(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2005-201875
(P2005-201875A)
(43)公開日　平成17年7月28日(2005.7.28)

(51)Int.Cl.⁷	F I		テーマコード（参考）
G01F 23/284	G01F 23/28	D	2F014

審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 24 頁）

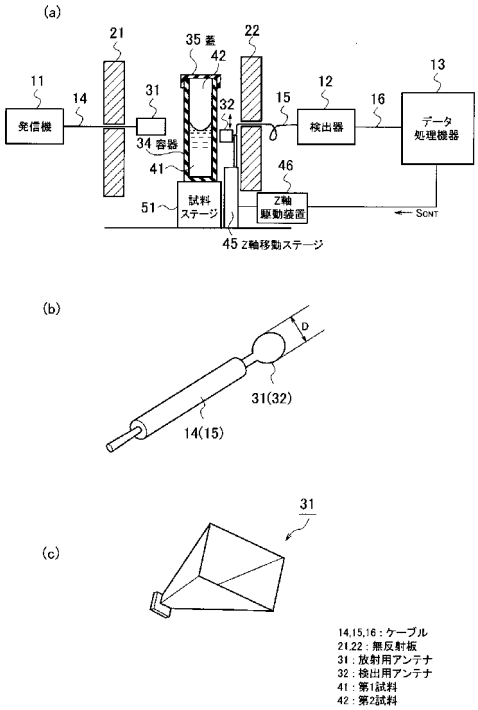
(21)出願番号　特願2004-11147(P2004-11147)
(22)出願日　平成16年1月19日(2004.1.19)

(71)出願人　304023318
国立大学法人静岡大学
静岡県静岡市大谷８３６
(74)代理人　100083806
弁理士　三好　秀和
(74)代理人　100108914
弁理士　鈴木　壯兵衛
(72)発明者　岡村　静致
静岡県浜松市神ヶ谷町６７８１－９

Ｆターム(参考)　2F014 AA06　AA07　FC10

(54)【発明の名称】界面検出装置及び界面検出方法

(57)【要約】
【課題】　物質の境界を、非接触に検知できる界面検出装置や界面検出方法を提供する。
【解決手段】　被測定対象（３４，３５，４１，４２）に、電磁波を照射する電磁波照射手段（１１，１４，３１）と、被測定対象を透過した電磁波を検出する電磁波検出手段（３２，１５，１２）と、物質の界面と電磁波検出手段（３２，１５，１２）との相対的位置を変化させる位置移動機構（４５，４６）とを備える。電磁波照射手段は、発信機１１と放射用アンテナ３１を備える。又、電磁波検出手段は、検出用アンテナ３２と検出器１２を備える。位置移動機構は、検出用アンテナ３２をＺ軸方向に移動させるＺ軸移動ステージ４５と、このＺ軸移動ステージ４５を駆動するＺ軸駆動装置４６を備える。
【選択図】　図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
内部に物性の異なる複数の物質の界面を有する被測定対象に、電磁波を照射する電磁波照射手段と、
前記被測定対象を透過した電磁波を検出する電磁波検出手段と、
前記界面と前記電磁波検出手段との相対的位置を変化させる位置移動機構
とを備え、前記電磁波検出手段の出力信号と前記相対的位置との関係から、前記界面の位置を検出することを特徴とする界面検出装置。
【請求項２】
前記電磁波照射手段と電磁波検出手段との間の距離は、前記電磁波の波長の５倍以下であることを特徴とする請求項１記載の界面検出装置。
【請求項３】
前記電磁波照射手段は、発信機と、該発信機に電気的に接続された放射用アンテナとを備えることを特徴とする請求項１又は２に記載の界面検出装置。
【請求項４】
前記電磁波検出手段は、検出用アンテナと、該検出用アンテナに電気的に接続された検出器とを備えることを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の界面検出装置。
【請求項５】
前記放射用アンテナは、ホーンアンテナ若しくはループアンテナであることを特徴とする請求項３に記載の界面検出装置。
【請求項６】
前記検出用アンテナは、ループアンテナであることを特徴とする請求項４に記載の界面検出装置。
【請求項７】
前記放射用アンテナと前記被測定対象との間にスリット板が配置され、前記電磁波は前記スリット板に設けられたスリットを介して、前記被測定対象に照射されることを特徴とする請求項３又は５に記載の界面検出装置。
【請求項８】
前記被測定対象と前記検出用アンテナの間にスリット板が配置され、前記電磁波は前記スリット板に設けられたスリットを介して、前記検出用アンテナにより検出されることを特徴とする請求項４又は６に記載の界面検出装置。
【請求項９】
内部に物性の異なる複数の物質の界面を有する被測定対象に、電磁波を照射する過程と、
前記被測定対象を透過した電磁波を検出する過程と、
前記界面と前記電磁波検出手段との相対的位置を移動する過程と
前記電磁波検出手段の出力信号と前記相対的位置との関係から、前記界面の位置を検出する過程
とを含むことを特徴とする界面検出方法。
【請求項１０】
前記界面の位置を検出する過程は、予備測定で得られた前記物質の界面の位置に対応する透過電力レベルを検知レベルとし、該検知レベルの値を基準に前記界面の位置を決定することを特徴とする請求項９に記載の界面検出方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、電磁波を用いた測定技術に係り、特に近傍界領域(フレネル領域)におけるアンテナ技術を応用した界面検出装置及び界面検出方法に関する。
【背景技術】
【０００２】

ガラス、プラスチック等の容器内にある液面を外部から検知する必要性は多々ある。特に、容器が不透明或いは表面に紙等の不透明シートがある場合には、従来は内部の液面位置を検知する方法はなく、上部からの目視によりその位置を知り、必要な作業をしている。この作業を自動化するには外部から非接触で物質の境界を検知する界面検出装置が求められているが、現在は適切な界面検出装置や界面検出方法は知られていない。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００３】

本発明は、光学的に不透明な環境にある物質の境界を、その外部から非接触に検知できる界面検出装置や界面検出方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００４】

上記目的を達成するために、本発明の第１の特徴は、（イ）内部に物性の異なる複数の物質の界面を有する被測定対象に、電磁波を照射する電磁波照射手段と、（ロ）被測定対象を透過した電磁波を検出する電磁波検出手段と、（ハ）界面と電磁波検出手段との相対的位置を変化させる位置移動機構とを備え、電磁波検出手段の出力信号と相対的位置との関係から、界面の位置を検出する界面検出装置であることを要旨とする。

【０００５】

本発明の第２の特徴は、（イ）内部に物性の異なる複数の物質の界面を有する被測定対象に、電磁波を照射する過程と、（ロ）被測定対象を透過した電磁波を検出する過程と、（ハ）界面と電磁波検出手段との相対的位置を移動する過程と、（ニ）電磁波検出手段の出力信号と相対的位置との関係から、界面の位置を検出する過程とを含む界面検出方法であることを要旨とする。

【発明の効果】

【０００６】

本発明の界面検出装置や界面検出方法によれば、光学的に不透明な環境にある物質の境界を、その外部から非接触に検知することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【０００７】

次に、図面を参照して、本発明の第１～第３の実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。

【０００８】

又、以下に示す第１～第３の実施の形態は、この発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、この発明の技術的思想は、構成部品や試料の材質、形状、大きさ、構造、配置、或いは用いる電磁波の周波数等を下記のものに特定するものではない。この発明の技術的思想は、特許請求の範囲において、種々の変更を加えることができる。

【０００９】

（第１の実施の形態）

本発明の第１の実施の形態に係る界面検出装置は、図１（ａ）に示ように、内部に物性の異なる複数の物質の界面を有する被測定対象（３４，３５，４１，４２）に、電磁波を照射する電磁波照射手段（１１，１４，３１）と、被測定対象（３４，３５，４１，４２）を透過した電磁波を検出する電磁波検出手段（３２，１５，１２）と、物質の界面と電磁波検出手段（３２，１５，１２）との相対的位置を変化させる位置移動機構（４５，４６）とを備える。被測定対象（３４，３５，４１，４２）は、第１試料４１及び第２試料４２が容器３４に収納されて構成されている。容器３４は、この容器３４を密閉する蓋３

５を有する。一般には、蓋３５は、容器３４を完全に密閉する必要はなく、状況や測定仕様に応じて、蓋３５を省略しても良い。

【００１０】

第１の実施の形態に係る界面検出装置においては、電磁波照射手段（１１，１４，３１）は、発信機１１と、発信機１１に接続されたケーブル１４と、ケーブル１４に接続された放射用アンテナ３１を備える。又、電磁波検出手段（３２，１５，１２）は、検出用アンテナ３２と、検出用アンテナ３２に接続されたケーブル１５と、ケーブル１５に接続された検出器１２を備える。そして、位置移動機構（４５，４６）は、検出用アンテナ３２をＺ軸方向（水平方向をＸ，Ｙ軸方向としたときの重力の方向）に移動させる直線案内機構（例えばＶ溝案内機構）を備えたＺ軸移動ステージ４５と、このＺ軸移動ステージ４５を駆動するステップモータ、サーボモータ、リニアモータ、超音波モータ、電歪素子、磁歪素子等のＺ軸駆動装置４６から構成されている。図示を省略しているが、より高精度な位置制御をする場合は、インダクタンス測定や容量測定等の電気的な位置センサ若しくは、レーザ干渉装置等の光学的位置センサを付加し、帰還制御をすれば良い。なお、図１（ａ）に示す位置移動機構（４５，４６）は、例示であり、後述する第３の実施の形態に係る界面検出装置のように、検出用アンテナ３２の位置を固定しておき、容器３４を移動しても良い。又、放射用アンテナ３１にも、Ｚ軸方向に移動させるＺ軸移動ステージと、このＺ軸移動ステージを駆動するＺ軸駆動装置を設け、放射用アンテナ３１の指向性方向に常に検出用アンテナ３２が位置するようにして、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を同時に移動しても良い。

【００１１】

本発明の第１の実施の形態に係る界面検出装置に用いる電磁波の周波数は、原理的には制限がないが、周波数が下がるにしたがって、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２の形状が大きくなるので、界面検出装置としての形状が大きくなり、測定器として使用しにくくなる。特に、検出用アンテナ３２の形状を、波長λの増大と共に大きくする必要が生じ、検出位置の分解能が低下する。

【００１２】

一般に第１試料４１及び第２試料４２に電磁波を照射する場合は、電磁波のエネルギーが第１試料４１及び第２試料４２に吸収されるので、電磁波が第１試料４１及び第２試料４２中を伝搬すると同時に次第に減衰する現象を考慮しなくてはならない。

【００１３】

（ａ）第１試料４１及び第２試料４２が導電性を有する場合：

遠方界領域(フラウンホーファー領域)では、第１試料４１及び第２試料４２を誘電体とみなすと、第１試料４１又は第２試料４２中を電磁波が伝搬する際の減衰定数γ_i（ｉ＝１，２）は次式で表される：

$$\gamma_i = j\omega(\varepsilon_i\mu_i)^{1/2}\{1-j(\sigma_i/\omega\varepsilon_i)\}^{1/2} \quad \cdots\cdots (1)$$

（１）式において、σ_1は第１試料４１の導電率、ε_1は第１試料４１の誘電率、μ_1は第１試料４１の透磁率である。又、σ_2は第２試料４２の導電率、ε_2は第２試料４２の誘電率、μ_2は第２試料４２の透磁率である。$\omega = 2\pi f$は角周波数である。第１試料４１及び第２試料４２の材料にも依存するが、仮に$p_i = \sigma_i / \omega\varepsilon_i$の値は、第１試料４１及び第２試料４２で$0.1 < p_i < 10$程度であると仮定すれば、（１）式の実部を$\alpha_i$として、次式が得られる：

$$\alpha_i = \omega[(\mu_i\varepsilon_i/2)\{(1+p_i^2)^{1/2}-1\}]^{1/2} \quad \cdots\cdots (2)$$

（２）式において、周波数ｆが高い場合を考慮すると、

$$\alpha_i = \omega\{(\mu_i\varepsilon_i/2)p_i\}^{1/2} \quad \cdots\cdots (3)$$

となる。第１試料４１及び第２試料４２への浸透の程度は、電力密度がe^{-2}に減衰する距離δ_iを用いて表される。δ_iはα_iの逆数で与えられ、「表皮の深さ」或いは「浸透の深さ」と呼ばれる。（３）式において、$\delta_i = 1/\alpha_i$であるので、

$$\delta_i = (1/\pi f\mu_i\sigma_i)^{1/2} \quad \cdots\cdots (4)$$

という式が近似的に得られる。例えば、第１試料４１及び第２試料４２が水の誘電率と同

程度であり、第１試料４１及び第２試料４２を構成する分子の殆どが非磁性体と考えられる場合は、ε_{ri}　８０［Ｆ／ｍ］，μ_{ri}　１［Ｈ／ｍ］程度と推察（仮定）できる。真空中での誘電率及び透磁率は、ε_0　８．８５４２×１０$^{-12}$［Ｆ／ｍ］，μ_0　４π×１０$^{-7}$［Ｈ／ｍ］である。図１に示す界面検出装置において、（４）式を利用すると、周波数が３ＴＨｚの電磁波を第１試料４１及び第２試料４２に照射した場合はδ_i＝７０μｍ程度、周波数１．２ＴＨｚの電磁波を照射した場合では、δ_i＝１１５μｍ程度となる。したがって、第１試料４１及び第２試料４２の少なくとも一方の大きさ（幾何学的形状）を浸透深さδ_i程度にしないと、測定が困難になる、若しくは装置が複雑化、巨大化する。

【００１４】

（ｂ）第１試料４１及び第２試料４２が導電性を有しない場合：

第１試料４１及び第２試料４２が、導電性を有しない誘電体である場合は、誘電体損失を検討する必要がある。誘電体損失は、複素誘電率εを用いて示される。通常の誘電率は実数ですが、複素誘電率を用いる場合は、

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \qquad \cdots\cdots (5)$$

となり、実数部が通常の誘電率、虚数部が損失を示す項になる。これを用いると、遠方界領域(フラウンホーファー領域)において、物質中を伝搬する平面波の減衰定数αは

$$\alpha \quad (\pi/\lambda)\cdot(\varepsilon''/(\varepsilon')^{1/2}) \qquad \cdots\cdots (6)$$

となる。ε'及びε"は、周波数の関数となっており一定値ではないので、広い周波数範囲にわたって減衰定数αを数式で表現することは一般には難しい。しかし、それらの値がほぼ一定と見なせる範囲では、使用する周波数の増大（波長の減少）と共に減衰定数αは増大するので、（４）式で示した浸透の深さδ_iと類似な扱いができるが、無理がある。

【００１５】

式（６）から、一般に周波数の増大と共に損失が大きくなるので、損失が大きい場合には、大電力の発信器が必要になる。

【００１６】

厳密には、第１試料４１と第２試料４２との界面を境界条件として含むようにした近傍界領域(フレネル領域)での解析が必要であるが、近似的には、容器３４中の第１試料４１及び第２試料４２の種類とその大きさにより、電磁波の波長λの範囲が決まることが、上記の議論から理解できる。第１試料４１及び第２試料４２が、ともに導電性を有する材料であれば、一般的には、浸透深さδ_iを考慮すれば、１ＴＨｚ以下の、サブミリ波及びマイクロ波帯の電磁波が好ましい。なお、周知のように、マイクロ波には、周波数３０ＧＨｚ～３００ＧＨｚのミリ波（ＥＨＦ）、３ＧＨｚ～３０ＧＨｚのセンチ波（ＳＨＦ）、３００ＭＨｚ～３ＧＨｚの極超短波（ＵＨＦ）が含まれる。第１試料４１のみが液体等の導電性を有する材料で、第２試料４２が空気等の導電性を有さない材料であれば、テラヘルツ帯の電磁波や、可視光、紫外線領域の電磁波や、それ以上高周波の領域の電磁波でも構わない。

【００１７】

マイクロ波帯の電磁波を用いる場合は、ケーブル１４及び１５は、同軸ケーブル、導波管、ストリップ線路、コプレーナ導波路等の高周波伝送線路を用いれば良い。図示を省略しているが、ケーブル１４及び１５には、高周波伝送線路のインピーダンス調整用の可変スタブ等が設けられていても良い。同軸ケーブル１５は、位置移動機構（４５，４６）により、検出プローブ（検出用アンテナ）３２の位置が、Ｚ軸方向に移動可能なように、フレキシブルなケーブルで構成される。検出器１２は、ケーブル１６を介して、検出器１２の出力信号を処理するデータ処理機器１３に接続される。

【００１８】

データ処理機器１３は、被測定対象（３４，３５，４１，４２）に対して、検出プローブ（検出用アンテナ）３２を一定方向（Ｚ軸方向）に移動した場合の検出信号（電力或いは位相）の関係等のデータ（後述する図２～図６参照。）の記録をし、更に、その数値に基づく演算を行う。又、データ処理機器１３は、このデータを取得するために、Ｚ軸駆動装置４６に制御信号S_{CNT}を出力する。制御信号S_{CNT}に制御されて、Ｚ軸駆動装置４６は

、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、被測定対象（３４，３５，４１，４２）に対して、検出プローブ（検出用アンテナ）３２の位置を一定方向（Ｚ軸方向）に相対的に移動させる。なお、図１（ａ）に示す位置移動機構（４５，４６）は例示であり、最も簡単な構成としては、複数の高さの異なる台を用意し、人間が、適宜、その台を選択して検出プローブ３２の位置を変えるようにしても良い。或いは、所定のＺ軸方向案内機構を設けて、ボールネジ等のネジ送り方式、ラック-ピニオン駆動方式、摩擦駆動方式等で半自動で位置を移動しても良い。このような、手動操作を含む場合は、データ処理機器１３は、Ｚ軸駆動装置４６に制御信号S_{CNT}を出力する必要はないが、自動的に制御する方が好ましいことは、勿論である。データ処理機器１３は、更に、発信機１１にも制御信号を送り、電磁波の照射の制御をしても良い。ケーブル１６は、一般には、高周波伝送線路である必要はない。

【００１９】

マイクロ波帯の電磁波を用いる場合は、発信機１１としては、マグネトロン、進行波管、クライストロン、カルシノトロン等の電子管、ガンダイオード、インパットダイオード、タンネットダイオード、或いは、高電子移動度トランジスタ（ＨＥＭＴ）、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ、理想型ＳＩＴ等を用いたＭＭＩＣ等の半導体発信素子、或いはジョセフソン励起素子等が使用可能である。検出器１２は、ショットキーダイオードやボロメータを用いれば良い。更に、これらのショットキーダイオードやボロメータの出力を増幅する低雑音増幅器、或いはスペクトラムアナライザ等を含んでも良い。検出器１２を構成するこれらのショットキーダイオード若しくはボロメータ、及び低雑音増幅器等は、同一チップ上にモノリシックに集積化しても良い。更に、データ処理機器１３の機能まで含めてモノリシックに集積化しても良い。但し、第１の実施の形態に係る界面検出装置に用いる電磁波の周波数は、マイクロ波帯の電磁波に限定されるものではないので、具体的な発信機１１や検出器１２は、使用する電磁波の周波数に応じて選定すれば良い。

【００２０】

容器３４の材質は、（４）式を考慮して、測定用の電磁波の周波数に透明な誘電体が好ましい。容器３４の材料としては、有機系の種々な樹脂材料、セラミック、ガラス等の無機系の材料が使用可能である。樹脂材料としては、フェノール樹脂、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、フッ素樹脂等が使用可能である。セラミック容器の素材としてはアルミナ（Al_2O_3）、ムライト（$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$）、ベリリア（ＢｅＯ）、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）、窒化珪素（ＳｉＣ）等が使用可能である。ガラス材料としては、石英ガラス、ホウケイ酸ガラス、ソーダ石灰ガラス等が使用可能である。但し、内部に収納する第１試料４１及び第２試料４２の化学的反応性等の性質を考慮して、容器３４の材質が選定されることは勿論である。

【００２１】

図１（ａ）に示す第１の実施の形態に係る界面検出装置においては、更に　電磁波照射手段（１１，１４，３１）側に、平板形状の無反射板２１が配置され、電磁波検出手段（３２，１５，１２）側にも、平板形状の無反射板２２が、容器３４を挟んで平行平板状に互いに対向して配置されている。無反射板２１，２２は、エポキシ樹脂に酸化チタンと炭素（カーボン）粉末を混合した塗布型電波吸収体、合成ゴムにカーボニル鉄を分散させたゴム系電波吸収体、λ／４型電波吸収体等、種々の電波吸収体が使用可能である。λ／４型電波吸収体は、共鳴型でも整合型でも構わない。放射用アンテナ３１の入力側に配置した無反射板２１及び検出用アンテナ３２の出力側に配置した無反射板２２は、測定空間における不要な電磁波の反射を低減させるために設置しているものである。したがって、無反射板２１、２２は第１の実施の形態に係る界面検出装置に必要不可欠なものではないが、測定精度及び感度を高めるためには有効である。

【００２２】

なお、無反射板２２の裏面、即ち、無反射板２２の放射用アンテナ３１に対向しない側の面に、検出器１２を構成するショットキーダイオードや低雑音増幅器等、更にはインピーダンス調整用素子をモノリシックに集積化した半導体チップ（ＭＭＩＣ）を搭載（実装

）しても良い。無反射板２２の裏面には、更に、データ処理機器１３の機能を有する半導体チップをも搭載し、ハイブリッド集積化をすれば、第１の実施の形態に係る界面検出装置が小型化できる。この場合、無反射板２２の裏面には、有機系の種々な合成樹脂、セラミック、ガラス等の無機系の材料からなる絶縁性基板を貼り合わせておけば良い。又、放熱特性を高めるために金属基板を含ませ、例えば、鉄、銅などの金属上に耐熱性の高いポリイミド系の樹脂板を積層して多層化した金属ベースの基板（金属絶縁基板）にしても良い。放熱性の良いAl_2O_3，ＢｅＯ，ＡｌＮ等のセラミック基板を無反射板２２の裏面に貼り合わせても良い。或いは、無反射板２２の裏面に貼り合わせられた絶縁性基板上に、検出器１２を構成するショットキーダイオードや低雑音増幅器等とデータ処理機器１３の機能をすべてモノリシックに集積化した半導体チップを搭載しても良い。

【００２３】

同様に、無反射板２１の裏面、即ち、無反射板２１の検出用アンテナ３２に対向しない側の面に、発信機１１を構成する半導体素子、半導体増幅器やインピーダンス調整用素子等をモノリシックに集積化した半導体チップ（ＭＭＩＣ）を搭載する構成にすれば、第１の実施の形態に係る界面検出装置が小型化できる。

【００２４】

放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２としては、図１（ｂ）に示すようなループアンテナが使用可能である。周知のように、ループアンテナでは電磁波の波長λより十分離れた遠方界領域では、ループ面の方向に最大の電力が放射され、ループ面に垂直方向の電力は最小となる。放射用アンテナ３１として用いるループアンテナの大きさは、放射効率を高めるために、ループ長を共振波長λに近づけることが良い。検出用アンテナ３２として用いるループアンテナの寸法（ループ長）は、検出感度を高めるためには共振波長λとなる寸法が良いが、ループの大きさが大きいと、その空間の電磁波強度の平均値を計測することになる。このため、検出用アンテナ３２の寸法は、ループ面積が透過波を受信できる範囲で、λ／３以下、或いはλ／７以下のループ長となるよう、できるだけ小さいことが好ましい。検出用アンテナ３２は、λ／１０以下のループ長の微少ループアンテナでも良い。したがって、放射用アンテナ３１として用いるループアンテナの大きさと、検出用アンテナ３２として用いるループアンテナの大きさは、一般には異なり得る。電磁波の周波数が高くなる場合や、高精度化の目的のため、検出用アンテナ３２として用いるループアンテナの直径が１ｍｍ以下に小さくなるときは、マイクロストリップ線路、薄膜ストリップ線路、コプレーナ導波路を構成する絶縁性基板の上に、フォトリソグラフィーの技術で信号線の端部にループアンテナをパターニングすれば良い。

【００２５】

ループアンテナの形状は、特に限定はなく、同軸線と結合した円形、楕円形、扁平円形、矩形、三角（デルタ）形、五角形以上の多角形等の種々の形状のループアンテナが使用できる（多角形は正多角形である必要はない。）。或いは、プリント基板上に形成した円形、楕円形、扁平円形、矩形、三角形、五角形以上の多角形等の種々の形状のアンテナでも良い。又、放射用アンテナ３１として用いるループアンテナの形状と、検出用アンテナ３２として用いるループアンテナの形状が同一である必要はない。

【００２６】

更に、放射用アンテナ３１としては、ループアンテナ以外に、図１（ｃ）に示すようなホーンアンテナを使用しても良い。ホーンアンテナは、図１（ｃ）に示すような矩形ホーンアンテナに限定されず、円錐ホーンアンテナでも良い。

【００２７】

図１（ａ）に示す第１の実施の形態に係る界面検出装置においては、発信機１１からの電磁波は、ケーブル１４を通り、無反射板２１を通り抜け、放射用アンテナ（ループアンテナ）３１から空間に放射される。放射用アンテナ３１から放射された電磁波は、容器３４及びその中にある第１試料４１及び第２試料４２を透過し、検出用アンテナ（ループアンテナ）３２で集められる。この検出用アンテナ３２の出力は、ケーブル１５を通り、無反射板２２を通り抜け、検出器１２で検出する。検出信号に対して、データ処理機器１３

により、所望のデータ処理がされる。

【００２８】

（１）式から分かるように、電磁波の減衰定数γ_i（ｉ＝１，２）は、物質定数：導電率σ_i，誘電率ε_i，透磁率μ_iにより変化するため、測定された電磁波強度の差異から、第１試料（ｉ＝１）４１及び第２試料（ｉ＝２）４２との境界が検知できる。即ち、第１試料４１及び第２試料４２の間の境界の検出は、位置移動機構（４５，４６）により、検出用アンテナ３２を移動して、それぞれの位置で透過電力レベルを比較すれば検出できる。既に、述べたように、この場合、検出用アンテナ３２を移動する代わりに、検出用アンテナ３２を固定しておき、容器３４を移動しても良い。

【００２９】

なお、第１の実施の形態に係る界面検出装置は、透過電力の大きさを測定して第１試料４１と第２試料４２との境界を検出するだけでなく、透過電磁波の位相差検出により境界を検知しても良い。（５）式の複素誘電率εの表記において、位相定数βは、

$$\beta \quad (2\pi/\lambda)(\varepsilon')^{1/2} \qquad \cdots\cdots (7)$$

となるため、物質の誘電率に対応して電磁波の位相が変化する。この変化量（位相差の量）、即ち移相量を検出することにより、減衰量から異なる物質の境界を検知するのと同様に境界を検知することができる。特に、第１試料４１及び第２試料４２としての媒質の損失係数が同程度であるが、第１試料４１及び第２試料４２の誘電率が互いに異なる場合には、透過電磁波の位相検出が、第１試料４１と第２試料４２との境界検出に有効である。

【００３０】

したがって、第１の実施の形態に係る界面検出装置の対象となる第１試料４１及び第２試料として用いることのできる物質は、固体、液体、気体に関係なく選定できる。即ち、測定に用いる電磁波における物質定数σ_i，ε_i，μ_iの少なくともいずれかが、第１試料４１と第２試料との界面において異なるものであれば、いかなる物質の組み合わせでも可能である。

【００３１】

又、第１試料４１と第２試料の大きさの上限は、電磁波が透過し、その透過波を検出できる範囲内の大きさとなる。第１試料４１と第２試料の大きさの下限は、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２の大きさ（厚さ）となる。但し、第１試料４１と第２試料の物質定数σ_i，ε_i，μ_iにおいて、界面の違いが現れるだけの差が存在することが前提条件になる。

【００３２】

放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２間の距離が波長λに比し大きくなるにしたがって、第１試料４１と第２試料を透過した電磁波が互いに干渉し平均化されるため、第１試料４１と第２試料との界面に対する出力変化率は減少する。このため、放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２間の距離が５λ以下、好ましくは３λ以下の近傍界領域(フレネル領域)での測定が望ましい（このことは、電磁波照射手段（１１，１４，３１）と電磁波検出手段（３２，１５，１２）間の距離が５λ以下、好ましくは３λ以下、ということと等価である。）。放射用アンテナ３１に近い近傍界領域では、電磁波は、球面波として扱われる。

【００３３】

しかし、放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２間の距離が波長λに比し大きくなるにしたがって、放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２間で生じる反射の影響が減少するので、定在波による変動が減少し、出力変化率は少なくても検出が容易になることもある。したがって、具体的な第１試料４１と第２試料としての個々の物質に対して、放射用アンテナ３１と容器３４間の距離、検出用アンテナ３２と容器３４間の距離、及び放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２間の距離を設定する必要が生じる。

【００３４】

第１の実施の形態に係る界面検出装置においては、電磁波の電界が第１試料４１と第２試料との界面と直交する（磁界は界面に平行な）偏波を用いるとき、界面変化に伴う出力

変化が顕著になるので、放射用アンテナ３１の配向を、電磁波の電界が界面と直交するように選定するのが好ましい。但し、電磁波の電界が第１試料４１と第２試料との界面と平行する（磁界は界面に直交する）偏波を用いても、透過電磁波強度は第１試料４１と第２試料との界面で僅かに変化するので、一定の場合は、放射用アンテナ３１の配向を、電磁波の電界が界面と平行するように選定しても構わない。

【００３５】

図１（ａ）に示す第１の実施の形態に係る界面検出装置を用いて、以下の手順で第１の実施の形態に係る界面検出方法が実施できる。

【００３６】

（イ）先ず、データ処理機器１３は制御信号S_{CNT}をＺ軸駆動装置４６に出力する。Ｚ軸駆動装置４６は、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、内部に物性の異なる複数の物質の界面を有する被測定対象（３４，３５，４１，４２）に対して検出用アンテナ３２の位置を初期位置（例えば容器３４の底面近傍の位置）に移動させる。

【００３７】

（ロ）次に、発信機１１を動作させ、発信機１１からの電磁波をケーブル１４を介して（無反射板２１を通り抜け）、放射用アンテナ３１に給電する。そして、放射用アンテナ３１から電磁波を空間に放射し、被測定対象（３４，３５，４１，４２）に、電磁波を照射する。

【００３８】

（ハ）放射用アンテナ３１から放射された電磁波は、容器３４及びその中にある第１試料４１又は第２試料４２を透過する（例えば、初期位置では、第１試料４１を透過するとする。）。即ち、被測定対象（３４，３５，４１，４２）を透過した電磁波は、検出用アンテナ３２で集められる。更に、この検出用アンテナ３２の出力は、ケーブル１５を介して（無反射板２２を通り抜け）、検出器１２で検出される。この状態で検出器１２の出力が最大になるように、必要なインピーダンス調整等を行う。所定の調整が終了したら、データ処理機器１３は、検出器１２の出力を初期位置の透過電力として記録する。

【００３９】

（ニ）次に、データ処理機器１３は制御信号S_{CNT}をＺ軸駆動装置４６に出力し、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、被測定対象（３４，３５，４１，４２）に対して検出用アンテナ３２の位置を、所定の単位移動距離（例えば１ｍｍ～５ｍｍの範囲で選ばれた単位距離）分、Ｚ軸方向に移動（上昇）させる。

【００４０】

（ホ）そして、単位移動距離分移動させた状態で、発信機１１からの電磁波を放射用アンテナ３１に給電し、放射用アンテナ３１から電磁波を空間に放射し、被測定対象（３４，３５，４１，４２）に、電磁波を照射する。

【００４１】

（ヘ）放射用アンテナ３１から放射された電磁波は、単位移動距離分移動した被測定対象（３４，３５，４１，４２）を透過し、検出用アンテナ３２で集められる。更に、この検出用アンテナ３２の出力は、検出器１２で検出され、データ処理機器１３は、検出器１２の出力を単位移動距離分移動させた位置の透過電力として記録すると同時に、予め決定されている検知レベルと比較する。

【００４２】

（ト）データ処理機器１３が、単位移動距離分移動させた位置の透過電力が、予め決定され検知レベルの範囲に入らないと判断したときは、制御信号S_{CNT}をＺ軸駆動装置４６に出力し、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、被測定対象（３４，３５，４１，４２）に対して検出用アンテナ３２の位置を、更に、単位移動距離分、Ｚ軸方向に移動（上昇）させる。

【００４３】

（チ）そして、更に、単位移動距離分移動させた状態で、発信機１１からの電磁波を放射用アンテナ３１に給電し、放射用アンテナ３１から電磁波を空間に放射し、被測定対象

（３４，３５，４１，４２）に、電磁波を照射する。放射用アンテナ３１から放射された電磁波は、更に単位移動距離分移動した被測定対象（３４，３５，４１，４２）を透過し、検出用アンテナ３２で集められ、この検出用アンテナ３２の出力は、検出器１２で検出される。データ処理機器１３は、検出器１２の出力を更に単位移動距離分移動させた位置の透過電力として記録すると同時に、予め決定され検知レベルと比較する。

【００４４】

（リ）データ処理機器１３が、更に単位移動距離分移動させた位置の透過電力が、予め決定され検知レベルの範囲に入ると判断したときは、その位置を求める第１試料４１と第２試料との界面の位置と決定する。予め決定され検知レベルの範囲に入らないと判断したときは、制御信号S_{CNT}をＺ軸駆動装置４６に出力し、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、被測定対象（３４，３５，４１，４２）に対して検出用アンテナ３２の位置を、更に、単位移動距離分、Ｚ軸方向に移動（上昇）させ、上記（チ）の過程を繰り返し、測定された透過電力が、予め決定され検知レベルの範囲に入るか否かを判断する。

【００４５】

（ヌ）データ処理機器１３は、上記（リ）の過程を、測定された透過電力が、予め決定され検知レベルの範囲に入るまで続け、最終的に、第１試料４１と第２試料との界面の位置を決定する。このように、データ処理機器１３は、電磁波検出手段（３２，１５，１２）の出力信号、即ち、検出器１２が検出した検出信号と検出用アンテナ３２の相対的位置との関係から、第１試料４１と第２試料との界面の位置を検出する。

【００４６】

上記（ハ）の過程におけるインピーダンス調整は、最良の測定条件を与えるとは限らないので、以下のようにして、第１試料４１と第２試料４２とを透過した電磁波による検出器１２の出力の差が最大になるようにインピーダンス調整をするのが好ましい：

（ａ）先ず、容器３４の内部に第１試料４１を充満させた後、データ処理機器１３は制御信号S_{CNT}をＺ軸駆動装置４６に出力する。Ｚ軸駆動装置４６は、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、検出用アンテナ３２の位置を調整位置（例えば容器３４のＺ軸方向の中央近傍の位置）に移動させる。次に、発信機１１を動作させ、発信機１１からの電磁波をケーブル１４を介して（無反射板２１を通り抜け）、放射用アンテナ３１に給電する。そして、放射用アンテナ３１から電磁波を空間に放射し、第１試料４１に電磁波を照射する。放射用アンテナ３１から放射された電磁波は、第１試料４１を透過し、検出用アンテナ３２で集められる。更に、この検出用アンテナ３２の出力は、ケーブル１５を介して（無反射板２２を通り抜け）、検出器１２で検出される。

【００４７】

（ｂ）次に、容器３４の内部に第２試料４２を充満させた後、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、検出用アンテナ３２の位置を調整位置に移動させる。次に、発信機１１からの電磁波をケーブル１４を介して（無反射板２１を通り抜け）、放射用アンテナ３１に給電する。そして、放射用アンテナ３１から電磁波を空間に放射し、第２試料４２に電磁波を照射する。放射用アンテナ３１から放射された電磁波は、第２試料４２を透過し、検出用アンテナ３２で集められる。更に、この検出用アンテナ３２の出力は、ケーブル１５を介して（無反射板２２を通り抜け）、検出器１２で検出される。この状態で、第１試料４１を透過した電磁波による検出器１２の出力と、第２試料４２を透過した電磁波による検出器１２の出力との差が最大になるように、必要なインピーダンス調整等を行う。所定の調整が終了したら、データ処理機器１３は、第１試料４１を透過した電磁波による検出器１２の出力と、第２試料４２を透過した電磁波による検出器１２の出力を、調整位置の基準透過電力として記録する。

【００４８】

このインピーダンス調整等をした後、界面の位置が未知の被測定対象（３４，３５，４１，４２）を、用意し、上記の（イ）の過程から測定を開始しても良い。このようなインピーダンス調整の過程において、第１試料４１と第２試料４２との界面の判断基準となる「予め決定され検知レベル」も算出可能である。例えば、容器３４に第１試料４１を満た

したときに検知される基準透過電力レベルと、容器３４に第２試料４２を満たしたときに検知される基準透過電力レベルとをデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１試料４１と第２試料４２との界面に電磁波が照射されたときの検知レベルを計算により求めることができる。

【００４９】

或いは、予備実験として、第１試料４１と第２試料４２との界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルをデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、それを検知レベルとして予め決定しておいても良い。

【００５０】

以上のようにして、第１の実施の形態に係る界面検出装置及び界面検出方法によれば、不透明の容器、或いは透明の容器であっても、外側に紙等の不透明材料のシールが貼ってある場合における容器の内部の試料の界面を外部から、非接触で測定できる。以下の図２～図６に示す結果から分かるように、λ／１０程度以下の精度で、界面の位置を検出でき、電磁波の周波数を高くすることにより、その分解能は向上する。

【００５１】

［放射用アンテナとしてループアンテナを用いた場合］

図２は、第１試料４１として水、第２試料４２として空気を用い、水と空気の界面に周波数９．４ＧＨｚの電磁波を照射した場合に、検出用アンテナ３２で検出される透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の容器３４に対するＺ軸方向の相対的位置との関係を示す。但し、既に述べたように、本発明の第１の実施の形態に係る界面検出装置に用いる電磁波の周波数は、原理的には制限はなく、９．４ＧＨｚは一例に過ぎないことに留意する必要がある。横軸の検出用アンテナ３２の容器３４に対する相対的位置は、Ｚ軸方向に測るが、第１試料４１と第２試料４２との界面の位置を原点としている。但し、図１（ａ）に示すように、表面張力に伴い、第１試料４１と第２試料４２との界面は下に凸となるように湾曲しているので、湾曲部に伴う界面の幅（誤差）を有する。なお、容器３４は、外径１６．５ｍｍ、肉厚１ｍｍ、長さ１６５ｍｍのホウケイ酸ガラス製の試験管である（容器３４のサイズ、材質等は、式（１）の減衰定数γ_iを規定する導電率σ_i，誘電率ε_i，透磁率μ_i等を考慮して、選定すれば良く、試験管に限定する必要はないが、以下の図３～図６，図８，図９に示す結果はすべて同一サイズ、同一材料の試験管を容器３４として用いている。）。

【００５２】

周波数９．４ＧＨｚは、自由空間の波長λに換算すると、λ＝３．２ｃｍになる。

【００５３】

上述したように、ループアンテナの直径Ｄは、検出分解能と検出可能電力レベルとの関係で決められるが、図２では、放射用アンテナ３１は、直径Ｄ＝６ｍｍ（ループの円周長０．５９λ）程度のループアンテナを、検出用アンテナ３２は、直径Ｄ＝１．５ｍｍ（ループの円周長０．１５λ　λ／７）程度のループアンテナを、一例として用いている。放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２との間隔は３５ｍｍ（　１．１λ）、検出用アンテナ３２と容器３４との間隔３ｍｍ（　０．０９λ）の近傍界領域(フレネル領域)の測定である。ここで、「検出用アンテナ３２と容器３４との間隔」は、検出用アンテナ３２の先端と容器３４の外壁との間の距離で定義される。

【００５４】

図２に示すように、第１試料４１と第２試料４２との界面は、透過電力レベルを予め決定された検知レベルと比較することにより、識別できる。例えば、予備実験として、容器３４に第１試料４１の水を満たしたときに検知される透過電力レベルT_{water}と、容器３４に第２試料４２の空気を満たしたときに検知される透過電力レベルT_{air}とを図１のデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１試料４１と第２試料４２との界面に電磁波が照射されたときの検知レベルをT_{water}とT_{air}との値から計算により求めることができる。或いは、予備実験として、第１試料４１と第２試料４２との界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルをデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、それ

を検知レベルとして決めておき、その値を基準に界面の位置を判断すれば良い。

【００５５】

図２から分かるように、検知レベルの値より大きな電力が受信される際には、空気層（第２試料）４２がある位置に検出用アンテナ３２があることであり、－８６ｄＢｍより小さな電力（弱い電力）では、水の層（第１試料）４１の箇所に検出用アンテナ３２があることを意味するので、第１試料４１と第２試料４２との界面を判断できる。図２では、検知レベルを－８６ｄＢｍに設定することにより、第１試料４１と第２試料４２との界面の位置が、３ｍｍ～１ｍｍ（　λ／１０～λ／３０）程度の分解能で検出可能となる。電磁波の周波数を高くすれば、１ｍｍ以下の分解能も達成可能である。

【００５６】

図３は、第１試料４１として水、第２試料４２として灯油を用い、水と灯油の界面に９．４ＧＨｚの電磁波を照射した場合に、検出用アンテナ３２で検出される透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の容器３４に対する相対的位置との関係を示す。横軸は、第１試料４１と第２試料４２との界面の位置を原点としている。但し、図１（ａ）に示すように、表面張力に伴い、第１試料４１と第２試料４２との界面は下に凸となるように湾曲しているので、湾曲部に伴う界面の幅（誤差）を有する。

【００５７】

図３では、放射用アンテナ３１は、直径Ｄ＝６ｍｍ程度のループアンテナを、検出用アンテナ３２は、直径Ｄ＝１．５ｍｍ程度のループアンテナを、一例として用いているが、ループアンテナの直径Ｄは、検出分解能と検出可能電力レベルとの関係で決められる。放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２との間隔は３５ｍｍ（　１．１λ）及び６０ｍｍ（　１．９λ）の二通りとし、いずれも、検出用アンテナ３２と容器３４との間隔１０ｍｍ（　０．３１λ）としている。

【００５８】

図２と同様に、図３の場合も、第１試料４１と第２試料４２との界面は、透過電力レベルから識別できるが、放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２との間隔が狭い方が、界面分解能は高くなることが分かる。図３からプローブ（検出用アンテナ）３２と容器３４との間隔は、広くなるにしたがって、界面近傍の変化量は小さくなるが、３５～６０ｍｍ程度の範囲では、その差異は小さいことが分かる。

【００５９】

［放射用アンテナとしてホーンアンテナを用いた場合］

図４は、放射用アンテナ３１として、矩形ホーンアンテナを用い、９．４ＧＨｚの電磁波を照射した場合の結果を示す。このとき、検出用アンテナ３２としては、直径Ｄ＝１．５ｍｍ程度のループアンテナを用いている。既に、説明したように、ループアンテナの直径Ｄは、検出分解能と検出可能電力レベルとの関係で決められるので、直径Ｄ＝１．５ｍｍに限定される理由はない。

【００６０】

第１試料４１として水、第２試料４２として空気を用いた点、及び容器３４とプローブ（検出用アンテナ）３２の距離を約３ｍｍ（　０．０９λ）とした点は、図２の場合と同様である。図４では、容器３４の０ｍｍの位置が水と空気の界面になるようにして、９．４ＧＨｚの電磁波を照射した場合の、検出用アンテナ３２で検出される透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の容器３４に対する相対的位置との関係を△で示す。更に、図４は、容器３４が空の場合（即ち全部第２試料４２が空気の場合）の透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の容器３４に対する相対的位置との関係を◇で、容器３４が水で満たされた場合（即ち全部第１試料が水の場合）の透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の容器３４に対する相対的位置との関係を□で示している。但し、図１（ａ）に示すように、表面張力に伴い、第１試料４１と第２試料４２との界面は下に凸となるように湾曲しているので、湾曲部に伴う界面の幅（誤差）を有するのは、図２の場合と同様である。

【００６１】

放射用アンテナ３１として矩形ホーンアンテナを用いた場合は、図２の放射用アンテナ３１としてループアンテナを用いた場合に比し、若干精度が落ちるが、図４に示すように、第１試料４１と第２試料４２との界面が、透過電力レベルの変化を示す曲線から識別できる。即ち、容器３４に第１試料（水）４１を満たしたときに検知される透過電力レベル（□）と、容器３４に第２試料（空気）４２を満たしたときに検知される透過電力レベル（◇）とを図１のデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１試料４１と第２試料４２との界面に電磁波が照射されたときの検知レベルを計算により求めることができる。或いは、予備的に測定した図４を校正曲線として用い、第１試料４１と第２試料４２との界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルを検知レベルとして決定し、この検知レベルをデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、その値を界面の位置の判断基準とすれば良い。

【００６２】

図４から分かるように、第１試料４１と第２試料４２との界面近辺で透過電力に変化が現れている。この大きさ及び強度は、第１試料４１と第２試料４２との界面を作る物質の電磁波特性により異なるが、物質の状況が透過波の電力として表現できることが分かる。

【００６３】

図５は、図４と同様に、放射用アンテナ３１として矩形ホーンアンテナを用い、９．４ＧＨｚの電磁波を照射し、検出用アンテナ３２として、図４よりも大きな直径Ｄ＝６ｍｍ程度のループアンテナを用いた場合の結果を示す。図４と同様に、検出用アンテナ３２と容器３４との間隔を３ｍｍ（　０．０９λ）としている。図５の場合も、容器３４に第１試料（水）４１を満たしたときに検知される透過電力レベル（△）と、容器３４に第２試料（空気）４２を満たしたときに検知される透過電力レベル（□）とを図１のデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１試料４１と第２試料４２との界面に電磁波が照射されたときの検知レベルを計算により求めることができる。或いは、予備的に測定した図５を校正曲線として用い、第１試料４１と第２試料４２との界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルを検知レベルとして決定し、この検知レベルをデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、その値を界面の位置の判断基準とすれば良い。

【００６４】

図６は、図４と同様にして、検出用アンテナ３２として直径Ｄ＝６ｍｍ程度のループアンテナを用い、９．４ＧＨｚの電磁波を照射した場合の結果である。図６では、検出用アンテナ３２と容器３４との間隔を、３ｍｍ（　０．０９λ）（◇），１０ｍｍ（　０．３１λ）（□），２０ｍｍ（　０．６３λ）（△）と変え、その効果を調べている。検出用アンテナ３２と容器３４との間隔を３ｍｍ（　０．０９λ）とした方が、検出精度が高く、検出用アンテナ３２と容器３４との間隔を１０ｍｍ（　０．３１λ）以上では検出精度が低下している。但し、１０ｍｍ（　０．３１λ）以上における検出精度の低下の度合いは、ほぼ飽和に近いことが分かる。

【００６５】

（第２の実施の形態）

図７に示ように、本発明の第２の実施の形態においては、被測定対象（３４，３５，４１，４２、４３）は、第１試料４１，第２試料４２及び第３試料４３が容器３４に収納されて構成されている。このため、第１試料４１と第２試料４２との間に第１界面が、第２試料４２と第３試料４３との間に第２界面が形成されている。第１試料４１と第２試料４２とは、互いに物性（物質定数）σ_i，ε_i，μ_i（ｉ＝１，２）の異なる物質である。又、第２試料４２と第３試料４３とは、互いに物性σ_i，ε_i，μ_i（ｉ＝２，３）の異なる物質である。

【００６６】

そして、第２の実施の形態に係る界面検出装置は、内部に第１及び第２界面を有する被測定対象（３４，３５，４１，４２、４３）に、電磁波を照射する電磁波照射手段（１１，１４，３１）と、被測定対象（３４，３５，４１，４２、４３）を透過した電磁波を検出する電磁波検出手段（３２，１５，１２）と、第１又は第２界面と電磁波検出手段（３

２，１５，１２）との相対的位置を変化させる位置移動機構（４５，４６）とを備える。図７では、容器３４は、この容器３４を密閉する蓋３５を有するが、一般には、蓋３５は、容器３４を完全に密閉する必要はなく、状況や測定仕様に応じて、蓋３５を省略しても良い。

【００６７】

第２の実施の形態に係る界面検出装置においては、電磁波照射手段（１１，１４，３１）は、発信機１１と、発信機１１に接続されたケーブル１４と、ケーブル１４に接続された放射用アンテナ３１を備える。又、電磁波検出手段（３２，１５，１２）は、検出用アンテナ３２と、検出用アンテナ３２に接続されたケーブル１５と、ケーブル１５に接続された検出器１２を備える。第１の実施の形態に係る界面検出装置と同様に、図７では、更に　電磁波照射手段（１１，１４，３１）側に、平板形状の無反射板２１が配置され、電磁波検出手段（３２，１５，１２）側に、平板形状の無反射板２２が、容器３４を挟んで平行平板状に互いに対向して配置されている。そして、位置移動機構（４５，４６）は、無反射板２２をＺ軸方向に移動させるＺ軸移動ステージ４５と、このＺ軸移動ステージ４５を駆動するＺ軸駆動装置４６から構成されている。無反射板２２をＺ軸方向に移動させることにより、位置移動機構（４５，４６）は、無反射板２２に固定された検出用アンテナ３２をＺ軸方向に移動させる。ケーブル１５は、位置移動機構（４５，４６）により、検出プローブ（検出用アンテナ）３２の位置が、Ｚ軸方向に移動可能なように、少なくとも、無反射板２２と検出器１２との間は、フレキシブルなケーブルで構成される。一方、被測定対象（３４，３５，４１，４２、４３）と無反射板２２の間のケーブル１５は、剛性を有する同軸ケーブル１５で、検出用アンテナ３２の位置を無反射板２２に固定するのが好ましい。

【００６８】

なお、図７に示す位置移動機構（４５，４６）は、例示であり、後述する第３の実施の形態に係る界面検出装置のように、検出用アンテナ３２の位置を固定しておき、容器３４を移動しても良い。又、電磁波照射手段（１１，１４，３１）側の無反射板２１にも、Ｚ軸方向に移動させるＺ軸移動ステージと、このＺ軸移動ステージを駆動するＺ軸駆動装置を設け、放射用アンテナ３１の指向性方向に常に検出用アンテナ３２が位置するようにして、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を同時に移動しても良い。

【００６９】

検出器１２は、ケーブル１６を介して、検出器１２の出力信号を処理するデータ処理機器１３に接続される。データ処理機器１３は、容器３４に第１試料４１のみを満たしたときに検知される透過電力レベルと、容器３４に第２試料４２のみを満たしたときに検知される透過電力レベル、及び容器３４に第３試料４３のみを満たしたときに検知される透過電力レベルを、内蔵若しくは外部接続した記憶装置に記憶させておき、第１試料４１と第２試料４２との第１界面に電磁波が照射されたときの検知レベル、及び第２試料４２と第３試料４３との第２界面に電磁波が照射されたときの検知レベルを、それぞれ計算により求める演算を実行する。

【００７０】

或いは、被測定対象（３４，３５，４１，４２、４３）に対して、検出プローブ（検出用アンテナ）３２を一定方向（Ｚ軸方向）に移動した場合の相対位置に対する検出信号（電力或いは位相）等のデータの記録をし、更に、その数値に基づく演算を行う。即ち、予備的に図８又は図９のような校正曲線を求めておき、予備実験として、第１試料４１と第２試料４２との第１界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルを第１界面検知レベルとして決定し、第２試料４２と第３試料４３との第２界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルを第２界面検知レベルとして決定し、これらの第１及び第２界面検知レベルをデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１及び第２界面検知レベルを界面の位置の判断基準とする。或いは、図８又は図９に示すような透過電力（ｄＢｍ）とプローブ位置の関係を示す曲線の２次微分や３次微分により、第１及び第２界面検知レベルを求める演算や、１次微分、２次微分や３次微分により求めた第１及び第２界面検知レベ

ルを記憶する。

【００７１】

更に、データ処理機器１３は、Ｚ軸駆動装置４６に制御信号S_{CNT}を出力する。制御信号S_{CNT}に制御されて、Ｚ軸駆動装置４６は、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、被測定対象（３４，３５，４１，４２）に対して、無反射板２２の位置を一定方向（Ｚ軸方向）に相対的に移動させる。無反射板２２をＺ軸方向に移動させることにより、被測定対象（３４，３５，４１，４２、４３）に対して、検出プローブ（検出用アンテナ）３２がＺ軸方向に移動する。データ処理機器１３は、更に、発信機１１にも制御信号を送り、電磁波の照射の制御をしても良い。

【００７２】

被測定対象（３４，３５，４１，４２、４３）の構成、即ち、容器３４の内部に、第１試料４１，第２試料４２及び第３試料４３が３層構造となるように収納され、第１試料４１と第２試料４２との間に第１界面が、第２試料４２と第３試料４３との間に第２界面が形成された点、及び位置移動機構（４５，４６）の構成等を除けば、他の事項は、第１の実施の形態に係る界面検出装置と基本的に同様であるので、重複した説明を省略する。

【００７３】

第２の実施の形態に係る界面検出装置においても、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２としては、図１（ｂ）に示すようなループアンテナが使用可能である。更に、放射用アンテナ３１としては、図１（ｃ）に示すような矩形ホーンアンテナや、図示を省略した円錐ホーンアンテナでも良いことは勿論である。

【００７４】

図７に示す第２の実施の形態に係る界面検出装置の構成においては、発信機１１からの電磁波は、ケーブル１４を通り、無反射板２１を通り抜け、放射用アンテナ（ループアンテナ）３１から空間に放射される。放射用アンテナ３１から放射された電磁波は、容器３４及びその中にある第１試料４１，第２試料４２及び第３試料４３を透過し、検出用アンテナ（ループアンテナ）３２で集められる。この検出用アンテナ（ループアンテナ）３２の出力は、ケーブル１５を通り検出器１２で検出する。検出信号に対して、データ処理機器１３により、所望のデータ処理がされる。

【００７５】

（１）式から分かるように、電磁波の減衰定数γ_iは、物質定数σ_i，ε_i，μ_i（$i=1$，２，３）により変化するため、測定された電磁波強度の差異から、第１試料４１，第２試料４２及び第３試料４３との境界が検知できる。第１試料４１，第２試料４２及び第３試料４３の間の境界の検出は、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を移動しても良く、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を固定しておき、容器３４を移動しても良い。

【００７６】

第２の実施の形態に係る界面検出装置によれば、不透明の容器、或いは透明の容器であっても、外側に紙等の不透明材料のシールが貼ってある場合における容器の内部の３層構造の試料の第１界面及び第２界面を外部から、非接触で測定できる。以下の図８及び図９に示す結果から分かるように、λ／１０程度以下の精度で、３層構造の試料の第１界面及び第２界面の位置を検出できる。

【００７７】

［放射用アンテナとしてループアンテナを用いた場合］

図８は、第１試料４１として水、第２試料４２として蝋、第３試料４３として水を用い、第１試料（水）４１と第２試料（蝋）４２との間の第１界面、及び第２試料（蝋）４２と第３試料（水）４３との間の第２界面に、それぞれ９．４ＧＨｚ（λ＝３．１９ｃｍ）の電磁波を照射した場合に、検出用アンテナ３２で検出される透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の容器３４に対する相対的位置との関係を示す。

【００７８】

図８では、Ｚ軸方向において、第１界面の位置を０ｍｍ、第２界面の位置を１５ｍｍと

している。但し、図７に示すように、表面張力に伴い、第１試料４１と第２試料４２との第１界面、及び第２試料４２と第３試料４３との間の第２界面は、それぞれ湾曲するので、湾曲部に伴う界面の幅（誤差）を有する。特に、第２試料４２として蝋が、容器３４の壁をはい上がるので、界面が明確でなくなる傾向にある。即ち、第２試料４２として蝋の層は１５ｍｍ厚さがあるが、表面張力と固形時の析出不均一により、第２試料４２と第３試料４３との間の第２界面は、特に明確ではない。

【００７９】

放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２ともに、直径Ｄ＝６ｍｍ程度のループアンテナを用いている。放射用アンテナ３１と検出用アンテナ３２との間隔は、３５ｍｍ（◇印）及び６０ｍｍ（□印）の二通りとし、いずれも、検出用アンテナ３２と容器３４との間隔５ｍｍとしている。

【００８０】

図８に示すように、透過電力が最大となる位置から、第２試料４２としての蝋の箇所が検知でき、第１試料４１と第２試料４２との第１界面、及び第２試料４２と第３試料４３との間の第２界面も、透過電力レベルから識別できる。

【００８１】

図８の場合も、容器３４に第１試料（水）４１又は第３試料（水）４３を満たしたときに検知される透過電力レベルと、容器３４に第２試料（蝋）４２を満たしたときに検知される透過電力レベルとを図７のデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１試料４１と第２試料４２との第１界面に電磁波が照射されたときの検知レベル、及び第２試料４２と第３試料４３との第２界面に電磁波が照射されたときの検知レベルを、それぞれ計算により求めることができる。或いは、予備的に測定した図８を校正曲線として用い、第１試料４１と第２試料４２との第１界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルを第１界面検知レベルとして決定し、第２試料４２と第３試料４３との第２界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルを第２界面検知レベルとして決定し、これらの第１及び第２界面検知レベルをデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１及び第２界面検知レベルを界面の位置の判断基準とすれば良い。図８では、第１及び第２界面検知レベルを、－８５～８６ｄＢｍ程度に設定することにより、第１界面及び第２界面の位置が、３ｍｍ～１ｍｍ（　λ／１０～λ／３０）程度の分解能で検出可能となる。

【００８２】

［放射用アンテナとしてホーンアンテナを用いた場合］

図９は、放射用アンテナ３１として、矩形ホーンアンテナを用い、９．４ＧＨｚの電磁波を照射した場合の結果を示す。検出用アンテナ３２は、直径Ｄ＝６ｍｍ程度のループアンテナを用いている。検出用アンテナ３２と容器３４との間隔は、１０ｍｍである。そして、第１試料４１として水、第２試料４２として油（ラード）、第３試料４３として水を用い、第１試料（水）４１と第２試料（油）４２との間の第１界面、及び第２試料（油）４２と第３試料（水）４３との間の第２界面に、それぞれ９．４ＧＨｚの電磁波を照射し、検出用アンテナ３２で検出される透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の容器３４に対する相対的位置との関係をプロットしている。図９では、Ｚ軸方向において、第１界面の位置を０ｍｍ、第２界面の位置を１３ｍｍとしている。但し、図７に示すように、表面張力に伴い、第１試料４１と第２試料４２との第１界面、及び第２試料４２と第３試料４３との間の第２界面は、それぞれ下に凸となるように湾曲するので、湾曲部に伴う界面の幅（誤差）を有している。

【００８３】

図９に示すように、透過電力が最大となる位置から、第２試料４２としての油（ラード）の箇所が検知でき、第１試料４１と第２試料４２との第１界面、及び第２試料４２と第３試料４３との間の第２界面も、透過電力レベルから識別できる。図９の場合も、容器３４に第１試料（水）４１又は第３試料（水）４３を満たしたときに検知される透過電力レベルと、容器３４に第２試料（油）４２を満たしたときに検知される透過電力レベルとを図７のデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１界面に電磁波が照射された

ときの検知レベル及び第２界面に電磁波が照射されたときの検知レベルを、それぞれ計算により求めることができる。或いは、予備的に図９と同様な校正曲線を測定しておき、この校正曲線により、第１界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルを第１界面検知レベルとして決定し、第２界面に電磁波が照射されたときの透過電力レベルを第２界面検知レベルとして決定しておけば良い。即ち、これらの第１及び第２界面検知レベルをデータ処理機器１３の記憶装置に記憶させておき、第１及び第２界面検知レベルを界面の位置の判断基準とできる。図９では、第１及び第２界面検知レベルを、－８０～８２ｄＢｍ程度に設定することにより、第１界面及び第２界面の位置が、検出可能となる。

【００８４】

図９は、容器３４に対する検出用アンテナ３２の位置を水平方向（Ｘ軸方向）に３箇所移動させた結果を示している。即ち、容器３４に向かって定義した左端側（◇印）、中央（□印）及び右端側（△印）の通過位置をパラメータとして、電磁波の透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の容器３４に対する上下方向（Ｚ軸方向）の相対的位置との関係をプロットしたものである。容器３４の水平方向（Ｘ軸方向）の３箇所において、電磁波の透過電力曲線に殆ど差異が認められないことが分かる。

【００８５】

（第３の実施の形態）

図１に示した第１の実施の形態に係る界面検出装置では、２板の平行平板状の無反射板２１、２２を用いた例を示したが、図１０に示すように、円筒状の無反射板（無反射筒）２３で囲えば、更に測定精度及び感度が向上する。

【００８６】

本発明の第３の実施の形態に係る界面検出装置は、図１０に示ように、第１試料４１及び第２試料４２を収納する容器３４と、この容器３４に電磁波を照射する電磁波照射手段（１１，１４，３１）と、容器３４及び容器３４中の第１試料４１及び第２試料４２を透過した電磁波を検出する電磁波検出手段（３２，１５，１２）を備える。第３の実施の形態に係る界面検出装置においても、第１の実施の形態に係る界面検出装置と同様に、電磁波照射手段（１１，１４，３１）は、発信機１１と、発信機１１に接続されたケーブル１４と、ケーブル１４に接続された放射用アンテナ３１を備える。又、電磁波検出手段（３２，１５，１２）は、検出用アンテナ３２と、検出用アンテナ３２に接続されたケーブル１５と、ケーブル１５に接続された検出器１２を備える。

【００８７】

そして、図１０に示す第３の実施の形態に係る界面検出装置においては、容器３４の円周方向を周回するように円筒状の無反射板（無反射筒）２３が、容器３４を完全にシールドしている。無反射板（無反射筒）２３として、錫（Ｓｎ）をドープした酸化インジウム（In_2O_3）膜（ＩＴＯ）、インジウム（Ｉｎ）をドープした酸化亜鉛（ＺｎＯ）膜（ＩＺＯ）、ガリウム（Ｇａ）をドープした酸化亜鉛膜（ＧＺＯ）、酸化錫（SnO_2）等の透明電極を吸収膜や反射膜に用いた透明電波吸収体を用いれば、円筒状の無反射板（無反射筒）２３の内部の容器３４が観測できるので、測定が容易になる。

【００８８】

図１０に示す第３の実施の形態に係る界面検出装置の構成においては、発信機１１からの電磁波は、ケーブル１４を通り、無反射板（無反射筒）２３を通り抜け、放射用アンテナ（ループアンテナ）３１から空間に放射される。放射用アンテナ３１から放射された電磁波は、容器３４及びその中にある第１試料４１及び第２試料４２を透過し、検出用アンテナ（ループアンテナ）３２で集められる。この検出用アンテナ（ループアンテナ）３２の出力は、ケーブル１５を通り、無反射板（無反射筒）２３を通り抜け、検出器１２で検出する。検出信号に対して、データ処理機器１３により、所望のデータ処理がされる。

【００８９】

第１試料４１及び第２試料４２の間の境界の検出は、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を移動しても良く、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を固定しておき、容器３４を移動しても良い。図１０では、位置移動機構（４５，４６）は、容器３４

を搭載し、容器３４をＺ軸方向に移動させるＺ軸移動ステージ４５と、このＺ軸移動ステージ４５を駆動するＺ軸駆動装置４６から構成されている。即ち、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を固定し、容器３４をＺ軸方向に移動させる場合の例を模式的に示している。Ｚ軸移動ステージ４５は、ステップモータ等のＺ軸駆動装置４６により駆動され、Ｚ軸駆動装置４６はＣＰＵ４７により制御される。第１及び第２の実施の形態とは異なり、第３の実施の形態では、ＣＰＵ４７がＺ軸駆動装置４６に制御信号S_{CNT}を出力するが、第１及び第２の実施の形態と、同様に、データ処理機器１３がＺ軸駆動装置４６に制御信号S_{CNT}を出力するようにしても良い。いずれにせよ、制御信号S_{CNT}に制御されて、Ｚ軸駆動装置４６は、Ｚ軸移動ステージ４５を駆動して、無反射板（無反射筒）２３に対して、被測定対象（３４，３５，４１，４２）の位置を一定方向（Ｚ軸方向）に相対的に移動させる。

【００９０】

図１０と逆に、容器３４の位置を固定し、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を無反射板（無反射筒）２３とともに、Ｚ軸方向に移動させても良い。この場合は、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２の無反射板（無反射筒）２３の内部に突出した部分を剛性を有する同軸ケーブル１４，１５で固定し、同軸ケーブル１４，１５の無反射板（無反射筒）２３の外側をフレキシブルなケーブルとし、無反射板（無反射筒）２３を図１０と同様なＺ軸移動ステージ４５に搭載すれば良い。

【００９１】

第３の実施の形態に係る界面検出装置によれば、不透明の容器、或いは透明の容器であっても、外側に紙等の不透明材料のシールが貼ってある場合における容器の内部の試料の界面を、第１の実施の形態に係る界面検出装置も更に高精度で測定できる。

【００９２】

（その他の実施の形態）

上記のように、本発明は第１～第３の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【００９３】

例えば、図１１及び図１２に示すように、電磁波伝搬経路内に電磁波の一部のみを通過させるスリット３９，３８を配したスリット板２５、２６を設置した電磁波検出法により、第１試料４１と第２試料との界面検出の精度を高めることができる。

【００９４】

図１１は、容器３４と検出用アンテナ３２との間にスリット３９を有するスリット板２５を設置した例であり、スリット板２５を設置することにより、第１試料４１と第２試料との界面検出の精度を高めることができる。但し、スリット３９から効率よく電磁波を放射するために、共振型スリットを用いるのが良い。スリット３９の幅は電磁波放射ができる範囲で、狭い方が良い。スリット板２５を設置することにより、界面検出の精度を高まるので、検出用アンテナ３２として、第１～第３の実施の形態で説明したループアンテナ以外に、矩形ホーンアンテナや、円錐ホーンアンテナ等他のアンテナでも良い。

【００９５】

図１２は、容器３４と放射用アンテナ（図示省略）との間にスリット３８を有するスリット板２６を設置した例であり、図１２に示すような構成によっても、第１試料４１と第２試料との界面検出の精度を高めることができる。但し、スリット３８から効率よく電磁波を放射するために、λ／２のスリット長を有する共振型スリットを用いるのが良い。スリット３８の幅は電磁波放射ができる範囲で、狭い方が良い。

【００９６】

更に、図１３に示すように、スリット３９ａ，３９ｂ，３９ｃ，３９ｄ，・・・・・を有する多孔スリット板２７を用意し、この多孔スリット板２７を、容器３４と第１検出用アンテナ３２ａ，第２検出用アンテナ３２ｂ，第３検出用アンテナ３２ｃ，第４検出用アンテナ３２ｄ，・・・・・との間に設置しても良い。検出用アンテナ３２ａ，３２ｂ，３

２ｃ，３２ｄ，・・・・・の出力はケーブル１５ａ，１５ｂ，１５ｃ，１５ｄ，・・・・・を介して、第１検出器１２ａ，第２検出器１２ｂ，第３検出器１２ｃ，第４検出器１２ｄ，・・・・・にそれぞれ入力される。図１３に示すように、各スリット３９ａ，３９ｂ，３９ｃ，３９ｄ，・・・・・を透過する透過電磁波を多数の検出用アンテナ３２ａ，３２ｂ，３２ｃ，３２ｄ，・・・・・により測定することにより、第１試料４１と第２試料との界面を、図１０に示すようなＺ軸移動機構を用いずに、検知することもできる。

【００９７】

図１１～図１３のスリット板２５～２７は、第１の実施の形態で説明した電波吸収体を用いて無反射板で構成しても良い。電磁波照射手段側に図１２に示すスリット板２６を用い、電磁波検出手段側に図１１に示すスリット板２５若しくは図１３に示す多孔スリット板２７を用いる構成でも良い。容器３４とこれらのスリット板２５～２７との距離をゼロとすることも可能である。例えば、図１０に示す円筒状の無反射板（無反射筒）２３をスリット筒とし、このスリット筒の電磁波照射手段側と電磁波検出手段側の両方にスリットを設けた構造でも良い。更に円筒状の容器３４の外径より極僅か大きな内径を有するスリット筒を用意し、このスリット筒の内部を円筒状の容器３４を相対的に通過させれば、円筒状の容器３４とスリット筒とで、Ｚ軸方向の直線案内機構が実現する。例えば、このような円筒状の直線案内機構を用いて、円筒状の容器３４を重力で自然落下させて、本発明の位置移動機構を構成し、物質の界面と電磁波検出手段との相対的位置を変化させるようにしても良い。

【００９８】

更に、容器３４とこれらのスリット板２５～２７との距離をゼロとした構成や、円筒状の容器３４の外径より極僅か大きな内径を有するスリット筒の構成で、スリットの内部にループアンテナの一部を挿入するような構成でも良い。

【００９９】

図２～図６，図８，図９に示した例では、液体を含む場合で説明したので、容器３４の内部にＺ軸方向（重力の方向）に沿って試料を積層し、この容器３４の位置を固定し、放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を移動、若しくは放射用アンテナ３１及び検出用アンテナ３２を固定しておき、容器３４を移動する例を示した。しかしながら、容器３４の内部に試料を積層する方向は、Ｚ軸方向に限定されるものではない。例えば、木材（多層合板）や壁材等の固体の複合材料中の界面を測定するのであれば、水平方向（Ｘ軸方向若しくはＹ軸方向等）を界面を測定する方向としても良い。更に、多層合板や壁材等の場合は、容器３４自体も必須の要件ではなく、省略可能である。

【０１００】

更に、界面を測定する方向は１次元に限定されず、２次元方向にスキャンしても構わず、２次元のアンテナアレイで測定しても良い。例えば、壁に含まれるひび割れを、２次元方向にサブミリ波帯、テラヘルツ帯の電磁波をスキャンして同定することが可能である。壁に含まれるひび割れは、第２の実施の形態において、第１試料４１と第３試料４３を壁材、第２試料４２を空気とした場合に該当する。壁の表面には現れず、内部にのみ発生したひび割れをエリアセンサとして検知可能である。

【０１０１】

本発明の第２の実施の形態では、容器３４の内部に、第１試料４１，第２試料４２及び第３試料４３の３層構造の試料を収納した場合について説明したが、４層構造以上の試料でも同様に測定可能なことは、以上の説明の趣旨から容易に理解できるであろう。

【０１０２】

第１及び第２の実施の形態に係る界面検出装置では、図１（ａ）及び図７に示したように、発信機１１と放射用アンテナ３１との間に、無反射板２１が配置され、検出用アンテナ３２と検出器１２の間に、無反射板２２が配置されている。しかし、ガンダイオードや半導体集積回路で小型の発信機１１を構成した場合や、サブミリ波用のショットキーダイオードのような小型の検出器１２であれば、無反射板２１の放射用アンテナ３１側に発信機１１を配置したり、無反射板２２の検出用アンテナ３２側に検出器１２を配置する構成

でも良い。このことは、第３の実施の形態に係る界面検出装置でも同様で、図１０に示す無反射板（無反射筒）２３の内部に、発信機１１や検出器１２を配置する構成も許容される。更に、同軸ケーブル１５を省略し、サブミリ波用のショットキーダイオードのショットキー電極に直接ひげ状アンテナ等の検出用アンテナ３２を接続した構成でも良い。

【０１０３】

上記の第１～第３の実施の形態では、単一の周波数で測定する例を示したが、複数の周波数で測定しても良い。この場合は、複数の発信機１１を用意しても良く、単一の発信機１１で複数の周波数を発信させても良い。そして、検出器１２にネットワークアナライザを中心とした測定系を組見込み、周波数を掃引して第１～第３の実施の形態と同様な測定をしても良い。周波数を掃引することで第１試料４１，第２試料４２（更には第３試料４３）の複素誘電率のスペクトル（誘電緩和スペクトル）に起因した、透過電力とプローブ（検出用アンテナ）３２の対する相対的位置との関係が得られるので、このデータをデータ処理機器１３で解析することにより、より高精度な測定が可能になる。

【０１０４】

第１試料４１，第２試料４２（更には第３試料４３）に照射する電磁波は正弦波の連続波である必要はない。例えば、ステップパルスを第１試料４１，第２試料４２（更には第３試料４３）に印加し、検出器１２の検出した時系列のデータをデータ処理機器１３でフーリエ変換して、界面の位置を測定するようにしても良い。

【０１０５】

第１試料４１，第２試料４２（更には第３試料４３）の大きさと用いる電磁波の周波数によっては、第１試料４１，第２試料４２（更には第３試料４３）の温度が上昇する場合もあるので、そのような場合は、図１（ａ）、図７及び図１０に示した構成で、冷却装置を容器３４に設けても良い。

【０１０６】

このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【産業上の利用可能性】

【０１０７】

医療機器、食品の検査の分野等において、ラベル等で容器の内部が見られない被検査試料の測定に利用可能である。又、土木、建築の分野における内部構造の検査に利用可能である。更には、化学プラント等における内部にセンサが導入できない腐食性薬品の液面レベルの測定等に利用可能である。更に、電磁波が透過する材質の部分であれば、航空機や車両の検査にも応用可能である。

【図面の簡単な説明】

【０１０８】

【図１】本発明の第１の実施の形態に係る界面検出装置の概略の構成を説明する模式図である。

【図２】第１の実施の形態において、第１試料として水、第２試料として空気を用い、水と空気の界面に、ループアンテナからの電磁波を照射した場合の透過電力と検出用アンテナの位置との関係を示す図である。

【図３】第１の実施の形態において、第１試料として水、第２試料として灯油を用い、水と灯油の界面に、ループアンテナからの電磁波を照射した場合の透過電力と検出用アンテナの位置との関係を示す図である。

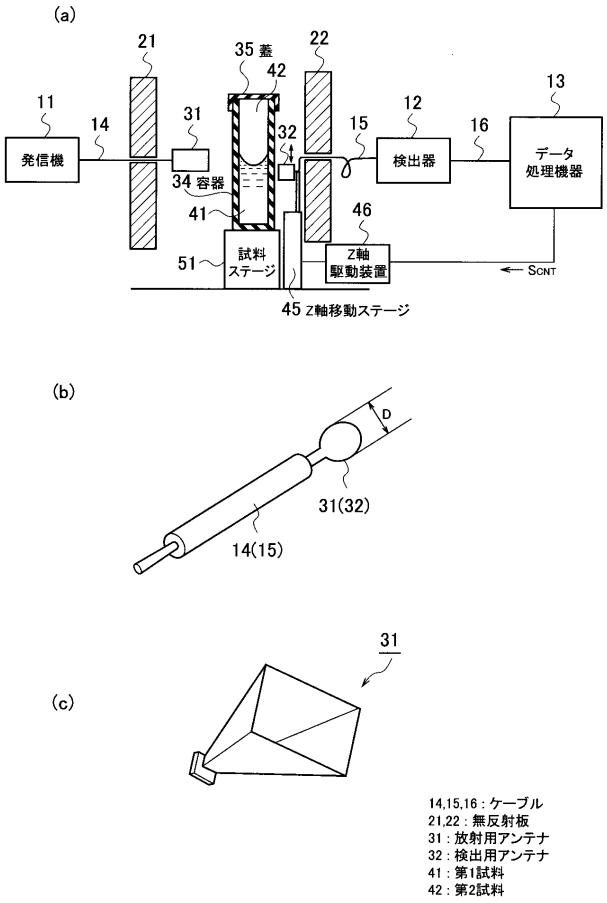
【図４】第１の実施の形態において、第１試料として水、第２試料として空気を用い、水と空気の界面に、ホーンアンテナからの電磁波を照射した場合の透過電力と検出用アンテナの位置との関係を示す図である。

【図５】第１の実施の形態において、第１試料として水、第２試料として空気を用い、水と空気の界面に、ホーンアンテナからの電磁波を照射した場合に、図４よりも大きな直径のループアンテナを用いて検出される透過電力と検出用アンテナの位置との関係を示す図

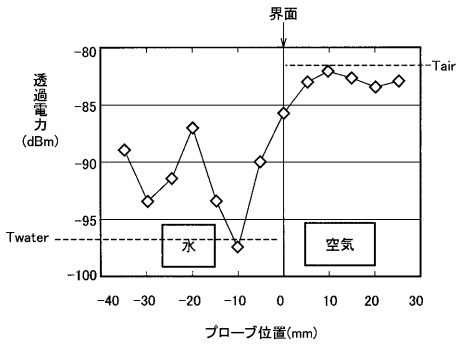
である。
【図６】第１の実施の形態において、第１試料として水、第２試料として空気を用い、水と空気の界面に、ホーンアンテナからの電磁波を照射し、検出用アンテナと容器との間隔を３ｍｍ（◇），１０ｍｍ（□），２０ｍｍ（△）と変えた場合の透過電力と検出用アンテナの位置との関係を示す図である。
【図７】本発明の第２の実施の形態に係る界面検出装置の概略の構成を説明する模式図である。
【図８】第２の実施の形態において、第１試料として水、第２試料として蝋、第３試料として水を用い、第１試料と第２試料との間の第１界面、及び第２試料と第３試料との間の第２界面に、それぞれ電磁波を照射した場合の透過電力と検出用アンテナの位置との関係を示す図である。
【図９】第２の実施の形態において、第１試料として水、第２試料として油、第３試料として水を用い、第１試料と第２試料との間の第１界面、及び第２試料と第３試料との間の第２界面に、それぞれ電磁波を照射した場合の透過電力と検出用アンテナの位置との関係を示す図である。
【図１０】本発明の第３の実施の形態に係る界面検出装置の概略の構成を説明する模式図である。
【図１１】本発明の他の実施の形態に係る界面検出装置の概略の構成を説明する模式図である。
【図１２】本発明の更に他の実施の形態に係る界面検出装置の概略の構成を説明する模式図である
【図１３】本発明の更に他の実施の形態に係る界面検出装置の概略の構成を説明する模式図である。
【符号の説明】
【０１０９】
１１…発信機
１２，１２ａ，１２ｂ，１２ｃ，１２ｄ…検出器
１３…データ処理機器
１４，１５、１５ａ，１５ｂ，１５ｃ，１５ｄ…ケーブル（同軸ケーブル）
１６…ケーブル
２０ａ…第１検出器
２０ｂ…第２検出器
２０ｃ…第３検出器
２０ｄ…第４検出器
２１，２２…無反射板
２３…無反射筒（無反射板）
２５，２６…スリット板
２７…多孔スリット板
３１…放射用アンテナ
３２…検出用アンテナ
３２ａ…第１検出用アンテナ
３２ｂ…第２検出用アンテナ
３２ｃ…第３検出用アンテナ
３２ｄ…第４検出用アンテナ
３４…容器
３５…蓋
３８，３９，３９ａ，３９ｂ，３９ｃ，３９ｄ，…スリット
４１…第１試料
４２…第２試料
４３…第３試料

４５…Ｚ軸移動ステージ
４６…Ｚ軸駆動装置
４７…ＣＰＵ
５１…試料ステージ

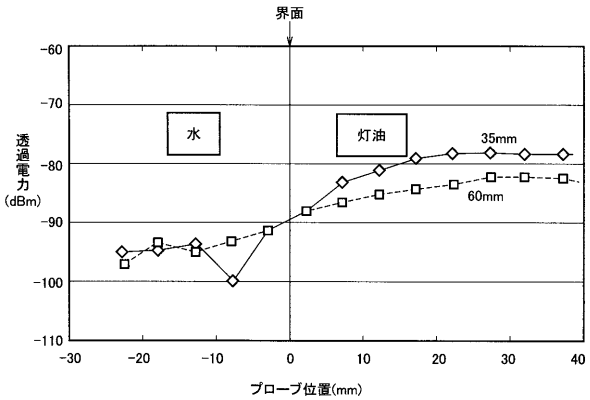
【図１】



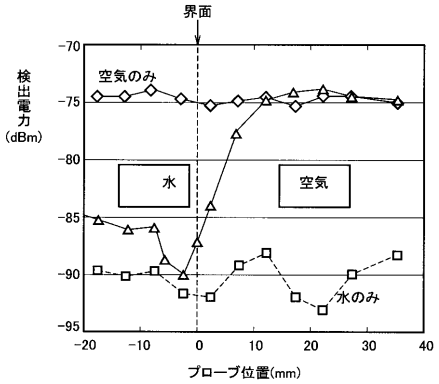
【図２】



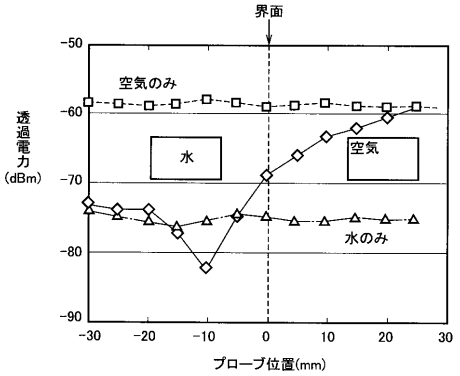
【図３】



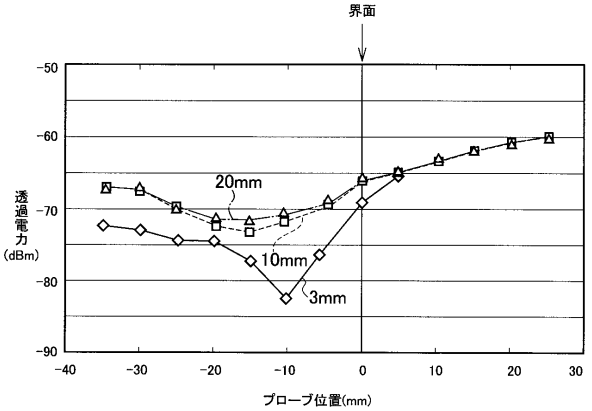
【図４】



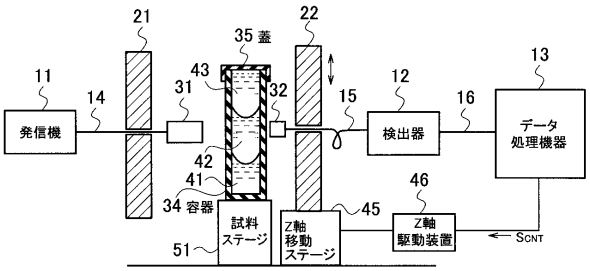
【図５】



【図６】

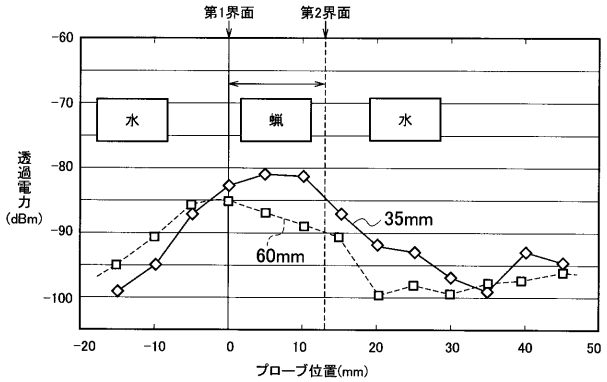


【図７】

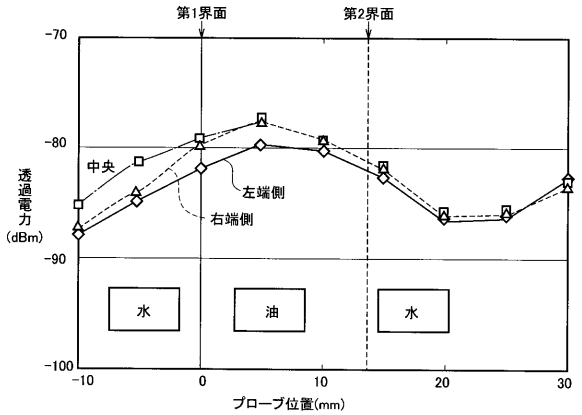


14,15,16：ケーブル
21,22：無反射板
31：放射用アンテナ
32：検出用アンテナ
41：第1試料
42：第2試料
43：第3試料

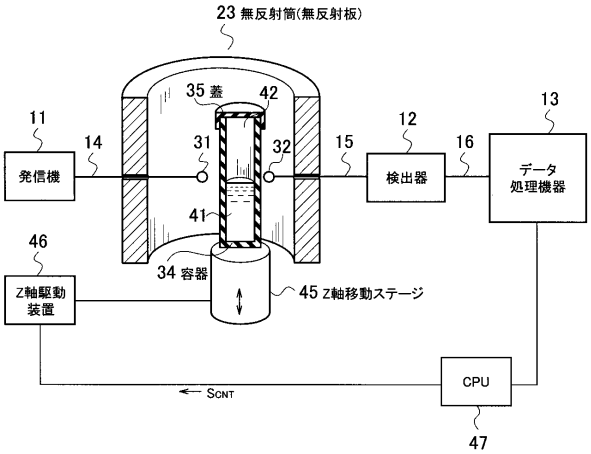
【図８】



【図９】

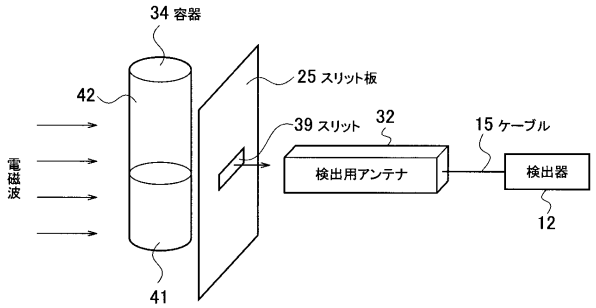


【図１０】



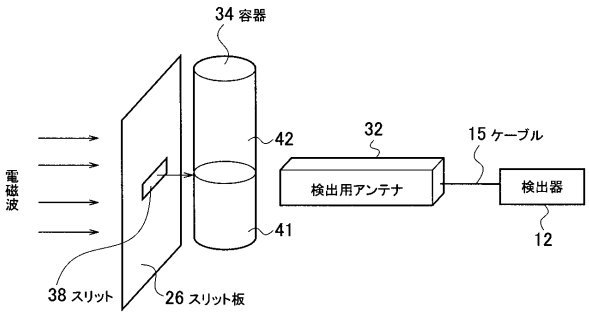
14,15,16 : ケーブル
31 : 放射用アンテナ(ループアンテナ)
32 : 検出用アンテナ(ループアンテナ)
41 : 第1試料
42 : 第2試料

【図１１】



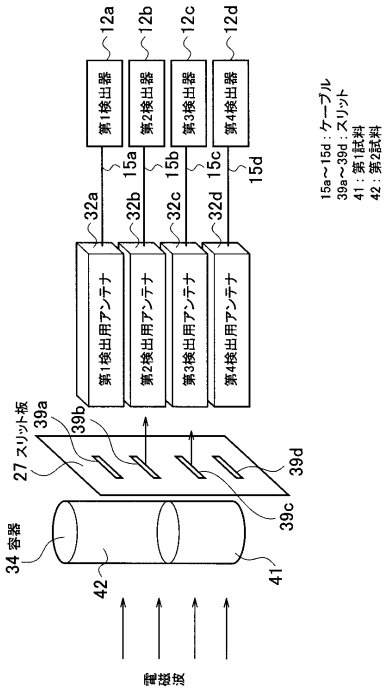
41 : 第1試料
42 : 第2試料

【図１２】



41 : 第1試料
42 : 第2試料

【図１３】



15a～15d : ケーブル
39a～39d : スリット
41 : 第1試料
42 : 第2試料