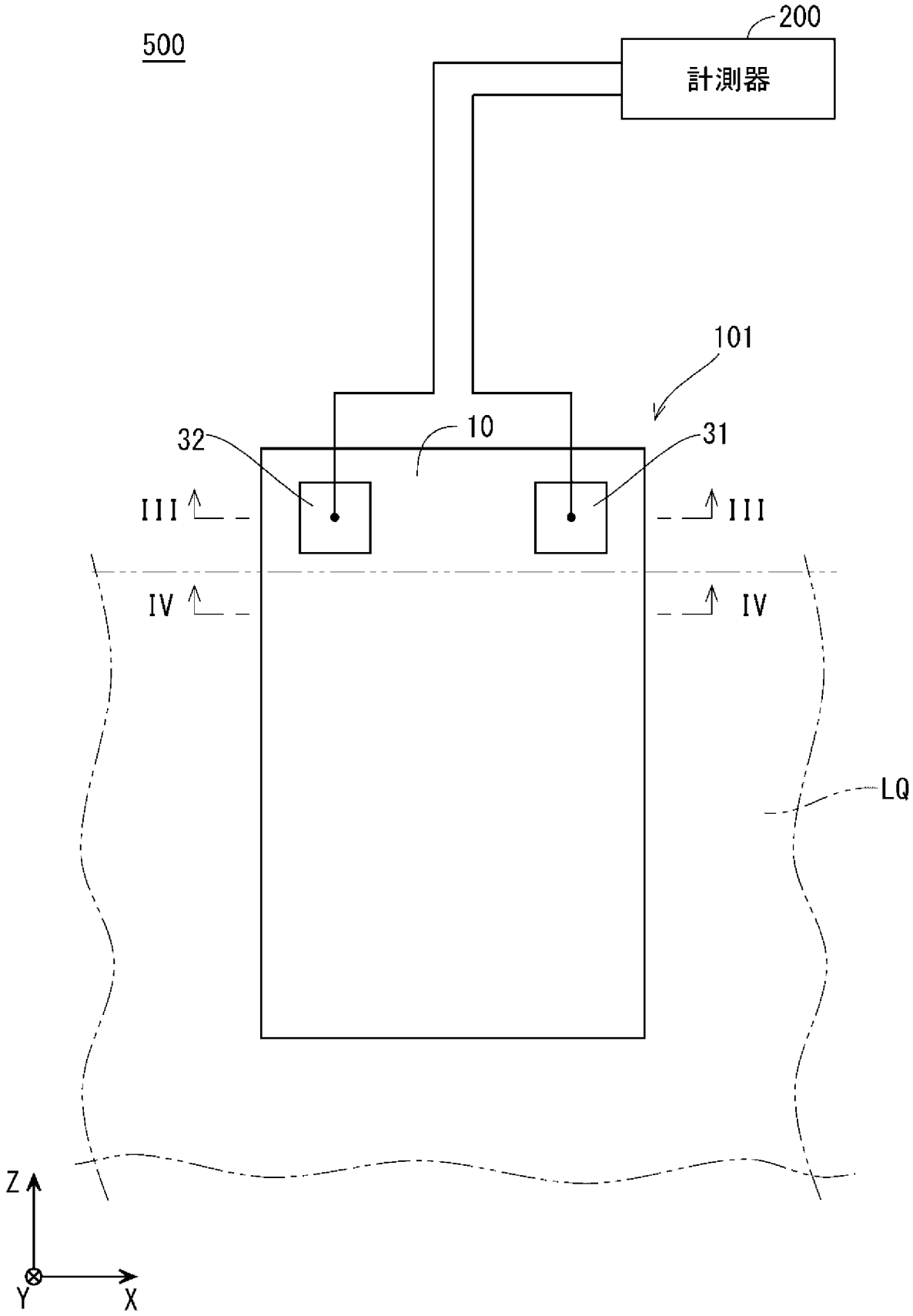
[請求項11] 前記導電率センサ（１０２）において、前記第１の検出電極（２１）と前記第２の検出電極（２２）とが交互に位置することによって、ライン幅（ＷＬ）およびスペース幅（ＷＳ）を有するラインアンドスペースパターン（ＰＴ）が構成されており、ライン幅（ＷＬ）は５００μｍ以上である、請求項１から４のいずれか１項に記載の導電率測定方法。

[請求項12] 前記導電率センサ（１０２）において、前記第１の検出電極（２１）と前記第２の検出電極（２２）とが交互に位置することによって、ライン幅（ＷＬ）およびスペース幅（ＷＳ）を有するラインアンドスペースパターン（ＰＴ）が構成されており、スペース幅（ＷＳ）は２００μｍ以下であり、かつライン幅（ＷＬ）は５００μｍ以上である、請求項１からから４のいずれか１項に記載の導電率測定方法。

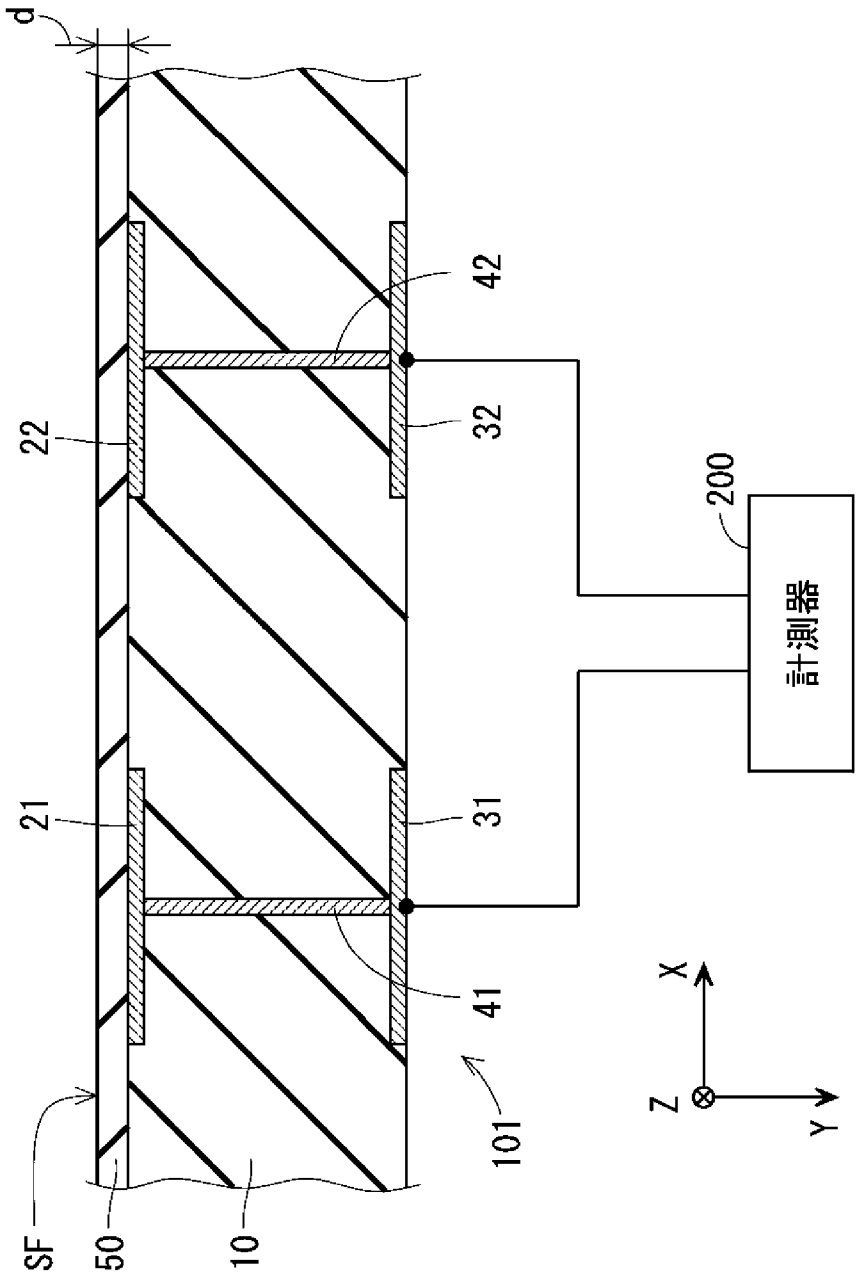
[図1]



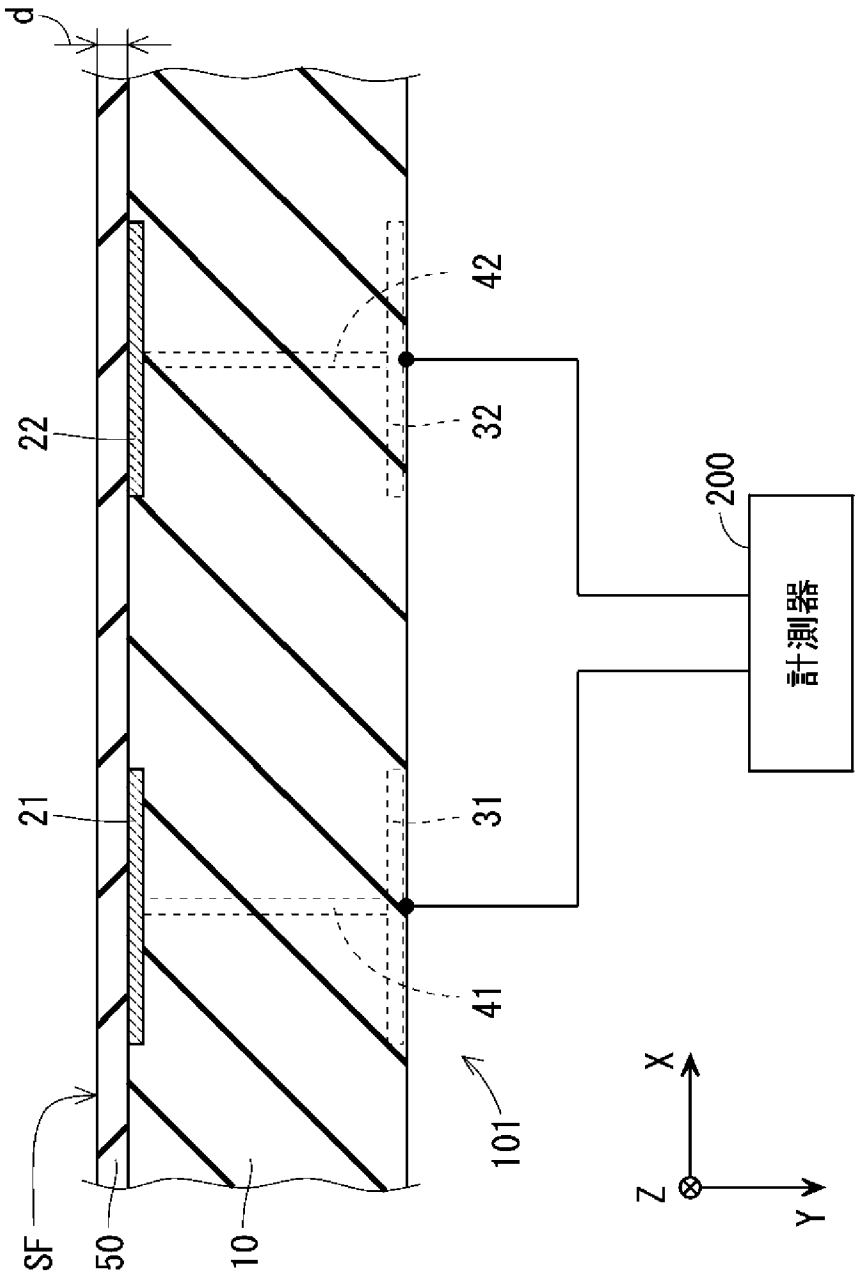
[図2]



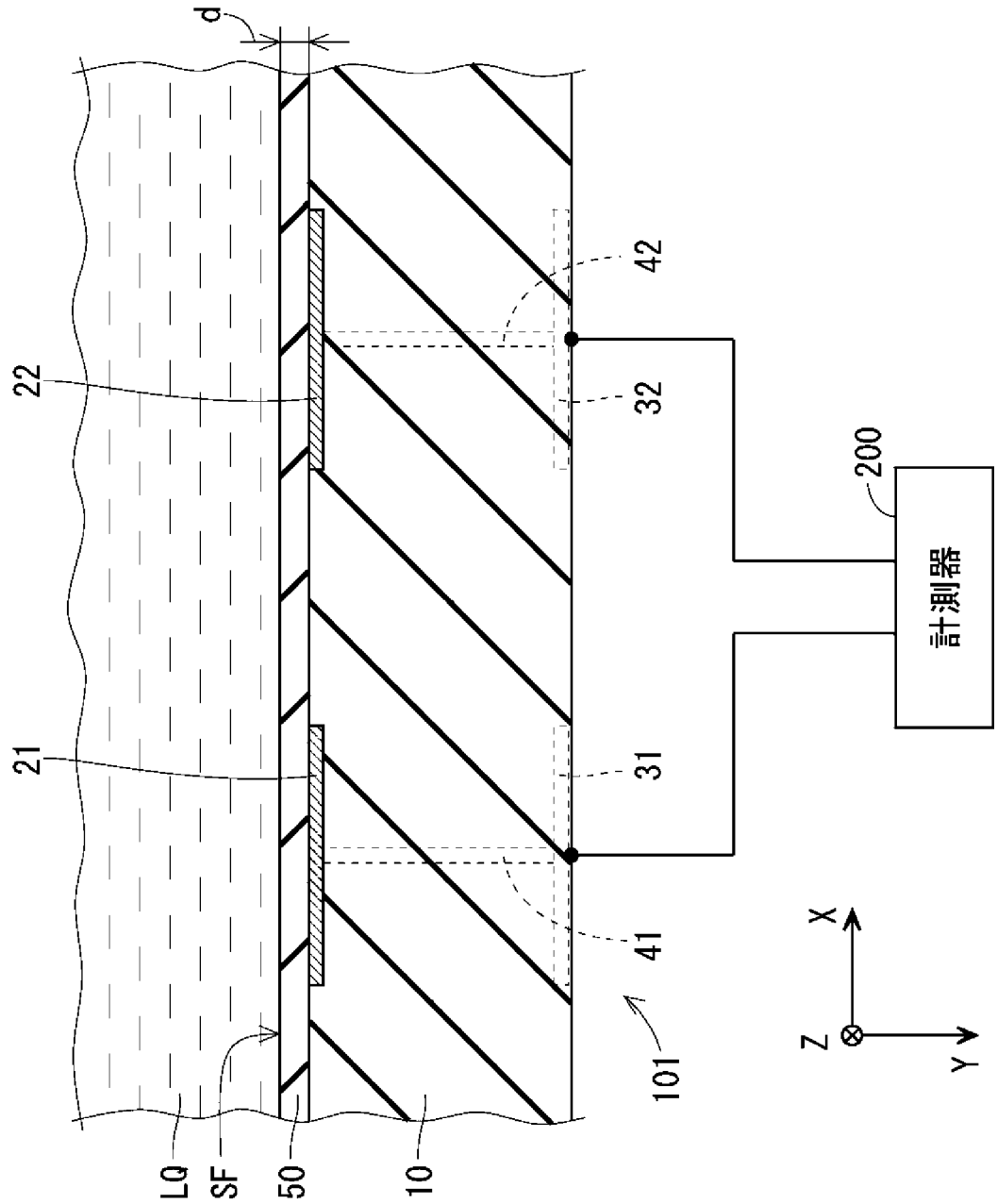
[図3]



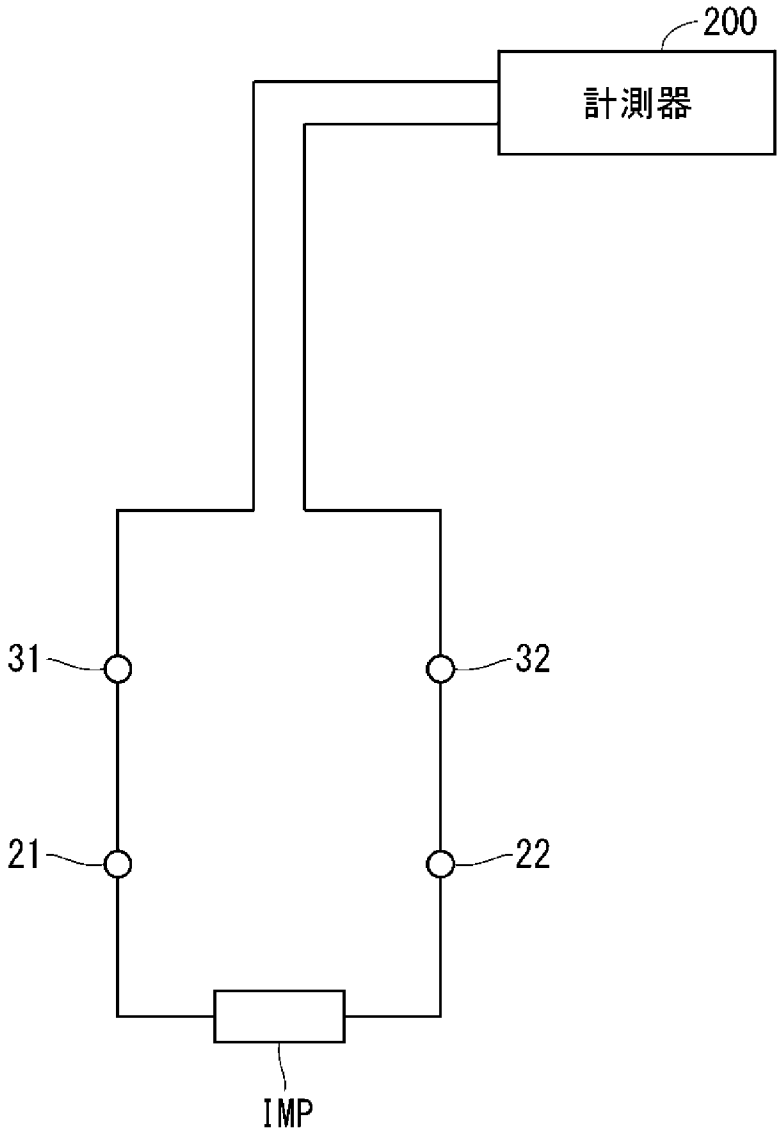
[図4]



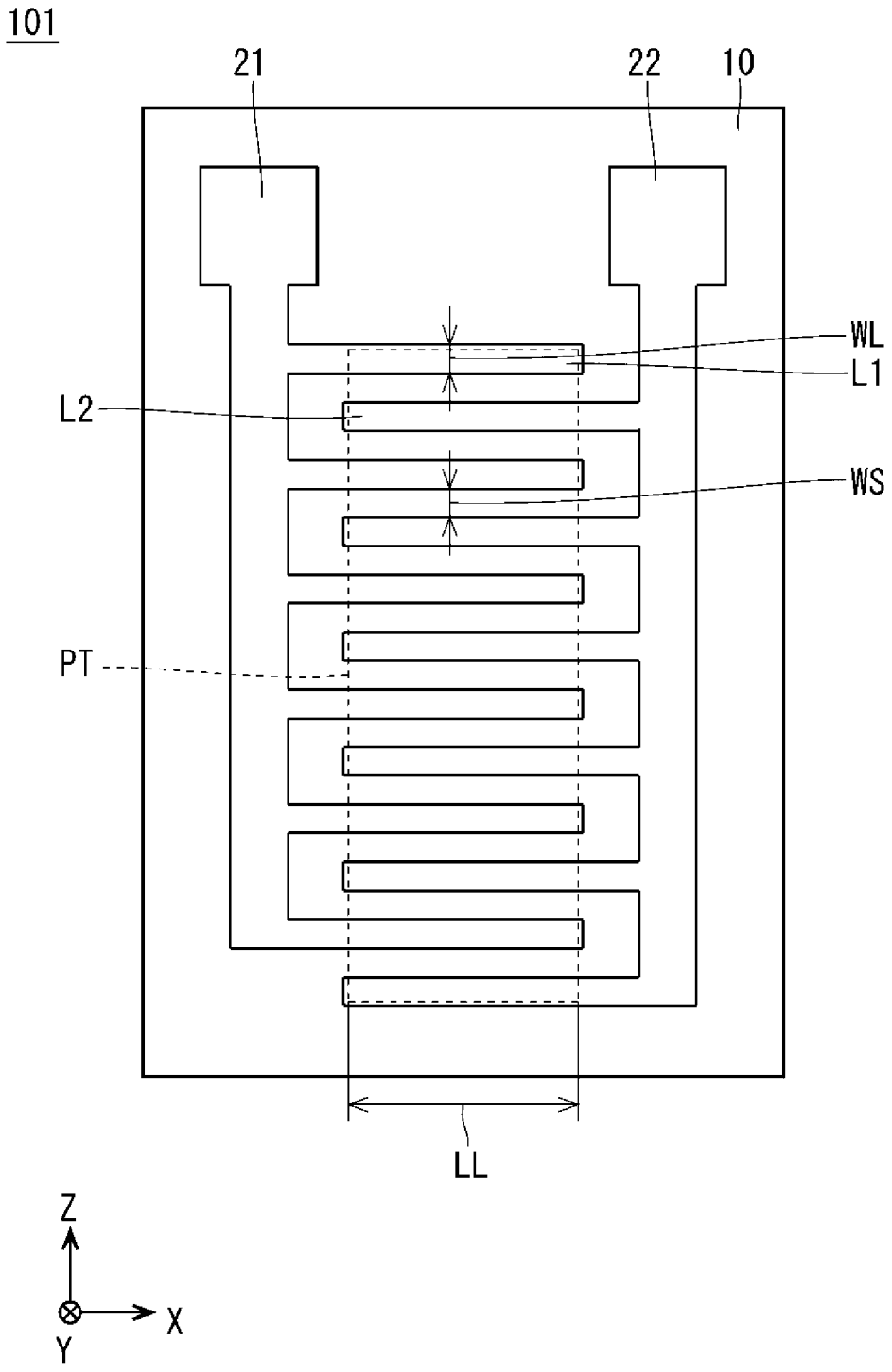
[図5]



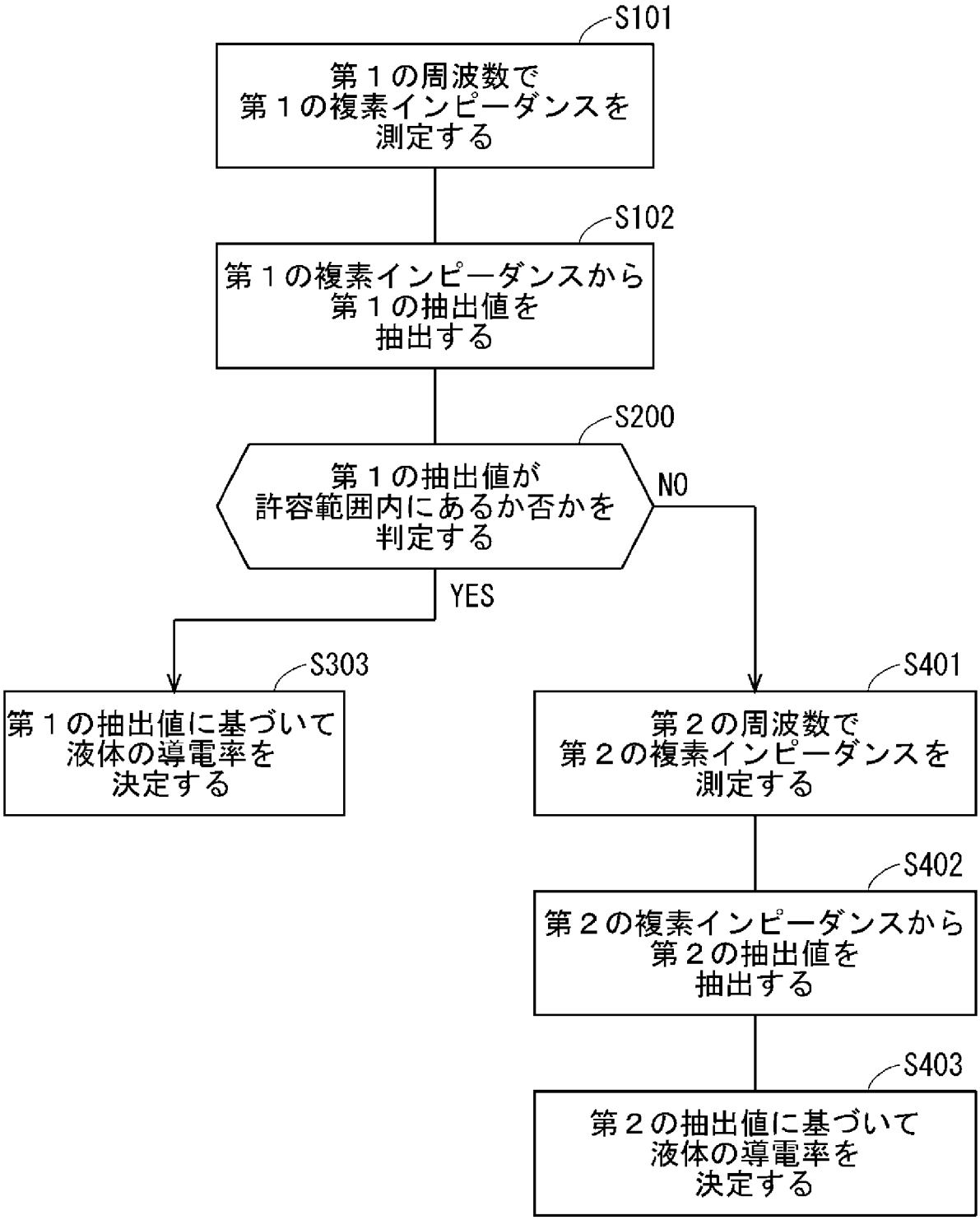
[図6]



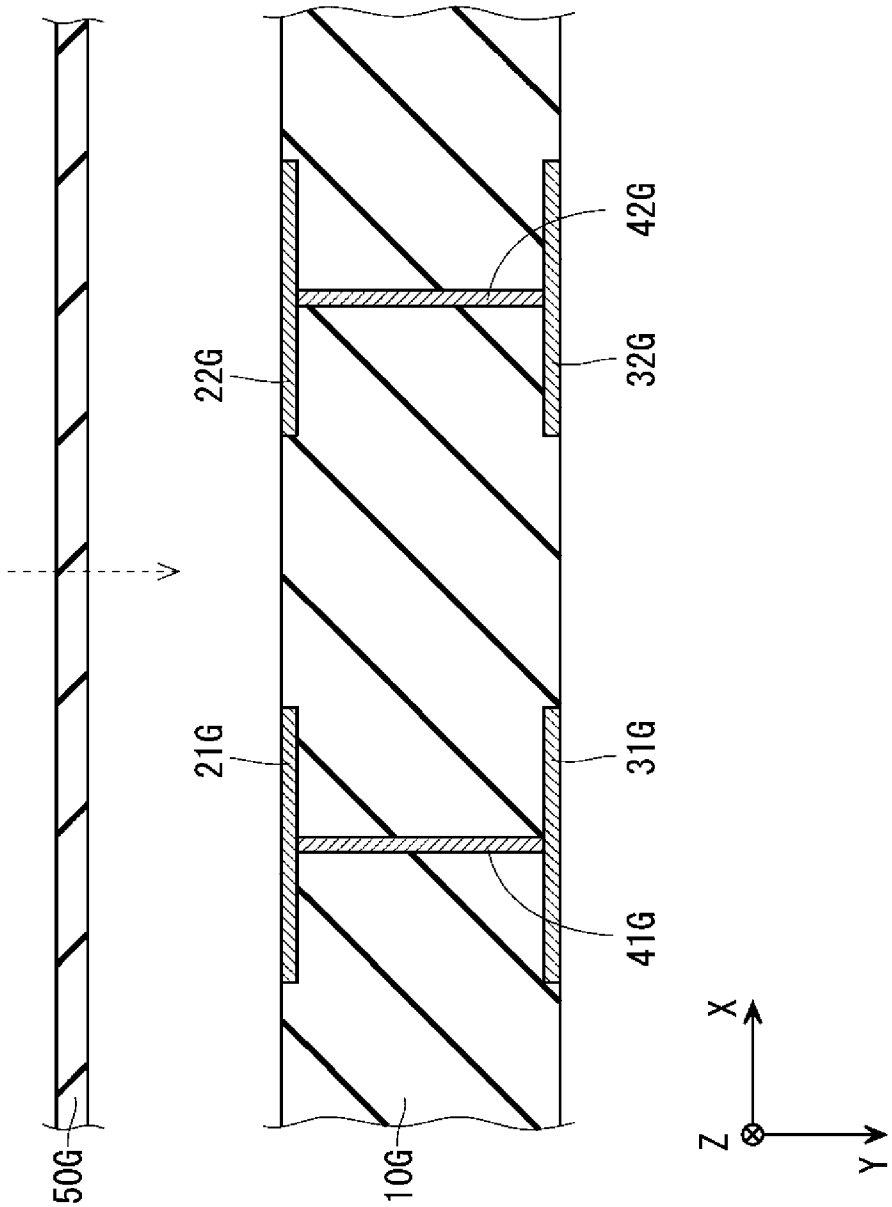
[図7]



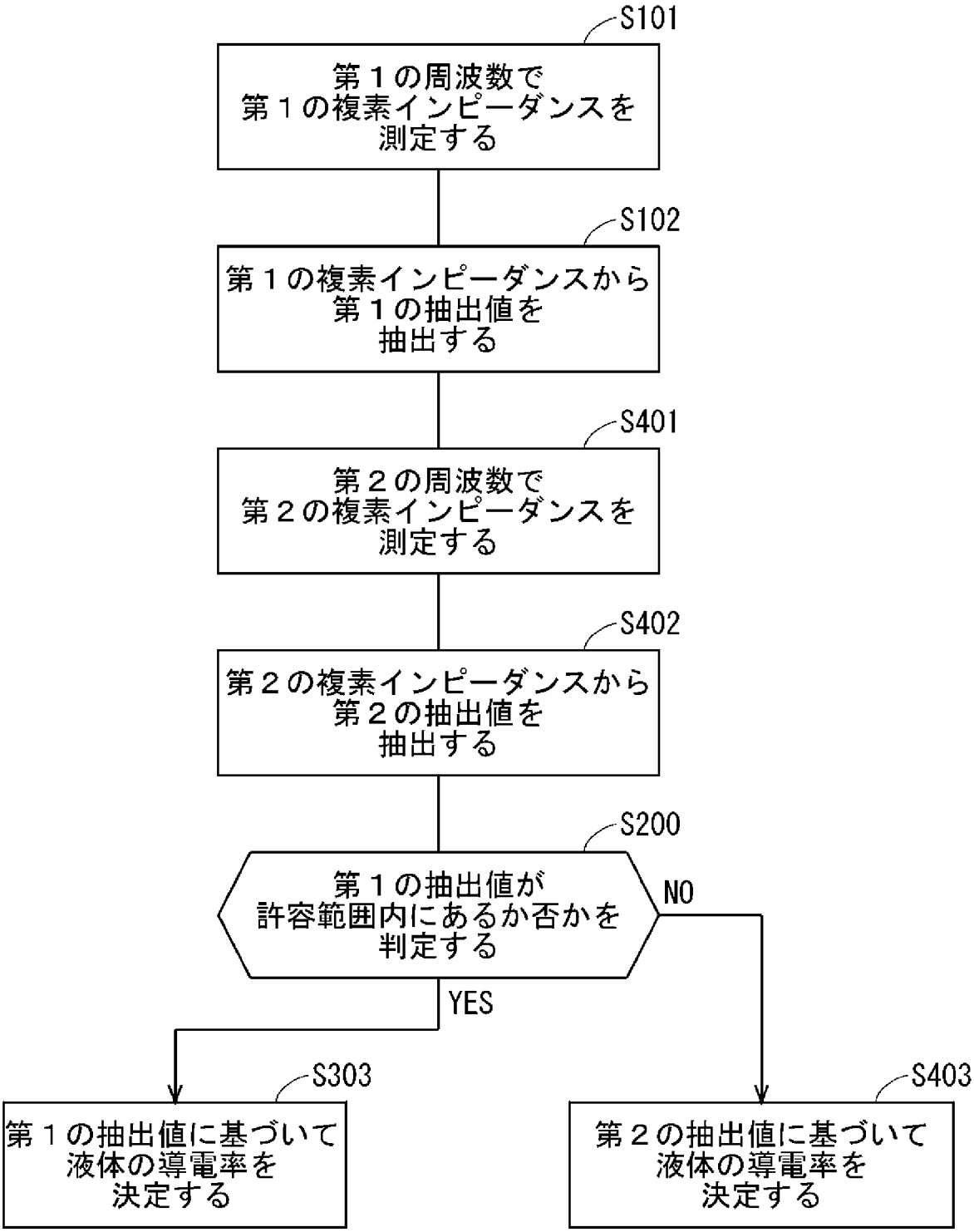
[図8]


S101
第１の周波数で
第１の複素インピーダンスを
測定する
S102
第１の複素インピーダンスから
第１の抽出値を
抽出する
S200
第１の抽出値が
許容範囲内にあるか否かを
判定する
NO
YES
S303
第１の抽出値に基づいて
液体の導電率を
決定する
S401
第２の周波数で
第２の複素インピーダンスを
測定する
S402
第２の複素インピーダンスから
第２の抽出値を
抽出する
S403
第２の抽出値に基づいて
液体の導電率を
決定する

[図9]



[図10]


S101
第１の周波数で
第１の複素インピーダンスを
測定する
S102
第１の複素インピーダンスから
第１の抽出値を
抽出する
S401
第２の周波数で
第２の複素インピーダンスを
測定する
S402
第２の複素インピーダンスから
第２の抽出値を
抽出する
S200
第１の抽出値が
許容範囲内にあるか否かを
判定する
NO
YES
S303
第１の抽出値に基づいて
液体の導電率を
決定する
S403
第２の抽出値に基づいて
液体の導電率を
決定する

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/003771

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 27/22(2006.01)i; ***G01N 27/04***(2006.01)i; ***G01N 27/06***(2006.01)i
FI: G01R27/22 A; G01N27/04 P; G01N27/06 B

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)

G01R27/22; G01N27/04; G01N27/06

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.
Y	JP 2019-109224 A (STICHTING IMEC NEDERLAND) 04 July 2019 (2019-07-04) paragraphs [0025]-[0056], fig. 1-9	1-12
Y	JP 11-304856 A (HORIBA LTD) 05 November 1999 (1999-11-05) paragraph [0013], fig. 1	1-12
Y	JP 2009-2693 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 08 January 2009 (2009-01-08) paragraphs [0024]-[0056], fig. 1-6	1-12
Y	JP 2011-80814 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 21 April 2011 (2011-04-21) paragraphs [0018]-[0055], fig. 1-8	1-12
Y	WO 2021/241628 A1 (NGK INSULATORS, LTD.) 02 December 2021 (2021-12-02) paragraphs [0025]-[0079], fig. 1-12	8–9
A	JP 2006-133191 A (NIPPON SOKEN INC) 25 May 2006 (2006-05-25)	1-12
A	JP 63-169545 A (NGK INSULATORS, LTD.) 13 July 1988 (1988-07-13)	1-12
A	JP 2019-28012 A (TOHOKU DENSHI SANGYO KK) 21 February 2019 (2019-02-21)	1-12

☑ 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
22 March 2023	**04 April 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.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-111669 A (DENSO CORP) 15 May 2008 (2008-05-15)	1-12
A	JP 2009-92633 A (DENSO CORP) 30 April 2009 (2009-04-30)	1-12
A	JP 64-9352 A (ENDRESS & HAUSER GMBH & CO) 12 January 1989 (1989-01-12)	1-12
A	US 2020/0049649 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 13 February 2020 (2020-02-13)	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/003771

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2019-109224 A	04 July 2019	US 2019/0187085 A1 paragraphs [0041]-[0073], fig. 1-9 EP 3499225 A1	
JP 11-304856 A	05 November 1999	(Family: none)	
JP 2009-2693 A	08 January 2009	US 2009/0315574 A1 paragraphs [0053]-[0093], fig. 1-6	
JP 2011-80814 A	21 April 2011	(Family: none)	
WO 2021/241628 A1	02 December 2021	(Family: none)	
JP 2006-133191 A	25 May 2006	US 2006/0096370 A1 DE 102005052732 A1 CN 1782700 A	
JP 63-169545 A	13 July 1988	(Family: none)	
JP 2019-28012 A	21 February 2019	(Family: none)	
JP 2008-111669 A	15 May 2008	US 2008/0100309 A1 DE 102007050404 A1 CN 101169388 A	
JP 2009-92633 A	30 April 2009	US 2009/0095073 A1 DE 102008050633 A1	
JP 64-9352 A	12 January 1989	US 4948263 A GB 2205957 A DE 3720189 C1 FR 2616912 A1	
US 2020/0049649 A1	13 February 2020	WO 2018/095524 A1 CN 109983328 A KR 10-2019-0085989 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/003771

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01R 27/22(2006.01)i; G01N 27/04(2006.01)i; G01N 27/06(2006.01)i
FI: G01R27/22 A; G01N27/04 P; G01N27/06 B

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））

G01R27/22; G01N27/04; G01N27/06

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	１９７１－２０２３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

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
Y	JP 2019-109224 A (スティヒティング・イメック・ネーデルラント) 04.07.2019 (2019-07-04) 第0025-0056段落,第1-9図	1-12
Y	JP 11-304856 A (株式会社堀場製作所) 05.11.1999 (1999-11-05) 第0013段落,第1図	1-12
Y	JP 2009-2693 A (三菱重工業株式会社) 08.01.2009 (2009-01-08) 第0024-0056段落,第1-6図	1-12
Y	JP 2011-80814 A (三菱重工業株式会社) 21.04.2011 (2011-04-21) 第0018-0055段落,第1-8図	1-12
Y	WO 2021/241628 A1 (日本碍子株式会社) 02.12.2021 (2021-12-02) 第0025-0079段落,第1-12図	8-9
A	JP 2006-133191 A (株式会社日本自動車部品総合研究所) 25.05.2006 (2006-05-25)	1-12
A	JP 63-169545 A (日本碍子株式会社) 13.07.1988 (1988-07-13)	1-12

☑ 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	国際調査報告の発送日
22.03.2023	04.04.2023

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）
青木　洋平 2S 3104

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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 2019-28012 A (東北電子産業株式会社) 21.02.2019 (2019-02-21)	1-12
A	JP 2008-111669 A (株式会社デンソー) 15.05.2008 (2008-05-15)	1-12
A	JP 2009-92633 A (株式会社デンソー) 30.04.2009 (2009-04-30)	1-12
A	JP 64-9352 A (エンドレス・ウント・ハウザー・ゲゼルシヤフト・ミツト・ベシユレンクテル・ハフツング・ウント・コンパニー) 12.01.1989 (1989-01-12)	1-12
A	US 2020/0049649 A1 (Robert Bosch GmbH) 13.02.2020 (2020-02-13)	1-12

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/JP2023/003771

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-109224 A	04.07.2019	US 2019/0187085 A1 第0041-0073段落,第1-9図 EP 3499225 A1	
JP 11-304856 A	05.11.1999	（ファミリーなし）	
JP 2009-2693 A	08.01.2009	US 2009/0315574 A1 第0053-0093段落,第1-6図	
JP 2011-80814 A	21.04.2011	（ファミリーなし）	
WO 2021/241628 A1	02.12.2021	（ファミリーなし）	
JP 2006-133191 A	25.05.2006	US 2006/0096370 A1 DE 102005052732 A1 CN 1782700 A	
JP 63-169545 A	13.07.1988	（ファミリーなし）	
JP 2019-28012 A	21.02.2019	（ファミリーなし）	
JP 2008-111669 A	15.05.2008	US 2008/0100309 A1 DE 102007050404 A1 CN 101169388 A	
JP 2009-92633 A	30.04.2009	US 2009/0095073 A1 DE 102008050633 A1	
JP 64-9352 A	12.01.1989	US 4948263 A GB 2205957 A DE 3720189 C1 FR 2616912 A1	
US 2020/0049649 A1	13.02.2020	WO 2018/095524 A1 CN 109983328 A KR 10-2019-0085989 A	