

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7513622号
(P7513622)

(45)発行日 令和6年7月9日(2024.7.9)

(24)登録日 令和6年7月1日(2024.7.1)

(51)国際特許分類

F I

G O 1 N 27/22 (2006.01)

G O 1 N 27/22 A

G O 1 R 27/26 (2006.01)

G O 1 R 27/26 C

請求項の数 13 (全26頁)

(21)出願番号	特願2021-549278(P2021-549278)	(73)特許権者	515023349
(86)(22)出願日	令和2年2月19日(2020.2.19)		センシリオン アーゲー
(65)公表番号	特表2022-523359(P2022-523359 A)		Sensirion AG
(43)公表日	令和4年4月22日(2022.4.22)		スイス国 シュテファ 8 7 1 2 ラウビ
(86)国際出願番号	PCT/EP2020/054379	(74)代理人	スリュティシュトラーセ 5 0
(87)国際公開番号	WO2020/169676		110002664
(87)国際公開日	令和2年8月27日(2020.8.27)		弁理士法人相原国際知財事務所
審査請求日	令和5年2月8日(2023.2.8)	(72)発明者	ブリュス, マーセル
(31)優先権主張番号	19158447.3		スイス国 8 7 1 2 シュテファ, ラウ
(32)優先日	平成31年2月21日(2019.2.21)		ビスリュティシュトラーセ 5 0 センシ
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)	審査官	リオン アーゲー内
			村田 顕一郎
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 静電容量式センサ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板（14）と、
少なくとも第1電極（11）および第2電極（12）と、前記第1電極（11）と前記第2電極（12）との間に配置された検知層（15）とを備える電極構造部（10）と、
測定回路（40、500、600）と、を備える静電容量式センサであって、
前記測定回路（40、500、600）は、
第1測定段階において、前記第1電極（11）に第1電極の第1電位を付与し、前記第2電極（12）に第2電極の第1電位を付与し、
第2測定段階において、前記第1電極（11）に第1電極の第2電位を付与し、前記第2電極（12）に第2電極の第2電位を与えることによって、前記電極構造部（10）の静電容量を測定するように構成され、
前記第2電極（12）の第1電位と前記第2電極（12）の第2電位とは、互いに異なり、
前記第1電極の第1電位、前記第2電極の第1電位、前記第1電極の第2電位及び前記第2電極の第2電位は、
【数25】

$$0 < (V_{A1}-V_{A2}) \leq (V_{B2}-V_{B1}) * C_{BE}/C_{AE}; \text{又は}$$

$$(V_{B2}-V_{B1}) * C_{BE}/C_{AE} \leq (V_{A1}-V_{A2}) < 0$$

を満たすように付与される、

なお、上記式において、

V_{A1} は、前記第1測定段階における前記第1電極の第1電位であり、

V_{A2} は、前記第2測定段階における前記第1電極の第2電位であり、

V_{B1} は、前記第1測定段階における前記第2電極の第1電位であり、

V_{B2} は、前記第2測定段階における前記第2電極の第2電位であり、

C_{AE} は、前記検知層の面上に配置された仮想電極と前記第1電極との間の静電容量であり、

C_{BE} は、前記検知層の前記面上に配置された前記仮想電極と前記第2電極との間の静電容量である、静電容量式センサ。

【請求項2】

前記第1電極の第1電位、前記第2電極の第1電位、前記第1電極の第2電位及び前記第2電極の第2電位は、以下の式

【数27】

$$(V_{A1}-V_{A2}) = (V_{B2}-V_{B1}) * C_{BE}/C_{AE}$$

を満たすように付与される、請求項1に記載のセンサ。

【請求項3】

前記第1電極の第1電位と前記第2電極の第1電位との平均電位は、前記第1電極の第2電位と前記第2電極の第2電位との平均電位と同じである、請求項1または2に記載のセンサ。

【請求項4】

前記測定回路(40、700、800)は、前記第2電極(12)において、第1測定段階と第2測定段階との間で結果として生じる電荷差を検知するように構成されている、請求項1から3のいずれかに記載のセンサ。

【請求項5】

前記測定回路は、前記第1電極の第1電位、前記第2電極の第1電位、前記第1電極の第2電位及び前記第2電極の第2電位を生成するための、および／または、前記結果として生じた電荷差を検知するための、スイッチドキャパシタ回路および／またはスイッチド電流回路を含む、請求項4に記載のセンサ。

【請求項6】

前記測定回路(40、700、800)は、
結果として生じる電荷差をリファレンスコンデンサ(C_{Int})に転送し、
前記リファレンスコンデンサ(C_{Int})において結果である電圧を測定し、
前記結果として生じた電圧から前記電極構造部の静電容量を測定する、ように構成されている、請求項4または5に記載のセンサ。

【請求項7】

前記測定回路(40、700、800)は、オフセットコンデンサ(C_0)を含み、
前記測定回路(40、700、800)は、前記結果として生じた電荷差からオフセット電荷を減算するように構成されている、請求項4から6のいずれかに記載のセンサ。

【請求項8】

前記測定回路(40、700、800)は、積分器(710)、特に、スイッチドキャ

パシタ増幅器を含み、前記積分器（７１０）は、前記結果として生じる電荷差を積分するように構成されている、請求項４から７のいずれかーに記載のセンサ。

【請求項９】

前記第１電極の第１電位は、前記第２電極の第２電位と同じであり、
前記第２電極の第１電位は、前記第１電極の第２電位と同じであり、
特に、

前記第１電極の第１電位と前記第２電極の第２電位とは、供給電圧電位であり、
前記第２電極の第１電位と前記第１電極の第２電位とは、接地電位であり、
または、特に、

前記第１電極の第１電位と前記第２電極の第２電位とは、接地電位であり、さらに、
前記第２電極の第１電位と前記第１電極の第２電位とは、供給電圧電位である、請求項
１から８のいずれかーに記載のセンサ。

10

【請求項１０】

前記センサは、

前記第１電極（１１）および前記第２電極（１２）を含む第１金属層（２１）と、
シールド構造部（２２）を含む第２金属層（２２）と、を含む、請求項１から９のい
ずれかーに記載のセンサ。

【請求項１１】

前記シールド構造部（２２）は、固定電位、特に接地電位または供給電位に、前記第１
電極（１１）に、または前記第２電極（１２）に電気的に接続されている、請求項１０に
記載のセンサ。

20

【請求項１２】

前記センサは、静電容量式湿度センサ、静電容量式ガスセンサ、または静電容量式粒子
状物質センサである、請求項１から１１のいずれかーに記載のセンサ。

【請求項１３】

静電容量測定を行う方法であって、

少なくとも第１電極（１１）および第２電極（１２）と、前記第１電極（１１）と前記
第２電極（１２）との間に配置された検知層（１５）とを備える電極構造部（１０）を設
けるステップと、

第１測定段階において、前記第１電極（１１）に前記第１電極の第１電位を付与し、前
記第２電極（１２）に前記第２電極の第１電位を付与し、

30

第２測定段階において、前記第１電極（１１）に前記第１電極の第２電位を付与し、前
記第２電極（１２）に前記第２電極の第２電位を付与することにより、前記電極構造部の
静電容量を測定するステップと、を含み、

前記第２電極（１２）の第１電位と前記第２電極（１２）の第２電位とは、互いに異な
り、

前記第１電極の第１電位、前記第２電極の第１電位、前記第１電極の第２電位及び前記第
２電極の第２電位は、以下の式

【数２８】

$$0 < (V_{A1} - V_{A2}) \leq (V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE} ; \text{又は}$$

40

$$(V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE} \leq (V_{A1} - V_{A2}) < 0$$

のように付与される、なお、上記式において、

V_{A1} は、前記第１測定段階における前記第１電極の第１電位であり、

V_{A2} は、前記第２測定段階における前記第１電極の第２電位であり、

V_{B1} は、前記第１測定段階における前記第２電極の第１電位であり、

V_{B2} は、前記第２測定段階における前記第２電極の第２電位であり、

C_{AE} は、前記検知層の面上に配置された仮想電極と前記第１電極との間の静電容量であ

50

り、

C_{BE} は、前記検知層の前記面上に配置された仮想電極と前記第2電極との間の静電容量である、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、静電容量式センサ、特に静電容量式湿度センサ、静電容量式ガスセンサ、および静電容量式粒子状物質センサに関する。開示のさらなる態様は、静電容量式検知、特に静電容量式湿度検知のための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

静電容量式センサは、例えば、湿度センサとして、特に、環境空気の相対湿度を検知するセンサとして実施され、環境検知用途において汎用されている。

【0003】

湿度センサの1つのタイプは、静電容量式湿度センサであり、この湿度センサは、1つ以上の感湿層、特にポリマー層を備える。感湿層は、2つの電極の間に配置され、環境空気と相互作用する。2つの電極の間で測定された静電容量は、環境空気の湿度と相関するので、湿度を測定することができる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

静電容量式湿度センサの1つの問題は、検知層の環境が十分に画定されていないことである。特に、環境のインピーダンスは、制御できない態様で変化することがある。一例として、感湿層上での水または他の液体の結露の場合や、粒子による感湿層の汚染によって、測定された静電容量が、100%未満に低下する場合がある。このような飽和現象は、誤った測定につながる可能性がある。特に、対応するセンサは、結露状態と、相対湿度が実際には100%未満である状態との間で区別することができない場合がある。

【0005】

従って、本発明が解決すべき1つの問題は、検知範囲が改善された静電容量式センサ、特に結露状態を検出することができる湿度センサを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の第1態様の実施形態によれば、基板および電極構造部を備える静電容量式湿度センサが提供される。電極構造部は、少なくとも第1電極及び第2電極と、第1電極と第2電極との間に配置された検知層とを備える。検知層は、特に、感湿性誘電率を有するので、感湿層として実施することができる。センサは、さらに、測定回路を備える。測定回路は、第1測定段階において、第1電極及び第2電極に一对の第1電位を与えることによって、電極構造部の静電容量を測定するように構成されている。一对の第1電位は、第1電極の第1電位と、第2電極の第1電位とを含む。測定回路は、さらに、第2測定段階において、第1電極及び第2電極に一对の第2電位を与えるように構成されている。一对の第2電位は、第1電極の第2電位と、第2電極の第2電位とを含む。第1態様の実施形態は、特に、第2電極の第1電位と第2電極の第2電位とが異なることを特徴とする。第1態様の実施形態によれば、一对の第1電位および一对の第2電位は、以下の条件のうちの少なくとも1つを満たすように付与される。

【0007】

【数1】

10

20

30

40

50

$$0 \leq (V_{A1} - V_{A2}) \leq (V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE} ; \quad (\text{不等式 1})$$

又は

$$(V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE} \leq (V_{A1} - V_{A2}) \leq 0. \quad (\text{不等式 2})$$

【0008】

上記の式／条件において、 V_{A1} は、第1測定段階における第1電極の第1電位を示し、 V_{A2} は、第2測定段階における第1電極の第2電位を示す。さらに、 V_{B1} は、第1測定段階における第2電極の第1電位を示し、 V_{B2} は、第2測定段階における第2電極の第2電位を示す。 C_{AE} は、検知層の面上に配置された仮想電極と第1電極との間の相互容量であり、一方、 C_{BE} は、検知層の面上に配置された仮想電極と第2電極との間の静電容量である。

10

【0009】

そのように実施された静電容量式センサは、2段階測定によってその電極構造部の静電容量を測定するように構成されている。2段階測定は、第1測定段階および第2測定段階を含む。各段階において、特定のセットの電位が、第1電極及び第2電極に付与される。特に、第2電極の第1電位と、第2電極の第2電位とは、互いに異なる。言い換えれば、第2電極の電位は、第1測定段階と第2測定段階との間で変化する。これは、第2電極の電位が一定に保たれて、第2電極と接地電位または他の基準電位との間の寄生容量の測定を回避する従来のセンサとは対照的である。そのように実施されたセンサは、第2電極の異なる電位が使用されて、特定の測定状態に対するセンサ機能を適用させるという効果を提供する。

20

【0010】

特に、本出願人の研究は、2つの測定段階の間で第2電極の電位を変化させることによって、本発明の実施形態によるセンサは、検知層の表面上での結露および／または検知層の汚染によって、測定が誤ったものにならないように設計されている。

【0011】

仮想電極は、静電容量 C_{AE} および C_{BE} 、または、より詳細には割合 C_{AE} / C_{BE} を定義したり、および／または測定するために使用される電極と考えることができる。仮想電極は、検知層の表面上に配置される。検知層の表面は、環境空気と隣り合う検知層の領域である。換言すれば、検知層の表面は、環境空気との境界面を提供し、環境空気と相互作用する。

30

【0012】

仮想電極は、センサの検知動作中は物理的に存在しないことに留意されたい。実施形態によれば、仮想電極は、割合 C_{AE} / C_{BE} を測定するサンプルセンサの検知層の表面に設けられてもよく、または、シミュレーションによって割合 C_{AE} / C_{BE} を測定するために使用されてもよい。

40

【0013】

割合 C_{BE} / C_{AE} は、当業者に知られているように、いくつかの異なる方式または方法で測定することができる。

【0014】

一実施形態によれば、割合 C_{BE} / C_{AE} は、有限要素法(FEM)によるシミュレーションによって測定されてもよい。このようなシミュレーション用に、市販のプログラム、例えばComsol Multiphysics(登録商標)ソフトウェアを使用することができる。

【0015】

実施形態によれば、FEMシミュレーションは、第1電極、第2電極、および仮想電極を含む電極構造部の幾何学的形状をシミュレートすることによって、割合 C_{BE} / C_{AE} を

50

導出する。実施形態によれば、割合 C_{BE} / C_{AE} は、電極構造部間の誘電体の誘電率が均一であると仮定すると、電極構造部の幾何学的形状のみに依存する。

【0016】

対称電極構造部の場合、割合 $C_{BE} / C_{AE} = 1$ となる。

【0017】

他の実施形態によれば、割合 C_{BE} / C_{AE} は、測定によって、例えば、静電容量 C_{AE} および C_{BE} によって形成される静電容量式分圧器を使用する測定によって測定されてもよい。そのような測定のために、仮想電極は、実際の電極として、または言い換えれば、例えば、検知層の表面上に導電層を形成することによって、検知層の表面上に物理的に設けても良い。

10

【0018】

上記の条件（不等式 1 および 2）を確実に満たすために、実施形態では、割合 C_{BE} / C_{AE} を正確に測定する必要がないことに留意されたい。むしろ、割合の大まかな仮定を行い、次に、上述の不等式において、大まかな仮定が最悪の場合でも不等式が満たされるように、一对の第 1 電位および一对の第 2 電位を選択することができる。

【0019】

実施形態によれば、電極構造部の幾何学的形状は、一定のままであり、測定中に変化しない。

【0020】

実施形態によれば、測定された静電容量は、検知層の特性または特徴、特に、検知層の材料の特性または特徴、特に、検知層の誘電率に依存する。

20

【0021】

実施形態によれば、検知層の表面と、検知層の表面を取り囲む電気構造との間の漏れ電流が、特に、検知層の表面の汚染の場合や検知層の表面での結露の場合に、減少し、特に、最小となるように、一对の第 1 電位と一对の第 2 電位とが、選択される。

【0022】

そのような電気構造部は、検知層を取り囲む任意の電気構造部でもよい。電気構造部は、特に、検知層の近傍に配置されたセンサの電気ハウジング及び／又は電気ライン又は電気回路である。

【0023】

実施形態によれば、第 1 測定段階と第 2 測定段階との間の第 1 電極と第 2 電極との中間電位は、任意の形状、特に長方形形状又は正弦波形状を有する。

30

【0024】

実施形態によれば、一对の第 1 電位と、一对の第 2 電位とは、それらが以下の条件のうちの少なくとも 1 つを満たすように付与される。

【0025】

【数 2】

$$0 < (V_{A1} - V_{A2}) \leq (V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE} ; \quad (\text{不等式 3})$$

40

又は

$$(V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE} \leq (V_{A1} - V_{A2}) < 0. \quad (\text{不等式 4})$$

【0026】

このような実施形態によれば、第 1 電極の第 1 電位と、第 1 電極の第 2 電位とも、互いに異なる。これは、第 1 測定段階と第 2 測定段階との間で結果として生じる電荷差を増加させる。

【0027】

50

実施形態によれば、一对の第1電位と、一对の第2電位とは、以下の条件を満たすように付与される。

【0028】

【数3】

$$(V_{A1}-V_{A2}) = (V_{B2}-V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE}$$

【0029】

実施形態によれば、第1電極の第1電位と、第1電極の第2電位とは、互いに異なり、第2電極の第1電位と、第2電極の第2電位とは、互いに異なっている。

10

【0030】

両電極の電位を変化させることによって、測定回路の検知信号、特に検知電流は増加されることがある。

【0031】

実施形態によれば、一对の第1電位の平均電位は、一对の第2電位の平均電位と同じである。この実施形態は、特に、対称な電極構造部、すなわち、第1電極及び第2電極が検知層に対して対称に配置されて、検知層に対して同じ距離を有する電極構造部を有するセンサに適している。したがって、第1電極と環境との間の静電容量 C_{AE} と、第2電極と環境との間の静電容量 C_{BE} とは、同じ値を有する。

【0032】

20

本発明の実施形態は、結露する場合、検知層の表面と、検知層の表面を囲む外部電気構造部との間のインピーダンスは、無限大ではなく、これはこのインピーダンスを介して電流の損失をもたらすという本発明の発明者の洞察に基づいている。その結果、この電流損失は、第2電極を流れる電流を減少させ、したがって、何の対策なしには、センサは、結露状態を、湿度100%未満の湿度状態から区別することができない場合がある。

【0033】

本発明の実施形態によるセンサは、検知層の表面での結露または他の汚染の場合に、電流が外部電気構造部に失われることを、一对の電位の賢明な選択によって回避する。これは、測定回路による2つの状態の区別を容易にする。

【0034】

30

一実施形態によれば、測定回路は、特に、第2電極において、第1測定段階と第2測定段階との間の結果として生じた電荷差を検知するように構成されている。従って、測定回路は、第1測定段階と第2測定段階との間に蓄積される電荷差を評価する。すなわち、測定回路は、初期状態（第1測定段階の終了時の充電状態）を、最終状態（第2測定段階の終了時の充電状態）に比較する。しかしながら、そのような充電サイクルの実行は、考慮する必要はない。

【0035】

上述したように、実施形態によれば、第1電極と第2電極との間の総静電容量は、結露のない事例よりも、結露のある事例の方が大きい。したがって、本発明の実施形態による測定回路によって測定される結果として生じる電荷差は、結露がある事例において増加する。

40

【0036】

一実施形態によれば、測定回路は、結果として生じる電荷差をリファレンスコンデンサに転送し、結果として生じた電圧をリファレンスコンデンサで測定するように構成されている。一実施形態によれば、測定回路は、さらに、結果として生じた電圧から検知層の静電容量を測定するように構成されている。

【0037】

これは、結果として生じる電荷差を、測定可能な電圧に変換する効率的で信頼性のある方法である。リファレンスコンデンサの静電容量が分かっているので、検知層の静電容量は、基準容量、結果として生じた電圧、および第1および第2測定段階の間に付与された

50

電位から導き出されることができる。

【0038】

一実施形態によれば、測定回路は、オフセットコンデンサを含む。測定回路は、結果として生じた電荷差からオフセット電荷を減算するように構成されている。

【0039】

このような実施形態が使用されて、0と対称であるリファレンスコンデンサに電荷が転送される。

【0040】

一実施形態によれば、測定回路は、積分器、特にスイッチドキャパシタ増幅器を含む。スイッチドキャパシタ増幅器は、結果として生じる電荷差を積分する、すなわち、第1測定段階から第2測定段階に切り替わるときに第2電極を流れる電流を積分するように構成されている。

【0041】

一実施形態によれば、積分器、特に、スイッチドキャパシタ増幅器は、演算増幅器として具体化される。このようなスイッチトキャパシタ増幅回路は、効率的な方法で実行され、製造される。

【0042】

一実施形態によれば、第1電極の第1電位は、第2電極の第2電位と同じである。そして、第1電極の第2電位は、第2電極の第1電位と同じである。

【0043】

2つの異なる電圧のみを有する、このように簡素化された一組の電位は、測定回路の効率的な設計および製造を容易にする。

【0044】

特に、第1電極の第1電位と、第2電極の第2電位とは、供給電圧電位であり、第2電極の第1電位と、第1電極の第2電位とは、接地電位である。または、第1電極の第1電位と、第2電極の第2電位とは、接地電位であり、第2電極の第1電位と、第1電極の第2電位とは、供給電圧電位である。

【0045】

このように簡略化された電位のセットは、測定回路の効率的な設計および製造を容易にする。その理由は、特に、対応する集積回路の接地電位および供給電圧電位が使用され、さらなる電圧発生または電圧変換が必要とされないためである。

【0046】

一実施形態によれば、センサは、第1電極および第2電極を含む第1金属層と、シールド構造部を含む第2金属層とを備える。シールド構造部は、複数のシールド電極を備えてもよい。

【0047】

シールド構造部は、電磁場のシールドを行う。加えて、そのようなシールド構造部は、エッチストップとなり、したがって、センサの効率的な製造を容易にし得る。

【0048】

一実施形態によれば、シールド構造部は、接地電位に電氣的に接続されている。

【0049】

このような実施形態によれば、第2電極と接地面との間の寄生容量が、測定される。

【0050】

一実施形態によれば、シールド構造部は、第1電極に電氣的に接続されている。

【0051】

このような実施形態によれば、第2電極と接地面との間の寄生容量は、2倍で測定される。

【0052】

一実施形態によれば、シールド構造部は、第2電極に電氣的に接続されている。

【0053】

10

20

30

40

50

このような実施形態によれば、第 2 電極と接地面との間の寄生容量は、測定されない。

【0054】

本発明の別の態様の一実施形態によれば、静電容量を測定する方法が提供される。当該方法は、少なくとも第 1 電極と、第 2 電極と、第 1 電極及び第 2 電極の間に配置される検知層とを含む電極構造部を提供するステップを含む。当該方法は、さらに、第 1 測定段階において、第 1 電極及び第 2 電極に一对の第 1 電位を与え、第 2 測定段階において、第 1 電極及び第 2 電極に一对の第 2 電位を与えることによって、電極構造部の静電容量を測定するステップを含む。

【0055】

一对の第 1 電位は、第 1 電極の第 1 電位と、第 2 電極の第 1 電位とを含む。一对の第 2 電位は、第 1 電極の第 2 電位と、第 2 電極の第 2 電位とを含む。第 2 電極の第 1 電位と第 2 電極の第 2 電位とは、互いに異なる。

10

【0056】

一実施形態によれば、当該方法は、さらに、第 2 電極において、第 1 測定段階と第 2 測定段階との間で結果として生じた電荷差を検知するステップと、結果として生じた電荷差をリファレンスコンデンサに転送するステップとを含む。加えて、当該方法は、リファレンスコンデンサにおいて結果として生じた電圧を測定するステップと、結果として生じた電圧から電極構造部の静電容量を測定するステップとを含んでもよい。

【0057】

他の有利な実施形態は、従属請求項並びに以下の説明に記載されている。

20

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図 1】本発明の一実施形態による静電容量式湿度センサの断面図を示す。

【図 2】本発明の実施形態による測定アプローチに含まれる静電容量の概略図を含む、図 1 の湿度センサの部分断面図を示す。

【図 3】図 2 の部分断面図の対応する電氣的等価回路の概略を示す。

【図 4】検知層の表面の実質的な汚染または結露を伴わない「正常な」測定状態を表す電氣的等価回路を示す。

【図 5】検知層の表面の「局所的」汚染または結露状態を表す電氣的等価回路を示す。

【図 6】検知層の表面の大規模な汚染または結露を伴う「広範囲的」汚染または結露状態を表す電氣的等価回路を示す。

30

【図 7 a】第 1 測定段階における本発明の一実施形態によるセンサの電極構造部の静電容量を測定する測定回路を示す図である。

【図 7 b】第 2 測定段階における図 5 a の測定回路を示す。

【図 8 a】第 1 測定段階における本発明の別の実施形態によるセンサの電極構造部の静電容量を測定する測定回路を示す図である。

【図 8 b】第 2 測定段階における図 6 a の測定回路を示す。

【図 9】湿度測定を実行する方法の方法ステップのフローチャートを示す。

【図 10】本発明の一実施形態による測定装置の静電容量式センサの断面図を示す。

【図 11】図 10 の例示的な測定装置の対応する電氣的等価回路を示す。

40

【図 12】割合 C_{AE} / C_{BE} を測定する例示的な測定装置を形成する図 10 のセンサの上面図を示す。

【図 13】別の電極構造部の割合 C_{AE} / C_{BE} を測定する別の例示的な測定装置の上面図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0059】

本発明は、以下の詳細な記載から、より良く理解され、上記以外の目的が明らかにされる。係る記載は、添付の図面を参照する。

【0060】

図 1 は、本発明の一実施形態による静電容量式センサ 100 の断面図を示す。静電容量

50

式センサ１００は、特に湿度センサとして具体化されてもよく、第１電極１１および第２電極１２を備える電極構造部１０を備える。本実施例において、センサ１００は、３つの第１電極１１と２つの第２電極１２とを含む。検知層１５が、第１電極１１と第２電極１２との間に配置されている。第１電極１１は、電極Ａとしても示され、第２電極１２は、電極Ｂとしても示される。電極構造部１０は、第１または上部金属層２１を形成する。検知層１５は、湿度感知誘電率（humidity sensitive permittivity）を有する。したがって、電極構造部１０は、湿度感知静電容量を有し、ポリマーを含んでもよく、または、ポリマーからなってもよい。検知層１５は、第１電極１１と第２電極１２との間に延在し、斜線パターンで示されている。センサ１００は、さらに、誘電体層１８を備え、この誘電体層１８は、第１金属層２１と第２金属層２２との間を電氣的に絶縁する。第２金属層２２は、第２最終金属層として示されてもよい。第２金属層２２は、複数の電極２３を備える。これらの電極２３は、接地電位に電氣的に接続され、故に、接地電極として示される。第２金属層２２は、シールド構造部２２を形成する。他の実施形態では、第２金属層２２、特に電極２３は、第１電極１１または第２電極１２に接続されてもよい。

【００６１】

センサ１００は、ベース基板１４を備え、ベース基板１４に接して、第２金属層２２、誘電体層１８、第１金属層２１および検知層１５が形成されている。ベース基板１４は、特に、半導体基板、例えばＳｉ基板からなる。

【００６２】

検知層１５は、検知環境３０に対する面３１を有する。検知環境３０は、センサを取り囲む気体、特に環境空気であってもよい。検知環境３０は、点線パターンによって示される。検知環境３０は、検知層１５の面３１近傍のローカル検知環境３０ａと、さらなる検知環境３０ｂとを包含する。さらなる検知環境３０ｂは、センサより広い、又は換言すればより大きい領域を包含し、そして、遠隔又は離れた検知環境として示すこともできる。図２において、さらなる検知領域３０ｂは、ローカル検知環境３０ａよりも低密度のドットで示されている。検知層１５の面３１は、検知層１５と検知環境３０との間に界面を作る。したがって、面３１は、環境界面３１としても示すことができる。

【００６３】

環境空気は、特に、検知層１５の面３１を介して、検知層１５と相互作用する。より詳細には、環境空気の湿気が検知層１５内に拡散し、それによって、隣接する電極１１および電極１２間の検知層１５の誘電率を変え、故に電極構造部１０の静電容量を変化させる。この静電容量の変化が測定されて、環境空気３０の湿度を検知する。換言すれば、湿度センサ１００は、電極構造部１０の静電容量から環境空気の湿度、すなわち、より一般的には、湿度センサ１００を取り囲むガス環境の湿度を導き出す。

【００６４】

このような測定のために、測定回路が、第１電極１１及び第２電極１２に接続されてもよい。

【００６５】

図２は、湿度センサの部分断面図２００を示し、より詳細には、図１に示されるような、センサ１００の切り抜き部１０１を示し、本発明の実施形態による測定アプローチ用に考慮されるべき静電容量の概念図を含む。

【００６６】

図３は、図２の部分断面図２００の対応する電氣的等価回路３００の概略を示す。

【００６７】

部分断面図２００および電氣的等価回路３００は、第１電極Ａと第２電極Ｂとの間に主静電容量 C_{MAIN} を含む。第１電極Ａは、電位 V_A に接続され、第２電極Ｂは電位 V_B に接続される。

【００６８】

部分断面図２００および電氣的等価回路３００は、検知層１５の面３１上の第１基準ノード N_{E1} と第１電極１１との間の静電容量 C_{AE} と、検知層１５の面３１上の第２基準ノード

10

20

30

40

50

ド N_{E2} と第 2 電極 12 との間の静電容量 C_{BE} とを含む。換言すれば、静電容量 C_{AE} は、検知層 15 の面 31 上に配置された仮想電極と第 1 電極 11 との間の相互容量として定義してもよく、一方、 C_{BE} は、第 2 電極 12 と仮想電極との間の静電容量として定義してもよい。

【0069】

静電容量 C_{AE} は、インターフェース静電容量 C_{AE} として表され、静電容量 C_{BE} は、インターフェース静電容量 C_{BE} として表される。電氣的等価回路 300 は、電極 23 の固定電位 V_G 、特に接地電位と電極 A との間の寄生容量 C_{AP} と、電極 23 の固定電位 V_G 、特に接地電位と電極 B との間の寄生容量 C_{BP} と、を備える。

【0070】

さらに、電氣的等価回路 300 は、環境容量 C_E を含む。環境容量 C_E は、検知環境 30 の 2 つの仮想「ポイント」間、特に検知層 15 の面 31 上の 2 つの仮想ポイント間、特に基準ノード N_{E1} 、 N_{E2} 間の静電容量と考えられる。また、環境容量は、表面容量として表されてもよい。

【0071】

また、等価回路 300 は、第 1 基準ノード N_{E1} と第 3 基準ノード N_{E3} との間のインピーダンス Z_{0A} と、第 2 基準ノード N_{E2} と第 3 基準ノード N_{E3} との間のインピーダンス Z_{0B} とを備える。第 3 基準ノード N_{E3} は、浮動電位 V_E に接続される仮想ノードでもある。インピーダンス Z_{0A} およびインピーダンス Z_{0B} は、抵抗性、静電容量性および／または誘導性であってもよく、検知層 15 の面 31 近傍のローカル検知環境 30a のローカルインピーダンスと考えられる。インピーダンス Z_{0A} 、 Z_{0B} は、 C_{MAIN} 、 C_{AE} 及び C_{BE} から独立して変化することがある。

【0072】

さらに、等価回路 300 は、第 3 基準ノード N_{E3} と第 4 基準ノード N_{E4} との間のインピーダンス Z_0 を含む。第 4 基準ノード N_{E4} も、仮想ノードであり、電位 V_0 に接続されている。インピーダンス Z_0 は、検知層 30 の面 31 近傍のローカル検知環境 30a と、センサ 100 のさらなる検知環境 30b と、の間のインピーダンスと考えられる。インピーダンス Z_0 は、 C_{MAIN} 、 C_{AE} 、 C_{BE} 、 Z_{0A} 及び Z_{0B} から独立して変化しても良い。電位 V_0 は、センサの規定されたリモート電位として考えてもよい。特に、これは、検知層 15 の面 31 を囲む電気構造部 50 の平均電位として定義されてもよい。検知層 15 の面 31 を囲む電気構造部 50 は、単一の線で集約的に図示されている。電気構造部 50 は、例えば、センサの電線、電子回路または電気構造部を包含してもよい。センサに向けて、検知層の面の結露または汚染の場合に、漏れ電流 I_L が検知環境 30 を介して発生することがある。

【0073】

実施形態によれば、仮想電極は、 C_E を短絡することによって C_{AE} および C_{BE} を測定するために使用される電極と考えてもよい。したがって、このような測定に対し、 $Z_{0A} = Z_{0B} = Z_0 = 0$ および $N_{E1} = N_{E2} = N_{E3}$ と仮定してもよい。短絡は、例えば、検知層の面に導電層を設けることによって行われてもよい。

【0074】

本発明の実施形態によれば、測定回路 40 が提供され、この測定回路は、第 1 測定段階において、第 1 電極 A 及び第 2 電極 B に一對の第 1 電位を与えることによって、検知層 15 の誘電率を測定する。次に、第 2 測定段階において、測定回路 40 は、第 1 電極 A 及び第 2 電極 B に一對の第 2 電位を与える。

【0075】

以下、図 4、図 5 および図 6 を参照して、3 つの異なる測定状態を検討する。

【0076】

より詳細には、図 4 は、検知層 15 の面 31 に実質的な汚染又は結露がない「正常」、すなわち、通常の測定状態を表す電氣的等価回路を示す。この場合、一般に、

(Z_{0A} , Z_{0B} , Z_0) の絶対値 $\gg \max(1/(w * C_E), 1/(w * C_{AE}), 1/(w * C_{BE}))$

10

20

30

40

50

と推測される。上記式において、 w は、第1電極および第2電極の励起周波数である。この推測は、以下の推測に単純化されてもよい。

【0077】

【数4】

$$Z_{0A}=Z_{0B}=Z_0 = \infty$$

【0078】

次に、後者の推定は、単純化された電氣的等価回路400に帰着する。したがって、第1電極11と第2電極12とは、 C_{AE} 、 C_{BE} 及び C_E の直列接続と、主静電容量 C_{MAIN} との並列接続によって、電氣的に接続される。

【0079】

この通常状態において、第2電極12に流れる電流 i_{bn} は、次のように算出することができる。

【0080】

【数5】

$$i_{bn} = \frac{d}{dt} \left((V_A - V_B) \left(C_{MAIN} + \frac{C_{AE} C_{BE} C_E}{C_{AE} C_{BE} + C_{AE} C_E + C_{BE} C_E} \right) + (V_G - V_B) C_{BP} \right)$$

10

20

【0081】

項「 d/dt 」は、通常、印加電圧 V_A 及び V_B の導関数を表す。各段階において一定電圧が印加される2段階測定の場合、それは、2つの段階で印加される電圧間の差を示す。

【0082】

上記の式から分かるように、第1電極および第2電極の両方の電位を変化させることによって、電流 i_{bn} 、したがってセンサ信号、すなわち測定回路の検知信号が増加する場合がある。

【0083】

以下のさらなる検討のために、以下のような初期の仮定を行うものとする。

【0084】

【数6】

$$\frac{d}{dt} V_A \geq 0 \text{ 及び } \frac{d}{dt} V_B \leq 0.$$

30

【0085】

これにより、関係演算子

【0086】

【数7】

$$\geq \text{ and } \leq$$

40

【0087】

の検討が容易になる。

しかしながら、同等の検討が、反対の仮定、すなわち、

【0088】

【数8】

50

$$\frac{d}{dt}V_A \leq 0 \quad \text{及び} \quad \frac{d}{dt}V_B \geq 0.$$

がなされてもよい。

【0089】

後者の場合、対応する符号および関係演算子も反転しなければならない。

【0090】

図5は、検知層15の面31の局所的又は小規模の汚染又は結露を仮定している汚染又は結露状態を表す電氣的等価回路を示す。このような局所的汚染または結露状態に対して、一般に、 $(Z_{0A}$ 及び $Z_{0B})$ の絶対値 $\ll 1/(w \cdot C_E)$ が想定される。この式において、 w は第1電極と第2電極の励起周波数であり、 Z_0 の絶対値 $\gg Z_{0A}$, Z_0 である。これは、以下のようにさらに簡略化することができる。

【0091】

【数9】

$$Z_{0A}=Z_{0B} = 0 \quad \text{及び} \quad Z_0 = \infty$$

【0092】

後者の仮定によって、簡略化された電氣的等価回路500になる。従って、第1電極11と第2電極12とは、主静電容量 C_{MAIN} と、 C_{AE} 及び C_{BE} の直列接続との並列接続によって電氣的に接続される。

【0093】

この局所的汚染状態において第2電極12に流れる電流 i_{B1} は、次のようにして計算される。

【0094】

【数10】

$$i_{B1} = \frac{d}{dt} \left((V_A - V_B) \left(C_{MAIN} + \frac{C_{AE} C_{BE}}{C_{AE} + C_{BE}} \right) + (V_G - V_B) C_{BP} \right)$$

この状態 $i_{B1} > i_{Bn}$ において

特に、

$$\frac{C_{AE} C_{BE}}{C_{AE} + C_{BE}} > \frac{C_{AE} C_{BE} C_E}{C_{AE} C_{BE} + C_{AE} C_E + C_{BE} C_E}$$

【0095】

したがって、直列接続において、静電容量、すなわち C_E を省略することができ、その結果、総静電容量が大きくなる。

【0096】

検知層の表面に局所的な結露を有する湿度センサの実施例において、第2電極での電流の増加は、より大きな静電容量、従って、より大きな湿度として解釈される。これは、係る局所的な結露が最大湿度として解釈されるので、いかなる問題も生じさせない。したがって、この事例は、以下の検討のために無視しても良い。

【0097】

図6に、検知層15の面31の大面積又は大規模な汚染又は結露を想定した汚染又は結

露状態を表す電氣的等価回路を示す。このような大面積の汚染または結露は、特に、検知層 15 を越えて延在して、検知層 15 を囲む電気構造部 50 への漏れ電流になるかもしれない汚染または結露状態を含む。この事例に対して、一般に (Z_{0A} 、 Z_{0B} 、 Z_0) の絶対値 $\ll 1 / (w * C_E)$ と推定される。この式において、 w は、第 1 電極と第 2 電極との励起周波数である。この推定は、さらに、以下の推定に簡略化することができる。

$$Z_{0A} = Z_{0B} = Z_0 = 0$$

【0098】

この後者の推定が、簡略化された電氣的等価回路 500 になる。この回路 500 において、 C_E は短絡される。

【0099】

次に、第 2 電極 12 に流れる電流 i_{Bg} は、次のようにして計算することができる。

【0100】

【数 11】

$$i_{Bg} = \frac{d}{dt} ((V_A - V_B) C_{MAIN} + (V_0 - V_B) C_{BE} + (V_G - V_B) C_{BP})$$

【0101】

したがって、 i_{Bg} は、 C_{AE} に依存せず、 C_{BE} を流れる電流は、

【0102】

【数 12】

$$\frac{d}{dt} (V_0 - V_B)$$

【0103】

のみに依存するが、

【0104】

【数 13】

$$\frac{d}{dt} V_A$$

【0105】

には依存しない。

【0106】

本発明の実施形態によれば、第 2 電極の電極電流 i_B に対して、以下の条件が望まれる。

【0107】

【数 14】

$$i_{Bg} \geq i_{Bn}$$

【0108】

すなわち、第 2 電極 12 での電流は、通常の測定状態におけるものよりも、大面積汚染または大面積結露（「広範囲の汚染」）の場合は、大きくならなければならない。したがって、センサは、汚染・結露が大きい場合に、より大きなセンサ信号を送出する。以下の検討のために、以下のように推測される。

【0109】

【数 15】

$$\frac{d}{dt}V_0 = 0$$

【 0 1 1 0 】

すなわち、 V_0 は、時間に対し一定であると仮定する。これは、例えば、電子回路設計エンジニアに知られているように、電極構造部の周辺部の中にある電気構造部50の電気回路、配線およびリード線の適切な配置によって達成される。特に、これは、電極構造部の近傍、特にセンサチップの面近傍に測定線（clocked lines）を配置することを回避することによって達成することができる。次に、上記条件を、以下のようにさらに特定しても良い。

【 0 1 1 1 】

【数 1 6】

$$\begin{aligned} i_{Bn} &\leq i_{Bg} \\ \frac{d}{dt} \left((V_A - V_B) \left(C_{MAIN} + \frac{C_{AE} C_{BE} C_E}{C_{AE} C_{BE} + C_{AE} C_E + C_{BE} C_E} \right) + (V_G - V_B) C_{BP} \right) \\ &\leq \frac{d}{dt} \left((V_A - V_B) C_{MAIN} + (V_0 - V_B) C_{BE} + (V_G - V_B) C_{BP} \right) \\ \frac{d}{dt} (V_A - V_B) \frac{C_{AE} C_{BE} C_E}{C_{AE} C_{BE} + C_{AE} C_E + C_{BE} C_E} &\leq -\frac{d}{dt} V_B C_{BE} \\ \frac{d}{dt} V_A \frac{C_{AE} C_{BE} C_E}{C_{AE} C_{BE} + C_{AE} C_E + C_{BE} C_E} &\leq \frac{d}{dt} V_B \left(\frac{C_{AE} C_{BE} C_E}{C_{AE} C_{BE} + C_{AE} C_E + C_{BE} C_E} - C_{BE} \right) \\ \frac{d}{dt} V_A &\leq \frac{d}{dt} V_B \left(1 - C_{BE} \frac{C_{AE} C_{BE} + C_{AE} C_E + C_{BE} C_E}{C_{AE} C_{BE} C_E} \right) \\ \frac{d}{dt} V_A &\leq \frac{d}{dt} V_B \left(1 - \frac{C_{AE} C_{BE} + C_{AE} C_E + C_{BE} C_E}{C_{AE} C_E} \right) \\ \frac{d}{dt} V_A &\leq -\frac{d}{dt} V_B \left(\frac{C_{BE}}{C_E} + \frac{C_{BE}}{C_{AE}} \right) \end{aligned}$$

【 0 1 1 2 】

一般に、 C_{BE} / C_E は、不明であり、検知層の誘電率と共に変化し、検知環境の誘電率にも依存する。不明な C_{BE} / C_E に対し、

【数 1 7】

$$\frac{d}{dt}V_A$$

に対する最も厳しい条件は、 $C_{BE} / C_E = 0$ または $C_E = \infty$ である。条件は、以下の初期仮定と共に、

【 0 1 1 3 】

【数 1 8】

$$\frac{d}{dt}V_A \geq 0 \text{ 及び } \frac{d}{dt}V_B \leq 0$$

【 0 1 1 4 】

以下のようにさらに簡単になる。

【0115】

【数19】

$$\frac{d}{dt}V_A \leq -\frac{d}{dt}V_B \frac{C_{BE}}{C_{AE}}$$

【0116】

割合 C_{BE} / C_{AE} は、電極構造部の配置によって判別される。それは、経時的に変化せず、また、測定量に依存して変化しない。

10

【0117】

本発明の実施形態により提供される第1測定段階および第2測定段階を含む2段階測定に対し、上記の条件は、次のように表すことができる。

【0118】

【数20】

$$0 \leq (V_{A1} - V_{A2}) \leq (V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE}; \quad (\text{不等式 1})$$

又は

20

$$(V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE} \leq (V_{A1} - V_{A2}) \leq 0. \quad (\text{不等式 2})$$

【0119】

上記式において、 V_{A1} は、第1測定段階における第1電極11の第1電位を示す。 V_{A2} は、第2測定段階における第1電極11の第2電位である。 V_{B1} は、第1測定段階における第2電極12の第1電位である。 V_{B2} は、第2測定段階における第2電極12の第2電位である。 V_{A1} 、 V_{A2} 、 V_{B1} 及び V_{B2} に、各測定段階の終了時に達する。第1測定段階から第2測定段階への移行は、任意のコースをとることができる。

【0120】

30

実施形態によれば、条件の上記セットは、以下のような条件を含む。

【0121】

【数21】

$$(V_{A1} - V_{A2}) = (V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE}$$

【0122】

第1電極11と第2電極12とが対称的に配置されている特殊な事例において、特に、第1電極11と第2電極12とが検知層15の面31に対して同じ距離にある場合には、割合 $C_{BE} / C_{AE} = 1$ である。したがって、このような電極の対称配置に対する上記条件は、以下のように表すことができる。

40

【0123】

【数22】

$$(V_{A1} - V_{A2}) = (V_{B2} - V_{B1})$$

【0124】

すなわち、一対の第1電位の平均電位は、一対の第2電位の平均電位と同じである。

【0125】

すなわち、電極Aおよび電極Bの平均電位は、第1測定段階および第2測定段階の間、

50

一定に保たれる。

【0126】

電極Bの電位が第1測定段階と第2測定段階との間で変化するので、寄生容量 C_{BP} も、電極23が接地電位にあるものと仮定して測定される。

【0127】

割合 C_{BE} / C_{AE} は、複数の異なる方法で測定されても良い。上述のように、係る測定は、非対称電極配置の事例においてのみ必要とされる。一方、対称電極配置において、割合は1である。

【0128】

一実施形態によれば、割合 C_{BE} / C_{AE} は、有限要素法(FEM)によるシミュレーションによって、例えば、Comsol Multiphysics(登録商標)ソフトウェアによって測定することができる。このようなシミュレーションのために、検知層15の面31上に仮想電極が設けられている。

【0129】

他の実施形態によれば、割合 C_{BE} / C_{AE} は、測定によって、例えば、静電容量 C_{AE} および C_{BE} によって形成される静電容量式分圧器に基づいた測定によって測定されてもよい。

【0130】

後者の実施形態を、図10および図11を参照して以下に詳細に説明する。図10は、静電容量式センサ1000の断面図を示す。このセンサ1000は、本質的に図1のセンサ100に対応する。しかしながら、センサ1000は、検知層15の面31上に導電層1010を備える。センサ1000は、割合 C_{AE} / C_{BE} を測定する例示的な測定装置を構成する。導電層1010は、仮想電極13を構成する。仮想電極13は、測定電極として、特に、割合 C_{AE} / C_{BE} を測定する補助測定電極と考えられる。導電層1010は、例えば、スプレーまたはスパッタリングによって形成された金属層でもよい。実施形態によれば、このような層は、例えば、100nmの厚さを有するスパッタリング金属(AU層)でもよい。金属は、ワイヤボンディングによって、またはプローブと接触させることができる既存のパッドに接続させてもよい。

【0131】

導電層1010は、対応する一連のセンサの割合 C_{BE} / C_{AE} を測定するために、1回だけ、または1のサンプルセンサに対してのみ形成されてもよい。測定は、実験室環境で実施しても良い。前述したように、このような方法は、特に、非対称の電極配列に対して有用であり、対称的な配列に対しては、割合 C_{BE} / C_{AE} は、1であると仮定してもよい。

【0132】

図11に、例示的な測定装置の対応する電気的等価回路を示す。図6の等価回路と比較すると、図11の等価回路は、静電容量 C_{MAIN} 、 C_{AP} および C_{BP} を有しない。後者の静電容量は、第1電極11および第2電極12が規定された電位での測定に対して動作されるので、無視するか、または省略してもよい。

【0133】

第1測定工程では、所定のセットの電圧 V_{A1} および V_{B1} が、それぞれ第1電極11および第2電極12に印加される。実施形態によれば、 V_{A1} および V_{B1} は、以下のように選択される。

$$V_{A1} = V_{B1} = 0V$$

【0134】

次に、導電層1010の電位 V_{E1} が測定される。

【0135】

さらなるステップ(第2ステップ)において、別の(異なる)セットの電圧 V_{A2} および V_{B2} が、それぞれ第1電極11および第2電極12に印加される。この事例において、電圧のセットは、特に、 $V_{A2} = -V_{B2}$ 、例えば、 $V_{A2} = 1V$ および $V_{B2} = -1V$ となるように選択される。次に、導電層1010の電位、すなわち V_{E2} の変化が測定される。こ

10

20

30

40

50

の電位の変化は、 C_{AE} と C_{BE} との静電容量式分圧器によって測定される。

【0136】

静電容量 C_{AE} と C_{BE} が直列に接続されるので、静電容量 C_{AE} 及び静電容量 C_{BE} においてそれぞれに対応する電荷 Q_{CAE} と電荷 Q_{CBE} とは、特に、電荷差 ΔQ_{AE} と電荷差 ΔQ_{BE} とは、互いに等しくなる。

【0137】

したがって、

【0138】

【数23】

$$\Delta Q_{AE} = C_{AE} * (\Delta V_A - \Delta V_E) = \Delta Q_{BE} = C_{BE} * (\Delta V_E - \Delta V_B),$$

10

上記式において、

$$\Delta V_A = (V_{A2} - V_{A1}), \Delta V_B = (V_{B2} - V_{B1}), \Delta V_E = (V_{E2} - V_{E1}).$$

故に、割合 C_{BE}/C_{AE} は以下のように求められる。

$$C_{BE}/C_{AE} = (\Delta V_A - \Delta V_E) / (\Delta V_E - \Delta V_B)$$

20

【0139】

さらに別の実施形態によれば、割合 C_{BE}/C_{AE} は、直接的ではなく、むしろ間接的に測定されてもよい。

【0140】

より具体的には、2つの測定を行ってもよい。第1測定において、検知環境が100%またはおよそ100%の相対湿度を提供する。このような相対湿度は、例えば、結露が生じるまで、密閉された環境（例えば、センサを収納する封止された箱）をゆっくりと冷却することによって、適切な実験機器を用いて提供される。センサの静電容量を連続的に測定することにより、結露の直前と直後とのセンサ信号の差を測定することができる。このような手順は、異なるレベルの V_{A1} 、 V_{A2} 、 V_{B1} および V_{B2} について繰り返されるべきである。

30

【0141】

さらに、第2測定が行われる。第2測定において、図6に示されるように、結露層が、広範囲の汚染・結露状態に相当する検知層30に加えられる。このような結露層は、例えば、検知層30上に水を塗布して薄い層を形成することによって、形成することができる。

【0142】

実施形態によれば、電圧 V_{A1} 、 V_{A2} 、 V_{B1} および V_{B2} は、第2電極において結果として生じる電荷差が、相対湿度100%での測定と、広範囲汚染・結露状態における測定とで、同じになるように、実験・試行によって選択される。

40

【0143】

したがって、不等式1において、例えば、不等号は等号に置換してもよく、割合 C_{BE}/C_{AE} は、以下のように導出される。

【0144】

【数24】

$$(V_{A1}-V_{A2}) = (V_{B2}-V_{B1}) * C_{BE}/C_{AE}.$$

これは以下のように書き換えられる。

$$C_{BE}/C_{AE} = (V_{A1}-V_{A2}) / (V_{B2}-V_{B1})$$

【0145】

不等式 1 または 2 が充足されることを確実にするために、割合 C_{BE} / C_{AE} を正確または厳密な態様で測定することは、実施形態によっては必要ではないことに留意されたい。むしろ、割合 C_{BE} / C_{AE} の大まかな仮定を実行し、次に、仮定の最悪事例の状態でさえ不等式が満たされるように、例えば不等式 1 または 2 において、上記のように電圧値を選択してもよい。

10

【0146】

一実施例として、不等式 1 において、 $V_{A1} = 2V$ 、 $V_{A2} = 1V$ 、(割合 C_{BE} / C_{AE} の仮定値) $= 0.75$ と仮定する。次に、例えば、いずれの事例においても、積 $((V_{B2} - V_{B1}) * C_{BE} / C_{AE}) \geq 1V$ となるように、電位差 $(V_{B2} - V_{B1})$ を、例えば $3V$ のように、十分大きな値に選択することができる。電位差 $(V_{B2} - V_{B1})$ が $3V$ となる実施例において、不等式 1 は、 0.75 の推定値の代わりに、割合 $C_{BE} / C_{AE} = 0.34$ に対して充足される。

20

【0147】

図 7 a および図 7 b は、本発明の実施形態によるセンサの、例えば図 1 のセンサの検知層の静電容量を測定する測定回路 700 を示す。より具体的には、図 7 a は、第 1 測定段階における測定回路 700 を示し、図 7 b は、第 2 測定段階における測定回路 700 を示す。

【0148】

測定回路 700 は、第 1 回路部 701 と第 2 回路部 702 とを備える。

【0149】

第 1 回路部 701 は、第 1 電極 A / 11 と、第 2 電極 B / 12 と、それらの間にある検知層とを備える電極構造部を備える。左側の回路部 701 は、さらに、電圧発生器（不図示）を含み、供給電圧のみを示す。測定回路 700 の電圧発生器は、第 1 測定段階において、電位 V_{DD} を電極構造部の第 2 電極 B に付与し、接地電位を第 1 電極 A に与える。検知されるべき静電容量を C_S で示す。第 2 電極 B と接地面との間に、寄生容量 C_{P1} が存在する。

30

【0150】

第 2 回路部 702 は、積分器 710、特にスイッチドキャパシタ増幅器を形成する。積分器 710 は、以下に説明するように、結果として生じる電荷差を積分するように構成されている。積分器 710 は、スイッチドキャパシタ増幅器として実施され、演算増幅器 711 を備える。演算増幅器 711 の正の入力部は、接地される。フィードバックパスは、演算増幅器 711 の出力部を、積分コンデンサ C_{INT} を介して、演算増幅器 711 の負の（反転）入力部に接続する。積分コンデンサ C_{INT} は、リファレンスコンデンサとも呼ばれる。負の入力部は、寄生容量 C_{P2} を介して接地電位に接続される。第 1 測定段階において、積分コンデンサ C_{INT} は短絡される。さらに、第 2 回路部 702 は、第 1 測定段階中は、第 1 回路部 701 に接続されない。

40

【0151】

図 7 b に示される第 2 測定段階において、測定回路の電圧発生器は、電位 V_{DD} を電極構造部の第 1 電極 A に供給し、接地電位を第 2 電極 B に供給する。第 2 回路部 702 は、第 2 測定段階の間、第 1 回路部 701 に接続される。より詳細には、演算増幅器 711 の負の入力部は、第 2 電極 B に接続される。したがって、第 2 電極 B の接地電位は、演算増幅

50

器 7 1 1 の仮想接地電位によって提供される。さらに、積分コンデンサ C_{INT} は、これ以降は短絡されない。

【0152】

測定回路 7 0 0 は、当業者には明らかなように、適切なスイッチによって、第 1 測定段階と第 2 測定段階との間で切り替えられる。対応するスイッチは、説明を容易にするために、図 7 a および図 7 b には示さない。

【0153】

図 7 b に示される第 2 測定段階において、測定回路 7 0 0 は、第 2 電極 B で生じる結果として生じた電荷差を積分コンデンサ C_{INT} に移すように構成されている。すなわち、積分器 7 1 0 は、第 2 測定段階において第 1 電極及び第 2 電極を流れる電流を積分する。

10

【0154】

積分コンデンサ C_{INT} は、リファレンスコンデンサを形成する。

【0155】

測定回路 7 0 0 は、リファレンスコンデンサ C_{INT} と演算増幅器 7 1 1 の出力とで得られた電圧 V_{out} を提供する。次に、得られた電圧 V_{out} は、センサによって使用されて、検知層の誘電率と対応する相対湿度とを測定する。

【0156】

図 8 a および図 8 b は、本発明の実施形態によるセンサ、例えば図 1 のセンサの検知層の誘電率を測定する測定回路 8 0 0 を示す。より詳細には、図 8 a は第 1 測定段階での測定回路 8 0 0 を示し、図 8 b は第 2 測定段階での測定回路 8 0 0 を示す。

20

【0157】

測定回路 8 0 0 は、第 1 回路部 7 0 1 と、第 2 回路部 7 0 2 と、第 3 回路部 8 0 3 とを備える。回路部 7 0 1 および 7 0 2 は、図 7 a および図 7 b を参照して図示および説明された、回路部 7 0 1 および 7 0 2 に対応する。

【0158】

第 3 回路部 8 0 3 は、オフセット容量 C_0 を有する。第 1 測定段階において、オフセット容量 C_0 は、電圧 V_{DD} でオフセット電荷 Q_0 まで充電される。

【0159】

第 2 測定段階において、オフセット容量 C_0 は、演算増幅器 7 1 1 の負の入力部と接地電位との間に接続される。従って、測定回路 8 0 0 は、オフセット電荷 Q_0 を結果として生じた電荷差から減算するように構成されている。これは、結果として生じる電荷差が対称的な方法で測定されるという効果をもたらす。より詳細には、積分容量 C_{INT} は 0 に対称な電荷信号 $(Q_{sense} - Q_0)$ で充電されてもよい。特に、 $(Q_{sense_max} - Q_0) = -(Q_{sense_min} - Q_0)$ である。

30

【0160】

図 9 は、相対湿度を測定する方法の方法ステップを示すフローチャートである。当該方法は、例えば、上述した本発明の実施形態によるセンサを用いて実行することができる。

【0161】

ステップ 9 1 0 において、少なくとも第 1 電極および第 2 電極を含む電極構造部を設ける。

40

【0162】

ステップ 9 2 0 において、検知層を設ける。検知層は、第 1 電極と第 2 電極との間に配置され、湿度の影響を受ける誘電率を有する。第 1 電極、検知層および第 2 電極は、コンデンサを形成する。

【0163】

ステップ 9 3 0 において、第 1 測定段階が実行され、一对の第 1 電位が、第 1 電極及び第 2 電極に付与される。

【0164】

ステップ 9 4 0 において、第 2 測定段階が実行され、一对の第 2 電位が、第 1 電極及び第 2 電極に付与される。

50

【0165】

一对の第1電位は、第1電極の第1電位と、第2電極の第1電位とを含む。一对の第2電位は、第1電極の第2電位と、第2電極の第2電位とを含む。第2電極の第1電位と、第2電極の第2電位とは、互いに異なる。

【0166】

ステップ950において、第2電極において、第1測定段階と第2測定段階との間で結果として生じた電荷差が、測定回路、特に読出回路によって検知される。より詳細には、第1測定段階と第2測定段階との間のコンデンサの電荷の変化が、第1電極及び第2電極を通過する電流になる。第2電極における電流は積分されて、コンデンサで観察される電荷差になる。

10

【0167】

ステップ960において、結果として生じる電荷差は、リファレンスコンデンサに、特に既知の静電容量を有するコンデンサに転送される。

【0168】

ステップ970において、結果として生じた電圧が、リファレンスコンデンサで測定される。この測定された電圧によって、電極構造部の静電容量が測定される。電極構造部の測定された静電容量は、検知環境の湿度の測定値である。

【0169】

図12は、本発明の実施の形態による、割合 C_{AE} / C_{BE} を測定する例示的な測定装置を形成する図10のセンサ1000の上面図1200を示す。測定目的のために追加された仮想電極13は、検知層15の全表面31を覆う。第1電極11及び第2電極13は、仮想電極13の下に配置され、互いにかみ合う形状を有する電極に形成されている。

20

【0170】

図13は、本発明の他の実施形態による割合 C_{AE} / C_{BE} を測定する例示的な測定配置の上面図1300を示す。

【0171】

測定装置1300は、また、本発明の一実施形態によるセンサの検知層を覆う仮想電極13を備える。しかし、図13の実施形態では、第1電極11及び第2電極12は、互いにかみ合う形状を有する電極ではなく、簡単な長方形の形状のみを有する。

【0172】

他の多数の電極構造部が、実施形態による第1電極および第2電極に対して使用することができることに留意されたい。

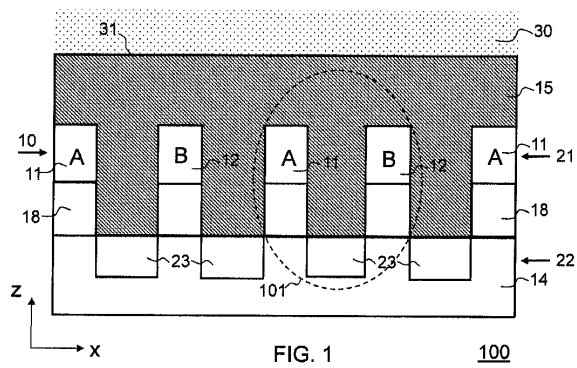
30

40

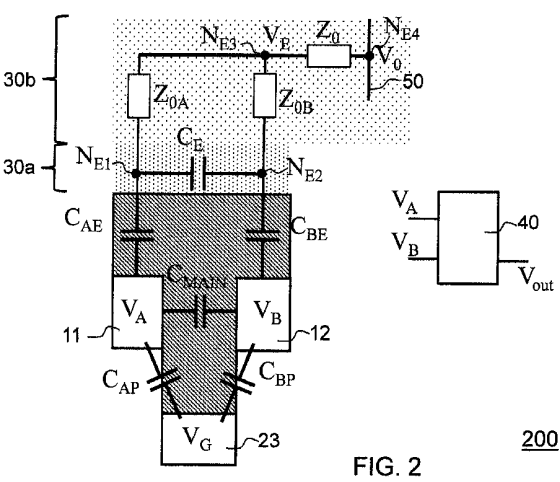
50

【図面】

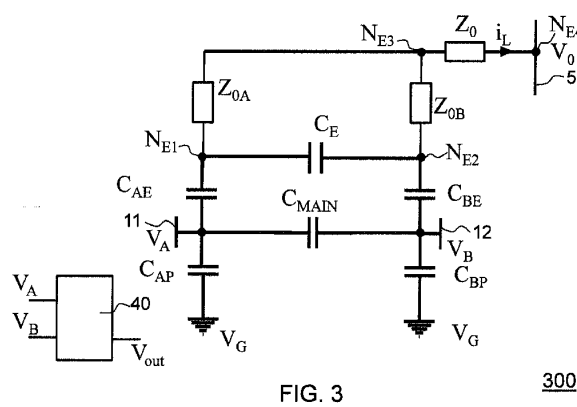
【図 1】



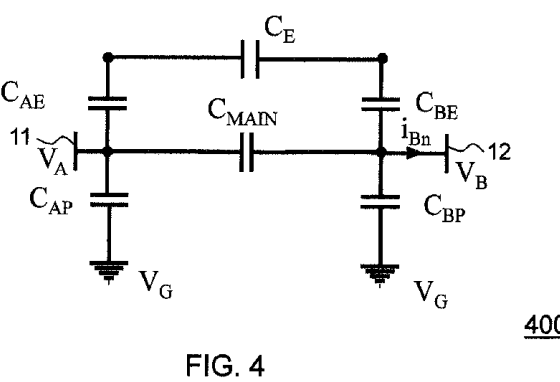
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

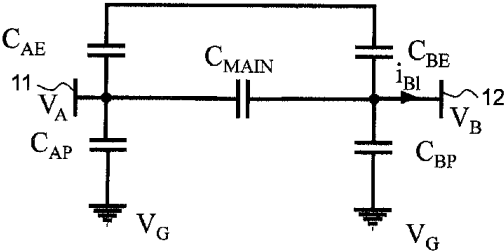


FIG. 5

500

【図 6】

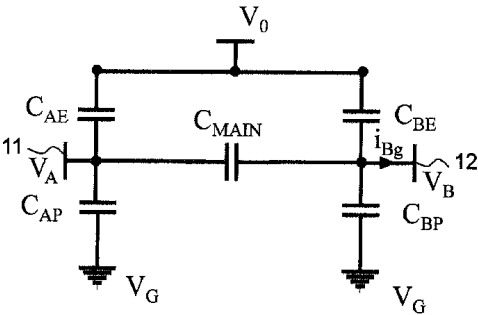
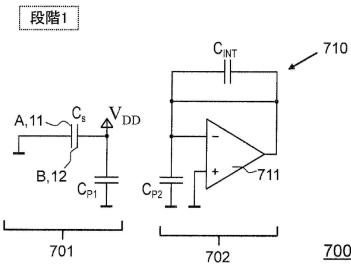


FIG. 6

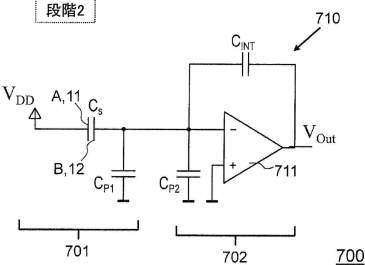
600

【図 7 a】



700

【図 7 b】



700

10

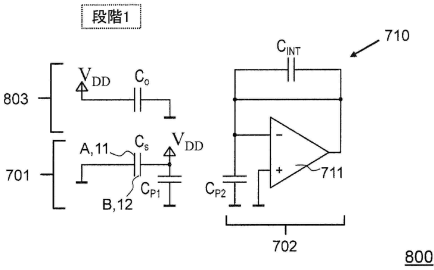
20

30

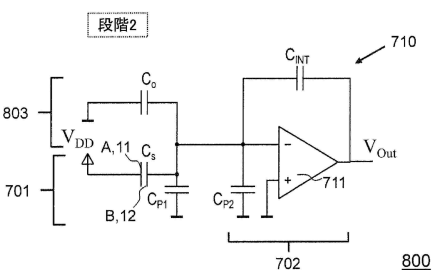
40

50

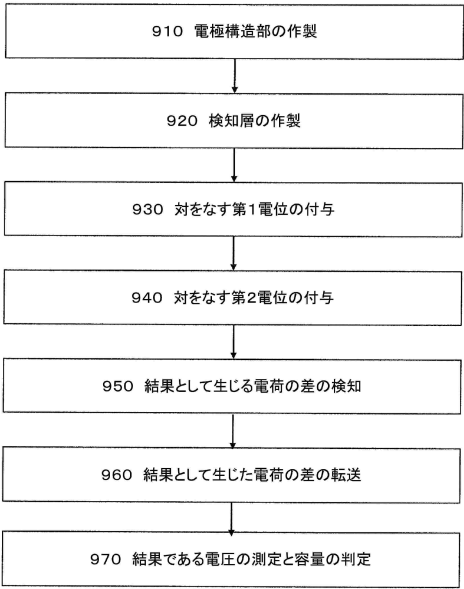
【図 8 a】



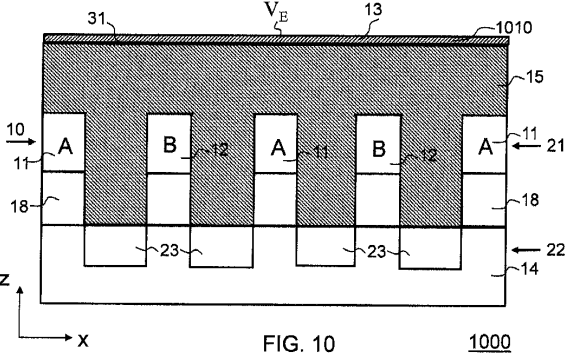
【図 8 b】



【図 9】



【図 10】



【図 1 1】

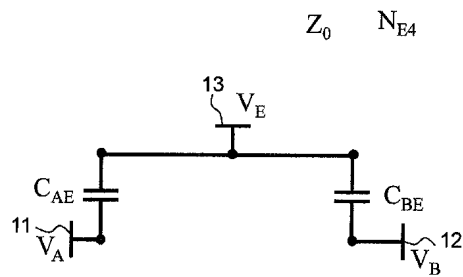


FIG. 11 1100

【図 1 2】

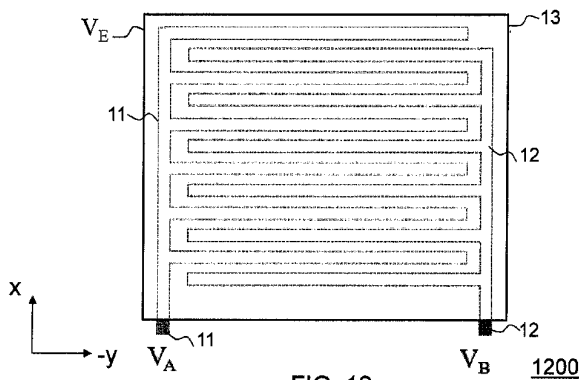


FIG. 12

【図 1 3】

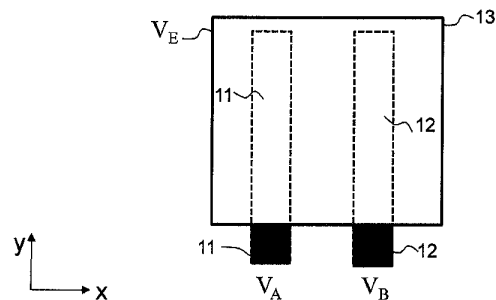


FIG. 13

1300

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0180884 (US, A1)
特開2006-058084 (JP, A)
米国特許出願公開第2016/0025665 (US, A1)
特開2003-028824 (JP, A)
特開平09-127260 (JP, A)
特開2014-219408 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01N 27/00-27/10
G01N 27/14-27/24
G01R 27/26