

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6285077号  
(P6285077)

(45) 発行日 平成30年2月28日 (2018. 2. 28)

(24) 登録日 平成30年2月9日 (2018. 2. 9)

(51) Int. Cl. F I  
GO 1 N 27/22 (2006.01) GO 1 N 27/22 A

請求項の数 13 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2017-507833 (P2017-507833)	(73) 特許権者	517028373
(86) (22) 出願日	平成27年8月13日 (2015. 8. 13)		アムス インターナショナル エーゲー
(65) 公表番号	特表2017-525959 (P2017-525959A)		スイス連邦共和国、シー・エイチー864
(43) 公表日	平成29年9月7日 (2017. 9. 7)		O ラッパーズヴィル、リエートシュトラ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2015/068691		ーセ 4
(87) 国際公開番号	W02016/026771	(74) 代理人	110001416
(87) 国際公開日	平成28年2月25日 (2016. 2. 25)		特許業務法人 信栄特許事務所
審査請求日	平成29年3月30日 (2017. 3. 30)	(72) 発明者	シャ, ヒルコ
(31) 優先権主張番号	14181602.5		オランダ王国 エン・エルー5691 エ
(32) 優先日	平成26年8月20日 (2014. 8. 20)		デン ソン エン ブルーホール、クービ
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(72) 発明者	ジュラン 18
			ジフコフィッチ, ソラン
			オランダ王国 エン・エルー5223 エ
			ム・エン ヘートンヘンボッシュ、ボーデ
			シュラン 349

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 容量式センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

容量式環境センサであって、  
表面(58)を有する半導体基板(52)と、  
単一レベルで前記表面に配置された複数のセンサ電極(54)であって、各対の隣接電極が、それぞれの介在スペースによって前記表面上に横方向に分離されたセンサ電極(54)と、

前記電極を覆うと共に、標的物質の存在に敏感な誘電率を有するセンサ層(56)と、を備え、

前記基板の前記表面は、少なくとも1対の電極を分離する前記それぞれの介在スペース内に凹部を有し、

前記基板の前記表面は、少なくとも他の1対の電極を分離する前記スペース内に凹部を有しておらず、

(a) 前記電極は、前記基板上に配列された複数の個別の電極群を含み、各群は、各群間の微分容量測定を行うための異なる電気的構成を有するか、又は

(b) 前記電極は、微分容量測定を行うための複数の異なる電気的構成に切り替え可能である、容量式環境センサ。

【請求項 2】

前記基板の前記表面が凹部を有する前記スペースは、前記基板の前記表面が凹部を有していない前記スペースと周期配列で交互になる、請求項1に記載の容量式環境センサ。

10

20

## 【請求項 3】

前記基板は、凹部を有していない 1 対の電極を分離する少なくとも 1 つのスペース内で、前記スペースを少なくとも部分的に埋めるように上方に延在する、請求項 2 に記載の容量式環境センサ。

## 【請求項 4】

前記周期配列は、「 $\quad$ 」形式のものであり、

「 $\quad$ 」は、凹部を有するスペースを示し、

「Z」は、前記基板が前記スペースを少なくとも部分的に埋めるために上方に延在するスペースを示す、請求項 3 に記載の容量式環境センサ。

## 【請求項 5】

前記周期配列は、「 $\quad$ 」形式のものであり、

「 $\quad$ 」は、凹部を有するスペースを示し、

「 $\quad$ 」は、凹部を有していないスペースを示す、

請求項 3 に記載の容量式環境センサ。

## 【請求項 6】

前記周期配列は、「 $\quad Y \quad Y \quad$ 」形式のものであり、

「 $\quad$ 」は、凹部を有するスペースを示し、

「Y」は、凹部を有していないスペースを示す、

請求項 2 又は 3 に記載の容量式環境センサ。

## 【請求項 7】

前記電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第 1 の測定を第 1 の電気的構成で行ない、

前記電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第 2 の測定を第 2 の電気的構成で行ない、

前記第 2 の測定に換算係数を適用して、前記標的物質の存在以外の因子に対する前記センサの感受性を補償し、

前記第 1 の測定と前記第 2 の測定の差を評価することによって前記標的物質の存在を決定することで、

前記標的物質の存在を決定する微分容量測定を行うように機能する、請求項 1 から 6 のうちいずれか一項に記載の容量式環境センサ。

## 【請求項 8】

前記微分容量測定を行うことは、更に、

前記電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第 3 の測定を第 3 の電気的構成で行うことと、

前記第 3 の測定に換算係数を適用して、前記標的物質の存在以外の因子に対する前記センサの感受性を補償することと、

前記第 1、第 2 及び第 3 の測定の差を評価することによって前記標的物質の存在を決定することを含む、

請求項 7 に記載の容量式環境センサ。

## 【請求項 9】

前記電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の複数の測定を、それぞれ異なる電極構成で行い、

前記標的物質の存在以外の因子に対する前記センサの感受性を補償するために前記測定のうち少なくとも幾つかに換算係数を適用し、

前記測定の違いを評価することによって前記標的物質の存在を決定することによって、前記標的物質の存在を決定する微分容量測定を行うように機能し、

行われる静電容量の測定の数、前記補償される標的物質の存在以外の因子の数より少なくとも 2 つ多い、請求項 1 から 6 のうちのいずれか一項に記載の容量式環境センサ。

## 【請求項 10】

前記基板は、複数の層を含み、

10

20

30

40

50

前記センサ電極は、前記複数の層のうちの1つの表面に配置された、請求項1から9のうちのいずれか一項に記載の容量式環境センサ。

【請求項11】

前記標的物質は、水、CO<sub>2</sub>又は揮発性有機化合物(VOC)を含む、請求項1から10のうちのいずれか一項に記載の容量式環境センサ。

【請求項12】

請求項1から11のうちのいずれか一項に記載の前記容量式環境センサを含むスマートビルディング。

【請求項13】

微分容量測定を用いて標的物質の存在を決定する方法であって、  
請求項1から11のうちのいずれか一項の容量式環境センサを提供するステップと、  
前記電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第1の測定を第1の電気的構成で行うステップと、  
前記電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第2の測定を第2の電気的構成で行うステップと、  
前記第2の測定に換算係数を適用して、前記標的物質の存在以外の因子に対する前記センサの感受性を補償するステップと、  
前記第1の測定と前記第2の測定の差を評価することによって前記標的物質の存在を決定するステップと、

10

を含む方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、容量式環境センサ及びこのセンサを含む無線周波数識別(RFID)タグ又はスマートビルディングに関する。本発明は、また、微分容量測定(differential capacitive measurement)を用いて標的物質の存在を決定する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

図1に既知の種類容量式環境センサを示す。センサは、半導体基板2の表面に提供された複数の電極4を有する。電極4は、多くの場合、一連の組み合わせられたフィンガとして提供される。センサ層6が電極を覆う。センサ層は、水分やガスなどの標的物質の存在に敏感な誘電率を有する。電極の静電容量が、センサ層6の誘電率によって少なくともある程度決まるので、電極の静電容量を測定することによって標的物質の存在を決定できる。センサの感度により、標的物質の濃度を評価してもよい。典型的には、電極4の静電容量は、センサ層6に入る標的物質の量に比例する。

30

【0003】

この種のセンサは、ドリフトに悩まされる可能性がある。ドリフトは、多くの異なる因子、例えば以下により生じうる。

- 電極4の静電容量に寄与する可能性もある、基板2の誘電率の変化(例えば、吸水によって引き起こされる)、

40

- センサ層の誘電率に影響を及ぼし、したがって電極の静電容量に影響を及ぼす可能性がある、標的物質以外のセンサ層中の物質の存在(本明細書では干渉と呼ばれる)、

- 干渉と関連した相転移又は化学反応。これらは、電極4とセンサ層6の境界で起こり(非特許文献1)、電極4の静電容量に影響を及ぼすこともある境界層8を発生させる可能性が高い。

【0004】

センサドリフトに対処するために開発された方策は、静電容量の微分測定を行うことを含む。例えば、電極の静電容量は、標的物質に敏感でないセンサ層によって覆われた隣接電極セットの静電容量と比較されることがある。しかしながら、ほとんどの場合、処理とICサイズの制限によって同一ダイ上で異なる機能層の使用が妨げられ、異なるチップ間

50

のドリフトのばらつきによってマルチチップ実装が行えないことがある。更に、ある特定の標的物質は、適正なセンサ層対を識別できないことがある。

【0005】

特許文献1に記載された代替手法は、単一センサ層と、静電容量の個別測定が行われる異なる電氣的構成を有すように切り替えられる複数の電極層とを有するセンサで微分測定を行うことを含む。電氣的構成の変化によって、センサ内の電界線分布が変化する。しかしながら、この解決策は、電極の配置が比較的複雑になり（詳細には、様々な層に電極を提供しなければならない）。そのため、製造コストが増大し、基板の他の部分の設計自由度が制限される可能性がある。

【0006】

特許文献2は、基板を含むセンサチップについて述べている。基板上の第1レベルに、複数の電極要素が、隣り合った電極要素間に少なくとも1つの間隙を有する状態で配置される。基板上の第2レベルに金属構造物が配置され、第2レベルは第1レベルと異なる。金属構造物は、少なくとも、少なくとも1つの間隙を第2レベルに投影することによって画定された第2レベルの領域全体にわたって延在する。

【0007】

特許文献1は、単一の電極レベルを有する例について述べている。しかしながら、ここで説明されているように、単一の電極レベルを有する既知の解決策は、一般に、標的物質に対する感受性不足が生じるので有効でない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】欧州特許出願公開第1607739号明細書

【特許文献2】米国特許第8,633,047号明細書

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】"Water at polymer interfaces" B. D. Vogt, University of Akron, Summer school 2012

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の態様は、添付の独立請求項及び従属請求項で述べられる。従属請求項からの特徴の組み合わせは、必要に応じて独立請求項の特徴と組み合わせられてもよく、請求項に単に明示的に示されただけではない。

【0011】

本発明の一態様によれば、容量式環境センサが提供される。センサは、表面を有する半導体基板を有する。センサは、また、表面に配置された複数のセンサ電極を有する。電極は、介在スペースによって表面上に横方向に分離される。センサは、更に、電極を覆うセンサ層を有する。センサ層は、標的物質の存在の影響を受けやすい誘電率を有する。基板の表面は、少なくとも1対の電極を分離するスペース内に、凹部を有する。基板の表面は、少なくとも1対の電極を分離するスペース内に、凹部を有していない。

【0012】

基板の表面に、電極間のスペースの全てではなく幾つかに凹部を提供することによって、センサにある程度の非対称性を導入しうる。これにより、標的物質の存在以外の因子に対するセンサの感受性を低減又は除去すると同時に標的物質自体に対する感受性を保持する微分容量測定を行いうる。標的物質の存在以外の因子には、例えば、基板の誘電率の変化、及び/又は電極とセンサ層の界面における界面層の存在が含まれる。

【0013】

幾つかの例では、基板は、凹部を有していない1対の電極を分離する少なくとも1つの

10

20

30

40

50

スペース内で、スペースを少なくとも部分的に埋めるために上方に延在してもよい。

【0014】

基板の表面が凹部を有するスペースは、幾つかの例では、基板の表面に凹部がないスペースと周期配列で交互になってもよい。凹部があるスペースと凹部がないスペースを周期配列で交互にすることによって、特に複数の配列繰り返しがある場合に、標的物質の存在以外の因子に対するセンサの感受性を除去するセンサの能力を強化できる。

【0015】

周期配列の様々な例が想定される。例えば、周期配列は、「 Y Y 」形式のものでよく、ここで、「 X 」は、凹部のあるスペースを示し、「 Y 」は、凹部のないスペースを示す。したがって、この例では、凹部は、1スペースおきに提供される。別の例では、周期配列は、「 X Y Y X Y Y X 」形式のものでよい。したがって、この例では、凹部は、2スペースおきに提供される。基板が、少なくとも1対の電極を分離するスペース内で、前述のような電極（ここでは、「 」によって示された）の間のスペースを少なくとも部分的に埋めるように上方に延在し、「 X Z X Z X 」、「 X Z Z X Z Z X 」形式の周期配列が想定される。

【0016】

本明細書で使用されるとき、用語「電気的構成」は、静電容量の測定中に電極に印加される電位を指すために使用される。例えば、容量測定を行うために、電極の幾つかはアースに保持されてもよく、電極の幾つかは電位が印加されてもよく、電極の幾つかは浮遊のままでもよい。

【0017】

一実施形態では、電極は、基板上に配置された複数の別個の電極群を含んでもよく、各群は、各群の間の微分容量測定を行うために異なる電気的構成を有する。そのような例では、微分容量測定は、第1の電極群によって測定された静電容量を、第2及び/又は第3の電極群によって測定された静電容量と比較することを含み、電極群は、基板の異なる領域内に提供できる。基板の異なる領域は、隣接してもよい。この例では、電極の電気的構成は、固定されてもよい。

【0018】

別の実施形態では、微分容量測定を行うために同じ電極セットが使用されてもよい。例えば、電極は、複数の異なる電気的構成に切り替え可能でもよい。切り替えは、マイクロコントローラを用いて制御されてもよい。

【0019】

一実施形態では、標的物質の存在以外の因子に対する感受性は、静電容量の測定値を2つの異なる電極構成間で比較することによって低減又は除去されうる。これは、

電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第1の測定を第1の電気的構成で行うこと、

電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第2の測定を第2の電気的構成で行うこと、

標的物質の存在以外の因子に対するセンサの感受性を補償するために第2の測定に換算係数を適用すること、

第1の測定と第2の測定の差を評価することによって標的物質の存在を決定すること、を含みうる。

【0020】

幾つかの例では、これは、標的物質の存在以外の複数の因子に対する感受性を低減又は除去するように拡張されうる。一般にそのような例で第3の電気的構成が必要とされることがある。これは、

電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第3の測定を第3の電気的構成で行うこと、

標的物質の存在以外の因子に対するセンサの感受性を補償するために第3の測定に換算係数を適用すること

10

20

30

40

50

第1、第2及び第3の測定の差を評価することによって標的物質の存在を決定することを含んでもよい。

【0021】

第2及び/又は第3の測定に適用される換算係数は、標的物質自体に対する感受性を保持するように標的物質の存在以外の因子に対する感受性を低減又は除去できる。本明細書で説明されるように、適用される換算係数の値は、基板の表面の凹部の構成（例えば、その深さ）によって決定されることがある。

【0022】

行われる測定の数、一般に、検討される標的物質の存在以外の因子の数を超えることが想定される。例えば、容量式環境センサは、電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の複数の測定をそれぞれ異なる電極構成で行い、標的物質の存在以外の因子に対するセンサの感受性を補償するために測定値の少なくとも幾つかに換算係数を適用し、測定値の差を評価して標的物質の存在を決定することによって、標的物質の存在を決定する働きをしてもよい。行われる静電容量の測定数は、補償される標的物質の存在以外の因子の数より少なくとも2つ多い。標的物質の存在以外の因子を補償するために厳密に必要とされるより多くの測定を行うことによって、標的物質の存在を決定する測定の精度を高めてもよい。

10

【0023】

本明細書で使用されるとき、用語「基板」は、複数の層（例えば、半導体材料の層、絶縁体、金属レベル、保護層など）を含むことがある半導体基板を指すために使用される。層は、基礎となる半導体基板（例えば、シリコンを含む）上に提供されてもよい。電極は、複数の層のうちの1つの層の表面に配置されてもよい。一例では、電極は、保護層（例えば、最終保護層）上に提供され、1つ又は複数の金属化工程での後処理の際に保護層に付着されてもよい。

20

【0024】

また、電極が、介在層なしにモノリシック基板の表面に直接提供されてもよいことが想定される。

【0025】

標的物質は、例えば、水、CO<sub>2</sub>又は揮発性有機化合物（VOC）でよい。本発明の用途は、ガス/水分検出（例えば、スマートビルディング又は温室）と想定される。更に、自動車用途、識別用途及びバイオセンサ用途の使用が想定される。

30

【0026】

本発明の別の態様によれば、前述の種類の容量式環境センサを含む無線周波数識別（RFID）タグが提供される。

【0027】

本発明の更に他の態様によれば、前述の種類の容量式環境センサを含むスマートビルディングが提供される。

【0028】

本発明の別の態様によれば、微分容量測定を用いて標的物質の存在を決定する方法が提供される。方法は、前述の種類の容量式環境センサを提供することを含む。方法は、また、電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第1の測定を第1の電氣的構成で行うことを含む。方法は、更に、電極のうちの少なくとも幾つかの電極の静電容量の第2の測定を第2の電氣的構成で行うことを含む。方法は、また、標的物質の存在以外の因子に対するセンサの感受性を補償するために第2の測定に換算係数を適用することを含む。方法は、更に、第1の測定と第2の測定の差を評価することによって標的物質の存在を決定することを含む。

40

【0029】

本発明の実施形態は、以下に、単なる例として、同様の参照符号が同様の要素を指す添付図面を参照して述べられる。

【図面の簡単な説明】

50

## 【 0 0 3 0 】

【図 1】半導体基板の表面に配置された複数のセンサ電極を有する容量式センサを示す図である。

【図 2】半導体基板の表面に配置された複数のセンサ電極を有する容量性センサを示す図であり、基板の表面には各電極を分離するスペース内に凹部を有する。

【図 3 A】微分測定を行うための容量式センサの電極の幾つかの電気的構成を示す図である。

【図 3 B】微分測定を行うための容量式センサの電極の幾つかの電気的構成を示す図である。

【図 3 C】微分測定を行うための容量式センサの電極の幾つかの電気的構成を示す図である。 10

【図 4 A】図 3 A ~ 図 3 C にそれぞれ示された電気的構成の電界線分布を示す図である。

【図 4 B】図 3 A ~ 図 3 C にそれぞれ示された電気的構成の電界線分布を示す図である。

【図 4 C】図 3 A ~ 図 3 C にそれぞれ示された電気的構成の電界線分布を示す図である。

【図 5 A】電極を分離するスペース内の凹部の深さを変更する効果を示す図である。

【図 5 B】電極を分離するスペース内の凹部の深さを変更する効果を示す図である。

【図 6 A】電極を分離するスペース内の凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 6 B】電極を分離するスペース内の凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 7】本発明の一実施形態による容量式環境センサを示す図である。

【図 8】本発明の別の実施形態による容量式環境センサを示す図である。 20

【図 9 A】界面層の厚さに対するセンサの感受性の、図 7 の実施形態における凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 9 B】界面層の厚さに対するセンサの感受性の、図 7 の実施形態における凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 10 A】界面層の厚さに対するセンサの感受性の、図 8 の実施形態における凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 10 B】界面層の厚さに対するセンサの感受性の、図 8 の実施形態における凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 11 A】基板の誘電率の変化に対するセンサの感受性の、図 7 の実施形態における凹部の深さを変更する影響を示す図である。 30

【図 11 B】基板の誘電率の変化に対するセンサの感受性の、図 7 の実施形態における凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 12 A】基板の誘電率の変化に対するセンサの感受性の、図 8 の実施形態における凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 12 B】基板の誘電率の変化に対するセンサの感受性の、図 8 の実施形態における凹部の深さを変更する影響を示す図である。

【図 13】本発明の更に他の実施形態による容量式環境センサを示す図である。

【図 14 A】図 13 に示された容量式環境センサの様々な電気的構成の電界線分布を示す図である。

【図 14 B】図 13 に示された容量式環境センサの様々な電気的構成の電界線分布を示す図である。 40

【図 14 C】図 13 に示された容量式環境センサの様々な電気的構成の電界線分布を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 3 1 】

本発明の実施形態は、添付図面に関して以下に述べられる。

## 【 0 0 3 2 】

本発明の実施形態は、表面に配置された複数のセンサ電極を有する半導体基板を含む容量式環境センサを提供できる。前述したように、電極は、表面上で介在スペースによって分離される。スペースの全てではなく幾つかは、基板の表面に凹部を有する。基板の表面 50

に凹部があることによって（凹部は、全てではなく幾つかの電極間のスペースにある）、標的物質の存在以外の因子に対する感受性を低減又は除去すると同時に標的物質自体に対する感受性を維持することを可能にできる微分測定を可能にする非対称性を、センサの配置に導入できる。標的物質の存在以外の因子には、例えば、半導体基板の誘電率の変化（例えば、水分の吸収による）及び/又は電極と電極を覆うセンサ層との界面の界面層の存在が含まれる。

【 0 0 3 3 】

図 2 は、容量式環境センサの例を示す。センサは、基板 2 を含む。センサは、また、基板 2 の表面に配置された複数の電極 4 を有する。センサは、センサ層 6 も有する。センサ層 6 は、標的物質の存在の影響を受けやすい誘電率を有する。前述のように、電極 4 とセンサ層 6 の界面に、標的物質以外の物質を含む界面層ができる。図 2 では、この界面層は、参照数字 8 を用いて示される。

10

【 0 0 3 4 】

基板の電極 4 間に凹部を配置することによって、標的物質の存在以外の因子に対する感受性を低下させることが示唆された。これらの凹部は、図 2 に参照数字 7 を使って示される。図 2 から分かるように、凹部は、各電極対の間に配置される。この点に関して、図 2 は、2 個の電極 4 だけを示す簡略図であるが、実施するために、通常は 3 個以上の電極が提供されうること理解されよう。

【 0 0 3 5 】

図 3 A ~ 図 3 C は、図 2 に示された種類のセンサ内の複数の電極の、幾つかの異なる電氣的構成を示す。用語「電氣的構成」は、静電容量の測定中に電極に印加される電位を指すために使用される。

20

【 0 0 3 6 】

図 3 A は、本明細書で「シングルスペース」構成又は「シングル」構成と呼ばれる構成の 4 つの電極 4 A、4 B、4 C、4 D を示す。この構成では、電極の静電容量の測定は、信号（例えば、直流電位）が電極 4 A、4 C に印加されている間に電極 4 B 及び 4 D をアースに接続することによって行われる。これらの信号及び接地接続は、図では「S」と「G」によって示される。

【 0 0 3 7 】

図 3 B は、本明細書で「ダブルスペース」構成又は「ダブル」構成と呼ばれる電極の電氣的構成を示す。ダブル構成では、静電容量の測定を行うために、電極 4 A 及び 4 B が信号電位に接続され、電極 4 C 及び 4 D がアースに接続される。したがって、図 3 A と図 3 B を参照すると、シングル構成が、アースに接続された第 1 の電極と信号に接続された第 2 の電極とを有し、それにより隣接電極間に電位差が現れる隣接電極対を有し、一方、ダブル構成は、信号電位又はアースに接続された隣接電極対を有することを理解されよう。

30

【 0 0 3 8 】

幾つかの例では、電極の幾つかが浮遊したままにされてもよい。浮遊電極は、図では「F」と示される。浮遊電極は、シングル構成又はダブル構成の電極間に配置されう。例えば、図 3 C は、「シングル浮遊構成」と呼ばれることがある電氣的構成を示す。この構成では、シングル構成の 1 組の電極 4 A、4 C、4 E（例えば、図 3 A）が、浮遊電極 4 B、4 D と交互にされている。例えば、図 3 B に示されたようなダブル構成を有する電極を浮遊電極と交互にすることによって、他の浮遊構成が提供されてもよい。

40

【 0 0 3 9 】

単純にするために、図 3 A ~ 図 3 C には、可能な凹部は示されていない。

【 0 0 4 0 】

図 4 A ~ 図 4 C は、それぞれ図 3 A ~ 図 3 C に示された電氣的構成によって生成された電界線分布を示す。図 4 B と図 4 C の比較から、ダブルスペース構成とシングル浮動構成によって生成された電界線が類似していることを理解されよう。以下の記述では、説明のために、図 3 A に示されたようなシングルスペース構成と図 3 B に示されたようなダブルスペース構成に集中する。しかしながら、少なくとも幾つかの浮遊電極を含む電極構成が

50

、請求された発明の範囲内にあることが想定される。

【0041】

微分測定を行うために、最初に、第1の電氣的構成（例えば、図3Aのシングル構成）を有する電極によって容量測定を行うことができ、次に、第2の電氣的構成（例えば、図3Bに示されたダブル構成）を有する電極を用いて静電容量の第2の測定を行いうる。これらの2つの測定を比較することによって、原理的には、例えば、界面層の存在及び/又は基板の誘電率の変化による寄与を計算から除外してもよい。

【0042】

複数の異なる電氣的構成に切り替えられる1組の電極を使用するか、あるいは異なる電氣的構成を有するようにそれぞれ配線された複数の異なる組の電極を使用することによって、微分測定をなしうることが想定される。また以下に詳細に述べるように、標的物質の存在以外の単一因子を計算から除外したい場合、典型的には、第1及び第2の電氣的構成だけでよいことがあり、各構成を用いて静電容量の別個の測定値が取得される。標的物質の存在以外の複数の因子に対する感受性を低減又は除去したい場合は、一般に、各構成で静電容量の追加の測定が行われる追加の電極構成を、含まなければならないことがある。一般に、各電氣的構成を用いて行われる静電容量の測定を用いて、静電容量の測定に影響を及ぼす様々な因子に関する連立方程式を解き、それにより、標的物質の存在と関連した測定に対する寄与を他の因子から分離できる。

【0043】

様々な電氣的構成の電極の感度をモデリングし、シミュレートできる。以下では、そのようなモデリングの結果を、それぞれ図3Aと図3Bのシングル構成とダブル構成を有する電極に関して述べる。

【0044】

最初に、下に示された表1は、各電極間の凹部7の深さがゼロに設定された場合の図3Aと図3Bのシングル及びダブル電極構成の感受性を示す。

【0045】

【表1】

構成	$\delta c / \delta t_{\text{inter}}$ [fF/nm]	$\delta c / \delta \epsilon_{\text{sub}}$ [fF]	$\delta c / \delta \epsilon_{\text{sens}}$ [fF]
シングル	6.73	25.0	122.3
ダブル	3.57	20.4	70.8
シングル-1.9ダブル	-0.05	-13.8	-12.2
シングル-1.2ダブル	2.45	0.52	37.3

表1 凹部深さがゼロのときのシングル及びダブル電極構成の容量感受性。

【0046】

表1に示されたように、各構成（即ち、シングル構成とダブル構成）は、 $c/t$ （ここで、 $c$ は、構成の静電容量であり、 $t$ は、凝縮水（ $\epsilon = 80$ ）からなると想定される界面層8の厚さである）、 $c/\epsilon_{\text{sub}}$ （ここで、 $\epsilon_{\text{sub}}$ は、基板の誘電率であり）、および  $c/\epsilon_{\text{sens}}$ （ $\epsilon_{\text{sens}}$ は、センサ層6の誘電率である）に対する特定の感受性を有する。

【0047】

シングル構成とダブル構成で行われた測定を比較することによって、界面層の厚さや基板の誘電率などの因子に対する感受性を除去できる。例えば、ダブル構成で得られた測定値をシングル構成で得られた測定値から差し引くことによって（ここで、最初に、差し引かれたダブル構成の測定値に換算係数（1.9）が掛けられる）、表1から、界面層の厚さに対する感受性を大幅に低減又は除去できることが分かる（ $c/t = -0.05$ ）。しかしながら、この例で換算係数1.9を用いても、基板の誘電率に対する感受性の完全な除去はされない（ $c/\epsilon_{\text{sub}} = -13.8$ ）。更に、換算係数1.9を使用す

ると、 $(c / s_{e n s} = 1.22.3)$ のシングル構成で得られた単一測定値又は $c / s_{e n s} = 70.8$ ダブル構成での単一測定値と比較された $c / s_{e n s} = 1.2.2)$ 標的物質の存在に対するセンサの感受性に有害な影響を及ぼす。

【0048】

あるいは、基板の誘電率に対する感受性を実質的に低減又は除去するために換算係数1.2が選択されてもよい(換算係数1.2を用いて、 $c / s_{u b}$ の値が0.52になることは表1に示されている)。しかしながら、物質の誘電率に対する感受性を低減又は除去するために適切な換算係数を使用すると、界面層( $c / t = 2.45$ )に対する感受性が実質的に低減又は除去されず、また標的物質( $c / s_{e n s} = 37.3$ )の存在に対するセンサの感受性が低下する。

10

【0049】

図5と図6は、図2に関して前述された各電極間にゼロでない深さを有する凹部を導入することによって、表1に示された種類のシミュレーション結果を拡張する。

【0050】

例えば、図5Aに、一連の微分測定の間面層の厚さ( $t$ )に対するセンサの感受性が示される。前述したように、この例で、微分測定は、換算係数の適用によって、シングル構成で得られた測定値からダブル構成で得られた測定値を差し引きすることを含む。同様に、図5Bに、標的物質に対するセンサの感受性が、図5Aで使用された同じ微分測定と換算係数を用いて示される。このようにして、様々な換算係数の効果を凹部の深さの関数として調べることが可能である。図5Aと図5Bに示された様々なプロットの詳細は、下の表2に示される。

20

【0051】

【表2】

図	参照番号	測定
5A	12	シングル-1.0ダブル
5A	14	シングル-1.7ダブル
5A	16	シングル-2.0ダブル
5B	22	シングル-1.0ダブル
5B	24	シングル-1.7ダブル
5B	26	シングル-2.0ダブル

30

表2 図5の微分測定。

【0052】

この例では、凹部の深さが $0.5 \mu m$ になるように選択されると仮定する。図5Aのプロット14から分かるように、界面層の厚さに対する感受性がほぼゼロになるためには、換算係数が1.7でなければならない(プロット14を参照)。しかしながら、図5Bに移ると、凹部深さが $0.5 \mu m$ で換算係数が1.7のとき、プロット24は、標的物質の存在に対するセンサの感受性が、この時点でほぼゼロであることを示す。

40

【0053】

図6Aと図6Bは、下の表3にまとめられたプロットを含む。

【表 3】

図	参照番号	測定
6A	32	シングル-1.0ダブル
6A	34	シングル-1.1ダブル
6A	36	シングル-1.3ダブル
6A	38	シングル-2.0ダブル
6B	42	シングル-1.0ダブル
6B	44	シングル-1.1ダブル
6B	46	シングル-1.3ダブル
6B	48	シングル-2.0ダブル

表 3 図 6 の微分測定。

## 【 0 0 5 4 】

これらのプロットは、幾つかの異なる換算係数に関して、基板の誘電率に対するセンサの感受性（図 6 A）と、これに対応する標的物質の存在に対するセンサの感受性（図 6 B）とを示す。

## 【 0 0 5 5 】

最初に、図 6 A で、例えば凹部深さが  $0.5 \mu\text{m}$  のとき、プロット 3 4 は、ダブル構成での測定値をシングル構成で得た測定値から差し引いた微分測定に適用される  $1.1$  の換算係数が、基板の誘電率に対するセンサの感受性を除去するのに適していることを示す。しかしながら、図 6 B から分かるように、換算係数が  $1.1$  で凹部深さが  $0.5 \mu\text{m}$  のとき（プロット 4 4 を参照）、標的物質に対するセンサの感受性は、例えばダブル構成での測定値がシングル構成での測定値から差し引かれた単純な微分測定（換算係数 =  $1.0$ ）より低減される。

## 【 0 0 5 6 】

したがって、様々な電氣的構成を有する複数の電極を含むセンサの微分測定に適切な凹部深さと換算係数を選択することによって、標的物質の存在以外の因子に対するセンサの感受性を低減又は除去できることが示された。しかしながら、各隣接電極対の間に凹部が配置された構成では、標的物質自体に対するセンサの感受性を実質的に低減することなく、界面層の存在や基板の誘電率などの寄与を有効に低減又は除去可能な凹部深さと換算係数の適切な値を選択することが難しいことも実証された。

## 【 0 0 5 7 】

本発明の実施形態によれば、電極と凹部の配置にある程度の非対称性を導入することによって、標的物質自体の存在に対するセンサの感受性の大幅な低減に関連した前述の問題を緩和できることが分かる。

## 【 0 0 5 8 】

図 7 は、本発明の一実施形態による容量式環境センサを示す。センサは、半導体基板 5 2 を含む。基板は、例えば、シリコンを含んでもよい。基板 5 2 は、表面 5 8 を有する。基板 5 2 は、幾つかの例では、基礎となるシリコンダイ上に設けられた複数の層を含んでもよい。複数の層には、例えば、ダイ内のトランジスタなどの構成要素を形成する半導体層、1 つ又は複数の金属化層、金属化層を分離する 1 つ又は複数の絶縁層が含まれる。層は、1 つ又は複数の保護層を含んでもよい。この例の表面 5 8 は、基板の最上保護層の表面である。他の例では、面 5 8 は、介在層のない半導体ダイの露出面でよい。

## 【 0 0 5 9 】

センサは、複数のセンサ電極 5 4 A、5 4 B、5 4 C、5 4 D を含む。センサ電極 5 4 A、5 4 B、5 4 C、5 4 D は、当該技術分野で既知のように一連の組み合わせられたフィ

10

20

30

40

50

ンガとして提供されてもよい。電極の垂直厚さは、 $0.1\ \mu\text{m}$   $H$   $10\ \mu\text{m}$ でよい。電極は、製造時の接着のため並びに使用時の水分及び腐食障壁（例えば、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{TiN}$ 、 $\text{SiO}_x$ 又は $\text{SiN}$ ）のためにライナによって覆われることがある金属や合金（例えば、 $\text{Al}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Cu}$ ）などの任意の適切な導電材料を含んでもよい。ライナは、典型的には、電極54A、54B、54C、54Dに加えて表面58を覆ってもよく、それにより、水分が基板52に入るのを防ぎうる。

【0060】

センサ電極は、基板52の表面58に配置される。図7に示されたように、センサ電極は、表面58上で介在スペースによって横方向に分離される。スペースの横幅は、典型的には、 $0.1\ \mu\text{m}$   $W$   $20\ \mu\text{m}$ でよい。

10

【0061】

容量式環境センサは、センサ層56も含む。センサ層56は、電極54A、54B、54C、54Dを覆う。センサ層は、標的物質の存在に感受性の高い誘電率を有する。標的物質は、例えば、水（例えば、容量式環境センサが湿度又は水分センサの場合）、 $\text{CO}_2$ 、又は揮発性有機化合物（ $\text{VOC}$ ）を含んでもよい。センサ層56の組成は、標的物質に応じて選択されうる。例えば、湿度センサの場合、センサ層56は、ポリイミド、パリエレン又は $\text{PDMS}$ のような高分子を含んでもよい。

【0062】

この例の電極54A、54B、54C、54Dは、2つの電氣的構成に切り替え可能である。幾つかの実施形態では、この切り替えは、マイクロコントローラによって制御することが可能であり、マイクロコントローラは、電氣的構成ごとに得られた測定値を収集し評価しうる。前述したように、代替例では、図7に示された種類の2つの別個の電極群が、基板52上の異なる位置に配置されることが想定される。異なる電極組又は群が、基板52の全く異なる部分に配置されてもよく、幾つかの例では互いに隣り合った場所であってもよい。2つの群の間で微分測定を行うことを可能にするために、第1の電極群が第1の電氣的構成を有し、第2の電極群が第2の電氣的構成を有し得る。

20

【0063】

図7の第1の電氣的構成は、電極54Bがアースに切り替えられ、電極54Cに信号（典型的には直流電位）が印加されるように切り替えられるシングルスペース構成である。したがって、この状態の電氣的構成は、「 $\text{SGSG}$ 」である。

30

【0064】

第2の電氣的構成では、電極54は、信号が印加されるように切り替えられ、電極54Cは、アースに切り替えられる。この電氣的構成では、電極は、「 $\text{SSGG}$ 」となるように接続され、これは、前述のダブルスペース構成として理解されよう。

【0065】

この例では、シングルスペース構成とダブルスペース構成の切り替えが、電極54A（「 $\text{S}$ 」に接続されたままである）又は電極54D（「 $\text{G}$ 」に接続されたままである）の状態を変化させることを含まないことに注意されたい。

【0066】

この実施形態では、基板52の表面58は、幾つかの凹部60を有する。凹部60は、電極54A、54B、54C、54D間のスペースの全てではなく幾つかに配置される。したがって、基板52の表面58は、この例では少なくとも1対の電極を分離するスペース内に凹部を有し、基板52の表面58は、少なくとも1対の電極を分離するスペース内に凹部を有していない。凹部のこの構成は、センサの配置にある程度の非対称性を導入する。この非対称性は、後で説明されるように、標的物質に対するセンサの感受性を実質的に低減又は除去しないように微分測定を行うことを可能にする。

40

【0067】

図8は、容量式環境センサの第2の実施形態を示す。図8のセンサは、多くの点で図7に関して前述したセンサに類似している。図8に示されたセンサと図7に関して前述したセンサの主な違いは、図8の電極54間のスペースの幾つかで、基板52の表面58が、

50

電極 5 4 間のスペースを少なくとも部分的に埋めるように上方に延在することである。例えば、電極 5 4 A と 5 4 B の間のスペースは、基板 5 2 の上方に延在する部分 6 2 によって実質的に埋められる。同様に、基板 5 2 の部分 6 2 は、電極 5 4 C と 5 4 D の間で上方に延在する。この構成は、界面層の存在に対するセンサの感受性を、図 7 に示された例より大きく低減し、同時に標的物質に対する感受性を戻すことが分かった。

【 0 0 6 8 】

図 9 は、図 7 に示された種類の容量式環境センサに関するシミュレーションの結果を示し、図 1 0 は、図 8 に示された種類のセンサに関して行われた類似シミュレーションの結果を示す。図 9 と図 1 0 は両方とも、図 7 と図 8 に示された種類の構成が使用されたとき、標的物質に対する感受性を保持しながら界面層の存在に対する感受性を計算から除外できることを示す。これらのシミュレーションでは、標的物質が水分であると仮定され（即ち、この例ではセンサが湿度センサであると仮定され）、界面層の組成が濃縮水（ $\rho = 80$ ）を含むと仮定される。シミュレーションと実証のために、センサ層は、公称誘電率（ $\epsilon_r = 3$ ）を有するポリイミドからなり、全相対湿度範囲にわたって約  $\pm 20\%$  の典型的なばらつきを示すと仮定される。基板誘電率は、 $\text{SiO}_2$  を表す 4.2 であると仮定される。

【 0 0 6 9 】

図 9 と図 1 0 の様々なプロットと換算係数をそれぞれ下の表 4 と表 5 にまとめる。

【 0 0 7 0 】

【表 4】

図	参照番号	測定
9A、9B	70	シングル
9A、9B	71	シングル-1.0ダブル
9A、9B	72	ダブル
9A、9B	73	シングル-2.0ダブル
9A、9B	74	シングル-2.4ダブル
9A、9B	75	シングル-2.7ダブル

表 4 図 9 の微分測定。

【 0 0 7 1 】

【表 5】

図	参照番号	測定
10A、10B	80	シングル
10A、10B	81	ダブル-1.0ダブル
10A、10B	82	ダブル
10A、10B	83	シングル-2.0ダブル
10A、10B	84	シングル-2.4ダブル
10A、10B	85	シングル-2.7ダブル

表 5 図 1 0 の微分測定。

【 0 0 7 2 】

本発明の実施形態によれば、凹部 6 0 の深さは、標的物質の存在以外の因子に対するセンサの感受性を低減又は除去できるように適切な換算係数と共に選択されうる。図 9 A と図 9 B の点 A, B, C は、凹部深さと換算係数の 3 つの対応する選択を表す。点 B の例をとると、凹部深さは約  $0.4 \mu\text{m}$  であり、換算係数が、2.4 になるように選択される（

プロット74を参照)。図9Aは、これらの値（界面層に対する感受性）がほぼゼロであることを示す。

【0073】

したがって、微分測定を行うために、第1の測定をシングルスペース電極構成で行い、次に第2の測定をダブルスペース電極構成で行う。次に、ダブルスペース電極構成の測定結果は、換算係数2.4が掛けられ、シングルスペース電極構成の結果から差し引かれてもよい。図9Aから明らかのように、この結果は、界面層に対する感受性が低い。図9Bに移り、点Bを参照すると（同じ凹部深さ（約0.4μm）と換算係数（2.4）に対応する）、センサはまだ標的物質の存在の影響を受けやすいことが分かる。

【0074】

図9Aと図9Bの点Cは、凹部深さが少し大きく（約0.7μm）換算係数が2.7であるパラメータの代替選択である。図9Bの点Cが、点Bよりも標的物質の存在に対する更に高い感受性を提供すると同時に界面層に対する感受性を低減することが分かる。

【0075】

図10Aと図10Bは、図8の実施形態に当てはまることを除き、図9Aと図9Bに関して前述したものと類似した結果を示す。図10Aと図10Bの点A、B及びCはそれぞれ、凹部深さの様々な選択肢とそれぞれの換算係数を表す。図9Bと図10Bの比較から分かるように、図8の実施形態は、図7の実施形態と比較して標的物質に対する強い感受性を保持したまま、界面層に対する感受性を低減又は除去することを可能にする。例えば、図10Bの点B（凹部深さ=0.5μm）での標的物質に対するセンサの感受性は、図9Bの点B（凹部深さ=約0.4μm）のほぼ2倍である。

【0076】

図11と図12は、基板の誘電率に対する素子の感受性の低減又は除去を示していることを除き、図9と図10に関して前述したものと類似のシミュレーション結果を示す。図11の結果は、図7に関して前述した種類の素子に対応し、図12の結果は、図8に関して前述した種類のセンサに対応する。

【0077】

表6は、図11Aと図11Bの様々なプロットと使用された換算係数をまとめたものである。

【0078】

【表6】

図	参照番号	測定
11A、11B	90	シングル
11A、11B	91	ダブル
11A、11B	92	シングル-1.0ダブル
11A、11B	93	シングル-1.3ダブル
11A、11B	94	シングル-1.7ダブル
11A、11B	95	シングル-2.0ダブル

表6 図11の微分測定。

【0079】

この場合も、図11Aで、点A、B及びCはそれぞれ、基板の誘電率に対する感受性がほぼゼロになるように選択される。図11Bに移ると、点A、B、及びC（図11Aの点A、B及びCで使用されたものと同じ凹部深さと換算係数に対応する）のそれぞれで、微分測定の際に標的物質に対するセンサの感受性が保持される。図11Bで、標的物質に対するセンサの保持された感受性が、点Bよりも点A及びCの方が実質的に高いので、点A及びCが点Bより好ましいことがあることに注意されたい。いずれの場合も、図11は、

凹部の深さ及び対応する換算係数を適切に選択することによって、標的物質に対するセンサの感受性を保持すると同時に基板の誘電率に対するセンサの感受性を低減又は除去できることを示す。

【 0 0 8 0 】

表 7 は、図 1 2 の様々なプロットと使用された換算係数をまとめたものである。

【 0 0 8 1 】

【表 7】

図	参照番号	測定
12A、12B	100	シングル
12A、12B	101	シングル-1.0ダブル
12A、12B	102	シングル-2.0ダブル
12A、12B	103	ダブル
12A、12B	104	シングル-3.0ダブル
12A、12B	105	シングル-4.0ダブル

表 7 図 1 2 の微分測定。

【 0 0 8 2 】

図 1 2 A では、凹部深さとその関連した換算係数の 2 つの説明的な値が選択される（点 A（凹部深さ約 0 . 0 5  $\mu\text{m}$ ；換算係数 = 3 . 0）と B（凹部深さ約 0 . 4 5  $\mu\text{m}$ ；換算係数 = 4 . 0）を参照）。点 A 及び B の両方で、基板の誘電率に対するセンサの感受性が実質的に除去される。

【 0 0 8 3 】

図 1 2 B に移ると、点 A 及び B の両方で、標的物質に対するセンサの感受性が保持されることが分かる。図 1 2 B を図 1 1 B と比較することによって、標的物質に対する図 7 のセンサの感受性と比較した図 8 のセンサの感受性が、図 8 のセンサの場合の方が多少大きいことが分かる。したがってこの場合も、基板が、少なくとも 1 対の電極を分離するスペース内で、スペースを少なくとも部分的に埋めるために上方に延在する構成が、標的物質に対する感受性を保持すると同時に標的物質以外の因子に対する感受性を除去できる程度を更に高めうることが実証される。

【 0 0 8 4 】

前述の例では、容量式環境センサの出力での電位ドリフトの原因を 1 つだけ考慮した。したがって、図 9 と図 1 0 のシミュレーション結果で、界面層の存在が検討され、図 1 1 と図 1 2 のシミュレーションで、基板の誘電率に対するセンサの感受性が検討される。幾つかの実施形態では、標的物質の存在以外の複数の因子に対する感受性を低減又は除去できることが想定される。例えば、幾つかの例では、基板の誘電率と界面層の存在の両方を計算から除外してもよい。次に、図 1 3 と図 1 4 を参照してこの一例を述べる。

【 0 0 8 5 】

例えば、標的物質の存在に対する感受性以外の 2 つの別の感受性を計算から除外するために、第 3 の電氣的構成を使用できる。図 1 3 は、本発明の別の実施形態による容量式環境センサの例を示す図である。センサは、図 7 と図 8 に関して前述されたセンサに多くの点で類似しており、類似の参照数字が使用されている。図 1 3 に示されたセンサは、以下のように図 7 と図 8 の例と異なる。

【 0 0 8 6 】

図 1 3 の電極 5 4 は、3 つの異なる電氣的構成に切り替え可能である。これらの電氣的構成は、図 1 3 に、参照数字 5 5、5 7 及び 5 9 を使って示される。電氣的構成 5 5 は、前述の種類のシングルスペース構成であり、電極 5 4 A、5 4 B、5 4 C、5 4 D、5 4 E、5 4 F が、「S G S G S G」となるように信号又はアースに接続される。図 1 3 に示

10

20

30

40

50

された電氣的構成 57 は、ダブルスペース構成であり、電極は、「SSGGSS」となるように信号又はアースに接続される。図 13 に示された第 3 の電氣的構成 59 は、本明細書では、「トリプルスペース構成」又は「トリプル」構成と呼ばれる。トリプルスペース構成では、電極は、「SSSGGG」となるように信号又はアースに接続される。シングルスペース構成は、基本的に、最低 2 個の電極を必要とし、ダブルスペース構成は、最低 4 個の電極を必要とし、トリプルスペース構成に対応するために最低 6 個の電極を必要とすることに注意されたい。

【0087】

図 13 A では、図 8 の例と同様に、スペースの幾つかが、スペースを埋めるように上方に延在する基板 52 の部分 62 を含む。

10

【0088】

図 13 に関して前述されたシングル、ダブル及びトリプル構成によって生成された電界線は、それぞれ図 14 A、図 14 B 及び図 14 C に示される。

【0089】

図 13 では、基板 52 の表面 58 の凹部 60 が、1 電極スペースおきに凹部 60 が設けられた図 7 と図 8 に関して前述した例と対照的に、2 電極スペースおきに提供される。

【0090】

図 13 に示された各電氣的構成 55, 57, 59 の場合、界面層  $c/t_{inter}$ 、基板の誘電率  $c/\epsilon_{sub}$  及び標的物質のセンサ層 56 の存在  $c/\epsilon_{sens}$  に対するセンサの感受性は、電界分布と電極静電容量を計算することによってシミュレート

20

され、次のように行列形式で表わされうる。

【0091】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} \partial C_{\text{single}} \\ \partial C_{\text{double}} \\ \partial C_{\text{triple}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial \epsilon_{\text{sens}} \\ \partial t_{\text{inter}} \\ \partial \epsilon_{\text{sub}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 62.77 & 6.65 & 84.38 \\ 40.28 & 3.37 & 50.85 \\ 49.65 & 2.24 & 18.04 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial \epsilon_{\text{sens}} \\ \partial t_{\text{inter}} \\ \partial \epsilon_{\text{sub}} \end{bmatrix}$$

30

【0092】

3 つの電氣的構成の一次結合をとると、次のようになる。

【0093】

【数 2】

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial C_{\text{single}} \\ \partial C_{\text{double}} \\ \partial C_{\text{triple}} \end{bmatrix}$$

40

$$= (x_1 a + x_2 d + x_3 g) \partial \epsilon_{\text{sens}} + (x_1 b + x_2 e + x_3 h) \partial t_{\text{inter}} + (x_1 c + x_2 f + x_3 i) \partial \epsilon_{\text{sub}}$$

【0094】

$(x_1 b + x_2 e + x_3 h) = 0$  と  $(x_1 c + x_2 f + x_3 i) = 0$  を解くと、

【0095】

【数3】

$$x_2 = \left\{ -\frac{b}{e} + \frac{h}{e} \left( c - \frac{bf}{e} \right) \left( \frac{e}{ie - hf} \right) \right\} x_1$$

$$x_3 = - \left( c - \frac{bf}{e} \right) \left( \frac{e}{ie - hf} \right) x_1$$

10

【0096】

$x_1 = 1.0$  を選択することによって、 $x_2 = -1.4390$  かつ  $x_3 = -1.0164$  の場合に、増倍係数のこの組み合わせが、両方のドリフト作用（界面層と基板の誘電率）を相殺すると同時に  $58.84 \text{ fF}$  のセンサ層内の標的物質の存在に対する感受性を保持できることが分かる。標的物質の存在に対するセンサの感受性を高めるために、 $1.0$  より大きい  $x_1$  の値が選択されてもよい（これに対応して、 $x_2$  と  $x_3$  の値が変更されなければならない）。しかしながら、この種の変更によって、検出値のノイズが増える可能性

20

【0097】

微分測定は一般に、多くの場合、増倍係数による2つ以上の信号の減法を含む。このプロセスの際に、複数の信号からのノイズが組み合わされる。例えば、相関のないノイズ分散  $\sigma_1^2$  及び  $\sigma_2^2$  を有する2つの信号があると仮定すると、差分信号  $S_{diff} = S_1 - X S_2$ （ここで、 $X$  は換算係数である）は、 $\sigma_1^2 + X^2 \sigma_2^2$  の分散になる。 $X$  が大きい場合、差分信号と関連したノイズが大きくなる可能性がある。

【0098】

しかしながら、容量性センサの場合、ドリフトは、しばしばノイズより重要な問題である。したがって、本明細書に開示された種類のセンサ及びそれに対応する方法を使用することによって、ノイズ増大の観点から比較的少ないコストでドリフトを減少できるので、信号精度の著しい改善において利益を提供しうることが分かる。

30

【0099】

これにもかかわらず、使用される換算係数を選択するときは注意されたい。例えば、シングルスペース電極構成での測定を、相関のない信号、ドリフト及びノイズ成分の線形重ね合せとして仮定すると、

【0100】

$$S_{single} = S_{signal\_single} + D_{rift\_single} + N_{oise\_single}$$

40

【0101】

同様に、ダブルスペース電極構成での測定は、

$$S_{double} = S_{ignal\_double} + D_{rift\_double} + N_{oise\_double}$$

【0102】

2つの測定値が、同じ電極構造から類似の方法で得られるので（方法が測定間に2つの構成に切り替えられると仮定する）、信号及びドリフト成分が、次のように、完全に関連

50

付けられると仮定されうる。

【0103】

$$\text{Signal}_{\text{Double}} = m_{\text{signal}} \text{Signal}_{\text{single}}$$

$$\text{Drift}_{\text{Double}} = m_{\text{Drift}} \text{Drift}_{\text{single}}$$

【0104】

ここで、 $m_{\text{signal}}$ と $m_{\text{drift}}$ は、比例定数である。次に、微分測定を、デカルトシングルダブル座標系で角度  $\theta$  にわたる回転として構成すると、

10

【0105】

$$\text{Differential} = \cos(\theta) \text{Single} + \sin(\theta) \text{Double}$$

ここで、

$$\text{Signal}_{\text{Differential}} = \cos(\theta) \text{Signal}_{\text{single}} + \sin(\theta) \text{Signal}_{\text{Double}}$$

$$\text{Drift}_{\text{Differential}} = \cos(\theta) \text{Drift}_{\text{single}} + \sin(\theta) \text{Drift}_{\text{Double}}$$

20

$$\text{Noise}_{\text{Differential}} = \cos(\theta) \text{Noise}_{\text{single}} + \sin(\theta) \text{Noise}_{\text{Double}}$$

【0106】

これは、次のように書き換えることができる。

$$\text{Differential} = \text{Signal}_{\text{Differential}} + \text{Drift}_{\text{Differential}} + \text{Noise}_{\text{Differential}}$$

30

【0107】

典型的センサでは、シングルスペース又はダブルスペース電氣的構成での測定は、同じ回路によって独立に測定されるので、分散が等しく相関のないノイズを有する。したがって、

【0108】

$$\text{Double} = \text{Single}$$

【0109】

ここで、 $\sigma_{\text{single}}^2$ と $\sigma_{\text{Double}}^2$ は、それぞれ $\text{Noise}_{\text{single}}$ と $\text{Noise}_{\text{Double}}$ の分散である。したがって、一定の $\text{Noise}_{\text{Differential}}$ の分散は、 $\theta$ の関数として次のように表される。

40

【0110】

【数4】

$$\sigma_{\text{Differential}}^2 = \sigma_{\text{Single}}^2 \cos^2(\theta) + \sigma_{\text{Double}}^2 \sin^2(\theta) = \sigma_{\text{Single}}^2$$

【0111】

50

次に、 $\text{Drift}_{\text{Differential}} = 0$ となるように選択し、これは、 $\tan(\theta_{\text{optimal}}) = -\arctan(1/m_{\text{Drift}})$ に当てはまり、可能な解が2つあることに注意されたい。即ち、

【数5】

$$\theta_{\text{optimal}} = -\arctan\left(\frac{1}{m_{\text{Drift}}}\right) + k\pi, \text{ where } k = 0, 1$$

10

【0112】

したがって、

【数6】

$$\begin{aligned} \text{Signal}_{\text{Differential}} &= \cos(\theta_{\text{optimal}}) \text{Signal}_{\text{Single}} + \sin(\theta_{\text{optimal}}) \text{Signal}_{\text{Double}} \\ &= \text{Signal}_{\text{Single}} \left(1 - \frac{m_{\text{Signal}}}{m_{\text{Drift}}}\right) \cos(\theta_{\text{optimal}}) \end{aligned}$$

20

【0113】

シングルを比較するために、微分測定kは、 $\text{Signal}_{\text{Differential}}$ の符号が $\text{Signal}_{\text{Single}}$ の符号と等しくなるように選択されうる。

【0114】

このkに関して、

【数7】

$$\text{Signal}_{\text{Differential}} = \text{Signal}_{\text{Single}} \left|1 - \frac{m_{\text{Signal}}}{m_{\text{Drift}}}\right| \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{m_{\text{Drift}}^2}}}$$

30

【数8】

$$= \text{Signal}_{\text{Single}} \frac{|m_{\text{Drift}} - m_{\text{Signal}}|}{\sqrt{m_{\text{Drift}}^2 + 1}}$$

40

【0115】

実際には、試験又は校正システムを用いて $\theta_{\text{optimal}}$ を選択できる。試験と校正は、センサごとに独立に行なわれてもよい。あるいは、センサの代表サンプルを用いて、より大きいバッチ全体で使用するためのパラメータを導出してもよい。値は、センサ（例えば、マイクロコントローラによってアクセス可能な参照テーブル）に記憶されうる。ま

50

た、そのような較正值は、一連の動作条件（例えば、様々な温度、圧力など）にわたって記憶され、センサが配置された環境にしたがって使用されてもよい。

【0116】

前述の例は、2つの測定又は3つの測定が行われる微分測定に関する。一般にこれはK測定手法（K-measurement approach）に拡張可能と想定され、Kは任意の大きさである。

【0117】

また、標的物質に対するセンサの感受性以外の因子を補償するために、より厳密には多数の測定が必要とされることが想定される。標的物質の存在に対するセンサの感受性以外の比較的少数の因子だけを補償する場合でも、電極の複数のそれぞれの電氣的構成で比較的多数の容量測定を行ってもよい。例えば、界面層の存在や基板の誘電率の変化などの単一の因子を考慮するために、電極のそれぞれの電氣的構成で3つ以上の容量測定を行ってもよい。例えば、別の例では、界面層の存在や基板の誘電率の変化などの2つの因子を補償するために、電極のそれぞれの電氣的構成で4つ以上の容量測定を行ってもよい。除去される因子の数より多い測定を行うことによって、過剰決定された組の式を構成できる。そのような過剰決定された組の式の解は、典型的には、前述の解より安定していることがある（ノイズが少ない）。

10

【0118】

K次元ベクトル $x$ の要素が、少なくともM個の異なる電極構成で得られた異なる測定値である場合（MはK以下）、修正された値の修正されたN次元ベクトル $y = Ax$ を計算することができ（NはM以下）、ここで、Aは、重み因子の $N \times K$ 行列である（N行K列）。最適行列Aを以下のように求めうる。

20

【0119】

$y$ の要素が、決定されるパラメータの実際の値（例えば、湿度、 $CO_2$ 濃度など）を表すと仮定する。次に、電極の $k$ 番目の電氣的構成で得られた $k$ 番目の測定値 $x(k)$ が、 $b(k)y + r(k)$ と等しいと仮定し、ここで、第1項は理想モデル応答（ノイズや他の外乱プロセスがない）であり、第2項は $k$ 番目の測定値における外乱である。次に、ベクトル $x$ によって表わされた測定値の組全体を $x = Cy + r$ として記述することが可能であり、ここで、第 $k$ 行と第 $n$ 列の行列要素 $C$ は、ベクトル $b(k)$ の $n$ 番目の要素に等しい。理想的な場合、即ち、標的物質に対するセンサの感受性以外の因子の影響がない場合、 $x$ は、 $Cy$ と等しくなり、即ち基底ベクトル $c(n)$ の重み付き和（モデル応答行列 $C$ の列）になり、 $y$ の要素は重み因子である。したがって、理想的なモデル測定値は、基底ベクトル $c(k)$ によって画定されたN次元空間内になければならない。したがって、外乱ベクトル $r$ が、その空間に対して垂直であると見なされてもよく、即ち、 $c(n)$ と $r$ の内積（ $c(n), r$ ）は、全ての $n$ に関してゼロでなければならない。その場合、全ての $n$ に関して（ $c(n), x$ ）=（ $c(n), Cy$ ）である。これは、 $C^T x = C^T Cy$ と記述可能であり（ $C^T r = 0$ と仮定できるので）、行列 $C^T$ は、行列 $C$ の転置行列である。ベクトル $c(n)$ が互いに独立の場合、 $n \times n$ 行列 $C^T C$ を反転させることが可能であり、 $y = (C^T C)^{-1} C^T x = Ax$ であり、ここで、行列 $A = (C^T C)^{-1} C^T$ は、行列 $C$ の一般逆行列として知られる。

30

【0120】

必要なモデル行列 $C$ は、制御された環境条件下（即ち、既知のベクトル $y$ ）の1組（典型的には大きい）の較正測定値又は両方の組み合わせによって計算され実験的に決定される。 $C$ は、センサの経年変化及び/又は劣化を補償するために（当然ながら、これは経年変化/劣化モデルを必要とする）、センサの履歴（例えば、その使用年数、又はそれまでに検出したガスの集合）に応じて行われうる。行列 $C$ は、センサが販売されたときに最初に固定され、後でより適切なものに更新されてもよく、経年変化/劣化下モデルを含むより高度な行列に更新されてもよい。この手法は、既に販売された製品の品質をインシステム更新によって改善するために使用され、インシステム更新は、最新機器、特に携帯電話のような携帯機器にしばしば使用される手法である。

40

【0121】

50

本発明の実施形態は、水分や、CO<sub>2</sub>などのガス、又は揮発性有機化合物などの物質の検出を必要とする用途に使用可能である。本明細書で述べた種類のセンサが、この種の用途を支援するために無線周波数識別(RFID)タグに組み込まれうることが想定される。更に、本明細書で述べた種類のセンサが、スマートビルディング、又は携帯電話やテーブルなどの機器に使用されうることが想定される。スマートビルディングは、温室でもよい。

【0122】

以上、微分容量測定を用いて標的物質(例えば、水)の存在を決定するための容量式環境センサ及び方法を述べた。センサは、表面を有する半導体基板を含む。センサは、また、表面に配置された複数のセンサ電極を有する。電極は、介在スペースによって表面上に横方向に分離される。センサは、更に、電極を覆うセンサ層を有する。センサ層は、標的物質の存在の影響を受けやすい誘電率を有する。基板の表面は、少なくとも1対の電極を分離するスペース内に、凹部を有する。基板の表面は、少なくとも1対の電極を分離するスペース内に、凹部を有していない。センサは、無線周波数識別(RFID)タグ内に提供されてもよい。センサは、スマートビルディング内に提供されてもよい。

10

【0123】

本発明の特定の実施形態について述べてきたが、請求される発明の範囲内で多くの修正/追加及び/又は代用が行われうることを理解されよう。

【符号の説明】

【0124】

- 5 2 半導体基板
- 5 4 センサ電極
- 5 6 センサ層
- 5 8 表面
- 6 0 凹部
- 6 2 延在部分
- 5 5、5 7、5 9 電氣的構成

20

【図 1】

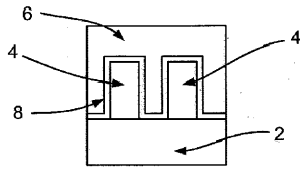


Fig. 1

【図 2】

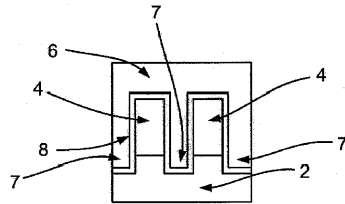


Fig. 2

【図 3 A】

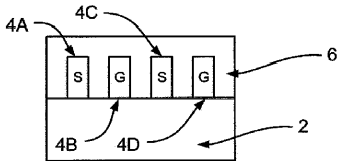


Fig. 3A

【図 3 B】

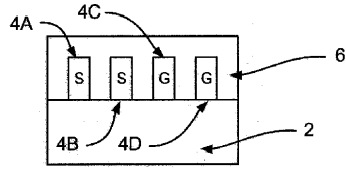


Fig. 3B

【図 3 C】

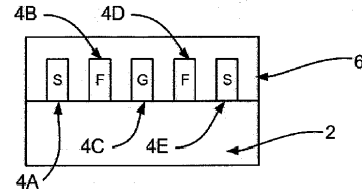


Fig. 3C

【図 4 A】

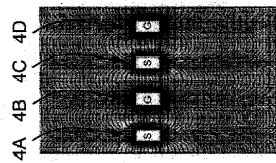


Fig. 4A

【図 4 B】

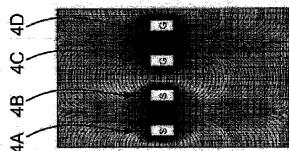


Fig. 4B

【図 4 C】

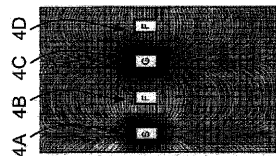


Fig. 4C

【図 5 A】

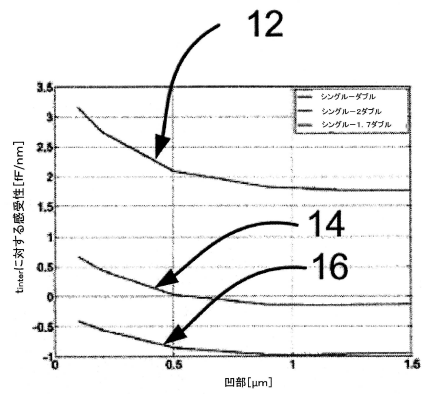


Fig. 5A

【図5B】

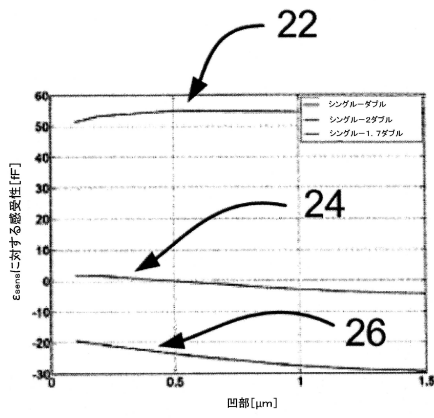


Fig. 5B

【図6A】

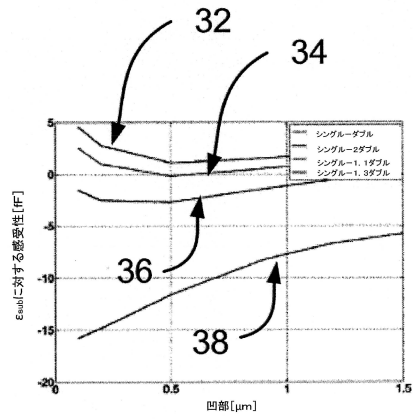


Fig. 6A

【図6B】

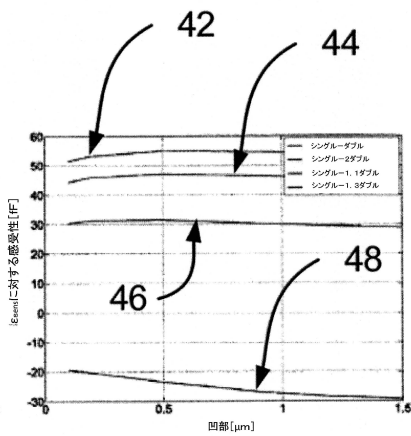


Fig. 6B

【図7】

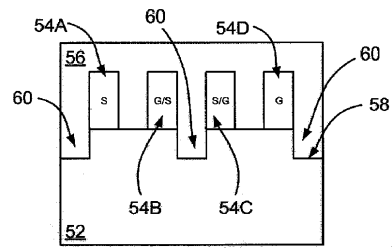


Fig. 7

【図8】

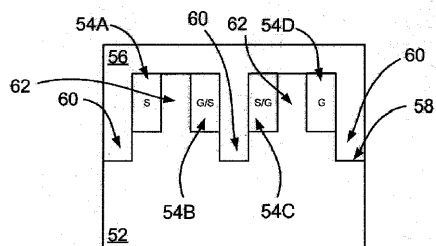


Fig. 8

【図9A】

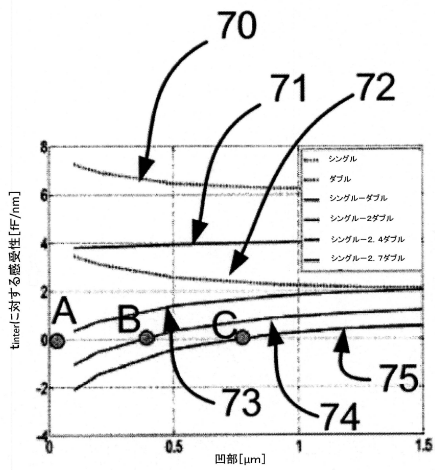


Fig. 9A

【図9B】

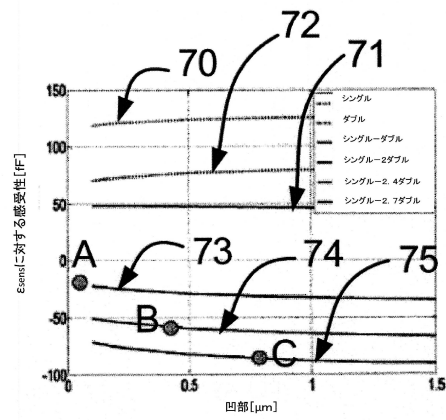


Fig. 9B

【図10A】

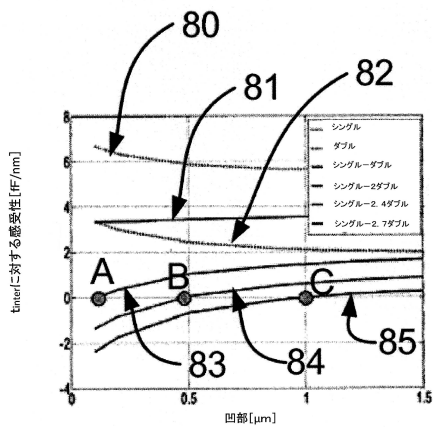


Fig. 10A

【図10B】

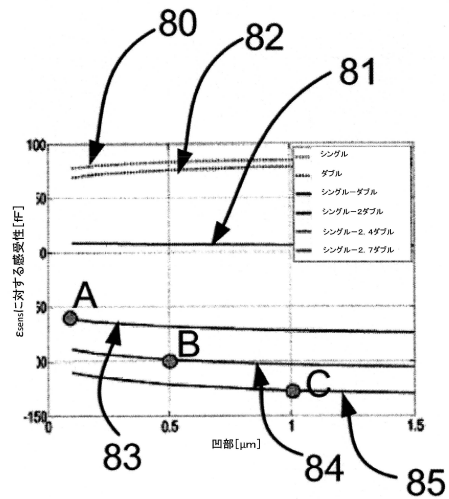


Fig. 10B

【図 11 A】

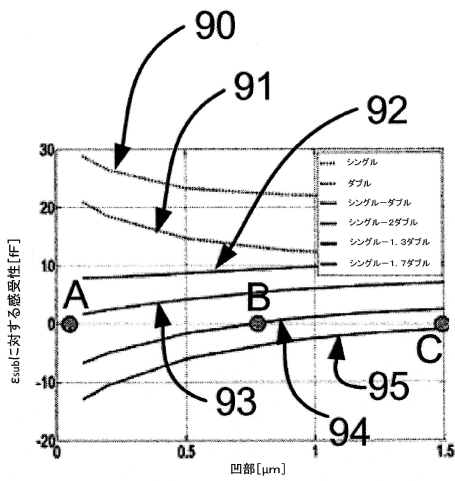


Fig. 11A

【図 11 B】

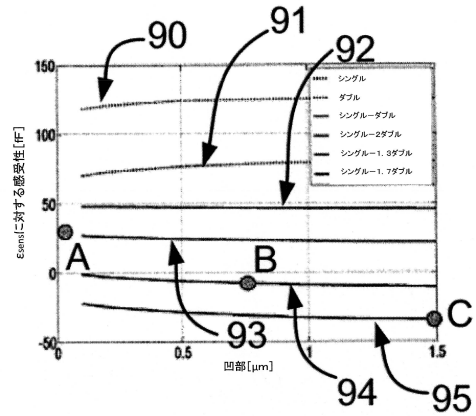


Fig. 11B

【図 12 A】

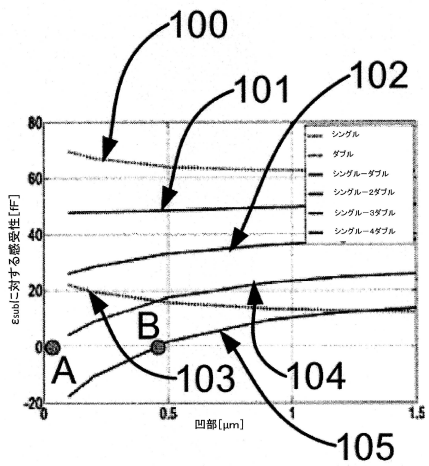


Fig. 12A

【図 12 B】

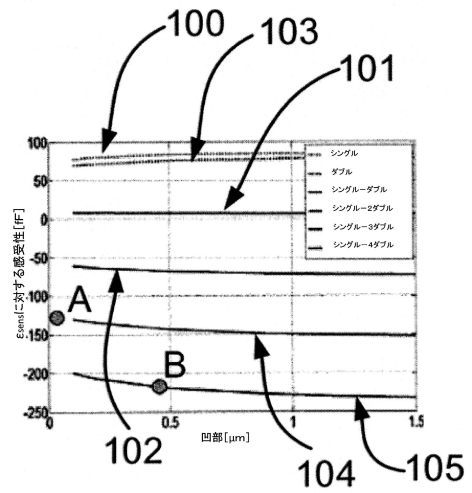


Fig. 12B

【 図 1 3 】

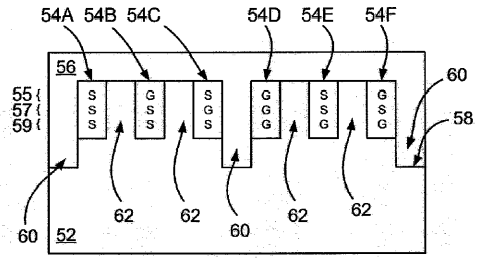


Fig. 13

【 図 1 4 B 】

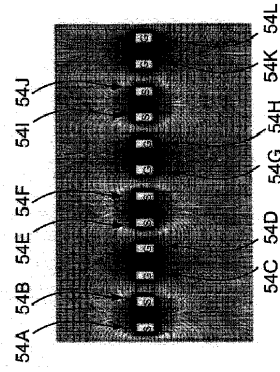


Fig. 14B

【 図 1 4 A 】

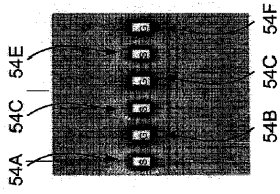


Fig. 14A

【 図 1 4 C 】

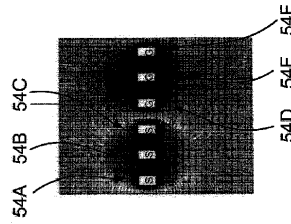


Fig. 14C

## フロントページの続き

- (72)発明者 ビガーショーフン, フロンシスカス ベイタッシュ  
オランダ王国 エン・エルー 5 6 5 6 アー・シェイ エインドホーフン、ハイテクキャンパス  
6 0、エン・イクス・ベイ ベイ・フェイ・内
- (72)発明者 ネイナドーフイチ, ネーボイジャ  
オランダ王国 エン・エルー 6 6 0 5 イクス・イエイ ビーフア、ディイムレイ 4 6 2 5

審査官 吉田 将志

- (56)参考文献 欧州特許出願公開第 0 1 6 0 7 7 3 9 ( E P , A 1 )  
米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 0 2 6 6 4 2 ( U S , A 1 )  
特開 2 0 1 2 - 2 4 7 2 2 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 0 2 8 8 2 4 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 0 5 8 0 8 4 ( J P , A )  
特開平 0 2 - 0 5 7 9 5 6 ( J P , A )  
特開昭 5 7 - 1 4 8 2 4 2 ( J P , A )  
特開 2 0 0 8 - 2 6 8 1 6 9 ( J P , A )  
特表 2 0 0 3 - 5 3 2 0 8 0 ( J P , A )  
特開 2 0 1 4 - 0 4 1 0 3 4 ( J P , A )  
特開 2 0 1 3 - 1 9 0 2 8 6 ( J P , A )  
国際公開第 2 0 1 2 / 1 4 8 2 5 4 ( W O , A 1 )

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G 0 1 N 2 7 / 2 2