

(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  
2011年12月22日(22.12.2011)

PCT

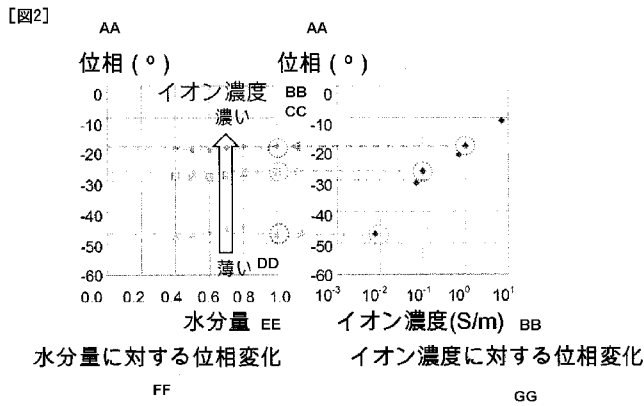
(10) 国際公開番号  
WO 2011/158812 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01N 27/06 (2006.01) G01N 27/22 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/063545
- (22) 国際出願日: 2011年6月14日(14.06.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2010-138443 2010年6月17日(17.06.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人豊橋技術科学大学(National University Corporation TOYOHASHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒4418580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 二川 雅登 (FUTAGAWA, Masato) [JP/JP]; 〒4418580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 国立大学法人豊橋技術科学大学内 Aichi (JP). 澤田 和明(SAWADA, Kazuaki) [JP/JP]; 〒4418580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 国立大学法人豊橋技術科学大学内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 小西 富雅(KONISHI, Tomimasa); 〒4600002 愛知県名古屋市中区丸の内二丁目17番12号 丸の内エステートビル Aichi (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: SPECIFICATION DEVICE FOR WATER STATUS OF SOIL, AND METHOD FOR SAME

(54) 発明の名称: 土壌の水分状態特定装置及びその方法



(57) Abstract: When specifying the water content of soil, electrical conductivity has an effect, and when specifying the electrical conductivity, water content has an effect. Therefore, even when measuring each of the characteristics separately, errors are included in the obtained values. A pair of electrodes is brought into contact with soil, an AC input electrical signal is applied to one of the electrodes, the phase of an output electrical signal from the other electrode and the phase of the input electrical signal are compared, and the ion density of the water in the soil is identified from the variation. The phase variation has nothing to do with the water content of the soil. As the electrical conductivity of soil is proportionate to the ion density and the water content, if the ion density of one is identified, the water content of the soil can be identified from the actual value of the electrical conductivity of the soil.

(57) 要約: 土壌においては、水分量を特定する際には電気伝導度が影響し、電気伝導度を特定する際には水分量が影響する。よって、それぞれの特性を単独で測定しても、得られた値には誤差が含まれてしまう。土壌に一對の電極を接触させ、電極の一方へ交流の入力電気信号を印加し、電極の他方からの出力電気信号の位相と入力電気信号の位相とを比較し、その変化量から土壌の水分に含まれるイオン濃度を特定する。この位相変化量は土壌の水分量に何ら異なる。土壌の電気伝導度は水分量とイオン濃度に比例するので、その一方のイオン濃度が特定されれば、土壌の電気伝導度の実測値から土壌の水分量を特定できる。



WO 2011/158812 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

**発明の名称**： 土壌の水分状態特定装置及びその方法

### 技術分野

[0001] 本発明は土壌の水分状態特定装置及びその方法に関する。

### 背景技術

[0002] 農作業の効率化や生産性の向上を図る見地から土壌の水分状態を特定する装置が求められている。特定すべき水分状態として水分量WC、電気伝導度EC、温度、pH、イオン濃度などがある。

既存の水分量センサとしてテンシオメータ、TDR、静電容量式センサなどが挙げられる（特許文献1、2参照）。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特表2006-527356号公報

特許文献2：特表平09-506165号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 土壌中の水分に含まれるイオン濃度を測定することは、農作物育成のための養分状態を知る上で重要な指標となる。

水溶液中のイオン濃度は電気伝導度 $\sigma$ （即ち、その抵抗率 $\rho$ の逆数）から特定することができる。この電気伝導度は水溶液中に一对の電極を接触し、その間の電気抵抗を測定することにより得られる。しかしながら、土壌においては、全ての水分が連続しているとは限らない。従って測定された土壌の電気伝導度には土壌中の土や空気の量（即ち、単位体積当たりの土壌から水分量を除いた量）が影響し、土壌に電極を接触させてその間の電気抵抗を単に測定するだけでは土壌に含まれる水分の電気伝導度、ひいては土壌中の水分のイオン濃度を正確に特定できない。

#### 課題を解決するための手段

[0005] 本発明者らは、土壤に含まれる水分のイオン濃度を特定すべく鋭意検討を重ねてきた。

本発明者ら是一对の電極間に印加する電気信号の位相変化に着目した。

その結果、当該位相変化は、水分量の如何にかかわらず、水分に含まれるイオン濃度と一定の関係を有することを見出した。

既述のように、土壤においては全ての水分が連続しているとかぎらないので、土壤に電極を接触させてその間の電気抵抗を単に測定するだけでは土壤に含まれる水分の電気伝導度、ひいては土壤中の水分のイオン濃度を正確に特定することはできない。

これに対し、位相変化を測定すれば、土壤における水分量の如何にかかわらず、水分に含まれるイオン濃度を特定できる。

[0006] 図1に示す一对の電極の下面を測定対象に接触させ、一方の電極へ所定周波数の入力電気信号を印加し、他方の電極から出力電気信号を検出する。そのときの、両者の位相変化 $\theta$ は次の式1で表わされる。

[数1]

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1} \frac{\text{Imaginary}}{\text{Real}} = \tan^{-1} \frac{-\omega CR^2}{R} \\ &= \tan^{-1} \left( -\omega \varepsilon \rho \frac{D}{WL} \frac{WL}{D} \right) = \tan^{-1}(-\omega \varepsilon \rho)\end{aligned}$$

ここにおいて、水溶液の特性は次のように表わされるものとする。

[数2-1]

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C} = \frac{R(1 - j\omega CR)}{1 + (\omega CR)^2}$$

[数2-2]

$$R = \rho \frac{D}{WL}$$

[数2-3]

$$C = \varepsilon \frac{WL}{D}$$

但し、Zは水溶液のインピーダンス、Rは水溶液における電極間の抵抗、Cは水溶液における電極間の容量を示す。

[0007] 上記式1において、周波数が固定であれば $\omega$ 及び $\varepsilon$ は定数となり、結果として、位相変化 $\theta$ は抵抗率 $\rho$ のアークタングェントに比例する。換言すれば、位相変化 $\theta$ は電気伝導度 $\sigma$  ( $= 1 / \rho$ ) の逆数のアークタングェントに比例する。電気伝導度 $\rho$ は水溶液中のイオン濃度に比例するので、結果として、位相変化 $\theta$ はイオン濃度の逆数のアークタングェントに比例することとなる。このとき、インピーダンスZは何ら影響しない。

なお、より厳密に言えば、イオン濃度の変化に伴い水溶液の誘電率 $\varepsilon$ も変化するが、その変化率は水自体の誘電率に比べて極めて小さいので無視することができる。

[0008] 図2は、周波数を固定したときの水分量に対する位相変化、イオン濃度に対する位相変化の測定結果である。

水分量1.0は水溶液の状態を示し、例えば水分量0.4は単位体積のロックウール対してその40容量%の水溶液を含浸させたことを示す。

図2の結果は、 $25 \mu\text{m} \times 4 \text{mm}$ のアルミニウムの一对を $875 \mu\text{m}$ の間隔で配置したもので測定した。

図2の結果は、位相変化 $\theta$ が水分量に依存せず、イオン濃度の逆数のアークタングェントにのみ比例することを示している。

これにより、位相変化 $\theta$ に基づき土壌中の水分のイオン濃度を特定できることがわかる。

[0009] 土壌を水分中に土成分と空気とが分散しているものと考えれば、上記の知見は、水等の溶媒Aに他の成分Bを分散させた系において、溶媒Aに溶解したイオン性の溶質Cの濃度が位相変化から特定できることを意味する。ここに、成分Bと成分Aとは電気伝導度とが異なり、成分Bは成分Aに溶解して

いない。

水分量に無関係であるので、水溶液自体（即ち、何ら他の不溶成分を含まないもの）についてのイオン濃度を位相変化から求めることもできる。

[0010] この発明の第1の局面は次のように規定される。

溶媒中に該溶媒に溶解しない不溶成分を分散した分散系において、前記溶媒に含まれる溶質の濃度を特定する方法であって、

前記分散系に一对の電極を接触させ、

前記電極の一方へ交流の入力電気信号を印加し、

前記電極の他方からの出力電気信号の位相と前記入力電気信号の位相とを比較し、

前記位相の比較結果に基づき、前記溶媒に含まれる溶質の濃度を特定する、濃度特定方法。

[0011] 上記において、溶媒は溶質を溶解できるものであれば特に限定されない。

水の他、アルコールやエーテル等の油系の溶媒を用いることもできる。

溶質は溶媒に溶解してイオン化し、溶解量に応じて溶質の電気伝導度を変化させるものとする。

不溶成分は溶媒に溶解せず、溶媒に対して物理的に独立して溶媒中に分散していれば気体、液体、固体を問わない。ただ、不溶成分は高い電気抵抗を有するものか若しくは絶縁体とする。不溶成分が導電性を備えると、分散系の電気伝導度が当該不溶成分に支配され、求めるところの溶媒の電気伝導度、ひいては溶質の濃度を得られないからである。また、不溶成分に対し溶媒の比誘電率は十分高いものとする。溶媒が不溶成分と同じ程度もしくは小さい比誘電率であった場合、不溶成分に支配され、求めるところの水分量に支配されない濃度の計測が得られないからである。

かかる不溶成分として、固体状の無機材料及び高分子材料、更には空気その他のガスを用いることができる。水を溶媒としたときは油成分を不溶成分とすることができ、また、その逆も可なりである。

[0012] 分散系として土壌を採用したときは、溶媒が水、溶質がリンやカリウム等

のイオン、不溶成分は固体成分（粘土やその二次粒子等からなる無機物、生物の屍骸等からなる有機物）や固体成分の空隙に存在する空気からなる。上記固体成分をこの明細書で「土成分」とよび、空隙に存在する空気を「空気成分」とよぶ。

分散系において不溶成分は溶媒に対して必ずしも均一に分散していてもよい。

[0013] 分散系に接触させる電極は、分散系に対して化学的に安定とすることが好ましく、例えば、金、白金等の貴金属及びその合金や炭素で形成することができる。

入力電気信号は電極の一方（第1の電極）へ入力する。入力電気信号は交流信号であり、濃度測定時にはその周波数を一定にすることが好ましい。

電極の他方（第2の電極）からの出力電気信号を検出し、入力電気信号と出力電気信号との位相を比較する。比較の一態様として両者の位相差を検出する。

[0014] 土壌においてその水分量の特定も重要である。

ここに、汎用的な電気伝導度センサによる測定結果を図3に示す。

図3の結果より、電気伝導度（EC）センサの出力は水分量及びイオン濃度に比例することがわかる。

このことは、

[数3]

$$|Z| = \frac{R}{1 + (\omega CR)^2} \sqrt{1 + (\omega CR)^2} = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

$$= \rho \frac{D}{WL} \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \epsilon \rho)^2}} = \frac{D}{WL} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\rho}\right)^2 + (\omega \epsilon)^2}}$$

より明らかである。

$1/\rho = \sigma$ （電気伝導度）のアークタージェント $\propto$ イオン濃度であり、誘

電率  $\varepsilon$  は水分量に比例するからである。

[0015] 従って、イオン濃度が特定されれば、測定された電気伝導度より水分量を特定できることがわかる。

よって、位相変化  $\theta$  よりイオン濃度を特定し、特定されたイオン濃度を基準にして、測定された電気伝導度より土壌の水分量を特定できる。

水分量の特定においても土壌は分散系の一例に過ぎないことは既述の通りである。

[0016] 以上の知見に基づき、この発明の第4の局面は次のように規定される。即ち、

前記分散系の電気伝導度を測定し、

得られた前記電気伝導度と第1～3局面の何れかに記載の濃度特定方法で特定された溶媒中のイオン性溶質の濃度とに基づき、前記分散系中の溶媒量を特定する、分散系中の溶媒量特定方法。

[0017] 上記、溶媒量特定方法を実行するための溶媒量特定装置として、第5の局面を提案する。

半導体基板と、

該半導体基板上に絶縁層を介して第1の電極対と第2の電極対とが配置され、

前記第1の電極対に接続されて、該第1の電極対間の位相変化を特定する位相変化特定部と、

前記半導体基板の特定位相変化に基づき、前記位相変化特定部で特定された位相変化を補正する位相変化補正部と、

前記第2の電極対に接続されて、該第2の電極対間の電気伝導度を特定する電気伝導度特定部と、

前記半導体基板の特定電気伝導度に基づき、前記電気伝導度特定部で特定された電気伝導度を補正する電気伝導度補正部と、

を備える溶媒量特定装置。

[0018] 本発明者らは土壌の水分に含まれるイオン濃度と水分量とを特定する他の



方式も検討してきた。以下に説明する。

水分量は単位体積の土壌において土と空気の容積を差し引いた部分であるが、土壌中の水分にはカリウムイオン、リン酸イオン等をはじめとして各種のイオンが含まれているので、電気信号を処理して水分量を特定する際には水分のイオン濃度（以下、単に「濃度」ということがある）を無視することができない。

土壌に含まれる水分のイオン濃度が特定できれば、水分量を特定する際に当該イオン濃度の影響を補正することができると考えられる。水分のイオン濃度は電気伝導度より特定可能であるが、土壌中において全ての水分が連続しているとは限らないので、換言すれば測定された土壌の電気伝導度には土壌中の土や空気の量（即ち、単位体積当たりの土壌から水分量を除いた量）が影響するので、土壌の電気伝導度を単に測定するだけでは土壌に含まれる水分の濃度を正確に特定することはできない。

以上説明したように、水分量を特定する際には電気伝導度が影響し、電気伝導度を特定する際には水分量が影響する。よって、それぞれの特性を単独で測定しても、得られた値には誤差が含まれてしまう。

かかる課題を解決すべく鋭意検討を重ねてきた結果、これらの関係を水分量と電気伝導度の連立方程式と見立てることに気がついた。即ち、同じ土壌から実測した水分量（見掛け上の水分量 $WC1$ ）と電気伝導度（見掛け上の電気伝導度 $EC1$ ）を同時に処理することにより、土壌における真の水分量 $WC0$ 及び真の電気伝導 $EC0$ とを推定できると考えた。

水分量を測定するときを利用する指標として電気伝導度の影響が比較的小さい静電容量値 $Q$ を用いることとした。なお、この明細書及び請求の範囲において静電容量を単に「容量」ということがある。

[0019] 本発明の第6の局面は次のように規定される。

半導体基板と、

該半導体基板上に絶縁層を介して第1の電極対と第2の電極対とが配置され、

前記第 1 の電極対に接続されて、該第 1 の電極対間の電気伝導度を特定する電気伝導度特定部と、

前記第 2 の電極対に接続されて、該第 2 の電極対間の静電容量を特定する静電容量特定部と、を備える土壤の水分状態特定装置。

[0020] このように規定される第 6 の局面の水分状態特定装置によれば、電気伝導度  $E C$  を測定するための第 1 の電極対と静電容量を測定するための第 2 の電極対とが同一の半導体基板上に配置されるので、土壤に対して同一の条件でその電気伝導度と静電容量  $Q$  を測定できる。よって、実測された電気伝導度（見掛け上の電気伝導度  $E C 1$ ）及び静電容量  $Q$ （見掛け上の静電容量  $Q 1$ ；見掛け上の水分量  $W C 1$  に対応）を処理して得られる真の電気伝導度  $E C 0$  の推定値及び真の水分量  $W C 0$  の推定値に高い信頼性を確保できる。

[0021] この発明の第 7 の局面は次のように規定される。即ち、第 6 の局面に規定の装置において、前記第 1 の電極対の内側に前記第 2 の電極対が配置される。

このように規定される第 7 の局面の水分状態特定装置によれば、第 1 及び第 2 の電極対の配置を可久的に小さくできる。

なお、第 1 の電極対と第 2 の電極対は基板上において同一の空間を測定できれば、その配置態様は特に限定されるものではない。装置をコンパクトにする見地から第 2 の局面の構成を採用することが好ましいが、その他、第 2 の電極対の内側に第 1 の電極対を配置したり、互い違いに配置することもできる。更には、第 1 の電極対の向きと第 2 の電極対の向きとを直交させることもできる。

[0022] この発明の第 8 の局面は次のように規定される。即ち、第 6 又は第 7 の局面に規定の装置において、前記第 1 及び第 2 の電極対は相互に絶縁層でアイソレートされ、該絶縁層の表面が親水化処理される。

このように絶縁層の表面を親水化処理することにより、各電極対に対する土壤中の水分のなじみやすくなり、測定レンジが拡大する。

親水化処理の方策は特に限定されるものではないが、絶縁層の表面に親水

性の層（酸化シリコン膜等）を形成すればよい。

### 図面の簡単な説明

- [0023] [図1]位相変化の演算式 1 に用いられる電極構造を示す概念図である。
- [図2]周波数を固定したときの水分量に対する位相変化、イオン濃度に対する位相変化の測定結果である。
- [図3]周波数を固定したときの水分量に対する電気伝導度変化、イオン濃度に対する電気伝導度変化の測定結果である。
- [図4]ヘッド部の構成を示す平面図である。
- [図5]ヘッド部の構成を示す断面図である。
- [図6]他の態様のヘッド部の構成を示す断面図である。
- [図7]イオン濃度（電気伝導度）が一定の水溶液における水分量と水分状態特定装置で測定される静電容量との関係をしめすグラフである。
- [図8]図 5 のヘッド 20 を用いた水分状態特定装置の構成を示す概念図である。
- [図9]図 8 の測定装置の出力結果を示す。
- [図10]測定装置を補正する原理を説明する図である。
- [図11]位相変化補正部と電気伝導度補正部とを備えた実施の形態の水分状態特定装置の構成を示す概念図である。
- [図12]他の実施の形態の水分状態特定装置の構成を示すブロック図である。
- [図13]電気伝導度と静電容量との関係を示すグラフである。
- [図14]水分量と電気伝導度との関係を示すグラフである。
- [図15]電気伝導度と静電容量の実測値から真の水分量と電気伝導度を推定する方法を説明するグラフである。
- [図16]同処理の方法を示すフローチャートである。
- [図17]電気伝導度と静電容量の実測値から真の水分量と電気伝導度を推定する他の方法を説明するグラフである。
- [図18]同処理方法を示すフローチャートである。

### 発明を実施するための形態

[0024] 図4に実施の形態のセンサのヘッド部20の平面図を示す。図5は同じくヘッド部20の構成を示す断面図である。

図5に示すヘッド部20は、シリコン基板21とその表面を酸化して形成した膜厚約0.5 $\mu$ mの酸化シリコン絶縁層22を備える。

絶縁層22の上に第1の電極対25と第2の電極対23とが積層される。

第1の電極対25は、図4に示すとおり、各電極の幅を約1mm、長さを約4mm、電極間の間隔を約2.5mmとしている。

この第1の電極対25の各電極はアルミニウムからなる第1層（膜厚：1 $\mu$ m）27の上にチタンからなる結合層28（膜厚：0.02 $\mu$ m）を介して白金層（膜厚：0.1 $\mu$ m）29を積層してなる。

第2の電極対23はアルミニウムからなる第1層31（膜厚：1 $\mu$ m）からなり、この第1層31は、第1の電極対の第1層27と同時に形成できる。第2の電極対25の第1層31は幅25 $\mu$ m、電極間の間隔は875 $\mu$ mである。なお、第2の電極対23の各電極の上部保護膜（窒化シリコン膜や酸化シリコン膜など）の膜厚Dと電極間隔Wは、 $W/D > 100$ とすることが好ましい。これは、幅Dが電極25上の保護膜の容量と関連し、間隔Wが測定対象物となる空間の容量と関連していることに起因する。WやDが小さくなると、それぞれの容量は大きくなる傾向となる。ここで、直列接続された場合の合成容量は、個々の容量の一番小さな値の容量に依存する（例えば、100pFと1pFを直列接続した場合、合成容量は約1pFとなる）ことと、比誘電率が水は保護膜の約100倍であることを考慮し、必ず測定対象物の空間の容量が保護膜の容量より小さくなるようにするためである。

これら電極を構成する金属層の材料は、その用途や目的に応じて、適宜選択できることは言うまでもない。

[0025] 各電極対23、25は第2の絶縁層33でアイソレートされている。

この例では第2の絶縁層33として酸化シリコン層35（膜厚：0.5 $\mu$ m）と窒化シリコン層36（膜厚：50nm）とを基板側から順に積層した。なお、窒化シリコン層36は第2の電極対23の表面をも被覆する。第2の

電極対 23 は静電容量を測定するものであるのでその表面が薄い絶縁膜で被覆されていてもよく、また、絶縁膜で被覆することによりアルミニウムからなる第 1 層 31 を保護できる。なお、第 2 の電極対 25 の表面を被覆する絶縁膜は  $10^4 \times W [\Omega \cdot m^2]$  以上とすることが好ましい。測定すべき静電容量の値から水分の電気伝導度の影響をできる限り排除するためである。

[0026] 図 6 に示すヘッド部 40 では、第 2 の絶縁層 35 の表面へ薄い酸化シリコンからなる親水化膜 38 (膜厚 60 nm) を積層することにより、ヘッド部 40 の表面を全体的に親水性としている。

この例では、第 2 の電極対 23 の表面には親水化膜 38 を設けていないが、この親水化膜 38 と窒化シリコン膜 36 との併せた膜厚が例えば 50 nm 以下となれば、親水化膜 38 を第 2 の電極対 23 の上に積層してもよい。

なお、図 5 に示すヘッド部 20 及び図 6 に示すヘッド部 40 の各層は、任意の方法により形成可能であるが、例えば電極層はパターニングを伴うスパッタ法で形成でき、第 2 の絶縁層 35 及び親水化膜 38 は CVD 法により形成できる。

[0027] 図 7 には、図 5 に示すヘッド部 20 と図 6 に示すヘッド部 40 とで土壌の静電容量を測定したときの結果を示す。図 7 の結果から、図 6 に示すヘッド部 40 では、水分量が 30% 程度までしか測定できないことがわかる。これは、測定に用いた土壌が空間に占める割合が 70% 程度あり、水を含むことが出来る最大量が 30% であるためである。

但し、本発明者らの検討によれば、人工的な土壌 (ロックウール等) に対しては表面疎水性の図 5 に示すヘッド部 20 が有効になる。図 6 に示すタイプのヘッド部 40 より測定範囲が広がる理由は、ロックウールの素材は空間に占める割合が 5% 程度と少なく、95% 程度まで水を含ませることができることによる。

[0028] 水分量に対して広い検出レンジを備える図 5 のヘッド部の各電極 23、25 に対して、図 8 に示すように位相変化特定部 100 と電気伝導度特定部 2

00を接続した。

位相変化特定部100は第1の電極25の一方へ所定の任意周波数の交流電気信号を印加し、その位相と他方の第1の電極23から得られる出力電気信号の位相との差（位相変化 $\theta 1$ ）を特定し、出力する。

電気伝導度特定部200は第2の電極23、23間の抵抗率 $\rho$ を特定し、これから電気伝導度 $\sigma 1$ を得る。

[0029] 図2及び図3の結果を得た測定対象を図8に示した装置で測定したところ、結果（位相変化 $\theta 1$ 、電気伝導度 $\sigma 1$ ）はそれぞれ図9（A）及び図9（B）となった。即ち、ノイズが入って理論通りに作動しなかった。

かかるノイズの原因は下記にあると考えられる。

測定対象のインピーダンス（振幅や位相など）を計測する場合、センサとして得られる信号には、界面酸化膜及び基板酸化膜のインピーダンスの影響が入る場合があるからである。

[0030] このようなときには、以下に示すやり方で補正・算出をすることができる。

その前提として、測定対象である分散系（土壌）において位相変化が見られることは、電気回路的には、図10（A）に示す通り分散系に抵抗 $R$ と静電容量 $C$ との並列回路が存在することを意味する。

この並列回路のインピーダンス $Z$ は次のように表わされる。

[数4]

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C}$$

他方、第1及び第2の電極23、25は半導体基板に配設されているので、図10（B）に示す通り、基板自体の抵抗及び静電容量が影響する。更には、基板と測定対象との間の抵抗及び静電容量も考慮しなければならない。

図10（B）に示す回路の全体のインピーダンス $Z_t$ は次のように表わされる。

[数5]

$$Z_t = \frac{1}{\frac{1}{Z_s} + \frac{1}{Z_w + Z_i}}$$

ここに、

$Z_s$ は基板のインピーダンス、 $Z_w$ は測定対象のインピーダンス、 $Z_i$ は基板と測定対象との界面のインピーダンスである。

[0031]  $Z_t$ は直接センサとして計測できるものである。仮に、 $Z_w$ がとて大きな値を持つ状態、すなわち対象物に触れずに空気のみとした場合、以下の式とすることができる。

$$Z_t = Z_s$$

このことより、 $Z_s$ は実測により求めることができることが分かる。また、 $Z_w \ll Z_i$ となる状態、すなわち測定対象物より十分イオン濃度が濃い溶液に浸水させた場合、以下の式とすることができる。

[数6]

$$Z_t = \frac{1}{\frac{1}{Z_s} + \frac{1}{Z_i}}$$

これは、 $Z_t$ 、 $Z_s$ が既知であるため、 $Z_i$ は計算により求めることができる。前述の式を変形すると、

[数7]

$$Z_i = \frac{1}{\frac{1}{Z_t} - \frac{1}{Z_s}}$$

となる。

[0032] 実際の計測では、振幅の実効値からインピーダンスの絶対値 $|Z|$ が、位相から位相 $\theta$ を測定するので、

[数8]

$$\begin{aligned}
Z_i &= \frac{1}{\frac{1}{|Z_t|(\cos \theta_t + j \sin \theta_t)} - \frac{1}{|Z_s|(\cos \theta_s + j \sin \theta_s)}} = \frac{1}{\frac{\cos \theta_t - j \sin \theta_t}{|Z_t|} - \frac{\cos \theta_s - j \sin \theta_s}{|Z_s|}} = |Z_t| e^{j\theta_t} \\
&= \frac{1}{\frac{1}{|Z_t|} \cos \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \cos \theta_s - j \left( \frac{1}{|Z_t|} \sin \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \sin \theta_s \right)} \\
&= \frac{\left( \frac{1}{|Z_t|} \cos \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \cos \theta_s \right) + j \left( \frac{1}{|Z_t|} \sin \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \sin \theta_s \right)}{\left( \frac{1}{|Z_t|} \cos \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \cos \theta_s \right)^2 + \left( \frac{1}{|Z_t|} \sin \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \sin \theta_s \right)^2} \\
&= \frac{\left( \frac{1}{|Z_t|} \cos \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \cos \theta_s \right) + j \left( \frac{1}{|Z_t|} \sin \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \sin \theta_s \right)}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos \theta_t \cos \theta_s + \sin \theta_t \sin \theta_s)}{|Z_s| |Z_t|}} \\
&= \frac{\left( \frac{1}{|Z_t|} \cos \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \cos \theta_s \right) + j \left( \frac{1}{|Z_t|} \sin \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \sin \theta_s \right)}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos(\theta_t - \theta_s))}{|Z_s| |Z_t|}}
\end{aligned}$$

となる。ここで、

[数9]

$$|Z| = \sqrt{(\text{実数部})^2 + (\text{虚数部})^2}, \quad \theta = \tan^{-1} \left( \frac{\text{虚数部}}{\text{実数部}} \right)$$

であるため、次式が導き出せる。

[数10]

$$\begin{aligned}
|Z_i| &= \sqrt{\frac{\left( \frac{1}{|Z_t|} \sin \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \sin \theta_s \right)^2 + \left( \frac{1}{|Z_t|} \cos \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \cos \theta_s \right)^2}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos(\theta_t - \theta_s))}{|Z_s| |Z_t|}}} \\
\theta_i &= \tan^{-1} \left( \frac{\frac{1}{|Z_t|} \sin \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \sin \theta_s}{\frac{1}{|Z_t|} \cos \theta_t - \frac{1}{|Z_s|} \cos \theta_s} \right)
\end{aligned}$$

[0033] この式からいえることは、界面のインピーダンスは、実測により真の値を算出できるということである。

界面及び基板はどのような測定対象物であっても不変であることから、あらかじめ界面及び基板のインピーダンスを算出することにより、真の測定対象物のインピーダンスをその都度算出することができることが分かる。



[0034] 水分量が不明な空間のインピーダンス $Z_w$ の算出方法は以下となる。

[数11]

$$\begin{aligned}
 Z_w &= \frac{1}{\frac{1}{Z_t} - \frac{1}{Z_s}} - Z_i = \frac{1}{\frac{1}{|Z_t|e^{j\theta_t}} - \frac{1}{|Z_s|e^{j\theta_s}}} - |Z_i|e^{j\theta_i} = \frac{1}{\frac{e^{-j\theta_t}}{|Z_t|} - \frac{e^{-j\theta_s}}{|Z_s|}} - |Z_i|e^{j\theta_i} \\
 &= \frac{1}{\frac{\cos\theta_t - j\sin\theta_t}{|Z_t|} - \frac{\cos\theta_s - j\sin\theta_s}{|Z_s|}} - |Z_i|e^{j\theta_i} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{|Z_t|}\cos\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\cos\theta_s - j\left(\frac{1}{|Z_t|}\sin\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\sin\theta_s\right)} - |Z_i|e^{j\theta_i} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{|Z_t|}\cos\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\cos\theta_s\right) + j\left(\frac{1}{|Z_t|}\sin\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\sin\theta_s\right)}{\left(\frac{1}{|Z_t|}\cos\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\cos\theta_s\right)^2 + \left(\frac{1}{|Z_t|}\sin\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\sin\theta_s\right)^2} - |Z_i|e^{j\theta_i} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{|Z_t|}\cos\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\cos\theta_s\right) + j\left(\frac{1}{|Z_t|}\sin\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\sin\theta_s\right)}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos\theta_t\cos\theta_s + \sin\theta_t\sin\theta_s)}{|Z_s||Z_t|}} - |Z_i|e^{j\theta_i} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{|Z_t|}\cos\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\cos\theta_s\right) + j\left(\frac{1}{|Z_t|}\sin\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\sin\theta_s\right)}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos(\theta_t - \theta_s))}{|Z_s||Z_t|}} - |Z_i|e^{j\theta_i} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{|Z_t|}\cos\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\cos\theta_s\right)}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos(\theta_t - \theta_s))}{|Z_s||Z_t|}} - |Z_i|\cos\theta_i + j\left(\frac{j\left(\frac{1}{|Z_t|}\sin\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\sin\theta_s\right)}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos(\theta_t - \theta_s))}{|Z_s||Z_t|}} - |Z_i|\sin\theta_i\right)
 \end{aligned}$$

ここで、

[数12]

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\text{虚数部}}{\text{実数部}}\right)$$

より、

$$\theta_w = \tan^{-1}\left(\frac{\left(\frac{1}{|Z_t|}\sin\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\sin\theta_s\right)}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos(\theta_t - \theta_s))}{|Z_s||Z_t|}} - |Z_i|\sin\theta_i}{\left(\frac{1}{|Z_t|}\cos\theta_t - \frac{1}{|Z_s|}\cos\theta_s\right)}{\frac{1}{|Z_t|^2} + \frac{1}{|Z_s|^2} - \frac{2(\cos(\theta_t - \theta_s))}{|Z_s||Z_t|}} - |Z_i|\cos\theta_i}\right)$$

が求まることとなる。界面及び基板が影響を及ぼし、 $\theta_t \neq \theta_w$ となるデバイスであっても、上述の計算式を用いることにより、界面及び基板の影響を除去して真の $\theta_w$ を求めることができ、イオン濃度を算出することが可能となる。

同様に、電気伝導度においても、半導体基板自体の電気伝導度及び半導体基板と測定対象との界面における電気伝導度（以下、「特定電気伝導度 $\sigma_s$ 」も予め定めることができる。

[0035] 以上より、図8の装置に、実測位相変化 $\theta_1$ から特定位相変化 $\theta_s$ の影響を補正する位相変化補正部110と実測電気伝導度 $\sigma_1$ から特定電気伝導度 $\sigma_s$ の影響を補正する電気伝導度補正部210を付設した（図11参照）。

図2及び図3の結果は、図11に示した装置で得た位相変化補正部110の出力 $\sigma_0$ と電気伝導度補正部210の出力 $\theta_s$ をプロットしたものである。

なお、入力電気信号の周波数は500kHz、電圧（振幅）は250mVとし、標準イオン溶液を用い、不溶成分はロックウールである。

[0036] この発明の第6の局面に対応する水分量特定装置1の構成を図12に示す。

この水分量特定装置1はヘッド部2、信号処理部3及び推定部4を備える。

ヘッド部3はシリコン等からなる半導体基板6の表面に第1の電極対7及び第2の電極対8を備える。ヘッド部3の詳細は図2及び図3に基づき後述する。

信号処理部5は実測電気伝導度 $EC_1$ 特定部9と実測静電容量 $Q_1$ 特定部とを備える。 $EC_1$ 特定部9は、第1の電極対7間の抵抗値に基づき土壤の電気伝導度を特定する。ここで得られた電気伝導度は水分量（即ち、土壤中の空気量や土の量）が影響しているため、土壤に含まれる水分のイオン濃度を正確に反映しているものではなく、見掛け上の電気伝導度 $EC_1$ となる。

[0037] 同様に、 $Q_1$ 特定部10は、第2の電極対8の静電容量を特定するものであり、この例ではLCRメータを利用する。ここで得られた静電容量には水分のイオン濃度が影響しているため、土壤の水分量を正確に反映しているものではなく、見掛け上の静電容量 $Q_1$ となる。

真の電気伝導度 $EC_0$ 及び真の水分量 $WC_0$ 推定部12は、 $EC_1$ 特定部

9とQ1特定部10で特定された実測値EC1とQ1とに基づき、真の電気伝導度EC0と水分量WC0とを推定する。推定の手法については後述する。

ヘッド部には図5及び図6に示したものを用いられる。

[0038] 次に、EC1特定部9で特定された実測電気伝導度EC1とQ1特定部10で特定された実測静電容量Q1とに基づき真の伝導度EC0と真の水分量WC0を推定する方法について説明する。

最初に、本発明者らの検討により、土壌の電気伝導度、静電容量及び水分量には次の関係があることがわかった。

図13は電気伝導度と静電容量との関係を示す。図12において太線のデータは水溶液（水分量100%）における電気伝導度と静電容量との関係を示す。

電気伝導度が同じ場合は、静電容量と水分量は比例の関係にある（図5参照）。従って、各種水分量（80%、60%、40%、20%）における電気伝導度と静電容量との関係は図13において細線で表現される。

図14は水分量と電気伝導度との関係を示す。水分量100%のときの電気伝導度に対して、水分量が小さくなると電気伝導度は比例して小さくなる。

[0039] 以上の前提条件のもと、図12で測定された電気伝導度EC1（第1の電気伝導度）がA1、静電容量Q1（第1の静電容量）がBの値をとったとする（図16、ステップ1）。

値A1及びBを、図13のグラフにプロットする（図15参照）。

同じ電気伝導度（即ち同じイオン濃度）の水分に対して静電容量と水分量とは比例の関係にあるので（図7参照）、水溶液について予め得られている太線の関係（電気伝導度と静電容量との第1の関係、以下第1の検量線Pという）における電気伝導度A1に対応する静電容量C1を求め（ステップ3）、実測された静電容量Bと当該静電容量C1との比R1を求める（ステップ5）。既述のように、この比R1は水分量WCに対応する。例えば図15

の例では、 $B/C$ は0.6であるので、土壌の水分量 $WC$ を0.6と仮定する。

次に、電気伝導度が同じものであれば、水分量と電気伝導との間に比例関係が成立するので（図14）、実測された電気伝導度 $A_1$ を比 $R_1$ （=水分量 $WC$ ）で割り算し、補正された電気伝導度 $A_2$ を特定する（ステップ7）。この補正電気伝導度 $A_2$ は水分量が100%と仮定したときの値である。

[0040] 次に、ステップ9、ステップ11を介してステップ1～ステップ13を繰り返す。

即ち、補正された電気伝導度 $A_2$ に対応する検量線 $P$ の静電容量 $C_2$ を特定し、この静電容量 $C_2$ と実測された静電容量 $B$ との比 $R_n$ を求める。 $A_2$ は水分量100%と仮定されたときの電気伝導度であるため、この比 $R_n$ は水分量をより正確に反映するものとなる。

更に、補正電気伝導度 $A_2$ を得られた比 $R_n$ で割り算し、更に補正された電気伝導度 $A_3$ を特定し、この電気伝導度 $A_3$ に対応する検量線 $P$ 上の静電容量 $C_3$ を特定し、この静電容量 $C_3$ と実測された静電容量 $B$ との比 $R_n$ を求める。この比 $R_n$ は水分量を更に正確に反映するものとなる。

以下、この処理を繰返し、補正処理前後の電気伝導度 $A_n$ と電気伝導度 $A_{n+1}$ との差が所定の閾値以下となるまで行なう（ステップ13）。そのとき得られた電気伝導度 $A_n$ と当該電気伝導度 $A_n$ に対応する検量線 $P$ 上の静電容量 $C_n$ と実測値 $B$ との比 $R_n$ とは、ともに土壌に含まれる水分の真の電気伝導度 $E_{CO}$ と水分量 $WC_0$ に近いものとなる（ステップ15）。

[0041] 上記の例では、実測された静電容量を基準にして、電気伝導度を補正することにより、真の電気伝導度及び水分量を推定している。静電容量を基準にしたのは、図13に示されるとおり、電気伝導度の変化を示す横軸はログ標記であり、換言すれば、電気伝導度の変化に対する静電容量の変化量が小さいからである。

実測された電気伝導度を基準にして静電容量を補正することにより、真の電気伝導度及び水分量を推定することも可能である。

[0042] 以上をまとめると、次のようになる。

- (1) 土壌の水分状態を特定する方法であって、  
測定対象土壌の電気伝導度を測定する電気伝導度測定ステップと、  
前記測定対象土壌の静電容量を測定する静電容量測定ステップと、  
前記電気伝導度測定ステップで測定された第1の電気伝導度と前記静電容量測定ステップで測定された第1の静電容量とを、濃度の異なる水溶液について予め定められている電気伝導度と静電容量との第1の関係に照らし、前記第1の電気伝導度における前記第1の関係上の静電容量と前記第1の静電容量との比を演算するステップと、  
前記演算された比に基づき、前記第1の電気伝導度を補正して補正電気伝導度を特定する第1の電気伝導度特定ステップと、を含む土壌の水分状特定方法。
- (2) 前記第1の静電容量と前記補正電気伝導度における前記第1の関係上の静電容量との比に基づき水分量を特定する水分量特定ステップを更に含む、(1)に記載の方法。
- (3) 前記補正電気伝導度における前記第1の関係上の静電容量と前記第1の静電容量との比を演算し、演算された比に基づき前記補正電気伝導度を更に特定する第2の電気伝導度特定ステップと、  
補正前後の電気伝導度の差が所定値以下になるまで前記第2の電気伝導度特定ステップを繰り返す、(1)に記載の方法。
- (4) (3)において補正前後の電気伝導度の差が所定値以下になったときの前記第2の電気伝導度特定ステップで特定された補正電気伝導度における前記第1の関係上の静電容量と前記第1の静電容量との比に基づき水分量を特定するステップを更に備える、(4)に記載の方法。

[0043] 他の推定方法につき、図17及び図18に基づき説明をする。なお、図18において図16と同一のステップには同一の符号を付してその説明を省略する。

この推定方法の前提として、電気伝導度と静電容量との関係は、電気伝導

度がある程度大きくなると（例えば  $10^2 \text{ S/m}$  を超えると）、静電容量が変化しなくなることに着目した。

図 17 に示すとおり、電気伝導度が  $10^2 \text{ S/m}$  のときの静電容量を基準 D として、検量線 P についてその静電容量と D との比 E を求め、保存しておく。

実測された電気伝導度が A 1、静電容量が B のとき（ステップ 1）、実測された電気伝導度 A 1 に対応する比 E を静電容量 B へ掛け合わせて静電容量 B 1 を求める（ステップ 2 3）。この静電容量 B 1 は基準となる水溶液（電気伝導度： $10^2 \text{ S/m}$ ）の静電容量である。即ち、土壌に含まれる水の電気伝導度が基準 D のものと仮定したとき、土壌の静電容量を静電容量 B 1 とする。

電気伝導度が等しい水溶液については静電容量と水分量とは比例の関係にあるので、予め基準となる水溶液（電気伝導度： $10^2 \text{ S/m}$ ）につき、静電容量と水分量との検量線を求めておけば（図 7 参照）、この検量線に基づき静電容量 B 1 に対応する水分量 WC 1 を特定できる（ステップ 2 5）。

水分量と電気伝導度にも比例関係が成立するので、特定された水分量 WC 1 に基づき実測された電気伝導度 A 1 を補正する。具体的には実測された電気伝導度 A 1 を水分量 WC 1 で割り算する（ステップ 2 7）。

このようにして得られた補正電気伝導度 A 2 につき、それに対応する比 E を実測された静電容量 B へ掛け合わせて静電容量 B 2 を求める。そして、上記と同様にして静電容量 B 2 に対応する水分量 WC 2 を特定する。この水分量 WC 2 から補正電気伝導度 A 2 を更に補正する。具体的には補正電気伝導度 A 2 を水分量 WC 2 で割り算し、補正電気伝導度 A 3 とする。

上記処理を繰り返すことにより、得られる補正電気伝導度 A n と水分量 WC n はそれぞれの真値に近づく。

[0044] 以上の処理方法は次のように表現できる。

(10) 土壌の水分状態を特定する方法であって、

測定対象土壌の電気伝導度を測定する電気伝導度測定ステップと、

前記測定対象土壌の静電容量を測定する静電容量測定ステップと、  
所定の電気伝導度の水溶液についての水分量と静電容量との第2の関係（  
図7）を予め保存するステップと、

所定の電気伝導度の水溶液の静電容量を基準静電容量Dとして、電気伝導  
度を変化させたときの静電容量（検量線P）と前記基準静電容量Dとの比E  
を保存するステップと、

測定された電気伝導度A1と前記比Eとに基づき、前記所定の電気伝導度  
の水溶液における水分量WC1を特定するステップと、

特定された水分量WC1に基づき、前記測定された電気伝導度A1を補正  
し、補正電気伝導度A2を特定するステップと、を含む土壌の水分状態特定  
方法。

（11） 特定された補正電気伝導度A2と前記比Eとに基づき、前記所定  
の電気伝導度の水溶液における水分量WC2を特定するステップ、

特定された水分量に基づき、前記補正電気伝導度を再度補正する、（10  
）に記載の水分状態特定方法。

[0045] この発明は、上記発明の実施の形態及び実施例の説明に何ら限定されるも  
のではない。特許請求の範囲の記載を逸脱せず、当業者が容易に想到できる  
範囲で種々の変形態様もこの発明に含まれる。

上記の例は、図4に示すヘッド部を用いて土壌の電気伝導度と静電容量と  
を同時に測定しているが、電気伝導度センサと静電容量センサとを別体とし  
て測定することを妨げるものではない。

土壌の例は、イオン性の溶質を溶解させた溶媒に不溶成分を分散させてな  
る分散系にひろく敷衍できる。

## 符号の説明

- [0046] 1 水分状態特定装置  
2、20、40 ヘッド部  
3、21 基板  
3 信号処理部

- 4 推定部
- 7、23 第1の電極対
- 8、25 第2の電極対
- 100 位相変化特定部
- 110 位相変化補正部
- 200 電気伝導度特定部
- 210 電気伝導度補正部



## 請求の範囲

- [請求項1] 溶媒中に該溶媒に溶解しない不溶成分を分散した分散系において、前記溶媒に含まれるイオン性の溶質の濃度を特定する方法であって、前記分散系に第1の電極対を接触させ、前記電極の一方へ交流の入力電気信号を印加し、前記電極の他方からの出力電気信号の位相と前記入力電気信号の位相とを比較し、前記位相の比較結果に基づき、前記溶媒に含まれるイオン性の溶質の濃度を特定する、濃度特定方法。
- [請求項2] 前記溶媒は水であり、前記不溶成分は空気成分及び土成分である、請求項1に記載の濃度特定方法。
- [請求項3] 前記入力電気信号と前記出力電気信号との位相差に基づき、前記溶質の濃度を特定する、請求項1又は2に記載の濃度特定方法。
- [請求項4] 前記分散系の電気伝導度を測定し、得られた前記電気伝導度と請求項1～3の何れかに記載の濃度特定方法で特定されたイオン性溶質の濃度とに基づき、前記分散系中の溶媒量を特定する、分散系中の溶媒量特定方法。
- [請求項5] 半導体基板と、該半導体基板上に絶縁層を介して第1の電極対と第2の電極対とが配置され、前記第1の電極対に接続されて、該第1の電極対間の位相変化を特定する位相変化特定部と、前記半導体基板の特定位相変化に基づき、前記位相変化特定部で特定された位相変化を補正する位相変化補正部と、前記第2の電極対に接続されて、該第2の電極対間の電気伝導度を特定する電気伝導度特定部と、前記半導体基板の特定電気伝導度に基づき、前記電気伝導度特定部で特定された電気伝導度を補正する電気伝導度補正部と、

を備える溶媒量特定装置。

[請求項6]

半導体基板と、

該半導体基板上に絶縁層を介して第1の電極対と第2の電極対とが配置され、

前記第1の電極対に接続されて、該第1の電極対間の電気伝導度を特定する電気伝導度特定部と、

前記第2の電極対に接続されて、該第2の電極対間の静電容量を特定する静電容量特定部と、を備える土壤の水分状態特定装置。

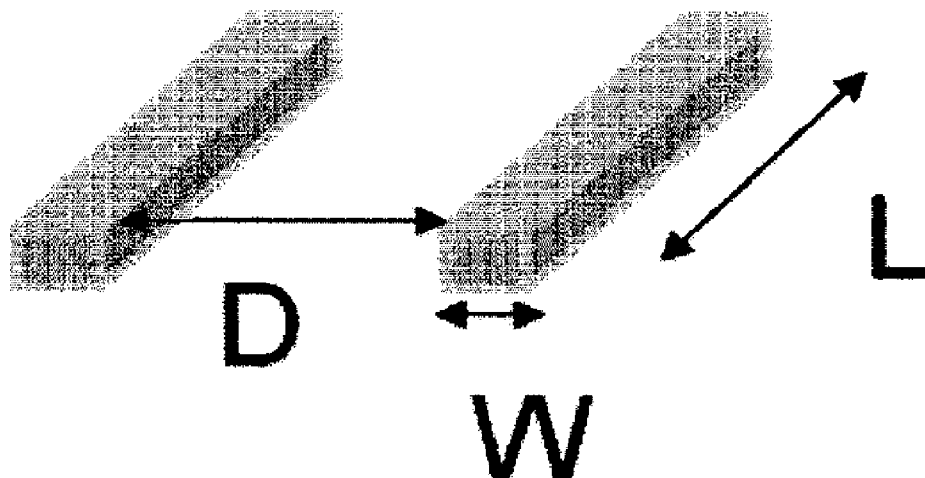
[請求項7]

前記第1の電極対と前記第2の電極対が同一空間を計測できるように配置される、請求項6に記載の装置。

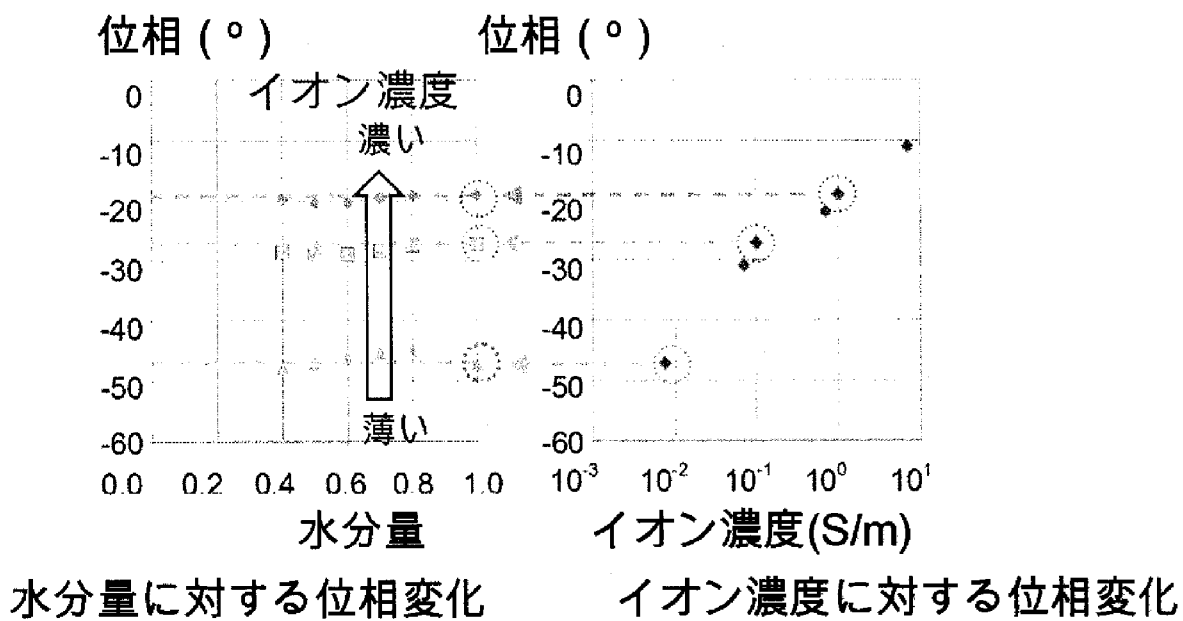
[請求項8]

前記第1及び第2の電極対は相互に第2の絶縁層で絶縁され、該第2の絶縁層の表面が親水化处理される、請求項6又は7に記載の装置。

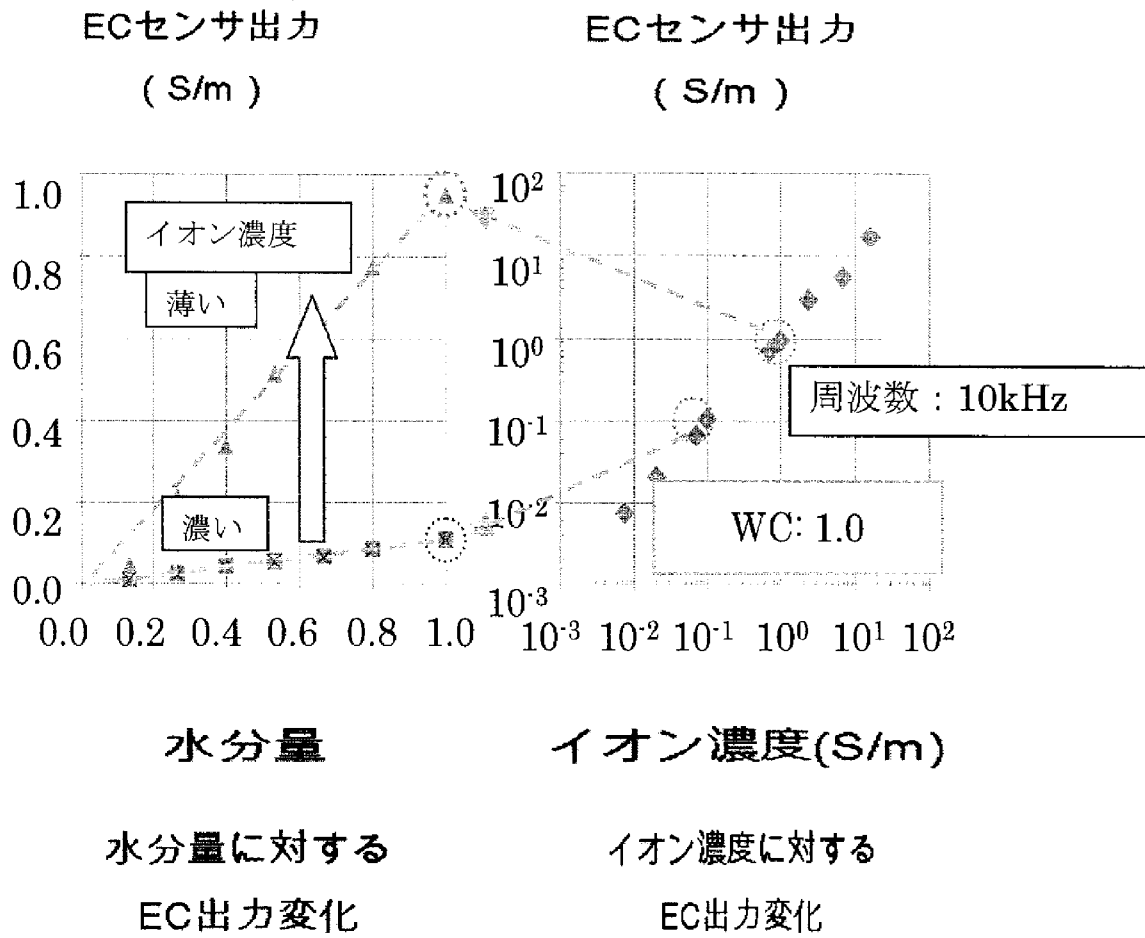
[図1]



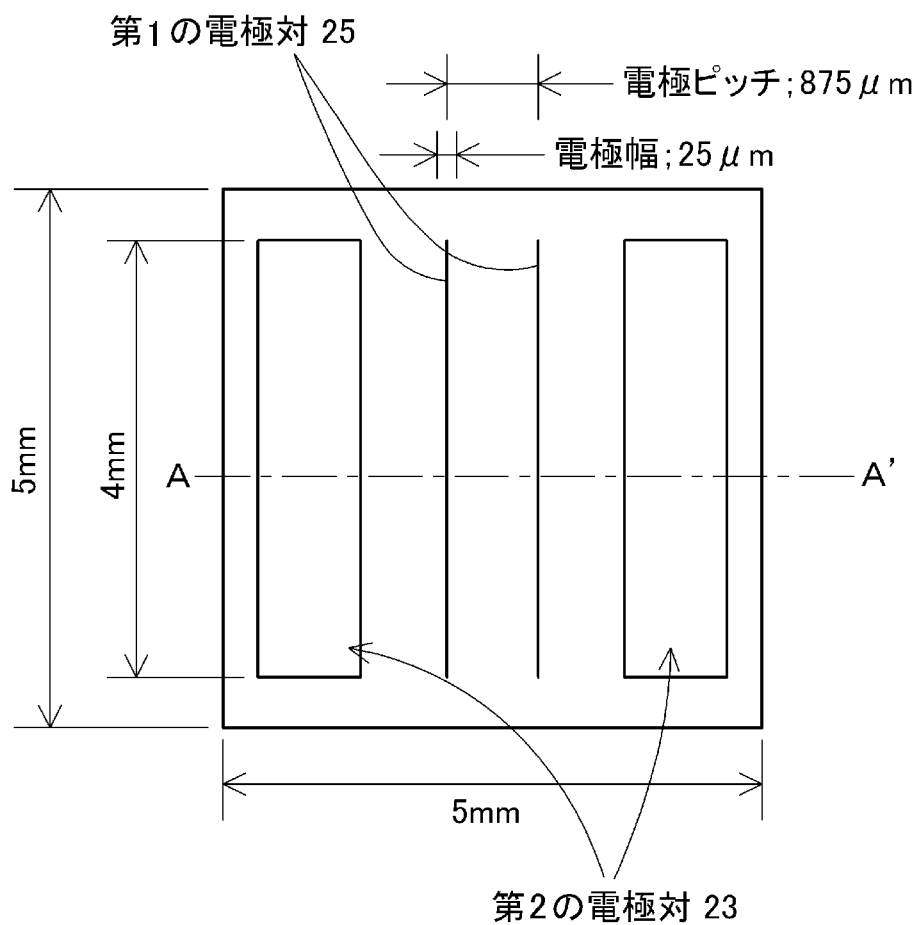
[図2]



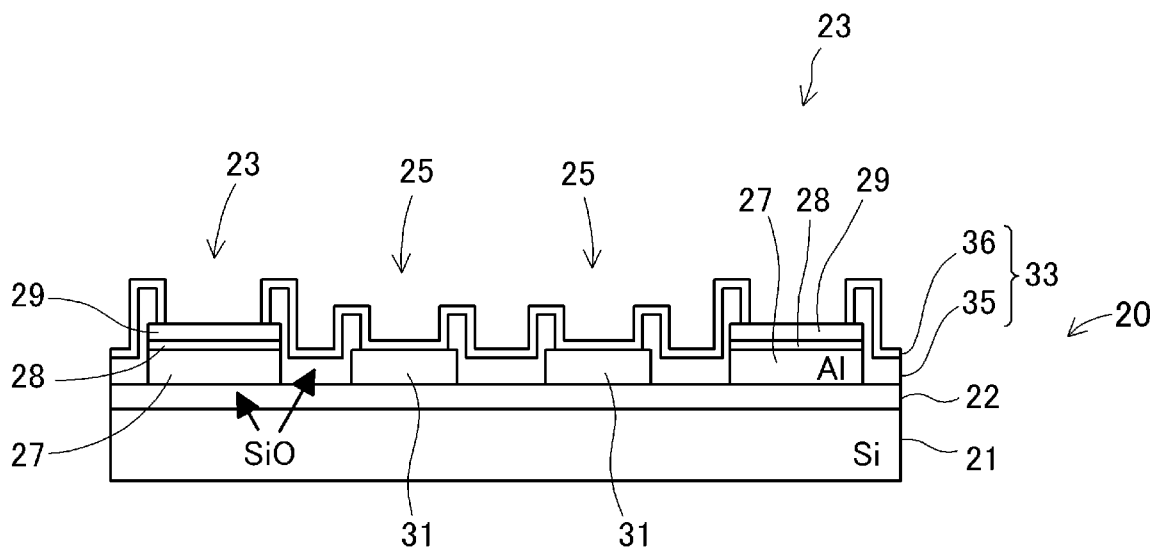
[図3]



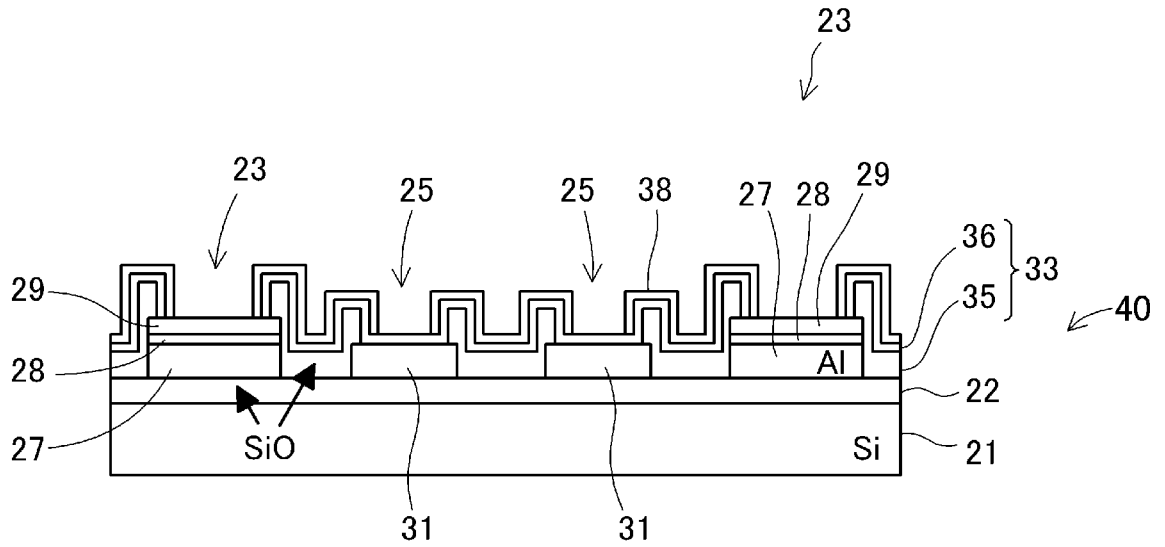
[図4]



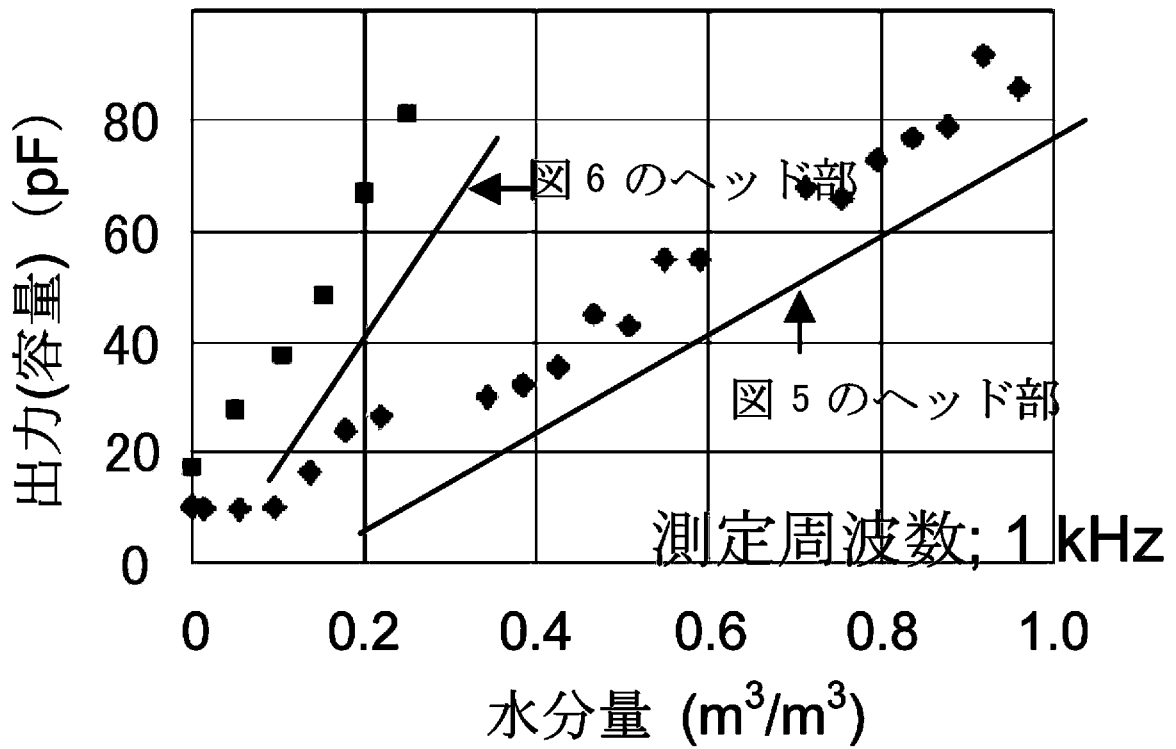
[図5]



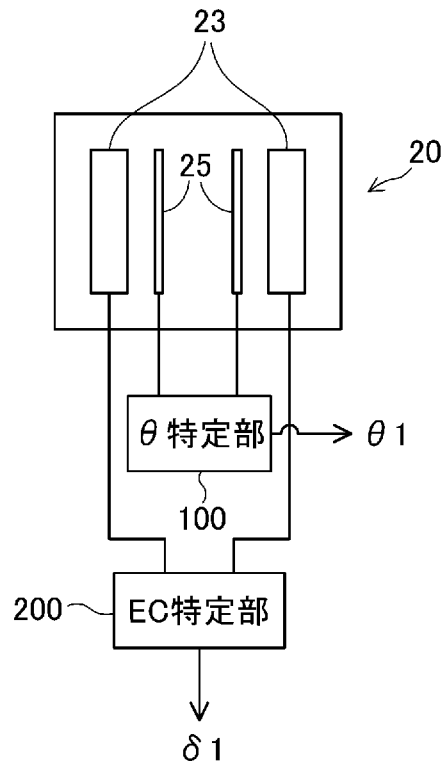
[図6]



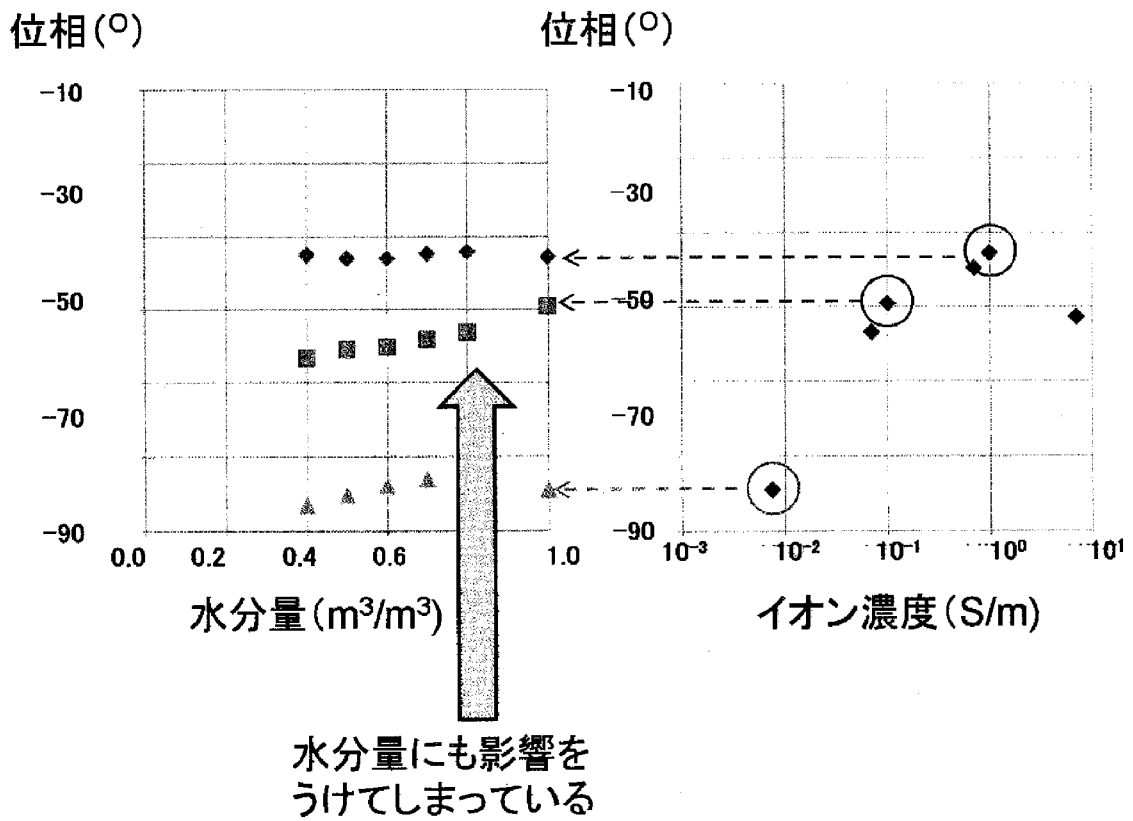
[図7]



[図8]

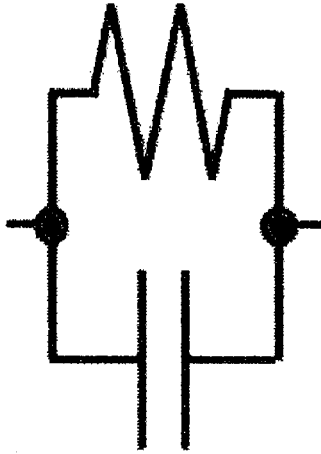


[図9]

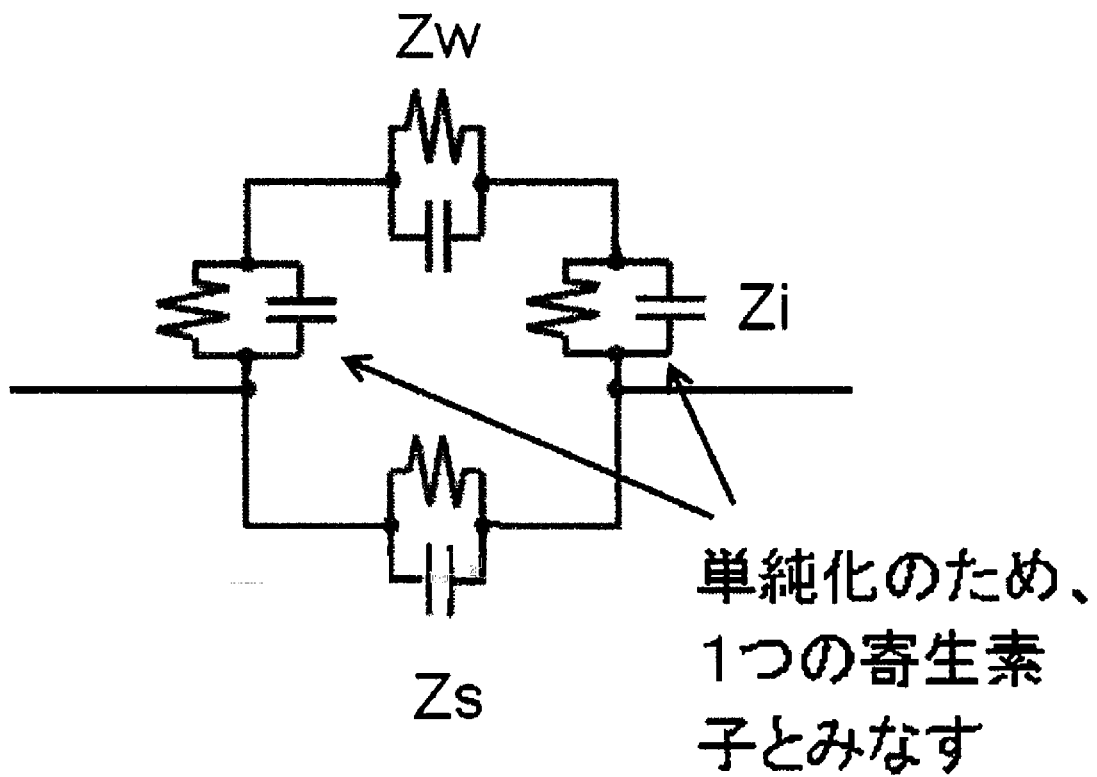


[図10]

(A)

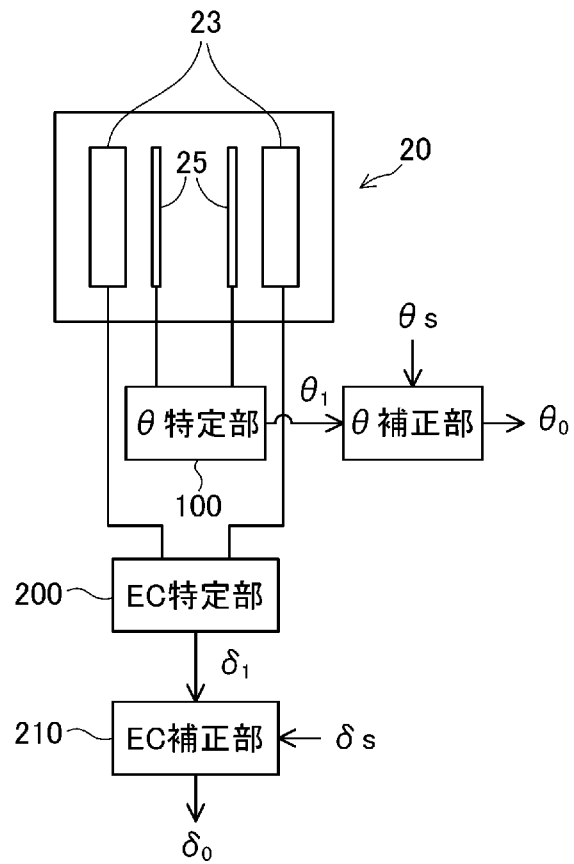


(B)

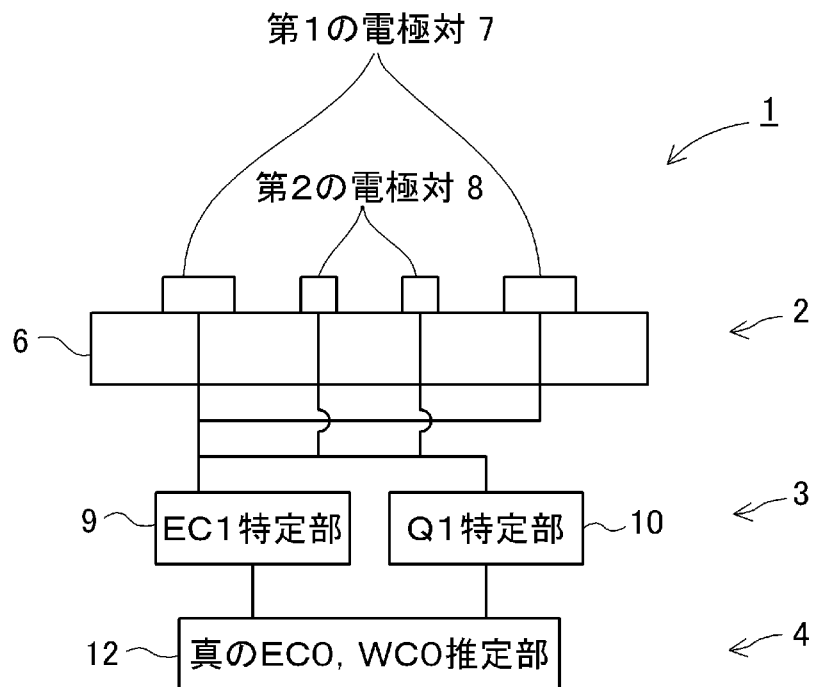




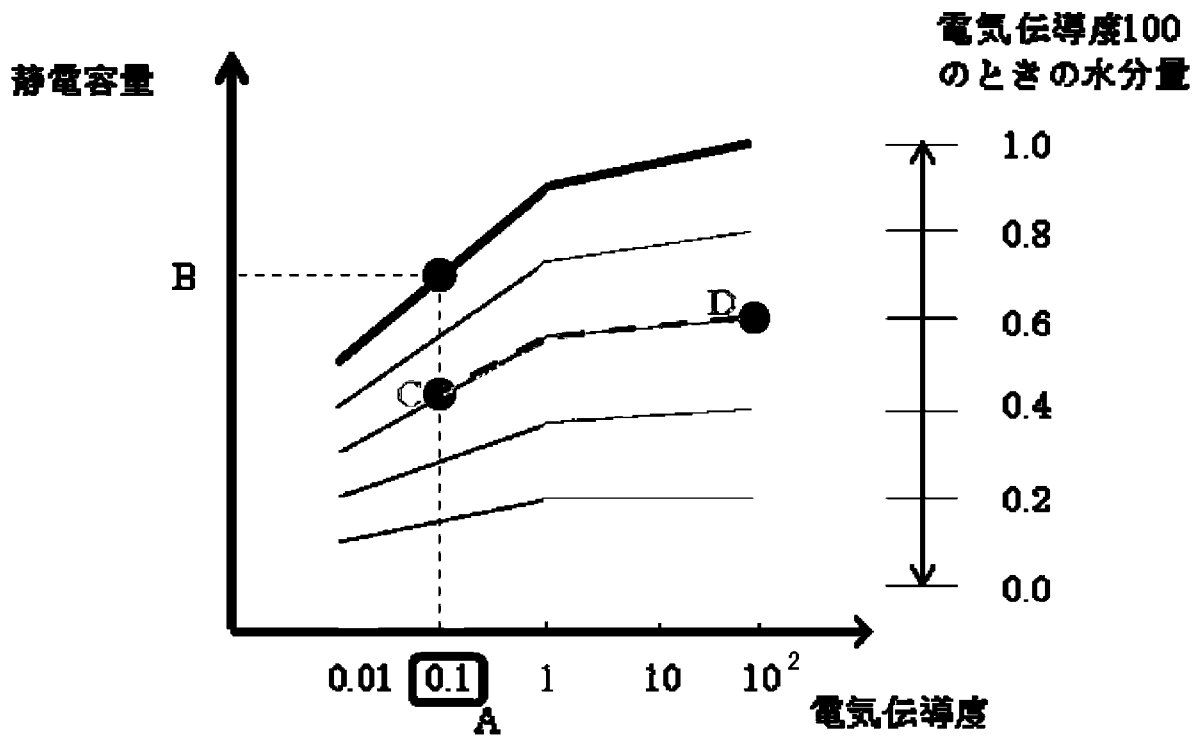
[図11]



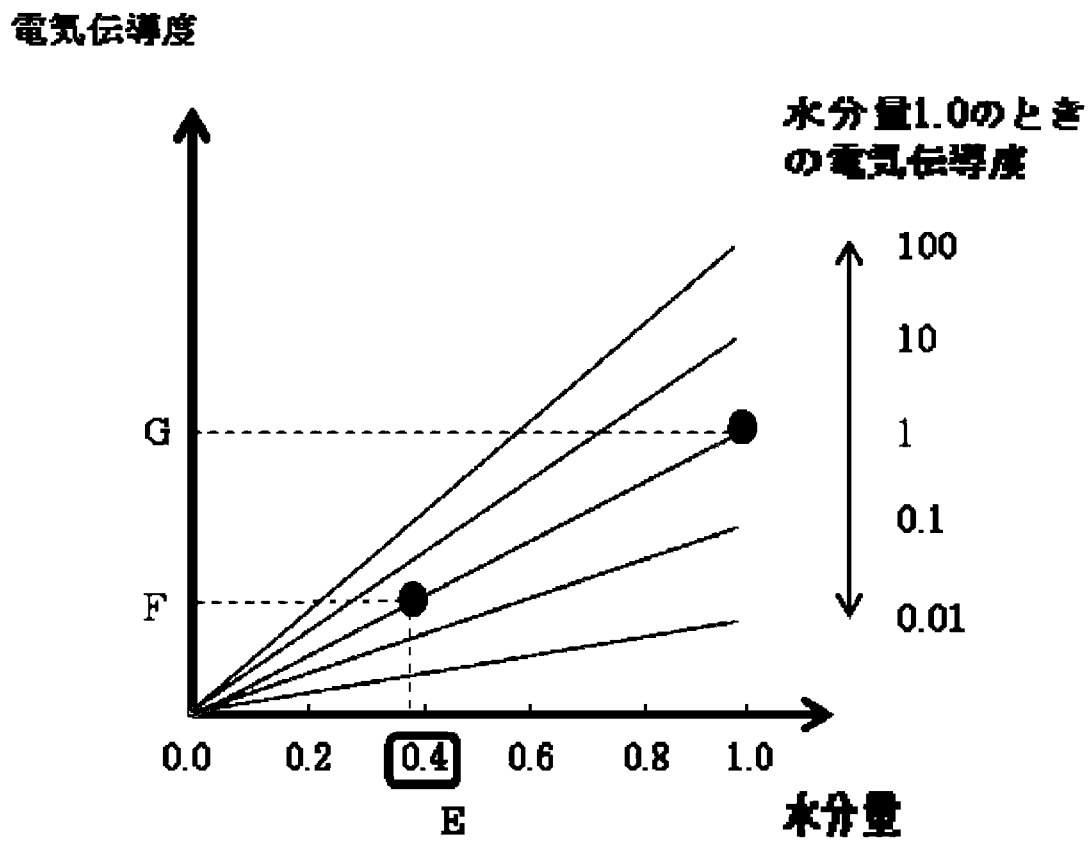
[図12]



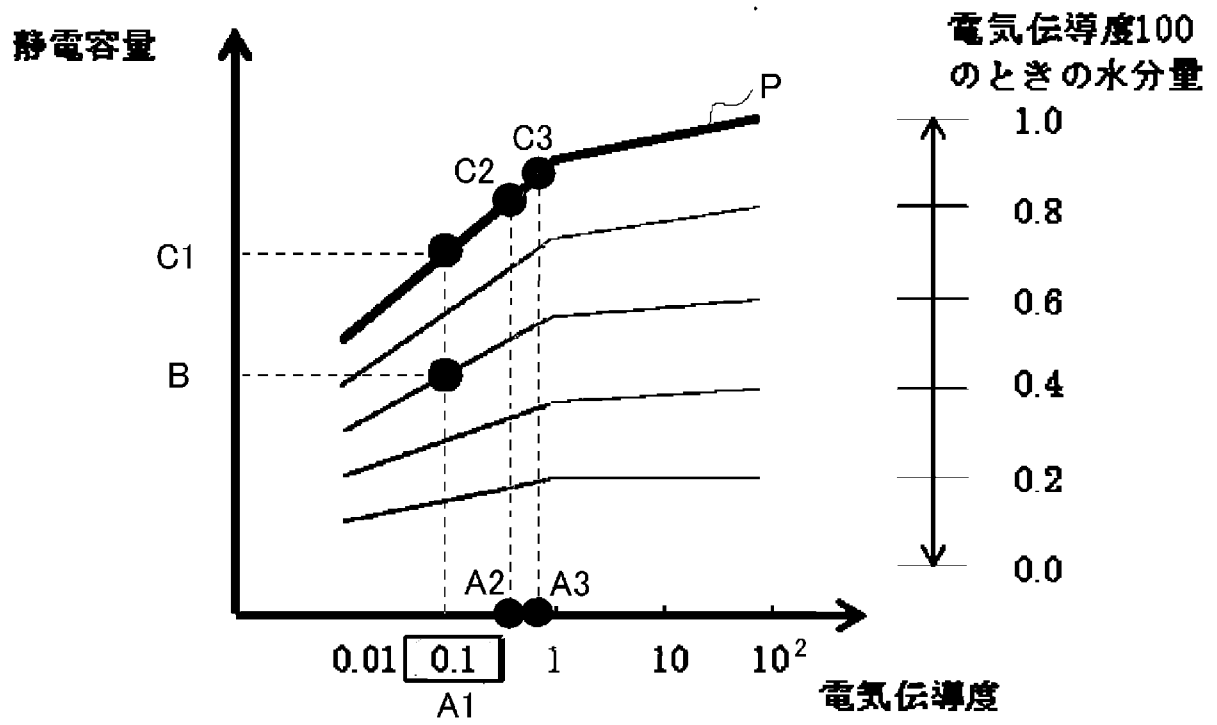
[図13]



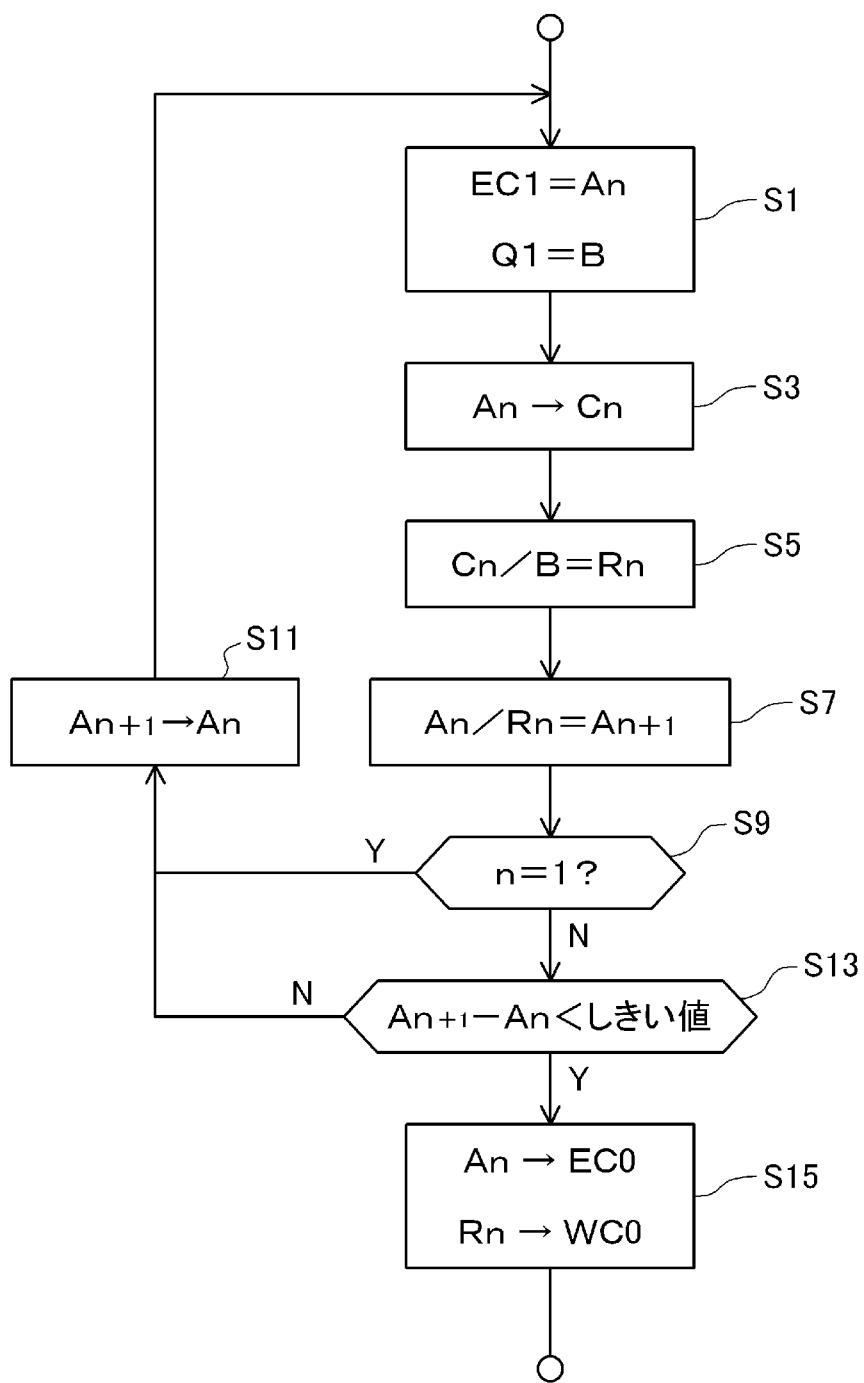
[図14]



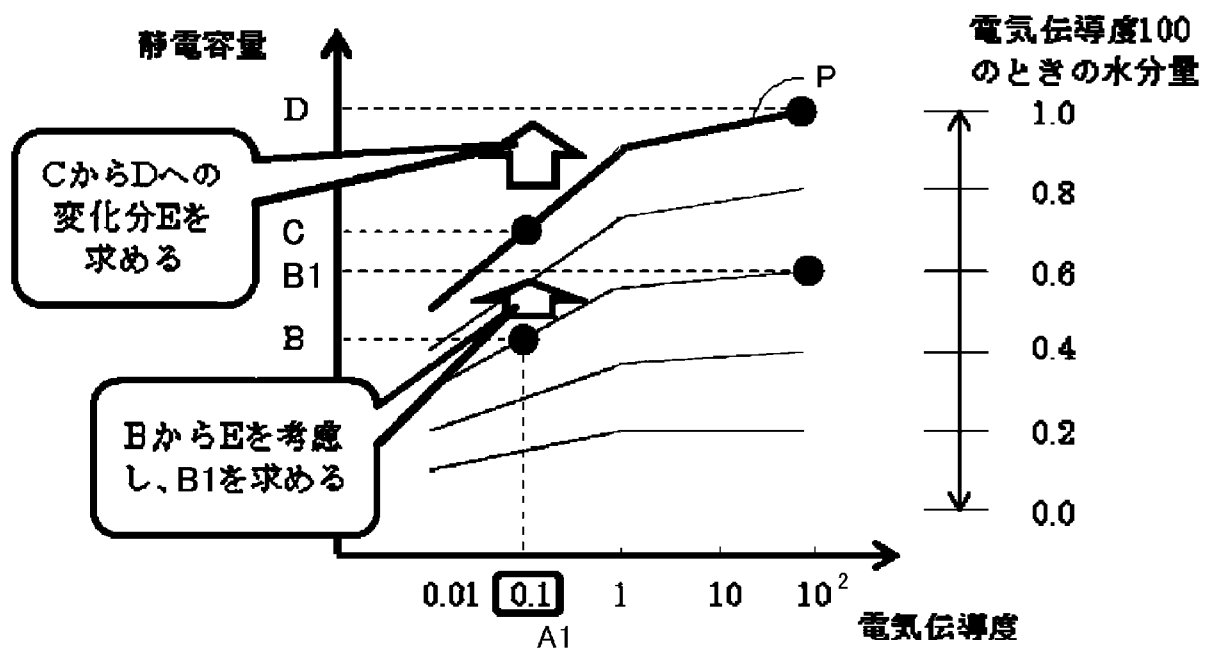
[図15]



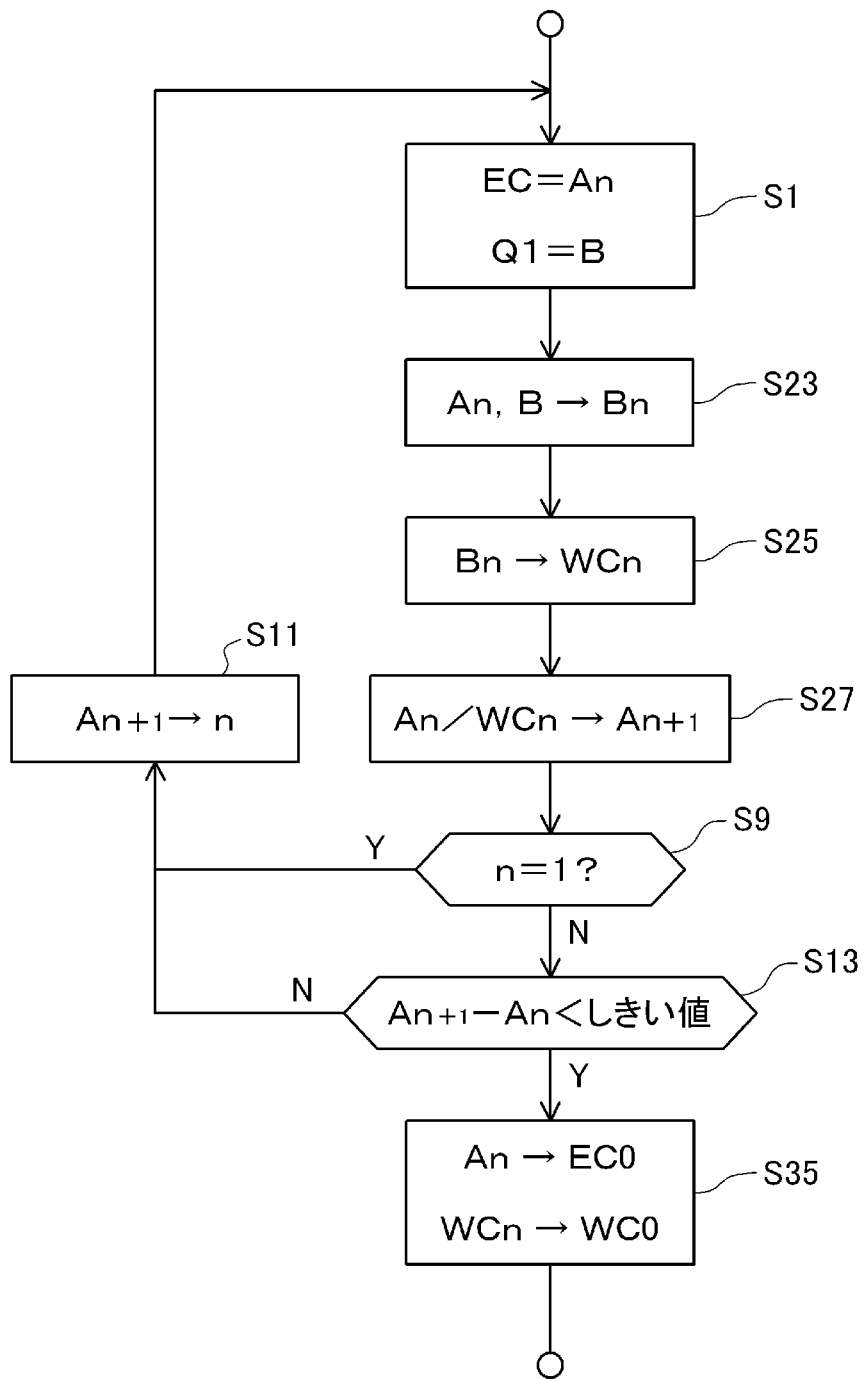
[図16]



[図17]



[図18]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/063545

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01N27/06(2006.01) i, G01N27/22(2006.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N27/06, G01N27/22		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2011 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus (JDreamII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2004-271494 A (Asuzac Inc.), 30 September 2004 (30.09.2004), entire text; all drawings (Family: none)	6-8 1-5
Y A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 12804/1989(Laid-open No. 103264/1990) (Japan Electronic Control Systems Co., Ltd.), 16 August 1990 (16.08.1990), page 12, lines 15 to 20 (Family: none)	6-8 1-5
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 22 September, 2011 (22.09.11)		Date of mailing of the international search report 04 October, 2011 (04.10.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/063545

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2009-092633 A (Denso Corp.), 30 April 2009 (30.04.2009), paragraphs [0008] to [0011] & US 2009/0095073 A1 & DE 102008050633 A & BRA PI0812282	6-8 1-5
Y A	JP 2008-014802 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 24 January 2008 (24.01.2008), paragraph [0020] (Family: none)	8 1-5
A	JP 06-058895 A (Tokimec Inc.), 04 March 1994 (04.03.1994), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2005-121428 A (Alps Electric Co., Ltd.), 12 May 2005 (12.05.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 63-234147 A (Kyoto Electronics Manufacturing Co., Ltd.), 29 September 1988 (29.09.1988), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2006-527356 A (M.B.T.L. Ltd.), 30 November 2006 (30.11.2006), entire text; all drawings & US 2007/0273394 A1 & EP 1631794 A & WO 2004/109238 A1 & CN 1802552 A & AU 2004245574 A	1-8
A	JP 07-032562 U (Hideo ONISHI), 16 June 1995 (16.06.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-8



A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N27/06(2006.01)i, G01N27/22(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N27/06, G01N27/22		
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 1971-2011年 日本国実用新案登録公報 1996-2011年 日本国登録実用新案公報 1994-2011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) JSTPlus(JDreamII)		
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 2004-271494 A (アスザック株式会社) 2004.09.30, 全文、全図 (ファミリーなし)	6-8
A		1-5
Y	日本国実用新案登録出願 1-12804 号(日本国実用新案登録出願公開 2-103264 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (日本電子機器株式会社) 1990.08.16, 第12頁第 15行-第20行 (ファミリーなし)	6-8
A		1-5
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 22.09.2011	国際調査報告の発送日 04.10.2011	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 中村 祐一 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2W 4405

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2009-092633 A (株式会社デンソー) 2009.04.30, 【0008】 - 【0011】段落 & US 2009/0095073 A1 & DE 102008050633 A & BRA PI0812282	6-8 1-5
Y A	JP 2008-014802 A (松下電器産業株式会社) 2008.01.24, 【0020】 段落 (ファミリーなし)	8 1-5
A	JP 06-058895 A (株式会社トキメック) 1994.03.04, 全文、全図 (フ ファミリーなし)	1-8
A	JP 2005-121428 A (アルプス電気株式会社) 2005.05.12, 全文、全 図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 63-234147 A (京都電子工業株式会社) 1988.09.29, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2006-527356 A (エム. ビー. ティー. エル. リミテッド) 2006.11.30, 全文、全図 & US 2007/0273394 A1 & EP 1631794 A & WO 2004/109238 A1 & CN 1802552 A & AU 2004245574 A	1-8
A	JP 07-032562 U (大西秀夫) 1995.06.16, 全文、全図 (ファミリー なし)	1-8