(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7610139号
(P7610139)

(45)発行日　令和7年1月8日(2025.1.8)

(24)登録日　令和6年12月24日(2024.12.24)

(51)国際特許分類
G01N 22/00 (2006.01)

FI
G01N 22/00 Y

請求項の数 8 （全23頁）

(21)出願番号　特願2022-579249(P2022-579249)
(86)(22)出願日　令和3年2月5日(2021.2.5)
(86)国際出願番号　PCT/JP2021/004219
(87)国際公開番号　WO2022/168250
(87)国際公開日　令和4年8月11日(2022.8.11)
審査請求日　令和5年6月12日(2023.6.12)

(73)特許権者　000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
(74)代理人　110001634
弁理士法人志賀国際特許事務所
(72)発明者　中村 昌人
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
日本電信電話株式会社内
(72)発明者　田島 卓郎
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
日本電信電話株式会社内
(72)発明者　瀬山 倫子
東京都千代田区大手町一丁目５番１号
日本電信電話株式会社内
審査官　田中 洋介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　誘電分光計測装置及び誘電分光計測方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

電磁波を生成する信号生成部と、

前記電磁波を伝送方向に応じて分離し、分離した前記電磁波を前記伝送方向に対応する出力先に出力する信号分離部と、

前記信号生成部が生成する前記電磁波を、前記信号分離部を介して取り込み、取り込んだ前記電磁波を、出力先を切り替えて出力し、前記出力先から戻ってくる前記電磁波を前記信号分離部に出力する切替スイッチ部と、

前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を測定対象に照射し、照射して得られる測定対象波を前記切替スイッチ部に出力するセンサ部と、

校正標準用の回路を備えており、前記回路が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を受けて生成する校正用反射波を前記切替スイッチ部に出力する校正標準部と、

前記測定対象波と前記校正用反射波とを前記信号分離部を介して受信する信号受信部と、

前記信号受信部が前記測定対象波と前記校正用反射波と受信して出力する測定値を取り込み、取り込んだ前記校正用反射波に対応する前記測定値に基づいて、取り込んだ前記測定対象の測定値を補正する演算部と、

を備え、

前記信号生成部と、前記信号受信部と、前記切替スイッチ部と、前記センサ部と、前記信号分離部とが、誘電分光測定機として１つの回路基板において形成され、

前記信号生成部は、

前記切替スイッチ部による出力先の切り替えが行われた後であって、次の切り替えが行われる前に前記電磁波を生成する、
誘電分光計測装置。
【請求項２】
前記校正標準部が備える前記回路は、前記回路に接続する伝送線路の先端を開放状態にする開放回路、前記回路に接続する伝送線路の先端を短絡状態にする短絡回路、及び前記回路に接続する伝送線路の先端を終端状態にする終端回路のいずれか１つ、または、全てである、
請求項１に記載の誘電分光計測装置。
【請求項３】
前記校正標準部が備える前記回路が、前記開放回路、前記短絡回路、及び前記終端回路の全てである場合、前記切替スイッチ部は、前記開放回路、前記短絡回路、及び前記終端回路の３つの回路の各々と、前記センサ部とに切り替えて接続し、
前記演算部は、
前記３つの回路の各々の前記校正用反射波に対応する前記測定値と、既知である前記３つの回路の各々の反射係数の真値とに基づいて、前記測定対象の測定値を補正する、
請求項２に記載の誘電分光計測装置。
【請求項４】
電磁波を生成する信号生成部と、
前記電磁波を伝送方向に応じて分離し、分離した前記電磁波を前記伝送方向に対応する出力先に出力する信号分離部と、
前記信号生成部が生成する前記電磁波を、前記信号分離部を介して取り込み、取り込んだ前記電磁波を、出力先を切り替えて出力し、前記出力先から戻ってくる前記電磁波を前記信号分離部に出力する切替スイッチ部と、
前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を測定対象に照射し、照射して得られる測定対象波を前記切替スイッチ部に出力するセンサ部と、
校正標準用の回路を備えており、前記回路が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を受けて生成する校正用反射波を前記切替スイッチ部に出力する校正標準部と、
前記測定対象波と前記校正用反射波とを前記信号分離部を介して受信する信号受信部と、
前記信号受信部が前記測定対象波と前記校正用反射波と受信して出力する測定値を取り込み、取り込んだ前記校正用反射波に対応する前記測定値に基づいて、取り込んだ前記測定対象の測定値を補正する演算部と、
を備え、
前記信号生成部と、前記信号受信部と、前記切替スイッチ部と、前記センサ部と、前記信号分離部とが、誘電分光測定機として１つの回路基板において形成され、
前記校正標準部が備える前記回路は、前記回路に接続する伝送線路の先端を開放状態にする開放回路、前記回路に接続する伝送線路の先端を短絡状態にする短絡回路、及び前記回路に接続する伝送線路の先端を終端状態にする終端回路のいずれか１つ、または、全てであり、
前記校正標準部が備える回路が、前記開放回路、前記短絡回路、及び前記終端回路のいずれか１つに予め定められている場合、前記切替スイッチ部は、予め定められる１つの前記回路と、前記センサ部とに切り替えて接続し、
前記演算部は、
予め定められる１つの前記回路の前記校正用反射波に対応する前記測定値によって、前記測定対象の測定値を除算することにより、前記測定対象の測定値を補正する誘電分光計測装置。
【請求項５】
前記校正標準部が、前記回路基板において形成されるか、または、前記校正標準部が、前記回路基板に接続される、
請求項１から４のいずれか一項に記載の誘電分光計測装置。

【請求項６】
電磁波を生成する信号生成部と、
前記電磁波を伝送方向に応じて分離し、分離した前記電磁波を前記伝送方向に対応する出力先に出力する信号分離部と、
前記信号生成部が生成する前記電磁波を、前記信号分離部を介して取り込み、取り込んだ前記電磁波を、出力先を切り替えて出力し、前記出力先から戻ってくる前記電磁波を前記信号分離部に出力する切替スイッチ部と、
前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を測定対象に照射し、照射して得られる測定対象波を前記切替スイッチ部に出力するセンサ部と、
校正標準用の回路を備えており、前記回路が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を受けて生成する校正用反射波を前記切替スイッチ部に出力する校正標準部と、
前記測定対象波と前記校正用反射波とを前記信号分離部を介して受信する信号受信部と、
前記信号受信部が前記測定対象波と前記校正用反射波と受信して出力する測定値を取り込み、取り込んだ前記校正用反射波に対応する前記測定値に基づいて、取り込んだ前記測定対象の測定値を補正する演算部と、
を備え、
前記信号生成部と、前記信号受信部と、前記切替スイッチ部と、前記センサ部と、前記信号分離部とが、誘電分光測定機として１つの回路基板において形成され、
前記電磁波における測定対象の実効波長が予め定められている場合、前記実効波長に応じて、前記切替スイッチ部と前記校正標準部の間の伝送線路の伝送路長、及び前記切替スイッチ部と前記センサ部との間の伝送線路の伝送路長が、予め定められる誘電分光計測装置。
【請求項７】
電磁波を生成する信号生成部と、
前記電磁波を伝送方向に応じて分離し、分離した前記電磁波を前記伝送方向に対応する出力先に出力する信号分離部と、
前記信号生成部が生成する前記電磁波を、前記信号分離部を介して取り込み、取り込んだ前記電磁波を、出力先を切り替えて出力し、前記出力先から戻ってくる前記電磁波を前記信号分離部に出力する切替スイッチ部と、
前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を測定対象に照射し、照射して得られる測定対象波を前記切替スイッチ部に出力するセンサ部と、
校正標準用の回路を備えており、前記回路が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を受けて生成する校正用反射波を前記切替スイッチ部に出力する校正標準部と、
前記測定対象波と前記校正用反射波とを前記信号分離部を介して受信する信号受信部と、
前記信号受信部が前記測定対象波と前記校正用反射波と受信して出力する測定値を取り込み、取り込んだ前記校正用反射波に対応する前記測定値に基づいて、取り込んだ前記測定対象の測定値を補正する演算部と、
を備え、
前記信号生成部と、前記信号受信部と、前記切替スイッチ部と、前記センサ部と、前記信号分離部とが、誘電分光測定機として１つの回路基板において形成され、
前記演算部は、
前記切替スイッチ部を経由して前記センサ部に至る経路と、前記切替スイッチ部を経由して前記校正標準部の前記回路に至る経路とにおける伝送損失及び位相差の違いを予め算出し、予め算出した前記伝送損失及び位相差の違いと、前記校正用反射波の測定値とに基づいて、前記測定対象の測定値を補正する誘電分光計測装置。
【請求項８】
信号生成部と、信号受信部と、切替スイッチ部と、センサ部と、信号分離部とが、誘電分光測定機として１つの回路基板において形成される誘電分光計測装置が行う誘電分光計測方法であって、
前記信号生成部が、電磁波を生成し、

前記信号分離部が、前記信号生成部が生成した前記電磁波を取り込み、取り込んだ前記電磁波を前記切替スイッチ部に出力し、
前記切替スイッチ部が、前記信号生成部が生成する前記電磁波を、前記信号分離部を介して取り込み、取り込んだ前記電磁波を、出力先を切り替えて出力し、
校正標準用の回路が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を受けて生成する校正用反射波を前記切替スイッチ部に出力し、
前記切替スイッチ部が、前記出力先から戻ってくる前記校正用反射波を前記信号分離部に出力し、
前記センサ部が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を測定対象に照射し、照射して得られる測定対象波として前記切替スイッチ部に出力し、
前記切替スイッチ部が、前記出力先から戻ってくる前記測定対象波を前記信号分離部に出力し、
前記信号分離部が、前記測定対象波と前記校正用反射波とを前記信号受信部に出力し、
前記信号受信部が、前記測定対象波と前記校正用反射波と受信し、
演算部が、前記信号受信部が前記測定対象波と前記校正用反射波と受信して出力する測定値を取り込み、取り込んだ前記校正用反射波に対応する前記測定値に基づいて、取り込んだ前記測定対象の測定値を補正し、
前記信号生成部が、前記切替スイッチ部による出力先の切り替えが行われた後であって、次の切り替えが行われる前に前記電磁波を生成する、
誘電分光計測方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、誘電分光計測装置及び誘電分光計測方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
高齢化が進み、成人病に対する対応が大きな課題になっている。血糖値などの検査は、血液の採取が必要なために患者にとって大きな負担である。そのため、血液を採取しない非侵襲な成分濃度測定装置が注目されている。非侵襲な成分濃度測定装置として、近赤外光などの光学的な手法と比べ生体内での散乱が少ない、１フォトンの持つエネルギーが低い、などの理由からマイクロ波－ミリ波帯の電磁波を用いた手法が提案されている。
【０００３】
マイクロ波－ミリ波帯の電磁波を用いた手法として、例えば、非特許文献１に示される共振構造を用いた手法がある。この手法では、アンテナや共振器などのＱ値の高いデバイスと測定試料を接触させ、共振周波数周辺の周波数特性を測定する。共振周波数は、デバイスの周囲の複素誘電率により決定される。そのため、共振周波数のシフト量と成分濃度との間の相関を予め予測することにより、共振周波数のシフト量から成分濃度を推定することができる。
【０００４】
マイクロ波－ミリ波帯の電磁波を用いた他の手法として、特許文献１に示す誘電分光法が提案されている。誘電分光法は、皮膚内に電磁波を照射し、測定対象である血液成分、例えば、グルコース分子と、水との相互作用に従い、電磁波を吸収させ、電磁波の振幅及び位相を観測する。観測される電磁波の周波数に対する振幅及び位相から、誘電緩和スペクトルを算定することができる。誘電緩和スペクトルは、一般的には、Ｃｏｌｅ－Ｃｏｌｅ式に基づき緩和カーブの線形結合として表現されるため、誘電緩和スペクトルから複素誘電率を算定することができる。
【０００５】
例えば、血液中に含まれるグルコースやコレステロール等の血液成分の量、すなわち成分濃度と、複素誘電率とには相関があることが知られている。複素誘電率の変化に対応して変化する電気信号の振幅及び位相を測定することにより、複素誘電率を測定することが

できる。したがって、生体成分の計測において、複素誘電率の変化と、複素誘電率と成分濃度との相関とを予め測定することによって検量モデルを構築し、構築した検量モデルと、電磁波の周波数に対する振幅及び位相に基づいて算定した誘電緩和スペクトルの変化とから成分濃度の検量を行うことができる。

【０００６】

いずれの手法を用いる場合でも、対象となる成分と相関の強い周波数帯を選定することにより測定感度の向上が期待できる。そのため、あらかじめ広帯域な誘電分光により複素誘電率の変化を測定しておくことは重要である。誘電分光法の中でも、非特許文献２，３に示すような同軸プローブ(Open-ended coaxial probe、または、Open-ended coaxial line）を用いた手法は、測定機の校正に水などの入手が容易な試料を用いることができ、材料の特殊な加工を必要とせずプローブ端面に被測定試料を接触させることで測定試料の複素誘電率を測定することができる。そのため、生体、果実、土壌などの加工を避けた上で電気的特性を評価したい試料の測定に適している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００７】

【文献】特開２０１３－０３２９３３号公報

【非特許文献】

【０００８】

【文献】M. Hofmann, G. Fischer, R. Weigel, and D. Kissinger, “Microwave-Based Noninvasive Concentration Measurements for Biomedical Applications”, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol.61, No.5, pp. 2195-2204，2013

【文献】J P. Grant, R N. Clarke, G T. Symm and N M. Spyrou, “A critical study of the open-ended coaxial line sensor technique for RF and microwave complex permittivity measurements”, J. Phys. E: Sci. Instrum, Vol.22, pp. 757-770, 1989

【文献】T.P. Marsland, and S. Evans, “Dielectric measurements with an open-ended coaxial probe”, IEE Proceedings, Vol. 134, No.4, pp.341-349, 1987

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００９】

例えば、血糖値などの検査を継続的に行う必要のある人に対して、上記の同軸プローブを用いた測定を行うためには、例えば、装置構成をウェアラブル機器などのような小型のセンサ端末装置にして、その人に装着させておくのが望ましいと考えられる。これに対して、従来の同軸プローブを用いて測定を行う装置構成は、例えば、図１１に示すように、同軸プローブ１０１と、マイクロ波の生成や検出が行う汎用の測定装置１０３とを高周波ケーブル１０２で接続する装置構成である。汎用の測定装置１０３の大きさや重さのことを考慮すると、従来の装置構成は、上記のような人に装着させる用途には適していないと言える。

【００１０】

生体に装着できるような小型のセンサ端末装置にするためには、例えば、ディスクリートＩＣ(Integrated Circuit)やＭＭＩＣ(Monolithic Microwave Integrated Circuit)を用いて、図１２に示すように、プリント基板２１１上に、同軸プローブ２１４、マイクロ波を生成する信号生成部２１２、マイクロ波を受信する信号受信部２１５、伝送線路２２１～２２３、方向性結合器などの信号分離部２１３を一体に集積させて測定機２１０を構成することが考えられる。

【００１１】

しかしながら、このような測定機２１０の場合、長時間動作させた際に生じる発熱に起因するプリント基板２１１の電気的特性の変化や、信号生成部２１２のマイクロ波の発振モードの変化に由来する信号変化などが、誤差として測定結果に重畳してドリフトを発生

させてしまうことがある。そのため、精度よく測定対象を連続して測定することが難しいという問題がある。

【００１２】

上記事情に鑑み、本発明は、回路基板を用いて誘電分光測定機を作成して測定対象を測定する際に、ドリフトの影響を低減させて、測定の精度を高めることを可能にする技術の提供を目的としている。

【課題を解決するための手段】

【００１３】

本発明の一態様は、電磁波を生成する信号生成部と、前記電磁波を伝送方向に応じて分離し、分離した前記電磁波を前記伝送方向に対応する出力先に出力する信号分離部と、前記信号生成部が生成する前記電磁波を、前記信号分離部を介して取り込み、取り込んだ前記電磁波を、出力先を切り替えて出力し、前記出力先から戻ってくる前記電磁波を前記信号分離部に出力する切替スイッチ部と、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を測定対象に照射し、照射して得られる測定対象波を前記切替スイッチ部に出力するセンサ部と、校正標準用の回路を備えており、前記回路が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を受けて生成する校正用反射波を前記切替スイッチ部に出力する校正標準部と、前記測定対象波と前記校正用反射波とを前記信号分離部を介して受信する信号受信部と、前記信号受信部が前記測定対象波と前記校正用反射波と受信して出力する測定値を取り込み、取り込んだ前記校正用反射波に対応する前記測定値に基づいて、取り込んだ前記測定対象の測定値を補正する演算部と、を備え、前記信号生成部と、前記信号受信部と、前記切替スイッチ部と、前記センサ部と、前記信号分離部とが、誘電分光測定機として１つの回路基板において形成される、誘電分光計測装置である。

【００１４】

本発明の一態様は、信号生成部と、信号受信部と、切替スイッチ部と、センサ部と、信号分離部とが、誘電分光測定機として１つの回路基板において形成される誘電分光計測装置が行う誘電分光計測方法であって、前記信号生成部が、電磁波を生成し、前記信号分離部が、前記信号生成部が生成した前記電磁波を取り込み、取り込んだ前記電磁波を前記切替スイッチ部に出力し、前記切替スイッチ部が、前記信号生成部が生成する前記電磁波を、前記信号分離部を介して取り込み、取り込んだ前記電磁波を、出力先を切り替えて出力し、校正標準用の回路が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を受けて生成する校正用反射波を前記切替スイッチ部に出力し、前記切替スイッチ部が、前記出力先から戻ってくる前記校正用反射波を前記信号分離部に出力し、前記センサ部が、前記切替スイッチ部が出力する前記電磁波を測定対象に照射し、照射して得られる測定対象波として前記切替スイッチ部に出力し、前記切替スイッチ部が、前記出力先から戻ってくる前記測定対象波を前記信号分離部に出力し、前記信号分離部が、前記測定対象波と前記校正用反射波とを前記信号受信部に出力し、前記信号受信部が、前記測定対象波と前記校正用反射波と受信し、演算部が、前記信号受信部が前記測定対象波と前記校正用反射波と受信して出力する測定値を取り込み、取り込んだ前記校正用反射波に対応する前記測定値に基づいて、取り込んだ前記測定対象の測定値を補正する、誘電分光計測方法である。

【発明の効果】

【００１５】

本発明により、回路基板を用いて誘電分光測定機を作成して測定対象を測定する際に、ドリフトの影響を低減させて、測定の精度を高めることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【００１６】

【図１】本発明の実施形態における誘電分光計測装置の構成を示すブロック図である。

【図２】本発明の実施形態における誘電分光計測装置の校正標準部が備える開放の回路の構成を示すブロック図である。

【図３】本発明の実施形態における誘電分光計測装置の校正標準部が備える短絡の回路の構成を示すブロック図である。

【図４】本発明の実施形態における誘電分光計測装置の校正標準部が備える終端の回路の構成を示すブロック図である。
【図５】本発明の実施形態における誘電分光計測装置による処理の流れを示すフローチャートである。
【図６】１ポート測定の場合におけるＳパラメータ及びエラータームモデルを示す図である。
【図７】本発明の実施形態における誘電分光計測装置の他の構成例（その１）を示すブロック図である。
【図８】本発明の実施形態における誘電分光計測装置の他の構成例（その２）を示すブロック図である。
【図９】本発明の実施形態における誘電分光計測装置の他の構成例（その２）において校正標準として短絡の回路を用い、測定対象を空気として測定を実施した結果を示すグラフである。
【図１０】本発明の実施形態における誘電分光計測装置の他の構成例（その２）において校正標準として短絡の回路を用い、測定対象をグルコース水溶液として測定を実施した結果を示すグラフである。
【図１１】従来の同軸プローブを用いて測定を行う装置の装置構成を示すブロック図である。
【図１２】回路基板上に同軸プローブを用いて測定を行う装置を形成した場合の装置構成を示すブロック図である。
【発明を実施するための形態】
【００１７】
以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。
図１は、本発明の一実施形態における誘電分光計測装置１の構成を示すブロック図である。誘電分光計測装置１は、誘電分光測定機１０と、信号処理装置３０とを備える。誘電分光測定機１０は、回路基板１１、信号生成部１２、信号分離部１３、切替スイッチ部１４、センサ部１５、校正標準部１６、信号受信部１７及び伝送線路４１～４７を備える。回路基板１１において、信号生成部１２、信号分離部１３、切替スイッチ部１４、センサ部１５、校正標準部１６、信号受信部１７及び伝送線路４１～４７が集積して形成されている。
【００１８】
回路基板１１としては、例えば、プリント基板、セラミック基板、半導体回路基板などが適用される。信号生成部１２は、電磁波の発振器であり、例えば、電圧制御発振器（ＶＣＯ：Voltage-Controlled Oscillator）、フェーズドロックループ（ＰＬＬ：Phased Locked Loop）、ガンダイオード、トンネルダイオード、誘電体共振器などの個体発振器が適用される。信号生成部１２は、マイクロ波やミリ波などの電磁波を生成する。信号受信部１７は、マイクロ波やミリ波などの電磁波を受信する受信機である。信号受信部１７は、例えば、ショットキーバリアダイオード、ＩＱ(In-Phase, Quadrature-Phase)ミキサなどが適用される。
【００１９】
信号分離部１３は、例えば、方向性結合器やサーキュレータである。信号分離部１３は、伝送線路４４を介して信号生成部１２に接続し、伝送線路４５を介して信号受信部１７に接続し、伝送線路４６を介して切替スイッチ部１４に接続している。信号分離部１３は、伝送線路４４、４６から取り込む電磁波を伝送方向に応じて分離し、分離した電磁波を伝送方向に対応する出力先に出力する。より詳細には、信号分離部１３は、伝送線路４４を伝搬する電磁波を取り込むと、取り込んだ電磁波を伝送線路４５には出力せずに伝送線路４６のみに出力する。信号分離部１３は、伝送線路４６を伝搬する電磁波を取り込むと、取り込んだ電磁波を伝送線路４４には出力せずに伝送線路４５のみに出力する。
【００２０】
切替スイッチ部１４は、電磁波の出力先を切り替える１入力４出力のスイッチである。

切替スイッチ部１４は、例えば、半導体型スイッチ、ＭＥＭＳ（Micro Electro Mechanical Systems)型スイッチが適用される。切替スイッチ部１４は、伝送線路４６を、伝送線路４１，４２，４３，４７のいずれか１つに切り替えて接続することにより、伝送線路４６を伝搬する信号生成部１２が生成した電磁波の出力先を切り替え、出力先から戻ってくる電磁波を伝送線路４６に出力する。

【００２１】

センサ部１５は、例えば、同軸プローブなどの反射型のセンサであり、測定対象に接触させて用いられる。センサ部１５は、伝送線路４７を介して切替スイッチ部１４に接続し、信号生成部１２が生成して出力する電磁波を、信号分離部１３及び切替スイッチ部１４を介して取り込む。センサ部１５は、取り込んだ電磁波を測定対象となる被測定物質に対して照射する。ここで、測定対象となる被測定物質とは、気体、液体、または、固体の試料であり、例えば、生体、果実、木材や石材などの材料、土壌、水、水溶液、空気などである。センサ部１５は、照射した電磁波を受けて被測定物質が反射する反射波及び照射した電磁波が被測定物質を透過した後の透過波のいずれか存在する方、または、両方が存在する場合には両方を測定対象波として取り込む。センサ部１５は、例えば、上記した同軸プローブなどの同軸型センサの他、誘電分光計測装置１の用途に応じて設計したアンテナ、スプリットリング共振器（ＳＲＲ：Split-Ring Resonator）などであってもよい。

【００２２】

校正標準部１６は、測定時刻における回路基板１１の特性を検出する校正標準用の回路２１，２２，２３を備える。校正標準用の回路２１，２２，２３とは、各々に接続する伝送線路４１，４２，４３の先端に形成される回路のことであり、それぞれ電気回路的な開放、短絡、終端の３種類の回路である。以下、図２～図４を参照しつつ、回路２１，２２，２３の詳細な構成について説明する。なお、図２～図４の（Ａ），（Ｂ），（Ｃ）の図は、それぞれ側面図、正面図、平面図であり、図２～図４において、図１と同一の構成については、同一の符号を付している。図２～図４において、符号５０で示す部分は、回路基板１１の裏面のグランド電極である。

【００２３】

図２は、開放の回路である回路２１の構成を示す図である。回路２１は、図２（Ｃ）において符号４１ｔｉｐにより示す伝送線路４１の先端が、開放状態の回路である。回路２１は、開放状態であるため、伝送線路４１の先端に電磁波が到達すると反射係数が「１」の反射が生じ、到達した電磁波と同一の電磁波が、逆方向、すなわち切替スイッチ部１４の方向に向かって伝送線路４１を伝搬することになる。

【００２４】

図３は、短絡の回路である回路２２の構成を示す図である。図３（Ａ）～（Ｃ）に示すように、電気を導通するピア５５によって伝送線路４２の先端が、回路基板１１のグランド電極５０に接続されることにより、短絡状態の回路が形成される。回路２２は、短絡状態であるため、伝送線路４２の先端に電磁波が到達すると反射係数が「－１」の反射が生じ、到達した電磁波と電圧の符号が逆になった電磁波が、逆方向、すなわち切替スイッチ部１４の方向に向かって伝送線路４２を伝搬することになる。

【００２５】

図４は、終端の回路である回路２３の構成を示す図である。図４（Ａ）～（Ｃ）に示すように、伝送線路４３の先端にチップ型抵抗素子５６が接続されることにより、終端状態の回路が形成される。チップ型抵抗素子５６の抵抗値は、伝送線路４６を伝送線路４３に接続した場合の特性インピーダンスと同一になるように予め定められている。チップ型抵抗素子５６の抵抗値が、伝送線路４６を伝送線路４３に接続した場合の特性インピーダンスと同一であるため、伝送線路４３の先端に電磁波が到達すると、反射係数が「０」の反射、すなわち反射が生じないことになる。

【００２６】

なお、以下では、センサ部１５が取り込んで伝送線路４７に出力する電磁波である測定対象波と区別するため、回路２１，２２が反射によって生成する反射波のことを校正用反

射波という。回路２３においては、反射は生じないが、説明の便宜上、回路２３が反射によって電圧値及び電流値が「０」の反射波を生成しているものとし、この反射波を回路２１，２２の場合と同様に校正用反射波という。

【００２７】

伝送線路４１～４７は、電磁波を伝送する線路であり、例えば、マイクロストリップ線路（ＭＳＬ：Microstrip Line)、コプレーナ線路（ＣＰＷ：Coplanar Waveguide）、グランド付きコプレーナ線路(ＧＣＰＷ：Grounded Coplanar Waveguide)、コプレーナストリップ（ＣＰＳ：Coplanar Strip）などが適用される。

【００２８】

なお、電磁波における測定対象の周波数、または、測定対象の周波数帯域の中心周波数が予め定められている場合、切替スイッチ部１４と、校正標準部１６とを接続する伝送線路４１，４２，４３の伝送線路長及び切替スイッチ部１４と、センサ部１５とを接続する伝送線路４７の伝送線路長を設計する際、伝送線路長を次式（１）に示す長さにして、伝送線路４１，４２，４３，４７の伝送線路長に起因して生じる反射波の影響を低減させるようにしてもよい。

【００２９】

【数１】

$$L = \frac{n\lambda_e}{4} \qquad \cdots (1)$$

【００３０】

上記式（１）において、Ｌは、伝送線路長であり、λｅは、電磁波における実効波長であり、測定対象の周波数、または、測定対象の周波数帯域の中心周波数の逆数である。式（１）において、ｎは、１以上の整数であり、任意に定められる。

【００３１】

信号処理装置３０は、制御部３１、演算部３２及び表示部３３を備える。制御部３１は、信号生成部１２、切替スイッチ部１４及び信号受信部１７の各々に、電気信号を伝送する制御回線を介して接続する。制御部３１は、信号生成部１２に対して、電磁波の生成を開始させることを指示する生成開始指示信号と、電磁波の生成を終了させることを指示する生成終了指示信号とを出力する。制御部３１は、切替スイッチ部１４に対して伝送線路４６の接続先を、伝送線路４１，４２，４３，４７のいずれか１つに切り替えさせることを指示する切替指示信号を出力する。制御部３１は、信号受信部１７に対して、電磁波の受信を開始させることを指示する受信開始指示信号と、電磁波の受信を終了させることを指示する受信終了指示信号とを出力する。

【００３２】

演算部３２は、データ収集部３５と、算出部３６とを備える。データ収集部３５は、信号受信部１７に、電気信号を伝送する制御回線を介して接続する。データ収集部３５は、信号受信部１７がセンサ部１５からの測定対象波及び校正標準部１６の回路２１，２２，２３の各々からの校正用反射波を受信して出力する電気信号の測定値を取り込む。

【００３３】

算出部３６は、データ収集部３５が取り込んだ回路２１，２２，２３の各々に対応する校正用反射波に対応する測定値と、既知である回路２１，２２，２３の各々に対応する真値とに基づいて、いわゆるＯＳＬ(Open/Short/Load)校正を実施し、データ収集部３５が取り込んだ被測定物質の測定値を補正して、被測定物質の真値を算出する演算を行う。ここで、回路２１，２２，２３の各々に対応する真値とは、上記した回路２１，２２，２３の各々の反射係数「１」，「－１」，「０」である。なお、算出部３６は、内部の記憶領域に回路２１，２２，２３の各々に対応する真値を予め記憶させている。表示部３３は、算出部３６が算出する被測定物質の補正後の測定値を表示する。

【００３４】

信号処理装置３０は、例えば、パーソナルコンピュータやマイコンで構成されており、演算部３２の算出部３６は、例えば、高分解能なＡＤＣ(Analog Digital Converter)、ＦＰＧＡ(Field Programmable Gate Array)、ＤＳＰ(Digital Signal Processor)などが適宜併用され、用途に適した精度や演算速度が得られるように構成される。

【００３５】

（誘電分光計測装置による処理）

図５は、誘電分光計測装置１による処理の流れを示すフローチャートである。センサ部１５は、予め測定対象である被測定物質に接触させているものとする。制御部３１は、内部に時計などの計時手段を備えており、計時手段が示す時刻が、予め定められる測定時刻になると信号生成部１２に対して生成開始指示信号を出力し、信号受信部１７に対して受信開始指示信号を出力する。信号生成部１２は、制御部３１から生成開始指示信号を受けると電磁波を生成して伝送線路４４に出力する。信号受信部１７は、制御部３１から受信開始指示信号を受けると、伝送線路４５からの電磁波の取り込みを開始する（ステップＳ１）。

【００３６】

制御部３１は、生成開始指示信号と、受信開始指示信号とを出力した後、切替スイッチ部１４に対して、伝送線路４６を、校正標準部１６の回路２１に接続させる切替指示信号を出力する。切替スイッチ部１４は、制御部３１から校正標準部１６の回路２１に接続させる切替指示信号を受けると、伝送線路４６の接続先の切り替えを行い、伝送線路４６と伝送線路４１とを接続する（ステップＳ２）。

【００３７】

信号生成部１２が生成して伝送線路４４に出力した電磁波は、伝送線路４４を伝搬し、信号分離部１３に到達する。信号分離部１３は、到達した電磁波を取り込み、取り込んだ電磁波を伝送線路４６に出力する。伝送線路４６を伝搬する電磁波は、切替スイッチ部１４を経由して伝送線路４１を伝搬する。回路２１は、開放状態の回路であるため、伝送線路４１の先端において電磁波が反射係数「１」で反射し、反射した電磁波である校正用反射波が伝送線路４１を逆方向に伝搬する。

【００３８】

伝送線路４１を伝搬する校正用反射波は、切替スイッチ部１４を経由して伝送線路４６を伝搬し、信号分離部１３に到達する。信号分離部１３は、到達した校正用反射波を取り込み、取り込んだ校正用反射波を伝送線路４５に出力する。校正用反射波は、伝送線路４５を伝搬し、信号受信部１７に到達する。

【００３９】

信号受信部１７は、到達した校正用反射波を取り込み、取り込んだ校正用反射波を電気信号の測定値に変換する。この測定値は、Ｓパラメータの中のＳ１１パラメータを示すことになる。信号受信部１７は、変換した測定値をデータ収集部３５に出力する。データ収集部３５は、信号受信部１７が出力する測定値を取り込む（ステップＳ３）。これにより、データ収集部３５は、回路２１に対応する測定値、すなわち回路２１の場合のＳ１１パラメータを取得することになる。

【００４０】

制御部３１は、校正標準部１６の回路２１に接続させる切替指示信号を出力した後、予め定められる一定の時間が経過すると、切替スイッチ部１４に対して、伝送線路４６を、校正標準部１６の回路２２に接続させる切替指示信号を出力する。切替スイッチ部１４は、制御部３１から校正標準部１６の回路２２に接続させる切替指示信号を受けると、伝送線路４６の接続先の切り替えを行い、伝送線路４６と伝送線路４２とを接続する（ステップＳ４）。

【００４１】

信号生成部１２が生成して伝送線路４４に出力した電磁波は、伝送線路４４を伝搬し、信号分離部１３に到達する。信号分離部１３は、到達した電磁波を取り込み、取り込んだ電磁波を伝送線路４６に出力する。伝送線路４６を伝搬する電磁波は、切替スイッチ部１

４を経由して伝送線路４２を伝搬する。回路２１は、短絡状態の回路であるため、伝送線路４２の先端において電磁波が反射係数「－１」で反射し、反射した電磁波である校正用反射波が伝送線路４２を逆方向に伝搬する。

【００４２】

伝送線路４２を伝搬する校正用反射波は、切替スイッチ部１４を経由して伝送線路４６を伝搬し、信号分離部１３に到達する。信号分離部１３に到達した後は、ステップＳ３の場合と同様である（ステップＳ５）。これにより、データ収集部３５は、回路２２に対応する測定値、すなわち回路２２の場合のＳ１１パラメータを取得することになる。

【００４３】

制御部３１は、校正標準部１６の回路２２に接続させる切替指示信号を出力した後、予め定められる一定の時間が経過すると、切替スイッチ部１４に対して、伝送線路４６を、校正標準部１６の回路２３に接続させる切替指示信号を出力する。切替スイッチ部１４は、制御部３１から校正標準部１６の回路２３に接続させる切替指示信号を受けると、伝送線路４６の接続先の切り替えを行い、伝送線路４６と伝送線路４３とを接続する（ステップＳ６）。

【００４４】

信号生成部１２が生成して伝送線路４４に出力した電磁波は、伝送線路４４を伝搬し、信号分離部１３に到達する。信号分離部１３は、到達した電磁波を取り込み、取り込んだ電磁波を伝送線路４６に出力する。伝送線路４６を伝搬する電磁波は、切替スイッチ部１４を経由して伝送線路４３を伝搬する。回路２３は、終端状態の回路であるため、伝送線路４３の先端において電磁波が反射係数「０」で反射し、反射した電磁波である校正用反射波が伝送線路４３を逆方向に伝搬する。

【００４５】

伝送線路４３を伝搬する校正用反射波は、切替スイッチ部１４を経由して伝送線路４６を伝搬し、信号分離部１３に到達する。信号分離部１３に到達した後は、ステップＳ３の場合と同様である（ステップＳ７）。これにより、データ収集部３５は、回路２３に対応する測定値、すなわち回路２３の場合のＳ１１パラメータを取得することになる。

【００４６】

制御部３１は、校正標準部１６の回路２３に接続させる切替指示信号を出力した後、予め定められる一定の時間が経過すると、切替スイッチ部１４に対して、伝送線路４６を、センサ部１５に接続させる切替指示信号を出力する。切替スイッチ部１４は、制御部３１からセンサ部１５に接続させる切替指示信号を受けると、伝送線路４６の接続先の切り替えを行い、伝送線路４６と伝送線路４７とを接続する（ステップＳ８）。

【００４７】

信号生成部１２が生成して伝送線路４４に出力した電磁波は、伝送線路４４を伝搬し、信号分離部１３に到達する。信号分離部１３は、到達した電磁波を取り込み、取り込んだ電磁波を伝送線路４６に出力する。伝送線路４６を伝搬する電磁波は、切替スイッチ部１４を経由して伝送線路４７を伝搬し、センサ部１５に到達する。センサ部１５は、到達した電磁波を取り込み、センサ部１５に接触する被測定物質に対して、取り込んだ電磁波を照射する。

【００４８】

センサ部１５は、照射した電磁波を受けて被測定物質が反射する反射波及び照射した電磁波が被測定物質を透過した後の透過波のいずれか存在する方、または、両方が存在する場合には両方を測定対象波として取り込む。センサ部１５は、取り込んだ測定対象波を伝送線路４７に出力する。伝送線路４７を伝搬する測定対象波は、切替スイッチ部１４を経由して伝送線路４６を伝搬し、信号分離部１３に到達する。信号分離部１３は、到達した測定対象波を取り込み、取り込んだ測定対象波を伝送線路４５に出力する。測定対象波は、伝送線路４５を伝搬し、信号受信部１７に到達する。

【００４９】

信号受信部１７は、到達した測定対象波を取り込み、取り込んだ測定対象波を電気信号

の測定値に変換する。信号受信部１７は、変換した測定値をデータ収集部３５に出力する。データ収集部３５は、信号受信部１７が出力する測定値を取り込む（ステップＳ９）。これにより、データ収集部３５は、測定対象に対応する測定値、すなわち測定対象の場合のＳ１１パラメータを取得することになる。

【００５０】

制御部３１は、センサ部１５に接続させる切替指示信号を出力した後、予め定められる一定の時間が経過すると、信号生成部１２に対して生成終了指示信号を出力し、信号受信部１７に受信終了指示信号を出力する。信号生成部１２は、制御部３１から生成終了指示信号を受けると電磁波の生成を終了する。信号受信部１７は、制御部３１から受信終了指示信号を受けると伝送線路４５からの電磁波の取り込みを終了する（ステップＳ１０）。

【００５１】

なお、上記のステップＳ４、Ｓ６，Ｓ８，Ｓ１０において、制御部３１が、処理を開始するタイミングとしている予め定められる一定の時間の長さは、切替指示信号を出した後、データ収集部３５が新たな測定値を取得するまでに要する時間以上の長さであり、データ収集部３５が確実に新たな測定値を取得できるような十分な長さが予め定められる。制御部３１は、例えば、当該一定の時間が設定されたタイマを内部に備えており、切替指示信号を出力する際にタイマを起動し、タイマが満了すると、次の処理を開始する。

【００５２】

データ収集部３５は、取得した回路２１の場合のＳ１１パラメータ、回路２２の場合のＳ１１パラメータ、回路２３の場合のＳ１１パラメータ及び測定対象の場合のＳ１１パラメータを算出部３６に出力する。データ収集部３５は、算出部３６がどの場合のＳ１１パラメータであるかを特定できるように、例えば、Ｓ１１パラメータの各々に識別情報を付与して算出部３６に出力してもよいし、予め定められた順番で出力するようにしてもよい。算出部３６は、データ収集部３５が出力する回路２１，２２，２３及び測定対象の各々の場合のＳ１１パラメータを取り込む。

【００５３】

算出部３６は、内部の記憶領域が記憶する回路２１，２２，２３の各々に対応する真値と、取り込んだ回路２１，２２，２３の各々の場合のＳ１１パラメータとに基づいて、回路基板１１の温度による電気的特性の変化や、信号生成部１２の発振モードの変化に由来する信号変化などによって生じる測定誤差を算出する。

【００５４】

ここで、１ポート測定の場合に生じる測定誤差について、図６を参照しつつ説明する。図６（Ａ）は、１ポート測定の場合のＳパラメータを示す図であり、符号７０は、測定対象である被測定物質、または、校正標準用の回路２１，２２，２３の位置を示している。図６（Ｂ）は、１ポート測定の場合の測定誤差の要因をエラータームモデルで表記した図である。図６（Ｂ）において、「ｍｅａｎｓが、測定値、すなわち算出部３６が取り込んだＳ１１パラメータであって測定により得られる反射係数である。図６（Ｂ）において、「ｓｅｎｓが、反射係数の真値であり、E_D，E_S，E_Rが、測定誤差の要因となるエラータームである。

【００５５】

以下の参考文献に示されるように、「ｍｅａｎｓと、「ｓｅｎｓとの関係は、E_D，E_S，E_Rを用いて次式（２）として表すことができる。

【００５６】

［参考文献：Andrej Rumiantsev, N.M. Ridler, ”VNA Calibration”, IEEE Microwave Magazine, IEEE Xplore, Volume9, No.3, pp86-99, June 2008］

【００５７】

【数２】

$$\Gamma_{sens} = \frac{\Gamma_{means} - E_D}{E_S(\Gamma_{means} - E_D) + E_R} \quad \cdots (2)$$

【００５８】
例えば、「ｍｅａｎｓ（開放）を、回路２１の場合のＳ１１パラメータとし、「ｓｅｎｓ（開放）を、回路２１に対応する真値、すなわち「１」とする。「ｍｅａｎｓ（短絡）を、回路２２の場合のＳ１１パラメータとし、「ｓｅｎｓ（短絡）を、回路２２に対応する真値、すなわち「－１」とする。「ｍｅａｎｓ（終端）を、回路２３の場合のＳ１１パラメータとし、「ｓｅｎｓ（終端）を、回路２３に対応する真値、すなわち「０」とする。
【００５９】
算出部３６は、「ｍｅａｎｓ（開放）と「ｓｅｎｓ（開放）の組み合わせと、「ｍｅａｎｓ（短絡）と「ｓｅｎｓ（短絡）の組み合わせと、「ｍｅａｎｓ（終端）と「ｓｅｎｓ（終端）の組み合わせとの各々に対して式（２）に適用した３つの式に基づいて、E_D，E_S，E_Rを算出する（ステップＳ１１）。
【００６０】
算出部３６は、取り込んだ測定対象の場合のＳ１１パラメータを「ｍｅａｎｓ（測定対象）とし、「ｍｅａｎｓ（測定対象）と、算出したE_D，E_S，E_Rとを式（２）に代入して、測定対象の場合の真値、すなわち被測定物質の反射係数の真値「ｓｅｎｓを算出することにより、測定対象の場合のＳ１１パラメータを補正する（ステップＳ１２）。
【００６１】
なお、図６（Ｂ）に示すエラータームモデルは、同一の伝送線路上に存在するエラータームをモデル化したものである。そのため、切替スイッチ部１４により伝送線路４６の接続先が切り替えられると、切替スイッチ部１４の内部の経路長の違いによって生じる接続先ごとの伝送損失や位相差の違い、及び、回路２１～２３の各々に至る伝送線路４１～４３の各々と、センサ部１５に至る伝送線路４７との伝送線路長の違いによって生じる伝送損失や位相差の違いにより、E_D，E_S，E_Rぇにおいて誤差が生じる可能性がある。
【００６２】
この誤差を取り除くため、事前に、回路２１，２２，２３の各々の場合において生じる誤差をデータとして算出して、算出部３６の内部の記憶領域に記憶させておく。回路２１，２２，２３の各々の場合において生じる誤差を示すデータは、シミュレーションにより算出してもよいし、以下のような手段により求めるようにしてもよい。例えば、伝送線路４７からセンサ部１５を取り外し、代わりに回路２１，２２，２３の各々を取り換えて伝送線路４７に接続して測定を行う。回路２１を伝送線路４７に接続した場合の測定値と、伝送線路４１に回路２１を接続した場合の測定値との差分と、回路２２を伝送線路４７に接続した場合の測定値と、伝送線路４２に回路２２を接続した場合の測定値との差分と、回路２３を伝送線路４７に接続した場合の測定値と、伝送線路４３に回路２３を接続した場合の測定値との差分とを算出し、算出した差分の各々を、回路２１，２２，２３の各々の場合において生じる誤差を示すデータとしてもよい。
【００６３】
算出部３６は、ステップＳ１２の演算を行う際に、内部の記憶領域が記憶する回路２１，２２，２３の各々の場合において生じる誤差を示すデータに基づいて、誤差を補正しつつ被測定物質の反射係数の真値「ｓｅｎｓを算出する。これにより、算出部３６は、より精度の高い被測定物質の反射係数の真値「ｓｅｎｓを算出することができる。
【００６４】
算出部３６は、ステップＳ１２の補正の処理により算出した被測定物質の反射係数の真値「ｓｅｎｓに基づいて、例えば、同軸プローブ法により被測定物質の複素誘電率を算出する。算出部３６は、算出した被測定物質の複素誘電率を表示部３３に出力して表示させ（ステップＳ１３）、処理を終了する。

【００６５】
例えば、センサ部１５として同軸型センサである同軸プローブを適用した場合には、次式（３），（４）に基づいて被測定物質の複素誘電率を算出することができる。
【００６６】
【数３】

$$\frac{(\rho_m-\rho_1)(\rho_3-\rho_2)}{(\rho_m-\rho_2)(\rho_1-\rho_3)}=\frac{(y_m-y_1)(y_3-y_2)}{(y_m-y_2)(y_1-y_3)} \qquad \cdots(3)$$

【００６７】
【数４】

$$y_i=\varepsilon_i+\frac{G_0}{j\omega C_0}\varepsilon_i^{5/2} \qquad \cdots(4)$$

【００６８】
式（３）において、ρの添え字が１～３の場合、すなわちρ１，ρ２，ρ３は、それぞれ回路２１，２２，２３の場合の反射係数の真値、すなわち「１」，「－１」，「０」である。ρｍは、算出部３６が算出した被測定物質の反射係数の真値である。
【００６９】
式（４）において添え字ｉは、ｉ＝１，２，３，ｍである。式（３），（４）において、ｙの添え字が１～３の場合、すなわちｙ１，ｙ２，ｙ３は、それぞれ回路２１，２２，２３の場合のアドミタンスの線形写像である。ｙｍは、被測定物質のアドミタンスの線形写像である。式（４）において、εの添え字が１～３の場合、すなわちε１，ε２，ε３は、それぞれ回路２１，２２，２３の場合の複素誘電率である。εｍは、被測定物質の複素誘電率である。Ｇ０は、真空中のセンサ部１５のコンダクタンスであり、Ｃ０は、真空中のセンサ部１５のキャパシタンスであり、ωは、２π／λｅである。λｅは、式（１）において説明したように、電磁波における測定周波数、または、測定周波数帯域の中心周波数の逆数である実行波長である。
【００７０】
センサ部１５に同軸プローブを適用した場合、同軸プローブの端面からの放射は、同軸プローブ端面の容量成分より小さいのでωＣ０≫Ｇ０となる。そのため、式（４）の右辺の第２項のＧ０／ｊωＣ０は、０に近似できる。回路２２の場合、短絡状態となるため、ｙ２は、無限大に近似できる。これにより、式（３），（４）を次式（５），（６），（７）に変形することができる。
【００７１】
【数５】

$$y_m=-\left(\frac{\Delta_{m_1}\Delta_{3_2}}{\Delta_{m_2}\Delta_{1_3}}y_3+\frac{\Delta_{m_3}\Delta_{2_1}}{\Delta_{m_2}\Delta_{1_3}}y_1\right) \qquad \cdots(5)$$

【００７２】
【数６】

$$y_i=\begin{cases}\varepsilon_i & (i=1,3,m)\\ \infty & (i=2)\end{cases} \qquad \cdots(6)$$

【００７３】
【数７】

$$\Delta_{i_j} = \rho_i - \rho_j \qquad \cdots (7)$$

【００７４】
式（６）を式（５）に代入することにより、次式（８）が導かれる。
【００７５】
【数８】

$$\varepsilon_m = -\left(\frac{\Delta_{m_1}\Delta_{3_2}}{\Delta_{m_2}\Delta_{1_3}}\varepsilon_3 + \frac{\Delta_{m_3}\Delta_{2_1}}{\Delta_{m_2}\Delta_{1_3}}\varepsilon_1\right) \qquad \cdots (8)$$

【００７６】
回路２１に対応する複素誘電率ε１と、回路２３に対応する複素誘電率ε３は、既知であるため、算出部３６は、式（８）にρ１、ρ２、ρ３、ρｍを代入することで、被測定物質の複素誘電率εｍを算出することができる。
【００７７】
上記の実施形態の誘電分光計測装置１において、信号生成部１２は、電磁波を生成する。信号分離部１３は、電磁波を伝送方向に応じて分離し、分離した電磁波を伝送方向に対応する出力先に出力する。切替スイッチ部１４は、信号生成部１２が生成する電磁波を、信号分離部１３を介して取り込み、取り込んだ電磁波を、出力先を切り替えて出力し、出力先から戻ってくる電磁波を信号分離部１３に出力する。センサ部１５は、切替スイッチ部１４が出力する電磁波を測定対象に照射し、照射して得られる測定対象波を切替スイッチ部に出力する。校正標準部１６は、校正標準用の回路２１，２２，２３を備えており、回路２１，２２，２３が、切替スイッチ部１４が出力する電磁波を受けて生成する校正用反射波を切替スイッチ部１４に出力する。信号受信部１７は、測定対象波と校正用反射波とを信号分離部１３を介して受信する。演算部３２は、信号受信部１７が測定対象波と校正用反射波と受信して出力する測定値を取り込み、取り込んだ校正用反射波に対応する測定値に基づいて、取り込んだ測定対象の測定値を補正する。信号生成部１２と、信号受信部１７と、切替スイッチ部１４と、センサ部１５と、信号分離部１３とは、誘電分光測定機１０として１つの回路基板１１において形成される。
【００７８】
これにより、誘電分光計測装置１は、測定対象である被測定物質を測定する前に、切替スイッチ部１４により校正標準部１６が備える回路２１～２３に接続し、回路２１～２３を接続した際に得られる測定値と、既知である回路２１～２３の真値とに基づいて、エラータームＥＤ，ＥＳ，ＥＲを算出することができる。誘電分光計測装置１は、算出したエラータームＥＤ，ＥＳ，ＥＲに基づいて、被測定物質を測定した際に得られる測定値を補正して被測定物質の真値、すなわち、被測定物質の反射係数の真値を算出することができる。
【００７９】
連続して測定する際には、上記の図５に示したステップＳ１～Ｓ１２の処理を測定ごとに繰り返し行うことになり、予め定められる複数の測定時刻ごとに得られる回路２１～２３を接続した際の測定値に基づいて、被測定物質の測定値を随時補正することができる。そのため、連続測定時の際に生じる回路基板１１の温度変化による回路基板１１の電気的特性の変化や、信号生成部１２の発振モードの変化に由来する信号変化などによって生じるドリフトの影響を低減させた安定した測定を行うことが可能になる。したがって、回路基板１１を用いて誘電分光測定機１０を構成することで、例えば、測定対象が人である場合、生体に装着することができる小型の装置を実現することができ、連続して測定対象を測定する等、長時間にわたり測定を行う際に、ドリフトの影響を低減させて、測定の精度

を高めることが可能となる。なお、予め定められる複数の測定時刻は、ランダムな時刻であってもよいし、一定間隔の時刻であってもよい。

【００８０】

上記の誘電分光計測装置１では、算出部３６が、被測定物質の真値である補正されたＳ１１パラメータ、すなわち被測定物質の反射係数の真値に基づいて、被測定物質の複素誘電率を算出している。これに対して、算出部３６は、被測定物質の反射係数の真値に基づいて、被測定物質の複素誘電率ではなく、被測定物質の特性の定量化などを行うようにしてもよい。

【００８１】

上記の図５に示したフローチャートでは、制御部３１は、ステップＳ１において、信号生成部１２に対して生成開始指示信号を出力するようにしている。これに対して、制御部３１は、ステップＳ１において、信号生成部１２に対して生成開始指示信号を出力せずに、切替スイッチ部１４に対して切替指示信号を出力した後、すなわち、ステップＳ２とステップＳ３の間、ステップＳ４とステップＳ５の間、ステップＳ６とステップＳ７の間、ステップＳ８とステップＳ９の間に生成開始指示信号を信号生成部１２に出力し、ステップＳ４，Ｓ６，Ｓ８において、切替スイッチ部１４に対して次の切替指示信号を出力する前に、生成終了指示信号を信号生成部１２に出力するようにしてもよい。これにより、切替スイッチ部１４が、伝送線路４６の接続先を切り替える間は、信号生成部１２は電磁波を生成して伝送線路４４に出力しないようにすることができるので、切替スイッチ部１４が切り替えを行う間に、切り替えの際に生じるノイズを含んだ電磁波を信号受信部１７に受信させないようにすることができる。

【００８２】

上記の図５に示したフローチャートでは、制御部３１は、ステップＳ１０において、信号生成部１２に対して生成終了指示信号を出力し、信号受信部１７に受信終了指示信号を出力するようにしている。これに対して、連続して測定を行う場合には、ステップＳ１０の処理を行わず、ステップＳ１３の処理の後、引き続き、ステップＳ２からの処理が行われるようにし、ステップＳ１０の処理は、制御部３１が利用者の操作を受けて任意のタイミングで行うようにしてもよい。

【００８３】

上記の図５に示したフローチャートにおいて、回路２１に接続してＳ１１パラメータの測定を行うステップＳ２，Ｓ３の処理、短絡状態の回路２２に接続してＳ１１パラメータの測定を行うステップＳ４，Ｓ５の処理及び終端状態の回路２３に接続してＳ１１パラメータの測定を行うステップＳ６，Ｓ７の処理の順番については、開放、短絡、終端の順に限られるものではなく、順番を入れ替えて行うようにしてもよい。上記の図５に示したフローチャートでは、ステップＳ２～Ｓ７の処理の後に、センサ部１５に関するステップＳ８，Ｓ９の処理を行っているが、ステップＳ１とステップＳ２の間、ステップＳ３とステップＳ４の間、ステップＳ５とステップＳ６の間のいずれか１つの間において、ステップＳ８，Ｓ９の処理を行うようにしてもよい。

【００８４】

（誘電分光計測装置の他の構成例：その１）

図７は、誘電分光計測装置１の他の構成例である誘電分光計測装置１ａの構成を示すブロック図である。誘電分光計測装置１ａにおいて、誘電分光計測装置１と同一の構成については同一の符号を付し、以下、異なる構成について説明する。

【００８５】

誘電分光計測装置１ａは、誘電分光測定機１０ａと、信号処理装置３０とを備える。誘電分光測定機１０ａは、回路基板１１ａ、信号生成部１２、信号分離部１３、切替スイッチ部１４、センサ部１５、信号受信部１７、伝送線路４１～４７、高周波コネクタ６１，６２，６３及び校正標準部１６を備える。回路基板１１ａにおいて、信号生成部１２、信号分離部１３、切替スイッチ部１４、センサ部１５、信号受信部１７、伝送線路４１～４７及び高周波コネクタ６１，６２，６３が集積して形成されている。

【００８６】
高周波コネクタ６１，６２，６３として、例えば、ＳＭＡ(Subminiature version A)、ＳＭＫ（２．９２mmコネクタ）、ＳＭＶ（１．８５mmコネクタ）、ＳＭＰ(Subminiature Push-on)、ＳＭＰＭ(Subminiature Push-on Micro)などが適用される。校正標準部１６が備える回路２１，２２，２３は、それぞれ高周波コネクタ６１，６２，６３に接続する。これにより、回路基板１１ａと、校正標準部１６とを着脱することが可能になる。なお、誘電分光計測装置１ａが処理は、図５に示した誘電分光計測装置１が行う処理と同一の処理が行われる。
【００８７】
なお、誘電分光計測装置１ａにおいて、伝送線路４１，４２，４３の伝送線路長を上記した式（１）に基づいて設計する際には、高周波コネクタ６１，６２，６３を含む伝送線路長を考慮して、伝送線路４１，４２，４３の伝送線路長を設計する必要がある。
【００８８】
（誘電分光計測装置の他の構成例：その２）
図８は、誘電分光計測装置１の他の構成例である誘電分光計測装置１ｂの構成を示すブロック図である。誘電分光計測装置１ｂにおいて、誘電分光計測装置１と同一の構成については同一の符号を付し、以下、異なる構成について説明する。
【００８９】
誘電分光計測装置１ｂは、誘電分光測定機１０ｂと、信号処理装置３０ｂとを備える。誘電分光測定機１０ｂは、回路基板１１ｂ、信号生成部１２、信号分離部１３、切替スイッチ部１４ｂ、センサ部１５、信号受信部１７、伝送線路４１～４７及び校正標準部１６ｂを備える。回路基板１１ｂにおいて、信号生成部１２、信号分離部１３、切替スイッチ部１４ｂ、センサ部１５、信号受信部１７、伝送線路４１～４７及び校正標準部１６ｂが集積して形成されている。校正標準部１６ｂは、校正標準用の開放状態の回路２１を備える。切替スイッチ部１４ｂは、１入力２出力のスイッチであり、制御部３１ｂからの切替指示信号を受けて、伝送線路４６を、伝送線路４１，４７のいずれか１つに切り替える。
【００９０】
信号処理装置３０ｂは、制御部３１ｂ、演算部３２ｂ及び表示部３３を備える。制御部３１ｂは、切替スイッチ部１４ｂに対して出力する切替指示信号以外の構成については、制御部３１と同一の構成を備える。制御部３１は、切替スイッチ部１４に対して伝送線路４６の接続先を、伝送線路４１，４２，４３，４７のいずれか１つに切り替えさせることを指示する切替指示信号を出力していた。これに対して、制御部３１ｂは、切替スイッチ部１４ｂに対して伝送線路４６の接続先を、伝送線路４１，４７のいずれか１つに切り替えさせることを指示する切替指示信号を出力する。
【００９１】
演算部３２ｂは、データ収集部３５と、算出部３６ｂとを備える。校正標準部１６ｂが、回路２１のみを備えるため、算出部３６ｂは、データ収集部３５が取り込んだ回路２１に対応する校正用反射波に対応する測定値に基づいて、次式（９）により、データ収集部３５が取り込んだ被測定物質の測定値を補正する。
【００９２】
【数９】

$$S_{11\,corrected} = \frac{S_{11\,sens}}{S_{11\,Cal}} \qquad \cdots (9)$$

【００９３】
式（９）において、「Ｓ１１Ｃｏｒｒｅｃｔｅｄ」は、補正後の被測定物質のＳ１１パラメータのフェザー表記である。「Ｓ１１ｓｅｎｓ」は、補正前の被測定物質のＳ１１パラメータ、すなわちデータ収集部３５が出力して算出部３６ｂが取り込む被測定物質の測定値の

フェザー表記である。「Ｓ１１ｃａｌ」は、回路２１の場合のＳ１１パラメータ、すなわちデータ収集部３５が出力して算出部３６ｂが取り込む回路２１の場合の測定値のフェザー表記である。式（９）から分かるように、算出部３６ｂは、回路２１の場合の測定値と、補正前の被測定物質の測定値との比に基づいて補正を行っていることになる。

【００９４】

誘電分光計測装置１ｂは、図５に示した誘電分光計測装置１が行う処理のうち、ステップＳ１～Ｓ３の処理の後に、ステップＳ８～Ｓ１０の処理を行う。その後に、誘電分光計測装置１ｂの算出部３６ｂは、ステップＳ１１，Ｓ１２の処理に替えて、上記式（９）を用いた被測定物質のＳ１１パラメータの補正の処理を行い、その後、ステップＳ１３の処理を行うことになる。なお、制御部３１の処理は、制御部３１ｂが行い、切替スイッチ部１４の処理は、切替スイッチ部１４ｂが行い、ステップＳ８において、制御部３１ｂは、校正標準部１６ｂの回路２１に接続させる切替指示信号を出力した後、予め定められる一定の時間が経過すると、切替スイッチ部１４ｂに対して、伝送線路４６を、センサ部１５に接続させる切替指示信号を出力する処理を行う。

【００９５】

なお、図８では、誘電分光計測装置１ｂの校正標準部１６ｂが、開放の回路２１を備える場合を示しているが、校正標準部１６ｂが、短絡の回路２２のみを備えていていもよいし、終端の回路２３のみを備えていてもよい。また、１つの回路を備える校正標準部１６ｂの場合、周波数特性が均一であることが望ましいため、短絡の回路２２が最も適しており、また、短絡の回路２２の場合には、周辺回路の影響も受け難いという利点もある。

【００９６】

（実施結果）

図９は、図８に示した誘電分光計測装置１ｂにおいて、校正標準部１６ｂが短絡の回路２２のみを備える場合に、測定対象を空気として連続測定を実施した際の、測定対象のＳ１１パラメータの振幅変化を示すグラフである。図９において、縦軸は、測定対象のＳ１１パラメータの振幅（ｄＢ）であり、横軸は、測定回数である。図９において、黒丸の印の点を結んだ折れ線は、校正標準部１６ｂが短絡の回路２２のみを備える誘電分光計測装置１ｂを用いた場合のＳ１１パラメータの振幅変化を示している。クロスの印の点を結んだ折れ線は、校正標準部１６ｂを用いずに、誘電分光計測装置１ｂが、測定対象を測定した場合のＳ１１パラメータ、すなわち補正前の測定対象のＳ１１パラメータの振幅変化を示している。図９のグラフから分かるように、校正標準部１６ｂを用いない場合に比べて、校正標準部１６ｂを用いる方が安定した測定を行うことができていることが分かる。

【００９７】

図１０は、図９と同様に、図８に示した誘電分光計測装置１ｂにおいて、校正標準部１６ｂが短絡の回路２２のみを備える場合に、測定対象をグルコース水溶液とした場合のＳ１１パラメータの振幅変化を示すグラフである。図１０において、縦軸は、測定対象のＳ１１パラメータの振幅（ｄＢ）であり、横軸は、グルコース濃度（ｍｇ／ｄＬ）である。図１０において、黒丸の印は、補正後のＳ１１パラメータであり、破線は、近似直線である。近似直線から分かるように、グルコース濃度が増加するにつれて、振幅が減少しており、校正標準部１６ｂが短絡の回路２２のみを備える誘電分光計測装置１ｂが補正した測定対象のＳ１１パラメータの変化が、グルコース濃度の変化に依存して変化していることが分かる。

【００９８】

上述した実施形態における信号処理装置３０，３０ｂをコンピュータで実現するようにしてもよい。その場合、この機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現してもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、ＯＳや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶

装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間の間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでもよい。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよく、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよく、ＦＰＧＡ等のプログラマブルロジックデバイスを用いて実現されるものであってもよい。

【００９９】

以上、この発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲の設計等も含まれる。

【産業上の利用可能性】

【０１００】

人間、または、動物に存在する溶液、及び、人間、または、動物から採取した溶液の複素誘電率などの測定に利用することができる。

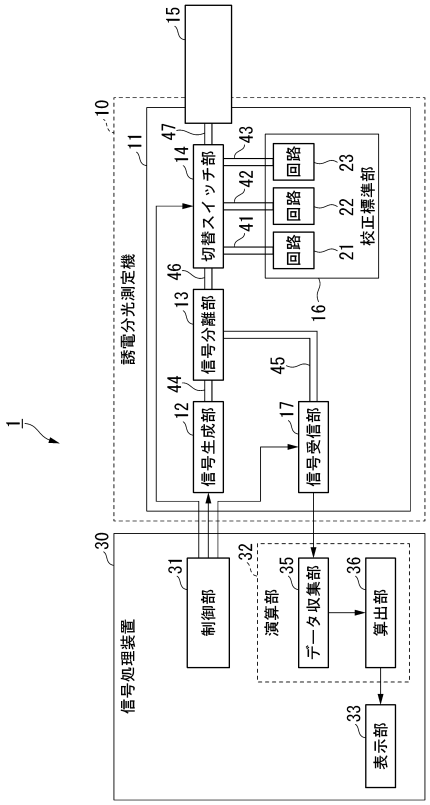
【符号の説明】

【０１０１】

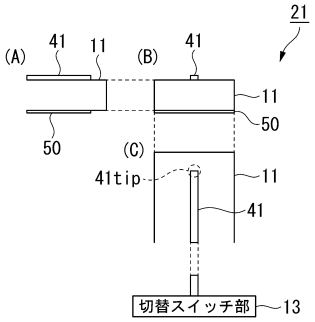
１…誘電分光計測装置、１０…誘電分光測定機、１１…回路基板、１２…信号生成部、１３…信号分離部、１４…切替スイッチ部、１５…センサ部、１６…校正標準部、１７…信号受信部、２１，２２，２３…回路、４１～４７…伝送線路、３０…信号処理装置、３１…制御部、３２…演算部、３３…表示部、３５…データ収集部、３６…算出部

【図面】

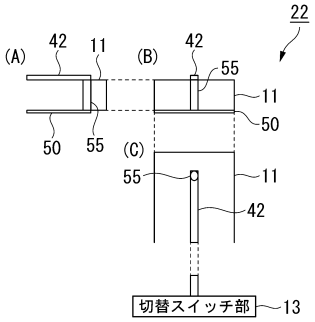
【図１】


1
10
誘電分光測定機
11
15
16
校正標準部
回路
回路
回路
21
22
23
41
42
43
44
45
46
47
切替スイッチ部
信号分離部
信号生成部
信号受信部
12
13
14
17
30
信号処理装置
制御部
演算部
データ収集部
算出部
表示部
31
32
35
36
33

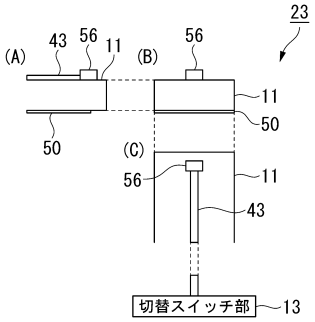
【図２】


21
(A)
(B)
(C)
41
11
50
41tip
切替スイッチ部
13

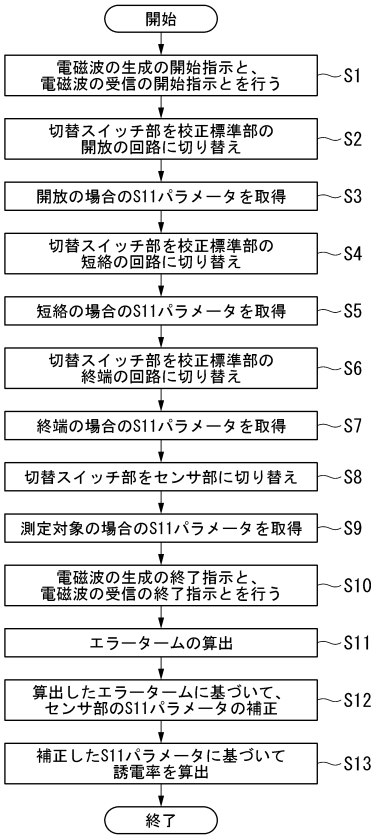
【図３】


22
(A)
(B)
(C)
42
11
55
50
切替スイッチ部
13

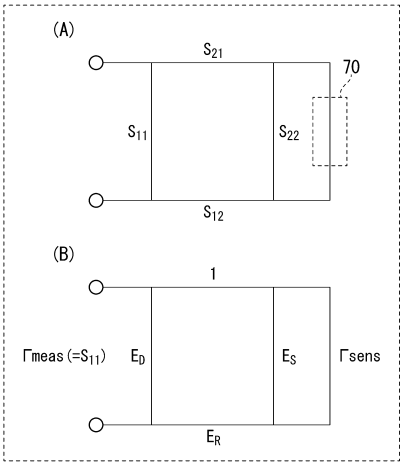
【図４】


23
(A)
(B)
(C)
43
56
11
50
切替スイッチ部
13

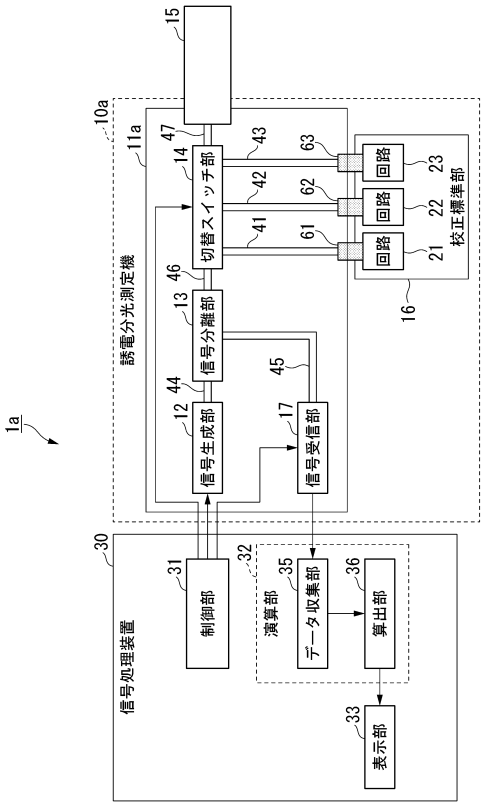
【図５】


開始
電磁波の生成の開始指示と、電磁波の受信の開始指示とを行う
S1
切替スイッチ部を校正標準部の開放の回路に切り替え
S2
開放の場合のS11パラメータを取得
S3
切替スイッチ部を校正標準部の短絡の回路に切り替え
S4
短絡の場合のS11パラメータを取得
S5
切替スイッチ部を校正標準部の終端の回路に切り替え
S6
終端の場合のS11パラメータを取得
S7
切替スイッチ部をセンサ部に切り替え
S8
測定対象の場合のS11パラメータを取得
S9
電磁波の生成の終了指示と、電磁波の受信の終了指示とを行う
S10
エラータームの算出
S11
算出したエラータームに基づいて、センサ部のS11パラメータの補正
S12
補正したS11パラメータに基づいて誘電率を算出
S13
終了

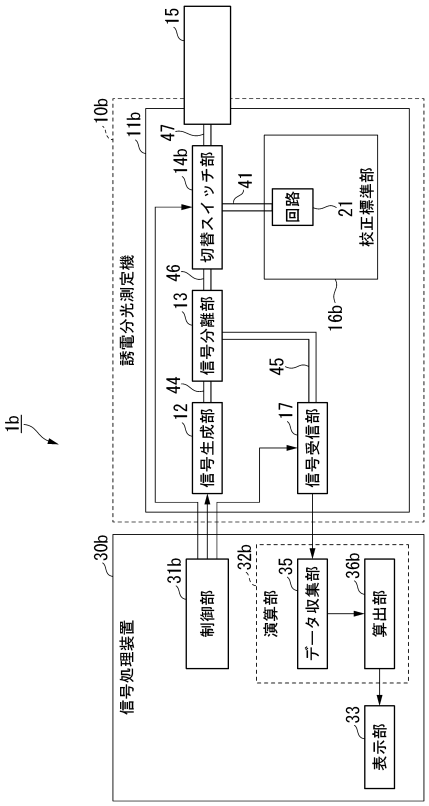
【図６】


(A)
S21
70
S11
S22
S12
(B)
1
Γmeas (=S11)
ED
ES
Γsens
ER

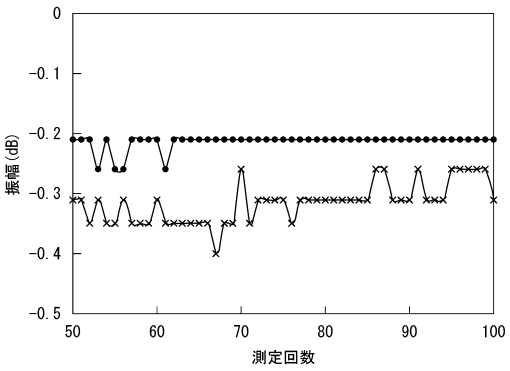
【図７】


1a
15
10a
11a
誘電分光測定機
47
14
切替スイッチ部
43
42
41
63
62
61
回路
回路
回路
23
22
21
校正標準部
16
46
13
信号分離部
44
12
信号生成部
45
17
信号受信部
30
信号処理装置
31
制御部
32
演算部
35
データ収集部
36
算出部
33
表示部

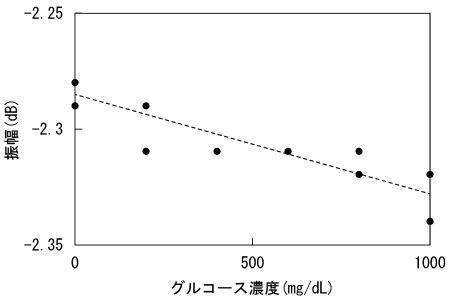
【図８】


1b
15
10b
11b
誘電分光測定機
47
14b
切替スイッチ部
41
回路
21
校正標準部
16b
46
13
信号分離部
44
12
信号生成部
45
17
信号受信部
30b
信号処理装置
31b
制御部
32b
演算部
35
データ収集部
36b
算出部
33
表示部

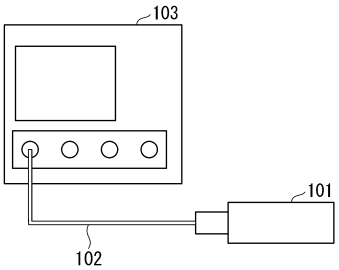
【図９】



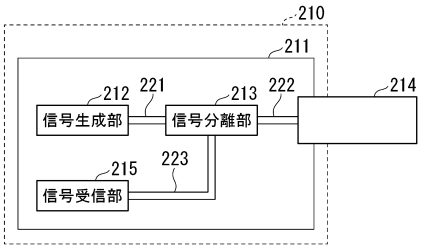
【図１０】



【図１１】



【図１２】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０８－０４３４６３（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－１２１４２２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１８－０９６８０６（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－２７２４２８（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－０７５３６９（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－２１１７６６（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１６／０１２８６０２（ＵＳ，Ａ１）
HOFMANN, Maximilian，Microwave-Based Noninvasive Concentration Measurements for Biomedical Applications，IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND THCHNIQUES，2013年05月，Vol.61 No.5，pp.2195-2204

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ ２２／００－２２／０４
Ｇ０１Ｒ ２７／００－２７／３２
Ａ６１Ｂ ５／００－５／３９８
ＪＳＴＰｌｕｓ（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）
ＪＳＴ７５８０（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）