

(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
2014年4月24日(24.04.2014)

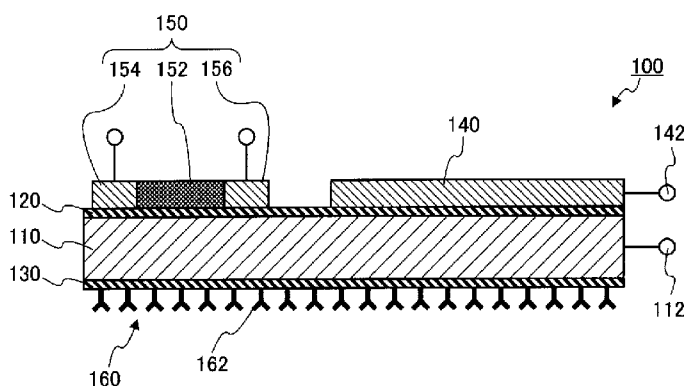


(10) 国際公開番号
WO 2014/061273 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 27/414 (2006.01) H01L 51/05 (2006.01)
H01L 29/786 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/006170
 - (22) 国際出願日: 2013年10月17日(17.10.2013)
 - (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 2012-230740 2012年10月18日(18.10.2012) JP
 - (71) 出願人: バイオセンサー株式会社(BIO SENSOR INC.) [JP/JP]; 〒0600051 北海道札幌市中央区南1条東2丁目1番地2 レジディア南1条311号 Hokkaido (JP).
 - (72) 発明者: 田村 光治(TAMURA, Kouji). 木暮 恒男(KOGURE, Tsuneo). 後藤 典雄(GOTOU, Norio). 武笠 幸一(MUKASA, Koichi).
 - (74) 代理人: 鷲田 公一(WASHIDA, Kimihito); 〒1600023 東京都新宿区西新宿1-2-3-7 新宿ファーストウェスト8階 Tokyo (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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: SENSOR, SENSOR MODULE, AND DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: センサー、センサーモジュールおよび検出方法



(57) Abstract: This sensor has: a first capacitance electrode comprising a plate-shaped conductor or semiconductor; a first terminal electrically connected to the first capacitance electrode; a first insulating film disposed at one surface of the first capacitance electrode; a second capacitance electrode comprising a conductor or semiconductor and disposed in a manner so as to oppose a portion of the first capacitance electrode with the first insulating film therebetween; a second terminal electrically connected to the second capacitance electrode; a variable resistance element disposed on the first insulating film; and a reaction section disposed on the other surface of the first capacitance electrode in a direct manner or with a second insulating film therebetween. The variable resistance element includes: a base body disposed on the first insulating film; a third terminal connected to one end of the base body; and a fourth terminal connected to the other end of the base body.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/061273 A1



センサーは、板状の導電体または半導体からなる第1容量電極と、第1容量電極に電氣的に接続された第1端子と、第1容量電極の一方の面に配置された第1絶縁膜と、第1絶縁膜を介して第1容量電極の一部と対向するように配置された、導電体または半導体からなる第2容量電極と、第2容量電極に電氣的に接続された第2端子と、第1絶縁膜上に配置された可変抵抗素子と、第1容量電極の他方の面上に直接または第2絶縁膜を介して配置された反応部とを有する。可変抵抗素子は、第1絶縁膜上に配置された基体と、基体の一方の端部に接続された第3端子と、基体の他方の端部に接続された第4端子とを含む。

明 細 書

発明の名称： センサー、センサーモジュールおよび検出方法

技術分野

[0001] 本発明は、センサー、前記センサーを含むセンサーモジュール、および前記センサーまたは前記センサーモジュールを用いた検出方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、被検出物質を検出するためのセンサーとして、様々なセンサーが提案されている。たとえば、特許文献 1，2 には、バックゲート型の電界効果トランジスタを含むセンサーが開示されている。

[0003] 図 1 は、特許文献 1，2 に記載のセンサーの構成を示す断面模式図である。図 1 に示されるように、センサー 10 は、シリコン基板 11 と、シリコン基板 11 の一方の面に形成された第 1 絶縁膜 12 と、シリコン基板 11 の他方の面に形成された第 2 絶縁膜 13 と、第 1 絶縁膜 12 上に配置されたチャンネル 14 と、チャンネル 14 の一方の端部に接続されたソース電極 15 と、チャンネル 14 の他方の端部に接続されたドレイン電極 16 と、第 2 絶縁膜 13 上に配置された反応部 17 と、第 2 絶縁膜 13 に対向するように配置されたゲート電極 18 と、を有する。反応部 17 では、抗体などの認識物質 19 が第 2 絶縁膜 13 上に固定化されている。ゲート電極 18 は、取り外し可能であり、反応部 17 に検体を提供する際には取り外され、測定する際には第 2 絶縁膜 13 に対向するように配置される。ゲート電極 18 は、例えばアルミニウム板である。

[0004] 特許文献 1 に記載のセンサーは、カーボンナノチューブからなるチャンネル 14 を有している。特許文献 2 に記載のセンサーは、ポリシリコン膜からなるチャンネル 14 を有している。センサー 10 において、シリコン基板 11、第 1 絶縁膜 12、第 2 絶縁膜 13、チャンネル 14、ソース電極 15、ドレイン電極 16 およびゲート電極 18 は、バックゲート型の電界効果トランジスタとして機能する。

[0005] 図1に示されるセンサー10を用いて、被検出物質を検出する手順を説明する。まず、ゲート電極18を反応部17（第2絶縁膜13）に接触させた状態で、ゲート電極18に印加する電圧を掃引し、ソース電極15ードレイン電極16間の電流値を記録する。次いで、ゲート電極18を反応部17（第2絶縁膜13）から離れた状態で、反応部17に検体を提供し、検体に含まれる被検出物質と第2絶縁膜13に固定化された認識分子19とを反応させる。次いで、再度ゲート電極18を反応部17（第2絶縁膜13）に接触させた状態で、ゲート電極18に印加する電圧を掃引し、ソース電極15ードレイン電極16間の電流値を記録する。以上の手順により得られる、検体提供前後の電流値の変化から、被検出物質を検出することができる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：国際公開第2006／103872号

特許文献2：国際公開第2009／144878号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上記従来のセンサー10には、検出精度が不安定であるという問題がある。

[0008] 従来のセンサー10では、ゲート電極18を第2絶縁膜13上から取り外したり、第2絶縁膜13上に配置したりすることを複数回行うことが必要であるが、ゲート電極18と第2絶縁膜13との接触状態は毎回変わってしまう。また、アルミニウム板などからなるゲート電極18を第2絶縁膜13上に置く際に、第2絶縁膜13に欠陥が容易に形成されてしまう。これらの理由により、上記従来のセンサー10では、ゲート電極の接触状態のバラつきや絶縁膜の破壊によるシリコン基板への電荷注入などが生じやすく、結果として検出精度が不安定になりやすい。

[0009] 本発明の目的は、検出精度およびその安定性に優れるセンサーおよびセン

サーモジュール、ならびにそれらを用いた検出方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明は、以下のセンサーに関する。

[1] 板状の導電体または半導体からなる第1容量電極と、前記第1容量電極に電氣的に接続された、外部と電氣的に接続されうる第1端子と、前記第1容量電極の一方の面に配置された第1絶縁膜と、前記第1絶縁膜を介して前記第1容量電極の一部と対向するように配置された、導電体または半導体からなる第2容量電極と、前記第2容量電極に電氣的に接続された、外部と電氣的に接続されうる第2端子と、前記第1絶縁膜上に配置された基体、前記基体の一方の端部に電氣的に接続された第3端子および前記基体の他方の端部に電氣的に接続された第4端子を含む可変抵抗素子と、前記第1容量電極の他方の面上に直接または第2絶縁膜を介して配置された反応部と、を有する、センサー。

[2] 前記第1容量電極は、不純物をドーピングしたシリコン基板である、[1]に記載のセンサー。

[3] 前記基体は、カーボンナノチューブまたはポリシリコン膜である、[1]または[2]に記載のセンサー。

[4] 前記基体は、ノンドーピングポリシリコン膜である、[3]に記載のセンサー。

[5] 前記第1容量電極は、不純物をドーピングしたシリコン基板であり、前記基体は、ポリシリコン膜であり、前記第3端子および前記第4端子は、不純物をドーピングしたポリシリコン膜である、[3]または[4]に記載のセンサー。

[6] 前記第1容量電極にドーピングされた不純物の極性と前記第3端子および前記第4端子にドーピングされた不純物の極性とは、互いに異なる、[5]に記載のセンサー。

[7] 前記第2容量電極は、ポリシリコン、金属または合金からなる膜である、[1]～[6]のいずれか一項に記載のセンサー。

[8] 前記第 1 容量電極は、不純物をドーピングしたシリコン基板であり、前記第 2 容量電極は、不純物をドーピングしたポリシリコン膜であり、前記第 1 容量電極にドーピングされた不純物の極性と前記第 2 容量電極にドーピングされた不純物の極性とは、互いに異なる、[7] に記載のセンサー。

[9] 前記反応部では、被検出物質と反応しうる認識物質が、前記第 1 容量電極の前記他方の面または前記第 2 絶縁膜の表面に固定化されている、[1] ~ [8] のいずれか一項に記載のセンサー。

[0011] また、本発明は、以下のセンサーモジュールに関する。

[1 0] [1] ~ [9] のいずれか一項に記載のセンサーと、前記センサーと外部機器とを接続させるためのセンサーモジュール基板と、を有し、前記センサーは、前記可変抵抗素子と前記センサーモジュール基板とが対向するように、前記センサーモジュール基板に固定されている、センサーモジュール。

[1 1] 前記センサーモジュール基板には、2つの前記センサーが固定されている、[1 0] に記載のセンサーモジュール。

[0012] また、本発明は、以下の検出方法に関する。

[1 2] [1] ~ [9] のいずれか一項に記載のセンサーまたは [1 0] に記載のセンサーモジュールを用いて検体中の被検出物質を検出する方法であって、前記第 1 端子および前記第 2 端子と電源とを電氣的に接続して、前記第 1 容量電極と前記第 2 容量電極の間に電圧を印加する第 1 工程と、前記第 1 工程の後に、前記第 1 端子および前記第 2 端子を前記電源から電氣的に切断して、前記第 1 容量電極および前記第 2 容量電極を前記電源から電氣的に切り離れた状態にする第 2 工程と、前記第 2 工程の後に、前記反応部に検体を提供する第 3 工程と、前記第 3 工程の後に、前記第 3 端子と前記第 4 端子との間の電流値を測定する第 4 工程と、を含む、検出方法。

[1 3] [1 1] に記載のセンサーモジュールを用いて検体中の被検出物質を検出する方法であって、前記 2 つのセンサーの両方について同時に、前記第 1 端子および前記第 2 端子と電源とを電氣的に接続して、前記第 1 容量

電極と前記第 2 容量電極の間に電圧を印加する第 1 工程と、前記第 1 工程の後に、前記 2 つのセンサーの両方について同時に、前記第 1 端子および前記第 2 端子を前記電源から電氣的に切断して、前記第 1 容量電極および前記第 2 容量電極を前記電源から電氣的に切り離した状態にする第 2 工程と、前記第 2 工程の後に、前記 2 つのセンサーのうち一方のセンサーにおいて、前記反応部に検体を提供する第 3 工程と、前記第 3 工程の後に、前記一方のセンサーについての前記第 3 端子と前記第 4 端子との間の電流値と、前記他方のセンサーについての前記第 3 端子と前記第 4 端子との間の電流値との差分値を測定する第 4 工程と、を含む、検出方法。

[14] 前記第 1 工程の前に、前記第 1 容量電極および前記第 2 容量電極の残留電荷を除去する工程をさらに含む、[12] または [13] に記載の検出方法。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、電極を反応部に繰り返し接触させる必要がないため、高い精度で安定して被検出物質の有無を検出し、または被検出物質の濃度を測定することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]従来のセンサーの構成を示す断面図である。

[図2]本発明のセンサーの構成の一例を示す断面図である。

[図3]図 3 A～E は、図 2 に示されるセンサーの製造工程を示す図である。

[図4]図 4 A, B は、本発明のセンサーモジュールの構成の一例を示す図である。

[図5]図 5 A, B は、本発明のセンサーモジュールの構成の別の例を示す図である。

[図6]図 6 A～C は、動作原理を説明するための本発明のセンサーの断面図である。

[図7]実施形態 1 に係るセンサーの部分拡大断面図である。

[図8]図 7 において破線で示される部分の部分拡大平面図である。

[図9]実施形態2に係るセンサーの部分拡大断面図である。

[図10]実施形態3に係るセンサーの部分拡大断面図である。

[図11]実施形態4に係るセンサーの部分拡大断面図である。

[図12]可変抵抗素子を取り囲むように第2容量電極を配置したセンサーの平面図である。

[図13]図13A, Bは、確認実験1～3で使用した素子の構成を示す断面図である。

[図14]図14A, Bは、確認実験1～3で用いた2種類の回路を示す図である。

[図15]確認実験1の測定結果を示すグラフである。

[図16]確認実験2の測定結果を示すグラフである。

[図17]確認実験3の測定結果を示すグラフである。

[図18]図18A, Bは、確認実験4～6で使用した素子の構成を示す断面図である。

[図19]図19A～Cは、確認実験4～6で用いた3種類の回路を示す図である。

[図20]確認実験4の測定結果を示すグラフである。

[図21]確認実験5の測定結果を示すグラフである。

[図22]確認実験6の測定結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

[0016] [センサーの構成]

図2は、本発明のセンサーの構成の一例を示す断面模式図である。図2に示されるように、本発明のセンサー100は、第1容量電極110、第1端子112、第1絶縁膜120、第2絶縁膜130、第2容量電極140、第2端子142、可変抵抗素子150および反応部160を含む。

[0017] 第1容量電極110は、板状の導電体または半導体である。第1容量電極110は、センサー100の基板としても機能する。たとえば、第1容量電

極 110 は、不純物をドーピングしたシリコン基板である。第 1 容量電極 110 の素材のその他の例には、ゲルマニウムやヒ化ガリウム (GaAs)、リン化インジウム (InP)、テルル化亜鉛 (ZnTe)、アルミニウム、マグネシウムなどが含まれる。第 1 容量電極 110 の厚みは、特に限定されず、例えば 0.5 mm 程度である。

[0018] 第 1 端子 112 は、第 1 容量電極 110 に電氣的に接続されている。第 1 端子 112 を設けることで、第 1 容量電極 110 を外部電源と容易に接続することができる。第 1 端子 112 の位置は、特に限定されない。たとえば、第 1 端子 112 は、第 1 絶縁膜 120 上（その上に形成された層間膜上も含む）に配置される（図 5, 7~9 参照）。

[0019] 第 1 絶縁膜 120 は、第 1 容量電極 110 の一方の面に配置された絶縁膜であり、第 2 絶縁膜 130 は、第 1 容量電極 110 の他方の面に配置された絶縁膜である。第 1 絶縁膜 120 は、第 1 容量電極 110 と第 2 容量電極 140 との間、および第 1 容量電極 110 と可変抵抗素子 150 との間を絶縁する。第 1 絶縁膜 120 は、前記機能を発揮することができれば、第 1 容量電極 110 の一方の面の全面に配置されていてもよいし、一部にのみ配置されていてもよい。また、第 1 絶縁膜 120 の膜厚は、一定であってもよいし、場所ごとに異なってもよい。第 2 絶縁膜 130 は、第 1 容量電極 110 と反応部 160 との間を絶縁する。第 2 絶縁膜 130 は、前記機能を発揮することができれば、第 1 容量電極 110 の他方の面の全面に配置されていてもよいし、一部にのみ配置されていてもよい。第 2 絶縁膜 130 の膜厚は、一定であってもよいし、場所ごとに異なってもよいが、反応部 160 が配置される領域では、第 2 絶縁膜 130 の膜厚は、一定であることが好ましい。第 1 絶縁膜 120 および第 2 絶縁膜 130 は、いずれも単層であってもよいし、2 層以上から構成されていてもよい。

[0020] 第 1 絶縁膜 120 および第 2 絶縁膜 130 は、例えば酸化シリコン膜である。第 1 絶縁膜 120 および第 2 絶縁膜 130 の素材のその他の例には、窒化シリコンや酸化アルミニウム、酸化チタン、アクリル樹脂、ポリイミドな

どが含まれる。第1絶縁膜120および第2絶縁膜130の膜厚は、特に限定されない。

[0021] 第2容量電極140は、第1絶縁膜120上に配置されている、導電体または半導体からなる部材である。第2容量電極140は、第1絶縁膜120を介して第1容量電極110と対向している。第1容量電極110、第1絶縁膜120および第2容量電極140は、容量（キャパシタ）を構成する。第2容量電極140は、例えばポリシリコン、金属または合金からなる膜である。第2容量電極140を構成する金属および合金の例には、アルミニウム、アルミニウム合金、銅、銅合金などが含まれる。なお、第1容量電極110が不純物をドーピングしたシリコン基板であり、第2容量電極140が不純物をドーピングしたポリシリコン膜である場合は、第1容量電極110にドーピングされた不純物の極性と、第2容量電極140にドーピングされた不純物の極性は、同じであってもよいが、互いに異なることが好ましい。

[0022] 可変抵抗素子150は、第1絶縁膜120上に配置されており、トランスデューサーとして機能する。可変抵抗素子150は、第1絶縁膜120上に配置された基体152と、基体152の一方の端部に電氣的に接続された第3端子154と、基体152の他方の端部に電氣的に接続された第4端子156とを含む。後述するように、センサー100を用いて被検出物質を検出するときには、第3端子154と第4端子156との間に電圧を印加した状態で、第3端子154と第4端子156との間に流れる電流を測定する。可変抵抗素子150（基体152）は、第1容量電極110内に蓄積された孤立電荷、および反応部160で生成された電荷に誘起された第1容量電極110内の電荷の影響で抵抗値が変化する。

[0023] 基体152は、例えばカーボンナノチューブまたはポリシリコン膜である。基体152がポリシリコン膜である場合は、基体152は、低濃度の不純物をドーピングしたポリシリコン膜であってもよいし、ノンドーピングポリシリコン膜であってもよい。第3端子154および第4端子156は、例えばアルミニウム膜である。また、基体152がポリシリコン膜である場合は、第3端

子154および第4端子156は、不純物をドーピングしたポリシリコン膜であってもよい。基体152が低濃度の不純物をドーピングしたポリシリコン膜であり、第3端子154および第4端子156が不純物をドーピングしたポリシリコン膜である場合は、基体152にドーピングされた不純物の極性と、第3端子154および第4端子156にドーピングされた不純物の極性とは、同じであることが好ましい。なお、基体152がポリシリコン膜であり、第3端子154および第4端子156が不純物をドーピングしたポリシリコン膜であり、かつ第1容量電極110が不純物をドーピングしたシリコン基板である場合は、第1容量電極110にドーピングされた不純物の極性と、第3端子154および第4端子156にドーピングされた不純物の極性とは、同じであってもよいが、互いに異なることが好ましい。

[0024] 基体152の形状および大きさは、特に限定されない。外部からのシールド効果を利用する観点からは、基体152は、第2容量電極140に囲まれていることが好ましい。したがって、基体152の大きさは、第2容量電極140に囲まれうる大きさであることが好ましい。

[0025] 反応部160は、第2絶縁膜130上に配置されており、被検出物質を含みうる検体を提供される。反応部160では、第2絶縁膜130上に被検出物質と反応できる認識物質162が予め固定化されている。認識物質162の種類は、被検出物質と反応できれば特に限定されず、有機物質であってもよいし、無機物質であってもよい。認識物質162の例には、抗体、抗原、酵素、レクチン、核酸などが含まれる。反応部160に検体を提供されると、検体に含まれる被検出物質と、第2絶縁膜130上に固定化されている認識物質162とが反応する。

[0026] なお、本実施の形態では、第1容量電極110と反応部160との間に第2絶縁膜130が存在するセンサー100について説明したが、第2絶縁膜130は無くてもよい。すなわち、反応部160は、第1容量電極110の他方の面に直接配置されていてもよい。この場合、認識物質は、第1容量電極110の他方の面に固定化される。

[0027] [センサーの製造方法]

センサー 100 の製造方法は、特に限定されない。センサー 100 は、一般的な半導体素子の製造工程により製造されうる。

[0028] 以下、センサー 100 の製造工程について説明する。図 3 は、図 2 に示されるセンサー 100 の製造工程の一例を示す図である。なお、ここでは、第 1 端子 112 および第 2 端子 142 の形成工程については説明を省略する。

[0029] まず、図 3 A に示されるように、第 1 容量電極 110 の両面に第 1 絶縁膜 120 および第 2 絶縁膜 130 をそれぞれ形成する。たとえば、第 1 容量電極 110 が不純物をドーピングしたシリコン基板の場合、熱酸化法や LOCOS 法により、所望の膜厚の酸化シリコン膜をシリコン基板上に形成することができる。なお、反応部 160 を第 1 容量電極 110 の他方の面に直接配置する場合は、第 2 絶縁膜 130 を形成しなくてもよい。

[0030] 次に、図 3 B, C に示されるように、第 1 絶縁膜 120 上の所定位置に可変抵抗素子 150 を形成する。図に示される例では、第 1 絶縁膜 120 上の所定位置に、矩形の不純物をドーピングされていないポリシリコン膜または低濃度の不純物をドーピングしたポリシリコン膜（基体 152）を形成する（図 3 B）。さらに、ポリシリコン膜（基体 152）の両端に不純物をドーピングすることで、第 3 端子 154 および第 4 端子 156 を形成する（図 3 C）。このとき、低濃度の不純物をドーピングしたポリシリコン膜（基体 152）の両端に不純物をドーピングして第 3 端子 154 および第 4 端子 156 を形成する場合、基体 152 にドーピングされた不純物の極性と、第 3 端子 154 および第 4 端子 156 にドーピングされた不純物の極性とは、同じであることが好ましい。また、第 1 容量電極 110 が不純物をドーピングしたシリコン基板である場合は、ポリシリコン膜の両端には、シリコン基板にドーピングされた不純物とは異なる極性の不純物をドーピングすることが好ましい。また、ポリシリコン膜（基体 152）の両端に金属からなる第 3 端子 154 および第 4 端子 156 をそれぞれ接続してもよい（図 5～9 参照）。

[0031] 次に、図 3 D に示されるように、第 1 絶縁膜 120 上の、可変抵抗素子

150と接触しない所定位置に第2容量電極140を形成する。たとえば、第1絶縁膜120上の所定位置に不純物をドーピングしたポリシリコン膜またはアルミニウム膜を形成する。このとき、第1容量電極110が不純物をドーピングしたシリコン基板であり、かつ第2容量電極140が不純物をドーピングしたポリシリコン膜である場合、第2容量電極140となるポリシリコン膜には、シリコン基板にドーピングされた不純物とは異なる極性の不純物をドーピングする。

[0032] 最後に、図3Eに示されるように、第2絶縁膜130上の所定の位置を認識物質162で修飾して、反応部160を形成する。たとえば、第2絶縁膜130上の所定の位置に抗体を固定化する。なお、反応部160を第1容量電極110の他方の面に直接配置する場合は、第1容量電極110の他方の面に抗体を固定化する。

[0033] 以上の手順により、図2に示されるセンサー100を製造することができる。後述するように、本発明のセンサーは、層間膜などをさらに有してもよい（図5，7～9参照）。

[0034] [センサーモジュールの構成]

図4は、本発明のセンサーモジュールの構成の一例を示す断面模式図である。図4Aは、センサーモジュールの断面模式図であり、図4Bは、センサーモジュールの平面模式図である。図4に示されるように、本発明のセンサーモジュール200は、本発明のセンサー100およびセンサーモジュール基板210を含む。図4では、センサー100の一部の構成要素を省略している（図5も同様）。

[0035] センサーモジュール基板210は、センサー100と外部機器（電源装置や測定装置など）とを接続させるための接続端子212を有する。接続端子212は、センサーモジュール基板210上に形成された第5端子214および第6端子216と電氣的に接続されている。

[0036] センサー100は、センサー100の可変抵抗素子150とセンサーモジュール基板210とが対向するように、センサーモジュール基板210に固

定されている。したがって、反応部160は、常に外部（ユーザー側）に露出した状態である。可変抵抗素子150の第3端子154および第4端子156は、それぞれ、センサーモジュール基板210の第5端子214および第6端子216に接続および固定されている。各端子の固定には、ハンダや銀ペーストなどの導電性固着材220などが使用される。また、センサー100をより確実にセンサーモジュール基板210に固定するために、センサー100とセンサーモジュール基板210との間に絶縁性接着剤を注入し、硬化させてもよい。

[0037] 図5は、本発明のセンサーモジュールの構成の別の例を示す断面模式図である。図5に示されるように、センサーモジュール200'は、同一仕様かつ同一特性の2つのセンサー100a, 100bを含んでいてもよい。一方のセンサー100aは検出用に使用され、他方のセンサー100bは参照用に使用される。外部の測定装置は、2つのセンサー100a, 100bの出力の差分値を利用して外部環境の影響を排除することができるため、より高精度かつ高感度に被検出物質を検出することができる。

[0038] [センサーの使用方法]

図6を参照しながら、センサー100を用いた被検出物質の検出手順の一例と、推察される検出メカニズムについて説明する。図6A~Cは、センサー100の動作原理を説明するためのセンサー100の断面模式図である。これらの図では、認識物質162が省略されている。

[0039] まず、第1端子112および第2端子142を電源に接続し（図中黒丸で表示）、第1容量電極110と第2容量電極140との間に所定の電圧を印加する。このとき、第1容量電極110の第1絶縁膜側の部分および第2容量電極140の第1絶縁膜側の部分に空乏層ができないように、電圧を印加することが好ましい。前述のとおり、第1容量電極110、第1絶縁膜120および第2容量電極140は、容量170を構成する。したがって、図6Aに示されるように、第1絶縁膜120および第2容量電極140内に印加電圧および容量170の容量値で一義的に制御できる電荷を蓄積することが

できる。

[0040] この後、第1端子112および第2端子142を電源から切り離し（図中白丸で表示）、第1容量電極110および第2容量電極140を孤立状態にする（図示省略）。これにより、第1容量電極110および第2容量電極140内の蓄積電荷が孤立電荷となる。この孤立電荷は、センサー100の検出感度に大きく影響を及ぼす。したがって、第1容量電極110と第2容量電極140との間に印加する電圧は、要求される検出感度に応じて適宜設定される。

[0041] この状態で、一度、可変抵抗素子150の第3端子154と第4端子156との間に所定の電圧を印加して（図中黒丸で表示）、第3端子154と第4端子156との間の電流値を測定する。

[0042] 次に、反応部160に検体を提供し、検体に含まれる被検出物質と第2絶縁膜130に固定化された認識分子162とを反応させる。図6Bに示されるように、この反応により第2絶縁膜130上には電荷が生成される。さらには、図6Cに示されるように、第1容量電極110内においても第2絶縁膜130上で生成した電荷の作る電界により分極する新たな電荷が誘起される。第2絶縁膜130が無い場合は、第1容量電極110の他方の面に直接固定化された認識分子162と、検体に含まれる被検出物質との反応で生成された電荷が作る電界により、第1容量電極110内に分極する電荷が新たに誘起される。

[0043] この状態で、再度、可変抵抗素子150の第3端子154と第4端子156との間に所定の電圧（一回目の測定と同じ電圧）を印加して、第3端子154と第4端子156との間の電流値を測定する。検体提供後の二回目の測定は、検体が乾燥する前に行ってもよいし、乾燥した後に行ってもよい。検体提供前の一回目の測定では、可変抵抗素子150の抵抗値が、第1容量電極110内に蓄積された孤立電荷により形成される電界で決まる。一方、検体提供後の二回目の測定では、可変抵抗素子150の抵抗値が、第1容量電極110内に蓄積された孤立電荷と、反応部160で生成された電荷によっ

て分極誘起された第1容量電極110内の電荷とにより形成される電界で決まる。したがって、検体提供前後の電流値の変化から、被検出物質の有無を検出または被検出物質の濃度を測定することができる。

[0044] 電界と可変抵抗素子150の抵抗値との関係を見た場合、通常、抵抗値が鋭敏に変化する範囲は限定されている。このため、反応部160での反応に起因する電界の変化により可変抵抗素子150の抵抗値が鋭敏に変化するよう、第1容量電極110内の孤立電荷の量を調整することが必要である。

[0045] 以上の手順により、センサー100を用いて被検出物質の有無を検出または被検出物質の濃度を測定することができる。

[0046] なお、検出精度を向上させる観点からは、第1容量電極110と第2容量電極140との間に電圧を印加する直前に第1容量電極110および第2容量電極140の残留電荷を除去することが好ましい。このようにすることで、第1容量電極110内の孤立電荷の量を、より高精度に制御することが可能となる。

[0047] [センサーモジュールの使用方法]

次に、図5に示されるセンサーモジュール200'を用いた被検出物質の検出手順の一例について説明する。

[0048] まず、検出用のセンサー100aおよび参照用のセンサー100bの両方について同時に、第1端子112および第2端子142を電源に接続し、第1容量電極110と第2容量電極140との間に所定の電圧を印加する。これにより、2つのセンサー100a、100bのそれぞれにおいて、第1絶縁膜120および第2容量電極140内に印加電圧および容量170の容量値で一義的に制御できる電荷を蓄積することができる。

[0049] この後、2つのセンサー100a、100bの両方について同時に、第1端子112および第2端子142を電源から切り離し、第1容量電極110および第2容量電極140を孤立状態にする。これにより、2つのセンサー100a、100bのそれぞれにおいて、第1容量電極110および第2容量電極140内の蓄積電荷が孤立電荷となる。

- [0050] この状態で、2つのセンサー100a, 100bのそれぞれにおいて、可変抵抗素子150の第3端子154と第4端子156との間に同一の所定の電圧を印加する。そして、検出用のセンサー100aにおける電流値と、参照用のセンサー100bにおける電流値との差分値を測定する。この差分値が0でない場合は、外部の測定装置において差分値が0となるようにオフセット調整をする。
- [0051] 次に、検出用のセンサー100aにおいて反応部160に検体を提供し、検体に含まれる被検出物質と反応部160に固定化された認識分子162とを反応させる。このとき、参照用のセンサー100bでは検体を提供しない。
- [0052] この状態で、再度、2つのセンサー100a, 100bのそれぞれにおいて、可変抵抗素子150の第3端子154と第4端子156との間に所定の電圧（一回目の測定と同じ電圧）を印加して、第3端子154と第4端子156との間の電流値を測定する。検体提供前の一回目の測定では、可変抵抗素子150の抵抗値が、第1容量電極110内に蓄積された孤立電荷により形成される電界で決まる。一方、検体提供後の二回目の測定では、可変抵抗素子150の抵抗値が、第1容量電極110内に蓄積された孤立電荷と、反応部160で生成された電荷によって分極誘起された第1容量電極110内の電荷とにより形成される電界で決まる。検体提供前に2つのセンサー100a, 100bの電流値の差分が0になるように調整してあるので、検体提供後の2つのセンサー100a, 100bの電流値の差分は、検出用のセンサー100aの反応部160で生成された電荷の効果のみを反映する値である。また、2つのセンサー100a, 100bの電流値の差分は、感度を向上させるために、外部の測定装置を用いて増幅されうる。したがって、2つのセンサー100a, 100bの電流値の差分値を測定することで、被検出物質の有無を検出または被検出物質の濃度を測定することができる。
- [0053] 以上のように、2つのセンサー100a, 100bの電流値の差分値を測定することで、2つのセンサー100a, 100bに共通する変動要因の影

響を解消でき、被検出物質の効果のみを高感度に検出することができる。すなわち、センサーモジュール200'を用いて、高感度かつ高精度に、被検出物質の有無を検出または被検出物質の濃度を測定することができる。

[0054] 以上のように、本発明のセンサー100およびセンサーモジュール200, 200'は、従来のセンサー(特許文献1, 2参照)のように電極を繰り返し接触させる必要がないため、高い精度で安定して被検出物質の有無を検出し、または被検出物質の濃度を測定することができる。また、本発明のセンサー100およびセンサーモジュール200, 200'は、第1容量電極110内の孤立電荷の量を調整することで、検出感度を容易にかつ安定して向上させることができる。

[0055] [センサーの第1絶縁膜側の構成例]

本発明のセンサーの第1絶縁膜120側の構成例について、図面を参照して詳細に説明する。以下の説明では、第2絶縁膜および反応部に関する説明を省略する。なお、各実施形態において、第2絶縁膜は無くてもよい。

[0056] (実施形態1)

図7は、実施形態1に係るセンサー300の部分拡大断面図である。図7では、第1容量電極310の一部、第2絶縁膜および反応部を省略している。図8は、図7において破線で示される部分の部分拡大平面図である。図8では、基体352の位置を破線で示している。図7に示される断面図は、図8に示されるA-A線の断面を示している。

[0057] 図7および図8に示されるように、センサー300は、第1容量電極310、第1端子312、第1絶縁膜320、第2絶縁膜(図示省略)、第2容量電極340、第2端子342、基体352、第3端子354、第4端子356、反応部(図示省略)および層間膜380を有する。

[0058] 第1容量電極310は、不純物がドーピングされたシリコン基板である。第1容量電極310の一方の面には酸化シリコンからなる第1絶縁膜320が形成されており、他方の面には酸化シリコンからなる第2絶縁膜(図示省略)が形成されている。第1絶縁膜320は、熱酸化法により形成された薄い酸

化シリコン膜320aと、LOCOS法により形成された厚い酸化シリコン膜320bとを含む。基体352および第2容量電極340の下部には、薄い酸化シリコン膜320aが形成される。一方、第1端子312および第2端子342、第3端子354および第4端子356の下部には、厚い酸化シリコン膜320bが形成される。

[0059] 第1端子312は、第1容量電極310と外部電源とを接続するための、アルミニウムからなる端子である。第1端子312は、層間膜380上に配置されており、層間膜380に設けられたコンタクトホールを介して第1容量電極310に電氣的に接続されている。

[0060] 第2容量電極340は、第1絶縁膜320上に配置されているポリシリコン膜である。第1容量電極310、第1絶縁膜320（薄い酸化シリコン膜320a）および第2容量電極340は、容量を構成する。

[0061] 第2端子342は、第2容量電極340と外部電源とを接続するための、アルミニウムからなる端子である。第2端子342は、層間膜380上に配置されており、層間膜380に設けられたコンタクトホールを介して第2容量電極340に電氣的に接続されている。

[0062] 基体352は、第1絶縁膜320（薄い酸化シリコン膜320a）上に配置されているノンドープポリシリコン膜または低濃度の不純物をドーピングしたポリシリコン膜である。基体352、第3端子354および第4端子356は、可変抵抗素子150を構成する。

[0063] 層間膜380は、第1絶縁膜320、第2容量電極340および基体352の上に形成されている絶縁膜である。層間膜380は、例えば酸化シリコン膜である。層間膜380は、基体352を保護すると共に、各端子（第1端子312、第2端子342、第3端子354および第4端子356）が所定の部材にのみ電氣的に接続されるように各部材間を絶縁する。層間膜380の素材の他の例には、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ジルコニウム、酸化チタンなどが含まれる。

[0064] 第3端子354は、基体352の一方の端部と外部電源とを接続するため

の、アルミニウムからなる端子である。同様に、第4端子356は、基体352の他方の端部と外部電源とを接続するためのアルミニウムからなる端子である。第3端子354および第4端子356は、層間膜380上に配置されており、層間膜380に設けられたコンタクトホールを介して基体352の一方の端部および他方の端部にそれぞれ電氣的に接続されている。

[0065] 実施形態1に係るセンサー300は、実施形態2~4に係るセンサー400、500、600に比べて単位面積あたりの電荷注入容量が大きいいため、より小型化することができる。また、実施形態1に係るセンサー300は、構成が単純であるため、より少ない工程で製造されうる。

[0066] (実施形態2)

図9は、実施形態2に係るセンサー400の部分拡大断面図である。図9では、第1容量電極310の一部、第2絶縁膜および反応部を省略している。以下の説明では、実施形態1に係るセンサー300と同一の構成要素については同一の符番を付し、その説明を省略する。

[0067] 図9に示されるように、センサー400は、第1容量電極310、第1端子312、第1絶縁膜420、第2絶縁膜(図示省略)、第2容量電極340、第2端子342、基体352、第3端子354、第4端子(図示省略)、反応部(図示省略)および層間膜380を有する。

[0068] 第1絶縁膜420は、熱酸化法により形成された薄い酸化シリコン膜420aおよび酸化シリコン膜420bと、LOCOS法により形成された厚い酸化シリコン膜420cとを含む。酸化シリコン膜420bの厚みは、酸化シリコン膜420aの厚みよりも大きい。基体352の下部には、薄い酸化シリコン膜420aが形成される。第2容量電極340の下部には、酸化シリコン膜420bが形成される。第1端子312、第2端子342、第3端子354および第4端子356の下部には、厚い酸化シリコン膜420cが形成される。第1容量電極310、第1絶縁膜420(熱酸化法により形成された酸化シリコン膜420b)および第2容量電極340は、容量を構成する。

[0069] 実施形態2に係るセンサー400は、実施形態1に係るセンサー300に比べて第2容量電極340と接する第1絶縁膜420（熱酸化法により形成された酸化シリコン膜420b）の厚みが大きいいため、第1容量電極310と第2容量電極340との間の第1絶縁膜420の欠陥密度を低減させることができる。実施形態2に係るセンサー400は、実施形態3、4に係るセンサー500、600に比べて単位面積あたりの電荷注入容量が大きいいため、より小型化することができる。実施形態2に係るセンサー400は、実施形態3、4に係るセンサー500、600に比べて構成が単純であるため、より少ない工程で製造されうる。

[0070] （実施形態3）

図10は、実施形態3に係るセンサー500の部分拡大断面図である。図10では、第1容量電極310の一部、第2絶縁膜および反応部を省略している。以下の説明では、実施形態1のセンサー300と同一の構成要素については同一の符番を付し、その説明を省略する。

[0071] 図10に示されるように、センサー500は、第1容量電極310、第1端子312、第1絶縁膜320、第2絶縁膜（図示省略）、第2容量電極540、第2端子342、基体352、第3端子354、第4端子（図示省略）、反応部（図示省略）、第1層間膜580aおよび第2層間膜580bを有する。

[0072] 第1層間膜580aは、第1絶縁膜320および基体352の上に形成されている絶縁膜である。第1層間膜580aは、例えば酸化シリコン膜である。第1層間膜580aは、第1絶縁膜320（薄い酸化シリコン膜320a）と共に、第1容量電極310と第2容量電極540との間を確実に絶縁する。第1層間膜580aの素材の他の例には、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ジルコニウム、酸化チタンなどが含まれる。

[0073] 第2容量電極540は、第1層間膜580a上に配置されているポリシリコン膜である。第1容量電極310、第1絶縁膜320（薄い酸化シリコン膜320a）、第1層間膜580aおよび第2容量電極540は、容量を構

成する。

[0074] 第2層間膜580bは、第2容量電極540および第1層間膜580aの上に形成されている絶縁膜である。第2層間膜580bは、例えば酸化シリコン膜である。第2層間膜580bは、各端子（第1端子312、第2端子342、第3端子354および第4端子356）が所定の部材にのみ電氣的に接続されるように各部材間を絶縁する。第2層間膜580bの素材の他の例には、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ジルコニウム、酸化チタンなどが含まれる。

[0075] 実施形態3に係るセンサー500は、実施形態1, 2に係るセンサー300, 400に比べて単位面積あたりの電荷注入容量が小さいが、容量の信頼性が高い。

[0076] (実施形態4)

図11は、実施形態4に係るセンサー600の部分拡大断面図である。図11では、第1容量電極310の一部、第2絶縁膜および反応部を省略している。以下の説明では、実施形態1のセンサー300と同一の構成要素については同一の符番を付し、その説明を省略する。

[0077] 図11に示されるように、センサー600は、第1容量電極310、第1端子312、第1絶縁膜320、第2絶縁膜（図示省略）、第2容量電極640、第2端子342、基体352、第3端子354、第4端子（図示省略）、反応部（図示省略）および層間膜680を有する。

[0078] 層間膜680は、第1絶縁膜320および基体352の上に形成されている絶縁膜である。層間膜680は、例えば酸化シリコン膜である。層間膜680は、基体352を保護すると共に、各端子（第1端子312および第2端子342、第3端子354、第4端子356）が所定の部材にのみ電氣的に接続されるように各部材間を絶縁する。層間膜680の材料の他の例には、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ジルコニウム、酸化チタンなどが含まれる。

[0079] 第2容量電極640は、層間膜680上に配置されているアルミニウム膜

である。第1容量電極310、第1絶縁膜320（薄い酸化シリコン膜320a）、層間膜680および第2容量電極640は、容量を構成する。

[0080] 実施形態4に係るセンサー600は、実施形態1に係るセンサー300と同じ工程数で製造可能でありながら、容量の信頼性が高い。

[0081] なお、上記実施形態1～4では、可変抵抗素子150（基体352、第3端子354および第4端子356）の横に第2容量電極340、540、640を配置する例を示したが、可変抵抗素子150を取り囲むように第2容量電極340、540、640を配置してもよい。図12は、可変抵抗素子150を取り囲むように第2容量電極340、540、640を配置したセンサー300、400、500、600の平面図である。この図では、層間膜を省略している。このように可変抵抗素子150を取り囲むように第2容量電極340、540、640を配置することで、電化蓄積処理後に電源を切り離れたときの電荷の再配列の影響を抑制することができる。

[0082] [センサーの特性]

2種類の素子を用いて本発明のセンサーの特性を確認した。

[0083] （確認実験1～3で使用した素子）

確認実験1～3では、図13に示される素子700を用いて実験を行った。確認実験1～3では、第1容量電極と、可変抵抗素子の基体の一部を利用した第2容量電極とで構成される小さな容量でも、本発明のセンサーの機能を実現できることを確認した。

[0084] 図13Aに示されるように、素子700は、p型不純物がドーパされたシリコン基板（第1容量電極）710と、シリコン基板710の一方の面に形成された酸化シリコン膜（第1絶縁膜）720と、シリコン基板710の他方の面に形成された酸化シリコン膜（第2絶縁膜）730と、酸化シリコン膜720上に配置された可変抵抗素子750と、酸化シリコン膜730上に配置された裏面電極760とを有する。可変抵抗素子750は、幅30 μ mのノンドープポリシリコン膜（基体）752の両端にn型不純物をドーパして第3端子754および第4端子756を形成することで作製した。シリコ

ン基板 710 の側面には、シリコン基板 710 と第 3 端子 754 および第 4 端子 756 との間に電荷注入用の電圧 (V_c) を印加するための電源に接続するための第 1 端子 712 が形成されている。

[0085] 素子 700 では、第 2 容量電極を形成せずに、第 3 端子 754 および第 4 端子 756 に第 2 容量電極の機能を担わせた。したがって、図 13 B に示されるように、シリコン基板 710 と第 3 端子 754 および第 4 端子 756 との間に電荷注入電圧 (V_c) を印加すると、シリコン基板 710 と第 3 端子 754 および第 4 端子 756 との間に容量 770 が形成される。

[0086] 確認実験 1～3 では、素子 700 の電気特性の測定を目的としていることから、反応部を形成せずに、反応部の代わりに所望の電圧 V_2 を印加するための裏面電極 760 を設けた。裏面電極 760 は、酸化シリコン膜 730 上に銀ペーストを塗布し、乾燥させることで作製した。

[0087] 図 14 は、確認実験 1～3 で用いた 2 種類の実験回路を示す図である。図 14 A に示される回路は、シリコン基板 710 と第 3 端子 754 および第 4 端子 756 との間に形成される容量 770 に電荷を蓄積するための回路である。図 14 B に示される回路は、シリコン基板 710 に電荷を蓄積した後に、第 3 端子 754 および第 4 端子 756 間の電流 I_1 を測定するための回路である。図 14 B に示される回路では、シリコン基板 710 は、電源から切り離された孤立状態である。

[0088] (確認実験 1)

確認実験 1 では、電荷注入用の印加電圧 (V_c) と、第 3 端子 754 - 第 4 端子 756 間の電流 (I_1) との関係を確認した。

[0089] 図 14 A に示される回路において、シリコン基板 710 と第 3 端子 754 および第 4 端子 756 との間に形成された容量 770 に電圧 V_c を印加し、シリコン基板 710 内に印加電圧 V_c に見合う電荷を蓄積させた。次いで、図 14 B に示される回路において、第 3 端子 754 - 第 4 端子 756 間に 1 V の電圧 (V_1) を印加した状態で、第 3 端子 754 - 第 4 端子 756 間の電流 (I_1) を測定した。この手順の測定を、印加電圧 V_c を 0 V から 10 V まで 1

V間隔で変えながら繰り返し行った。

[0090] 図15は、測定結果を示すグラフである。このグラフから、シリコン基板710内に電荷を蓄積するための印加電圧 V_c を適切に選択することで、可変抵抗素子750に流れる電流(I_1)の変化の検知感度を向上させることができる。

[0091] (確認実験2)

確認実験2では、裏面電極760に印加される電圧 V_2 と、第3端子754-第4端子756間の電流(I_1)との関係を、電荷蓄積時の印加電圧 V_c を変えながら繰り返し測定し、測定値の再現性を確認した。図16は、測定結果を示すグラフである。

[0092] 図14Aに示される回路において、シリコン基板710と第3端子754および第4端子756との間に形成された容量770に+5Vの電圧 V_c を印加して、シリコン基板710内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで、図14Bに示される回路において、第3端子754-第4端子756間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、裏面電極760に印加される電圧 V_2 を-20V~+20Vの範囲で掃引して、第3端子754-第4端子756間の電流(I_1)を測定した。測定結果を、符番「1」の曲線で図16に示す。

[0093] 次いで、図14Aに示される回路において、シリコン基板710と第3端子754および第4端子756との間に形成された容量770に-5Vの電圧 V_c を印加して、シリコン基板710内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで、図14Bに示される回路において、第3端子754-第4端子756間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、裏面電極760に印加される電圧 V_2 を-20V~+20Vの範囲で掃引して、第3端子754-第4端子756間の電流(I_1)を測定した。測定結果を、符番「2」の曲線で図16に示す。

[0094] 次いで、図14Aに示される回路において、シリコン基板710と第3端子754および第4端子756との間に形成された容量770に0Vの電圧 V_c を印加して、シリコン基板710内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで

、図14Bに示される回路において、第3端子754－第4端子756間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、裏面電極760に印加される電圧 V_2 を $-20V \sim +20V$ の範囲で掃引して、第3端子754－第4端子756間の電流(I_1)を測定した。測定結果を、符番「3」の曲線で図16に示す。

[0095] 次いで、図14Aに示される回路において、シリコン基板710と第3端子754および第4端子756との間に形成された容量770に+5Vの電圧 V_0 を印加して、シリコン基板710内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで、図14Bに示される回路において、第3端子754－第4端子756間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、裏面電極760に印加される電圧 V_2 を $-20V \sim +20V$ の範囲で掃引して、第3端子754－第4端子756間の電流(I_1)を測定した。測定結果を、符番「4」の曲線で図16に示す。

[0096] 次いで、図14Aに示される回路において、シリコン基板710と第3端子754および第4端子756との間に形成された容量770に $-5V$ の電圧 V_0 を印加して、シリコン基板710内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで、図14Bに示される回路において、第3端子754－第4端子756間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、裏面電極760に印加される電圧 V_2 を $-20V \sim +20V$ の範囲で掃引して、第3端子754－第4端子756間の電流(I_1)を測定した。測定結果を、符番「5」の曲線で図16に示す。

[0097] 次いで、図14Aに示される回路において、シリコン基板710と第3端子754および第4端子756との間に形成された容量770に0Vの電圧 V_0 を印加して、シリコン基板710内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで、図14Bに示される回路において、第3端子754－第4端子756間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、裏面電極760に印加される電圧 V_2 を $-20V \sim +20V$ の範囲で掃引して、第3端子754－第4端子756間の電流(I_1)を測定した。測定結果を、符番「6」の曲線で図16に示す。

。

[0098] 図16のグラフから、印加電圧 V_c による履歴現象はないことがわかる。すなわち、 $V_2 - I_1$ 特性は印加電圧 V_2 で一義的に決まり、再現性も良好であることがわかる。

[0099] (確認実験3)

確認実験3では、第3端子754－第4端子756間の電流(I_1)の経時変化を確認した。

[0100] 図14Aに示される回路において、シリコン基板710と第3端子754および第4端子756との間に形成された容量770に+7Vの電圧 V_c を60秒間印加し、シリコン基板710内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで、図14Bに示される回路において、第3端子754－第4端子756間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、第3端子754－第4端子756間の電流(I_1)の経時変化を測定した。なお、この測定では、裏面電極760と電圧 V_2 を印加するための電源とを切り離した。

[0101] 図17は、測定結果を示すグラフである。図17Aと図17Bとでは、縦軸の数値範囲が異なっている。図17において、Aは電圧 V_c を印加したタイミングを示し、Bはシリコン基板710を孤立状態にしたタイミングを示す。これらのグラフから、シリコン基板710に蓄積された電荷で決まる、可変抵抗素子750に流れる電流(I_1)は、時間の経過とともに減少することがわかる。これは、シリコン基板710中の蓄積電荷が時間の経過とともにリークしたためであると考えられる。電荷を蓄積している容量770の容量値が小さいことが、測定環境に存在する浮遊容量を介した蓄積電荷のリークに対する耐性の弱さをもたらしていると考えられる。

[0102] (確認実験4～6で使用した素子)

確認実験4～6では、図18に示される素子800を用いて実験を行った。確認実験4～6では、図13Aに示される素子700における容量770に比較して任意に大きな容量を形成することができる容量専用の第2容量電極を有する素子800を用いて、容量専用の第2容量電極を有することの効

果を確認した。

[0103] 図18Aに示されるように、素子800は、n型不純物がドーピングされたシリコン基板（第1容量電極）810と、シリコン基板810の一方の面に形成された酸化シリコン膜（第1絶縁膜）820と、シリコン基板810の他方の面に形成された酸化シリコン膜（第2絶縁膜）830と、酸化シリコン膜820上に配置されたアルミニウム膜（第2容量電極）840と、酸化シリコン膜820上に配置された可変抵抗素子850と、酸化シリコン膜830上に配置された裏面電極860とを有する。可変抵抗素子850は、幅 $2600\mu\text{m}$ のノンドーピングポリシリコン膜（基体）852の両端にp型不純物をドーピングして第3端子854および第4端子856を形成することで作製した。シリコン基板810の側面には、シリコン基板810とアルミニウム膜840との間に電荷注入用の電圧（ V_C ）を印加するための電源に接続するための第1端子812が形成されている。アルミニウム膜（第2容量電極）840の面積は、図13Aに示される素子700における容量770に比較して任意に大きな容量を形成することができる面積である。アルミニウム膜840は、第2端子としても機能する。

[0104] 確認実験4～6では、素子800の電気特性の測定を目的としていることから、反応部を形成せずに、反応部の代わりに所望の電圧 V_2 を印加するための裏面電極860を設けた。裏面電極860は、酸化シリコン膜830上に銀ペーストを塗布し、乾燥させることで作製した。

[0105] 図19は、確認実験4～6で用いた3種類の実験回路を示す図である。図19Aに示される回路は、シリコン基板810とアルミニウム膜840との間に形成される容量870に電荷を蓄積するための回路である。図19Bに示される回路は、シリコン基板810に電荷を蓄積した後に、第3端子854および第4端子856間の電流 I_1 を測定するための回路である。図19Bに示される回路では、シリコン基板810は、電源から切り離された孤立状態である。図18Cに示される回路は、シリコン基板810に電荷を蓄積した後に、裏面電極860を外部容量に接続した状態で、第3端子854およ

び第4端子856間の電流 I_1 を測定する回路である。図19Cに示される回路では、裏面電極860を外部容量に接続することで、反応部における認識物質と被検出物質との反応で生成する孤立電荷を模擬している。

[0106] (確認実験4)

確認実験4では、電荷注入用の印加電圧(V_C)と、第3端子854-第4端子856間の電流(I_1)との関係を確認した。

[0107] 図19Aに示される回路において、シリコン基板810とアルミニウム膜840との間に形成された容量870に電圧 V_C を印加し、シリコン基板810内に印加電圧 V_C に見合う電荷を蓄積させた。次いで、図19Bに示される回路において、第3端子854-第4端子856間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、第3端子854-第4端子856間の電流(I_1)を測定した。この手順の測定を、印加電圧 V_C を0Vから-4Vまで0.1V間隔で変えながら繰り返し行った。

[0108] 図20は、測定結果を示すグラフである。このグラフから、素子700と同様に、シリコン基板810内に電荷を蓄積するための印加電圧 V_C を適切に選択することで、可変抵抗素子850に流れる電流(I_1)の変化の検知感度を向上させることが分かる。なお、素子700と素子800とで得られた特性曲線の向きが異なるのは、シリコン基板810にドーパされた不純物の極性、第3端子854および第4端子856にドーパされた不純物の極性および印加電圧の極性が逆であるためである。

[0109] (確認実験5)

確認実験5では、第3端子854-第4端子856間の電流(I_1)の経時変化を確認した。

[0110] 図19Aに示される回路において、シリコン基板810とアルミニウム膜840との間に形成された容量870に-3Vの電圧 V_C を15秒間印加し、シリコン基板810内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで、図19Bに示される回路において、第3端子854-第4端子856間に1Vの電圧(V_1)を印加した状態で、第3端子854-第4端子856間の電流(I_1)の経

時変化を測定した。

[0111] 図21は、測定結果を示すグラフである。図21Aと図21Bとでは、縦軸の数値範囲が異なっている。これらのグラフから、シリコン基板810に蓄積された電荷で決まる、可変抵抗素子850に流れる電流 (I_1) は、時間が経過してもほとんど変化しないことがわかる。これは、シリコン基板810とアルミニウム膜840との間に形成された容量870の効果によるものと考えられる。これらのことから、シリコン基板810とアルミニウム膜840との間に容量870を形成することで、素子800における孤立電荷リークの影響を解消できることがわかる。

[0112] (確認実験6)

確認実験6では、本発明のセンサーが反応部において生成した電荷を検出できるかどうかを確認するために、素子800が裏面で生成した電荷を検出できるかどうかを確認した。

[0113] まず、図19Aに示される回路において、シリコン基板810とアルミニウム膜840との間に形成された容量870に-3Vの電圧 V_C を15秒間印加し、シリコン基板810内に所定量の電荷を蓄積させた。次いで、図19Cに示される回路において、SW3を切り離した状態で、第3端子854-第4端子856間の電流 (I_1) を測定した(測定No.1)。以後、第3端子854-第4端子856間の電流 (I_1) を継続して測定した。第3端子854-第4端子856間の印加電圧 V_1 は、1Vとした。

[0114] 次いで、図19Cに示される回路において、SW1およびSW2を接続し、SW3を切り離して外部容量Cに-1Vの電圧 V_3 を印加し、負電荷を蓄積させた。この後、SW1およびSW2を切り離すとともにSW3を接続して外部容量Cに蓄積された電荷を裏面電極860に伝達させた後、SW3を切り離した状態で、第3端子854-第4端子856間の電流 (I_1) を測定した(測定No.2)。

[0115] 次いで、SW1およびSW2を接続し、SW3を切り離して外部容量Cに-2Vの電圧 V_3 を印加し、負電荷を蓄積させた。この後、SW1およびSW

2を切り離すとともにSW3を接続して外部容量Cに蓄積された電荷を裏面電極860に伝達させた後、SW3を切り離した状態で、第3端子854－第4端子856間の電流(I_1)を測定した(測定No.3)。外部容量Cに印加する電圧の切り替えは、40秒ごとに行った。

[0116] 以後同様に、 -3V の電圧 V_3 、 -4V の電圧 V_3 を外部容量に順次印加して、SW3を切り離した状態で、第3端子854－第4端子856間の電流(I_1)を測定した(測定No.4, 5)。

[0117] 図22は、測定結果を示すグラフである。図22において、「A」は -1V の V_3 を印加したタイミングを示し、「B」は -2V の V_3 を印加したタイミングを示し、「C」は -3V の V_3 を印加したタイミングを示し、「D」は -4V の V_3 を印加したタイミングを示す。また、丸数字は、測定No.を示す。このグラフから、外部容量Cに電荷を蓄積する印加電圧 V_3 に応じて、可変抵抗素子850を流れる電流 I_1 が変化することがわかる。これは、素子800が裏面で生成した電荷を検出できることを意味する。

[0118] 以上の結果から、本発明のセンサーでは、裏側の反応部で生成した電荷を検出できることがわかる。

[0119] 本出願は、2012年10月18日出願の特願2012-230740に基づく優先権を主張する。当該出願明細書および図面に記載された内容は、すべて本願明細書に援用される。

産業上の利用可能性

[0120] 本発明に係るセンサーは、例えば、感染症の検出や、食物の安全性の確認、環境汚染物質の検出などに適している。

符号の説明

- [0121] 10 センサー
11 シリコン基板
12 第1絶縁膜
13 第2絶縁膜
14 チャネル

15 ソース電極
16 ドレイン電極
17 反応部
18 ゲート電極
19 認識物質
20 実験用素子
100, 100a, 100b, 300, 400, 500, 600 センサ

—

110, 310 第1容量電極
112, 312, 712, 812 第1端子
120, 320, 420 第1絶縁膜
130 第2絶縁膜
140, 340, 540, 640, 840 第2容量電極
142, 342, 842 第2端子
150 可変抵抗素子
152, 352 基体
154, 354, 754, 854 第3端子
156, 356, 756, 856 第4端子
160 反応部
162 認識物質
170 容量
200, 200' センサーモジュール
210 センサーモジュール基板
212 接続端子
214 第5端子
216 第6端子
220 導電性固着材
380, 680 層間膜

- 580 a 第1層間膜
- 580 b 第2層間膜
- 700, 800 素子
- 710, 810 シリコン基板
- 720, 730, 820, 830 酸化シリコン膜
- 750, 850 可変抵抗素子
- 752, 852 ノンドープポリシリコン膜
- 760, 860 裏面電極
- 770, 870 シリコン基板と第2端子との間に形成される容量
- 840 アルミニウム膜

請求の範囲

- [請求項1] 板状の導電体または半導体からなる第1容量電極と、
前記第1容量電極に電氣的に接続された、外部と電氣的に接続される第1端子と、
前記第1容量電極の一方の面に配置された第1絶縁膜と、
前記第1絶縁膜を介して前記第1容量電極の一部と対向するように配置された、導電体または半導体からなる第2容量電極と、
前記第2容量電極に電氣的に接続された、外部と電氣的に接続される第2端子と、
前記第1絶縁膜上に配置された基体、前記基体の一方の端部に電氣的に接続された第3端子および前記基体の他方の端部に電氣的に接続された第4端子を含む可変抵抗素子と、
前記第1容量電極の他方の面上に直接または第2絶縁膜を介して配置された反応部と、
を有する、センサー。
- [請求項2] 前記第1容量電極は、不純物をドーピングしたシリコン基板である、請求項1に記載のセンサー。
- [請求項3] 前記基体は、カーボンナノチューブまたはポリシリコン膜である、請求項1に記載のセンサー。
- [請求項4] 前記基体は、ノンドーピングポリシリコン膜である、請求項3に記載のセンサー。
- [請求項5] 前記第1容量電極は、不純物をドーピングしたシリコン基板であり、
前記基体は、ポリシリコン膜であり、
前記第3端子および前記第4端子は、不純物をドーピングしたポリシリコン膜である、
請求項3または請求項4に記載のセンサー。
- [請求項6] 前記第1容量電極にドーピングされた不純物の極性と前記第3端子および前記第4端子にドーピングされた不純物の極性とは、互いに異なる、請

求項5に記載のセンサー。

[請求項7] 前記第2容量電極は、ポリシリコン、金属または合金からなる膜である、請求項1に記載のセンサー。

[請求項8] 前記第1容量電極は、不純物をドーピングしたシリコン基板であり、前記第2容量電極は、不純物をドーピングしたポリシリコン膜であり、前記第1容量電極にドーピングされた不純物の極性と前記第2容量電極にドーピングされた不純物の極性とは、互いに異なる、請求項7に記載のセンサー。

[請求項9] 前記反応部では、被検出物質と反応しうる認識物質が、前記第1容量電極の前記他方の面または前記第2絶縁膜の表面に固定化されている、請求項1に記載のセンサー。

[請求項10] 請求項1～9のいずれか一項に記載のセンサーと、前記センサーと外部機器とを接続させるためのセンサーモジュール基板と、を有し、前記センサーは、前記可変抵抗素子と前記センサーモジュール基板とが対向するように、前記センサーモジュール基板に固定されている、センサーモジュール。

[請求項11] 前記センサーモジュール基板には、2つの前記センサーが固定されている、請求項10に記載のセンサーモジュール。

[請求項12] 請求項1～9のいずれか一項に記載のセンサーまたは請求項10に記載のセンサーモジュールを用いて検体中の被検出物質を検出する方法であって、

前記第1端子および前記第2端子と電源とを電氣的に接続して、前記第1容量電極と前記第2容量電極の間に電圧を印加する第1工程と、

前記第1工程の後に、前記第1端子および前記第2端子を前記電源から電氣的に切断して、前記第1容量電極および前記第2容量電極を

前記電源から電氣的に切り離れた状態にする第2工程と、

前記第2工程の後に、前記反応部に検体を提供する第3工程と、

前記第3工程の後に、前記第3端子と前記第4端子との間の電流値を測定する第4工程と、

を含む、検出方法。

[請求項13]

請求項11に記載のセンサーモジュールを用いて検体中の被検出物質を検出する方法であって、

前記2つのセンサーの両方について同時に、前記第1端子および前記第2端子と電源とを電氣的に接続して、前記第1容量電極と前記第2容量電極の間に電圧を印加する第1工程と、

前記第1工程の後に、前記2つのセンサーの両方について同時に、前記第1端子および前記第2端子を前記電源から電氣的に切断して、前記第1容量電極および前記第2容量電極を前記電源から電氣的に切り離れた状態にする第2工程と、

前記第2工程の後に、前記2つのセンサーのうち一方のセンサーにおいて、前記反応部に検体を提供する第3工程と、

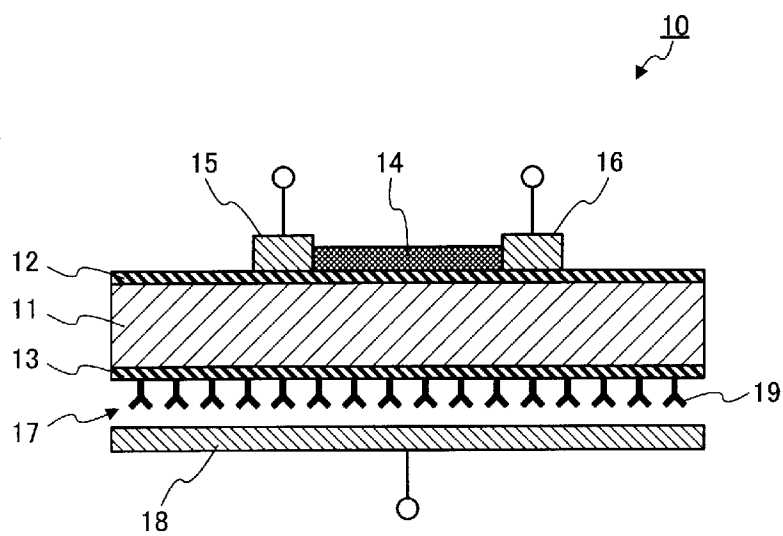
前記第3工程の後に、前記一方のセンサーについての前記第3端子と前記第4端子との間の電流値と、前記他方のセンサーについての前記第3端子と前記第4端子との間の電流値との差分値を測定する第4工程と、

を含む、検出方法。

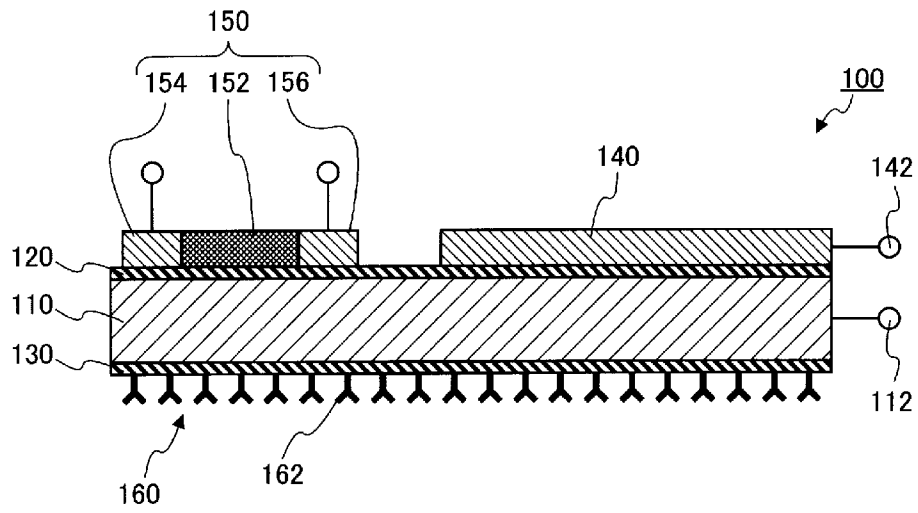
[請求項14]

前記第1工程の前に、前記第1容量電極および前記第2容量電極の残留電荷を除去する工程をさらに含む、請求項12または請求項13に記載の検出方法。

[図1]



[図2]



[図3]

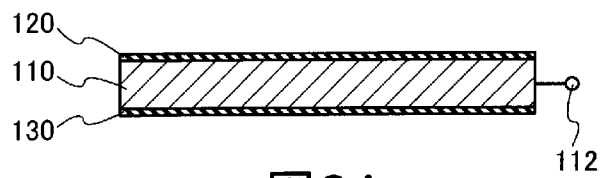


図3A

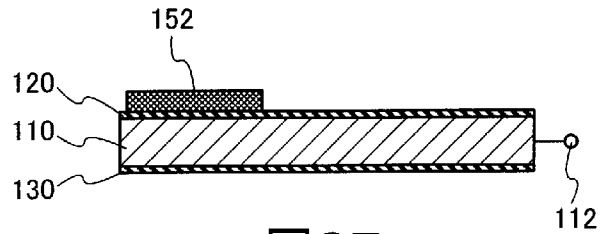


図3B

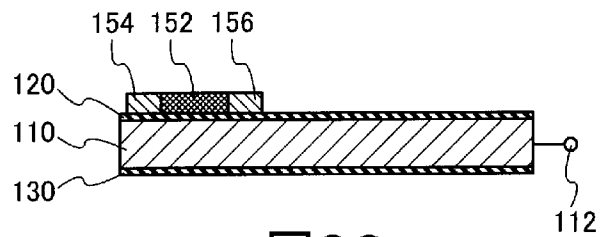


図3C

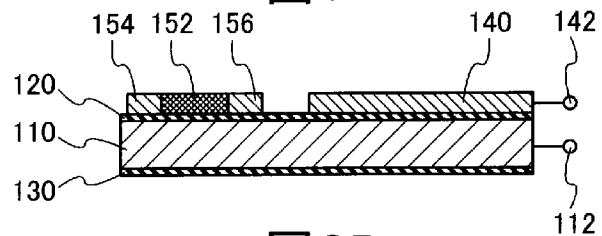


図3D

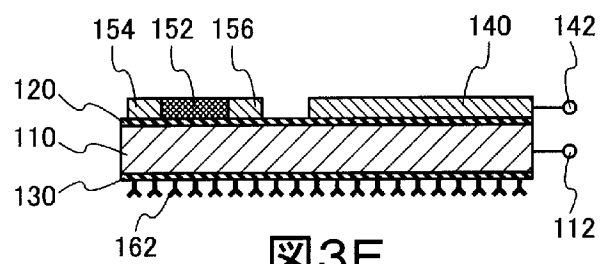


図3E

[図4]

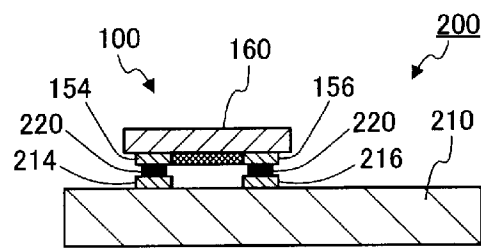


図4A

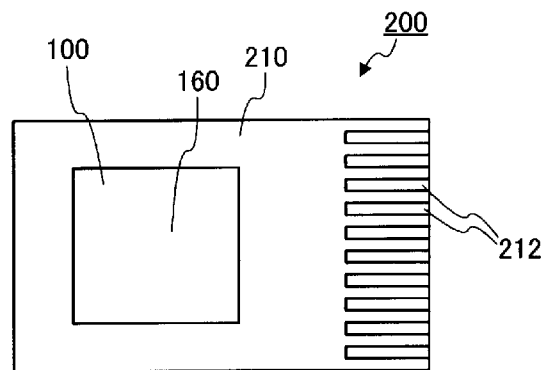


図4B

[図5]

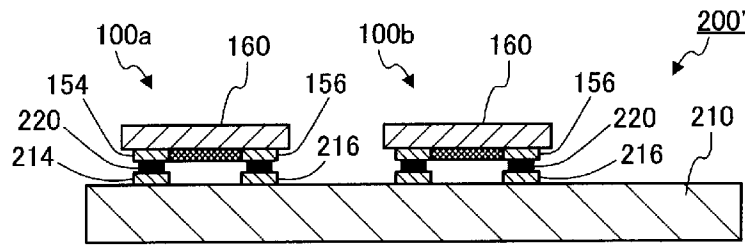


図5A

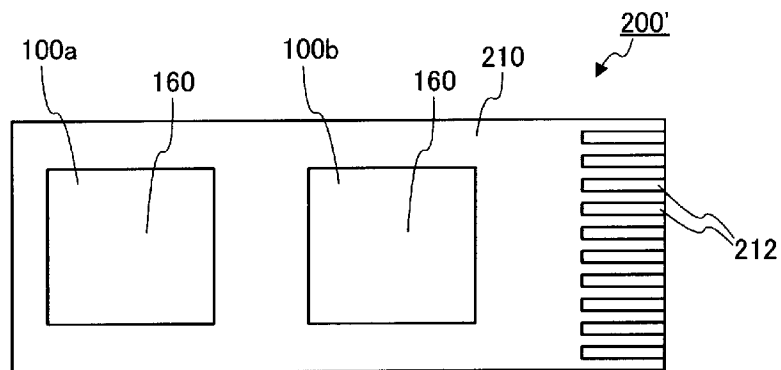


図5B

[図6]

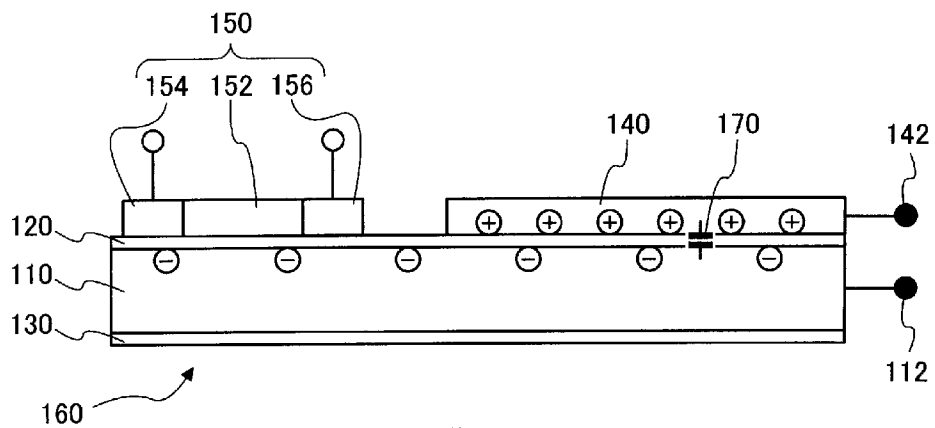


図6A

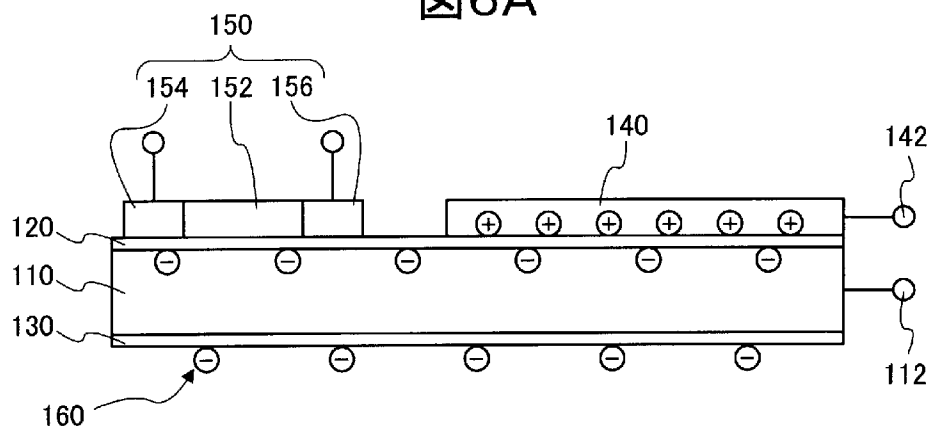


図6B

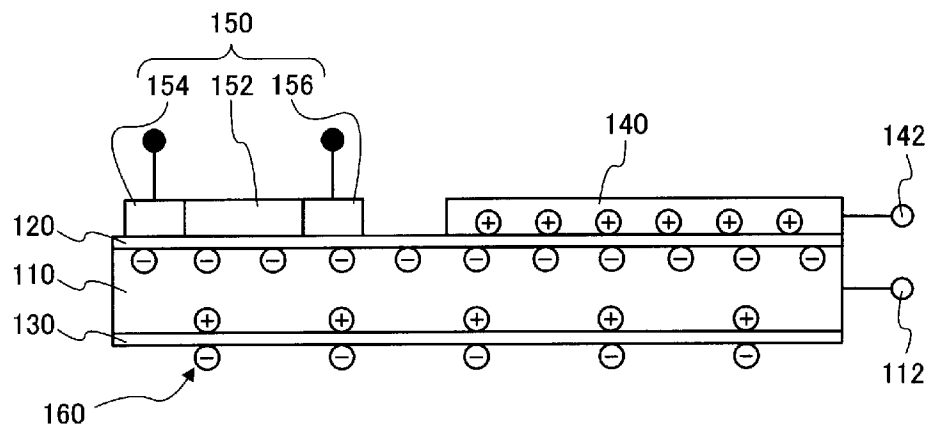
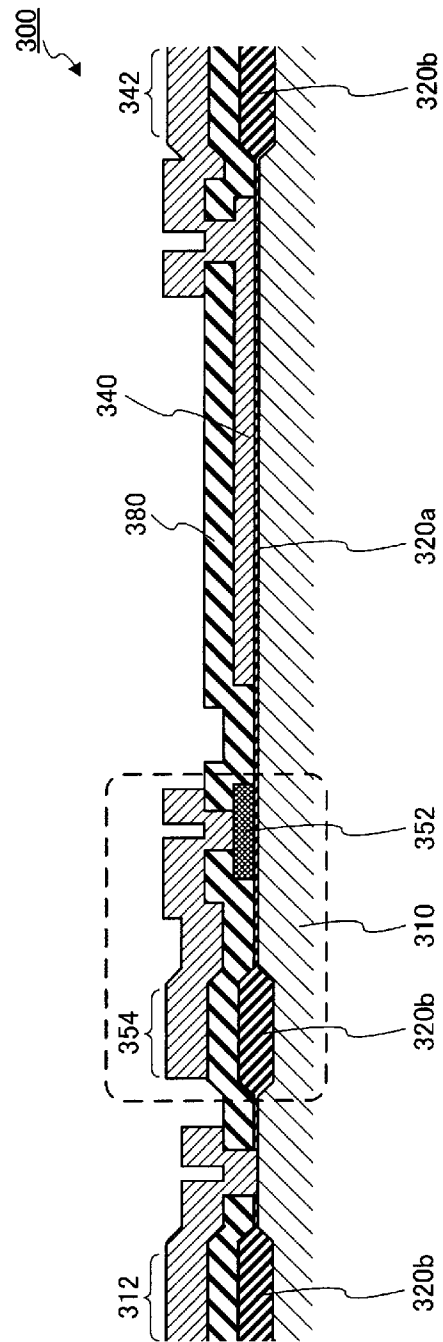
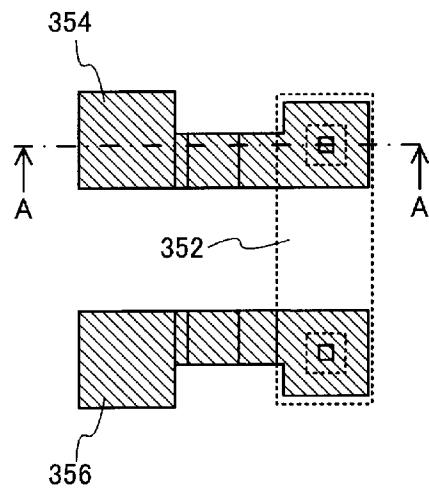


図6C

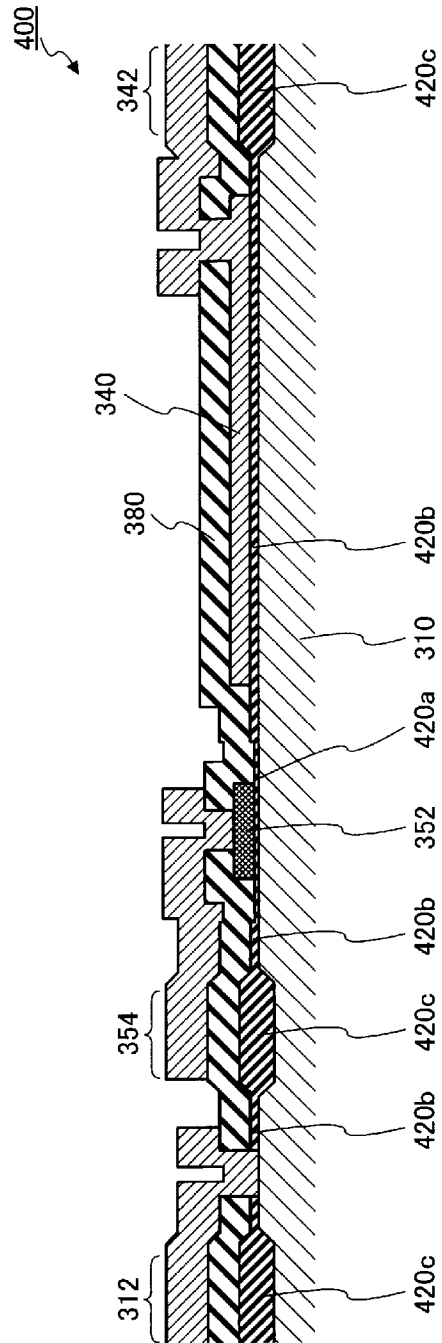
[図7]



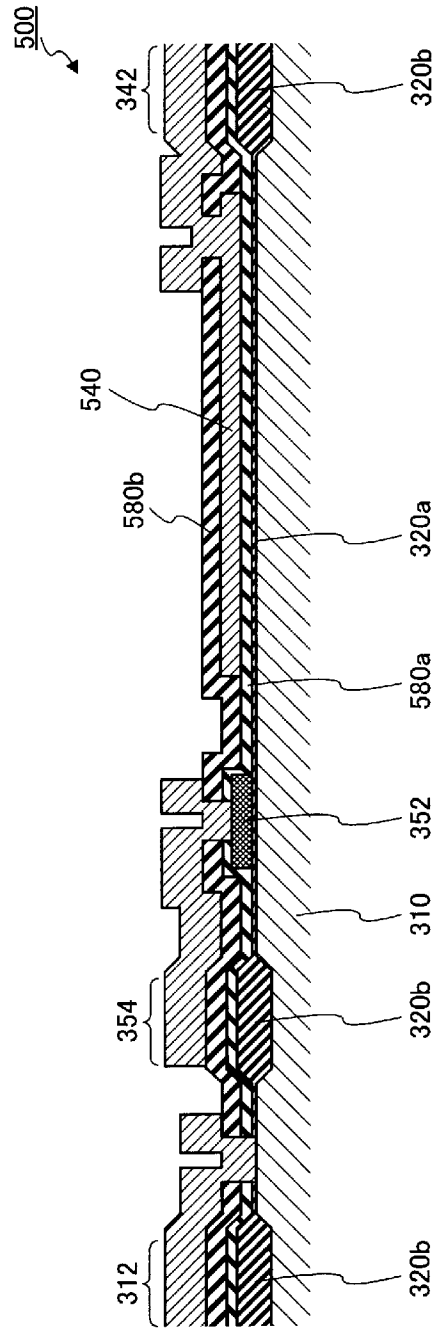
[図8]



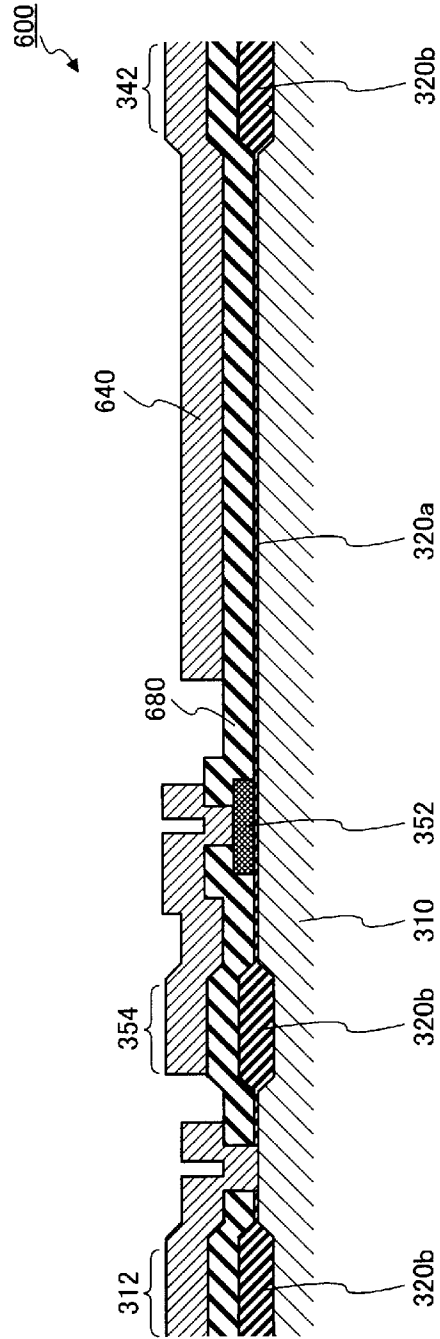
[図9]



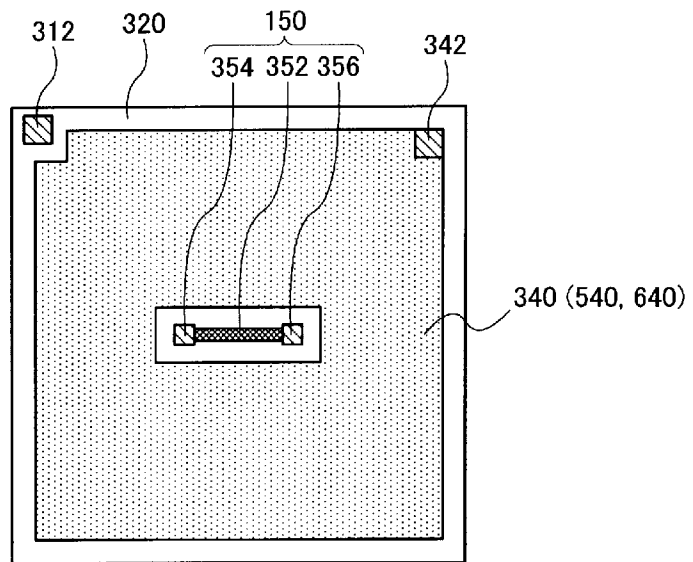
[図10]



[図11]



[図12]



[図13]

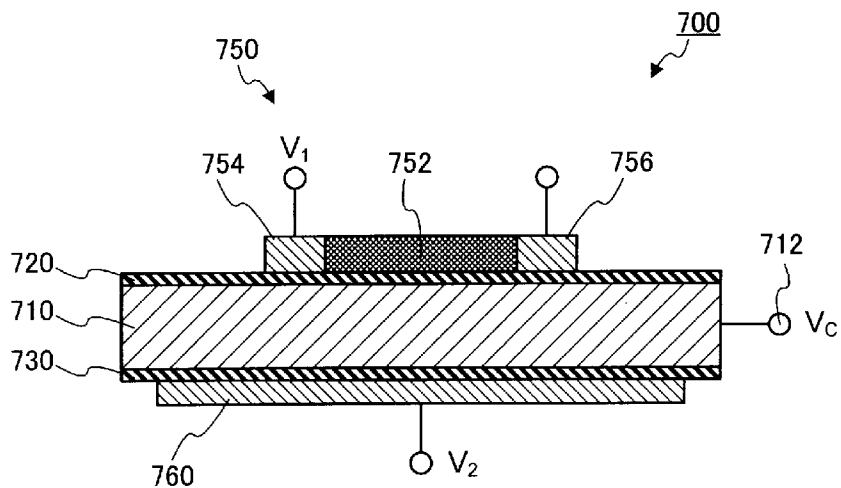


図13A

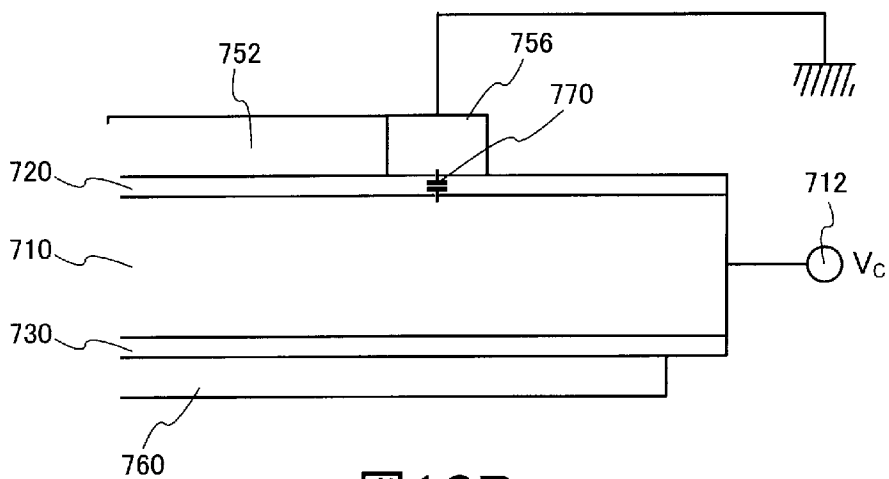


図13B

[図14]

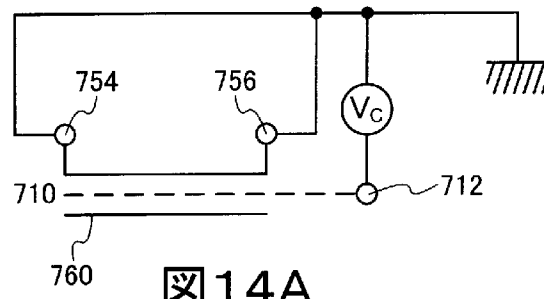


図 14A

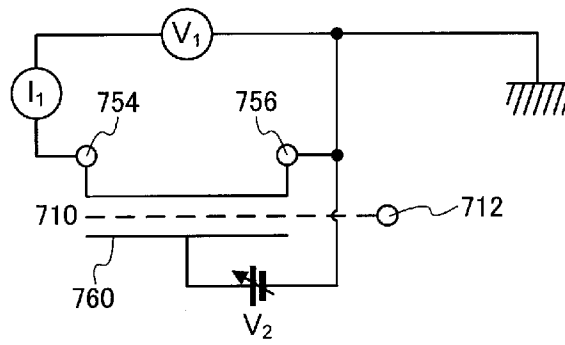
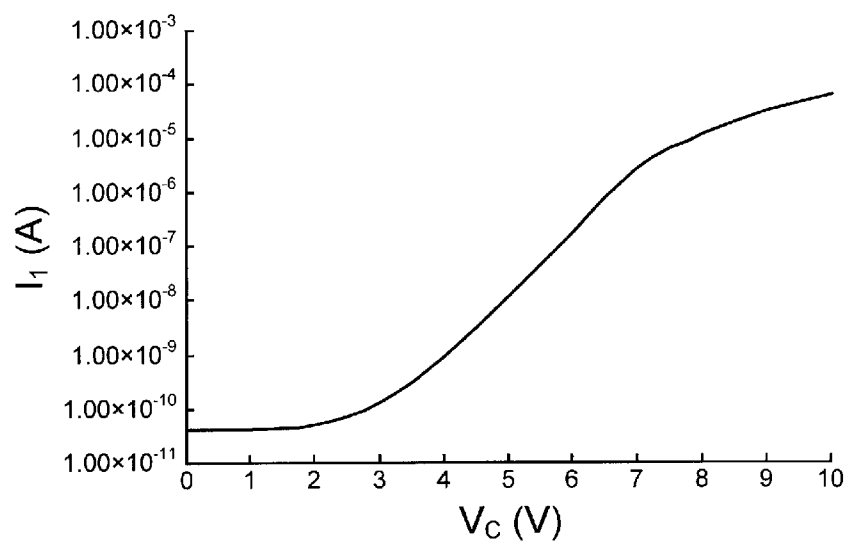


図 14B

[図15]



[図17]

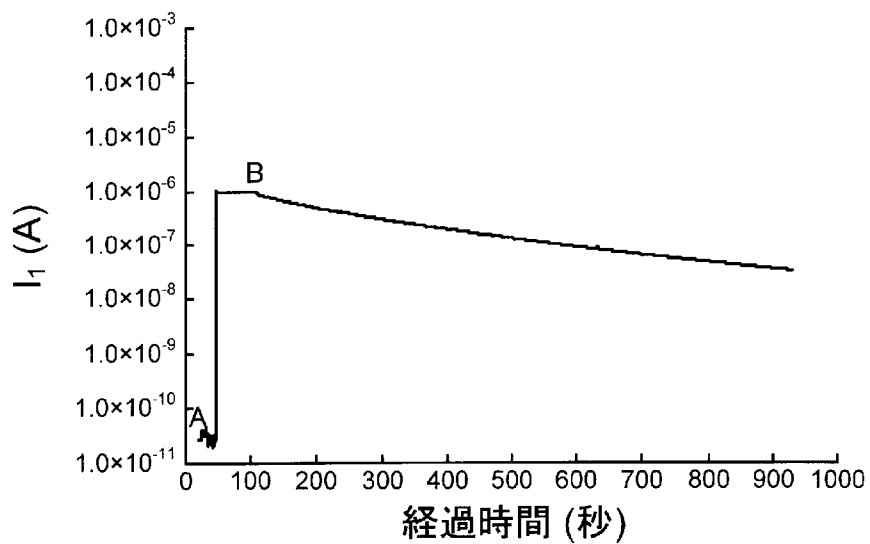


図17A

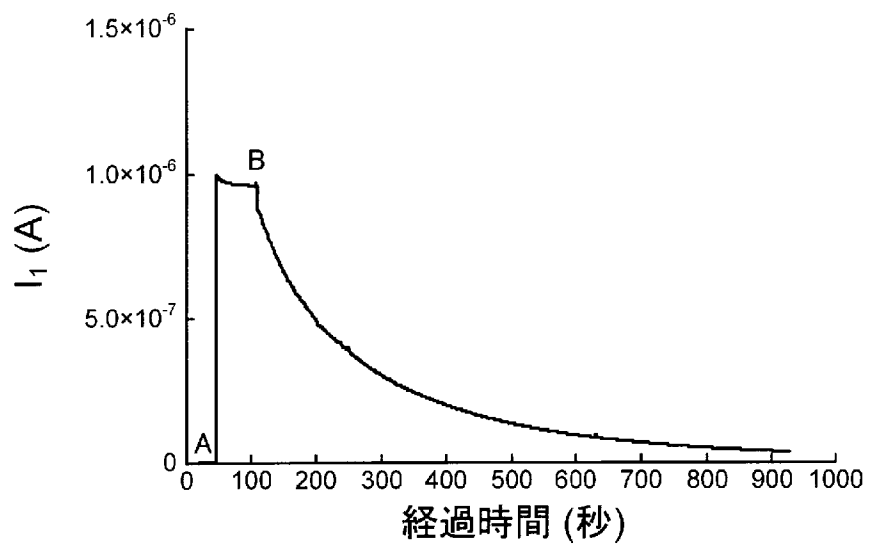


図17B

[図18]

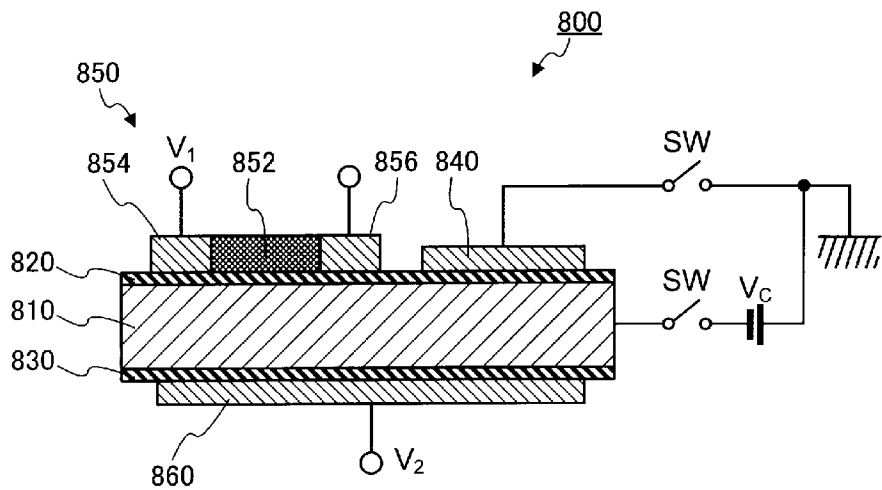


図18A

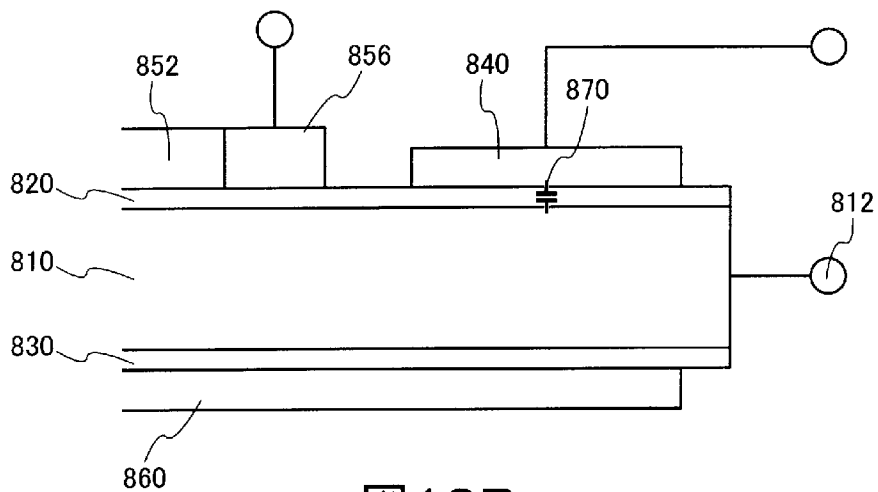


図18B

[図19]

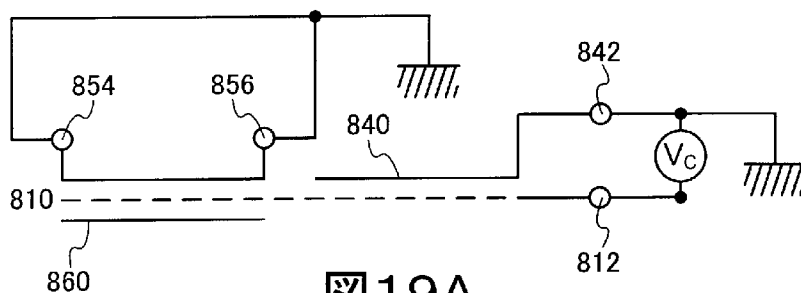


図 19A

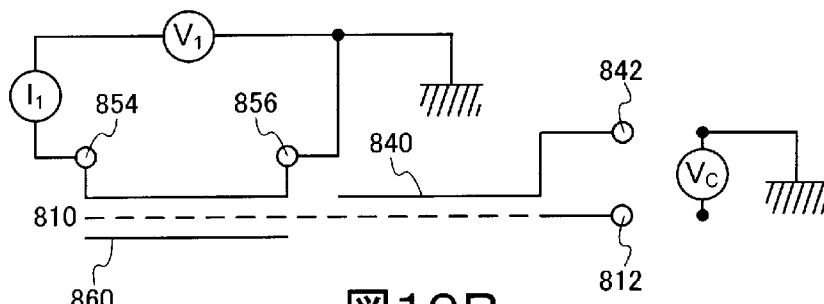


図 19B

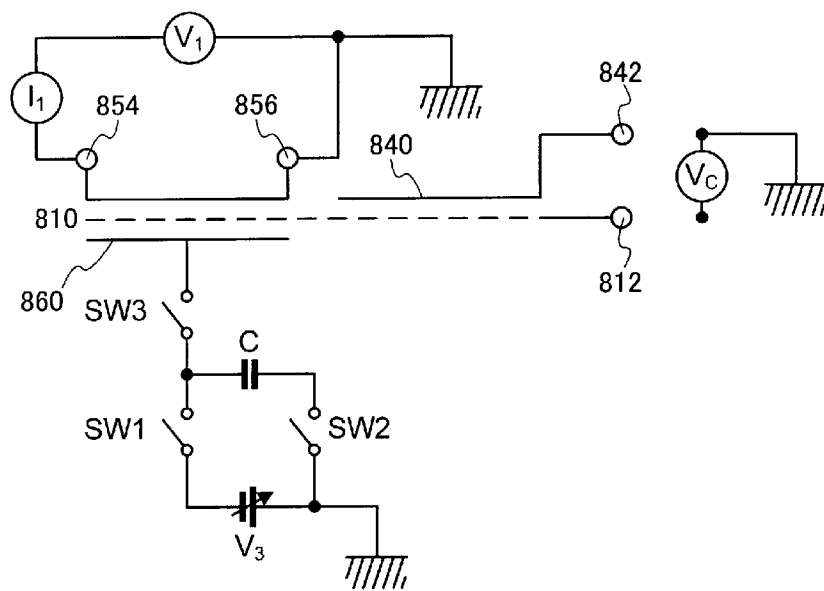
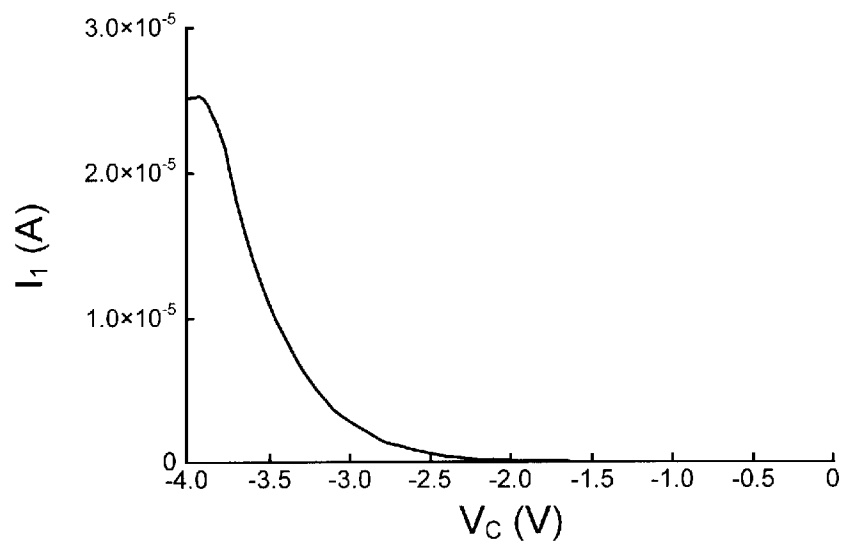


図 19C

[図20]



[図21]

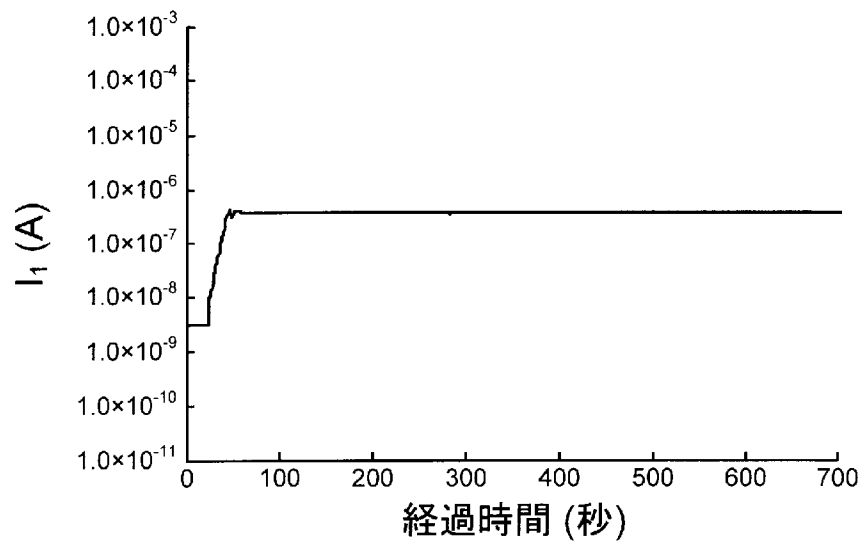


図21A

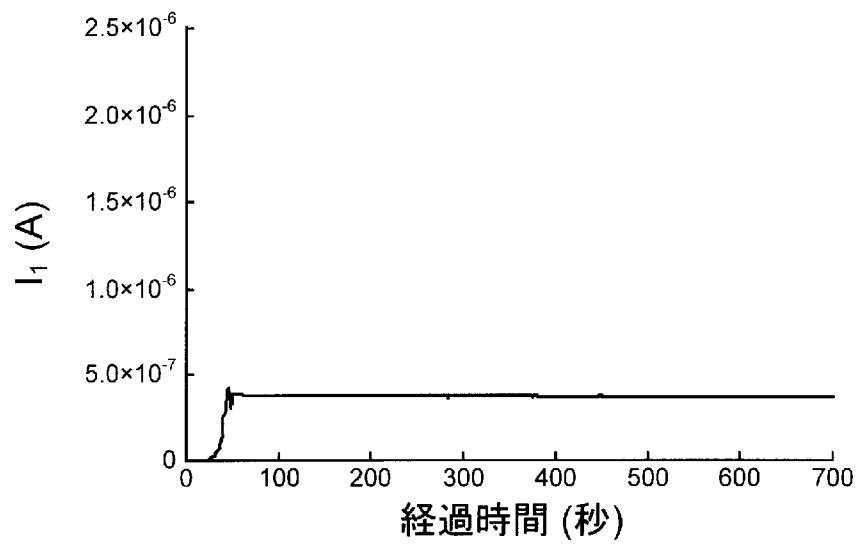
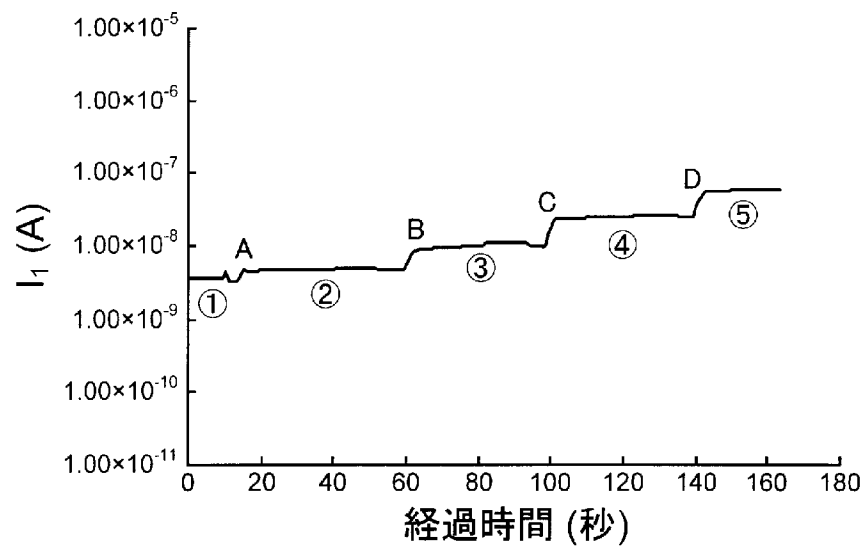


図21B

[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/006170

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N27/414(2006.01)i, H01L29/786(2006.01)i, H01L51/05(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)
G01N27/414, H01L29/786, H01L51/05

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
CAPLUS (STN), JSTPLUS/JMEDPLUS/JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Manu Sebastian Mannoor, Nanogap Dielectric Spectroscopy for Aptamer-Based Protein Detection, Biophysical Journal, 2010.02, Vol. 98/Iss.4, 724-732	1-14
A	US 2010/0047901 A1 (Nanomix, Inc.), 25 February 2010 (25.02.2010), & WO 2004/044586 A1	1-14
A	US 2002/0192653 A1 (Joseph Robert Stetter), 19 December 2002 (19.12.2002), (Family: none)	1-14
A	JP 2008-507703 A (Electronic Bio Sciences, L.L.C.), 13 March 2008 (13.03.2008), & WO 2006/012571 A1 & US 2008/0094076 A1	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 10 January, 2014 (10.01.14)	Date of mailing of the international search report 28 January, 2014 (28.01.14)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01N27/414(2006.01)i, H01L29/786(2006.01)i, H01L51/05(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. G01N27/414, H01L29/786, H01L51/05

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 1971-2014年
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年
 日本国登録実用新案公報 1994-2014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)
 CAplus(STN), JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

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
A	Manu Sebastian Mannoor, Nanogap Dielectric Spectroscopy for Aptamer-Based Protein Detection, Biophysical Journal, 2010.02, Vol.98/Iss.4, 724-732	1-14
A	US 2010/0047901 A1 (Nanomix, Inc.) 2010.02.25, & WO 2004/044586 A1	1-14
A	US 2002/0192653 A1 (Joseph Robert Stetter) 2002.12.19, (ファミリーなし)	1-14

C欄の続きにも文献が列挙されている。 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	の日の後に公表された文献
「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	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 10.01.2014	国際調査報告の発送日 28.01.2014
--------------------------	--------------------------

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) 吉田 将志 電話番号 03-3581-1101 内線 3252	2 J	4 6 3 6
---	--	-----	---------

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
A	JP 2008-507703 A (エレクトロニック・バイオサイエンス・エルエルシー) 2008.03.13, & WO 2006/012571 A1 & US 2008/0094076 A1	1-14