

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6353454号
(P6353454)

(45) 発行日 平成30年7月4日(2018.7.4)

(24) 登録日 平成30年6月15日(2018.6.15)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 N 27/00 (2006.01)	GO 1 N 27/00 J
GO 1 N 27/30 (2006.01)	GO 1 N 27/30 3 1 1 Z
HO 1 L 21/822 (2006.01)	HO 1 L 27/04 F
HO 1 L 27/04 (2006.01)	HO 1 L 29/06 6 O 1 N
HO 1 L 29/06 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 2 5
請求項の数 15 (全 13 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2015-536269 (P2015-536269)	(73) 特許権者	590000248
(86) (22) 出願日	平成25年10月11日 (2013.10.11)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ
(65) 公表番号	特表2016-502644 (P2016-502644A)		KONINKLIJKE PHILIPS N. V.
(43) 公表日	平成28年1月28日 (2016.1.28)		オランダ国 5656 アーエー アイン ドーフエン ハイテック キャンパス 5
(86) 国際出願番号	PCT/IB2013/059296		High Tech Campus 5, NL-5656 AE Eindhoven
(87) 国際公開番号	W02014/060916		
(87) 国際公開日	平成26年4月24日 (2014.4.24)	(74) 代理人	100122769
審査請求日	平成28年10月4日 (2016.10.4)		弁理士 笛田 秀仙
(31) 優先権主張番号	61/714,400		
(32) 優先日	平成24年10月16日 (2012.10.16)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 感知トランジスタアレイを備えた集積回路、感知装置及び測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体基板と、
前記基板上の絶縁層と、
前記絶縁層上の第1のトランジスタであって、ソース領域とドレイン領域との間に露出させられた機能化チャネル領域を有し、前記機能化チャネル領域は、媒体中の検体を感知するよう構成された、第1のトランジスタと、
前記絶縁層上の第2のトランジスタであって、ソース領域とドレイン領域との間に露出させられたチャネル領域を有し、前記チャネル領域は、前記媒体の電位を感知するよう構成された、前記ドレイン領域は、前記第1のトランジスタ及び前記第2のトランジスタに共通である、第2のトランジスタと、

前記第1のトランジスタ及び前記第2のトランジスタにバイアス電圧を供給するため前記半導体基板に導電的に結合された電圧バイアス生成器であって、前記第2のトランジスタに応答する、電圧バイアス生成器と、
を有する集積回路。

【請求項 2】

前記機能化チャネル領域は、対象検体を結合するための結合層により機能化された、請求項 1 に記載の集積回路。

【請求項 3】

前記機能化チャネル領域は、前記チャネル領域の化学修飾により機能化された、請求項

1 に記載の集積回路。

【請求項 4】

トランジスタのアレイを更に有し、前記アレイは、複数の前記第 1 のトランジスタ及び複数の前記第 2 のトランジスタを有する、請求項 1 又は 2 に記載の集積回路。

【請求項 5】

前記第 1 のトランジスタの各々が別個に機能化された、請求項 4 に記載の集積回路。

【請求項 6】

各前記チャネル領域がナノワイヤ又はナノチューブを有する、請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の集積回路。

【請求項 7】

前記ナノワイヤは、シリコンナノワイヤを有するか又はシリコンナノワイヤから成る、請求項 6 に記載の集積回路。

【請求項 8】

前記ナノチューブは、カーボンナノチューブを有するか又はカーボンナノチューブから成る、請求項 6 に記載の集積回路。

【請求項 9】

各前記チャネル領域は、酸化物膜により被覆された、請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の集積回路。

【請求項 10】

サンプル区画及び請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の集積回路を有し、前記第 1 のトランジスタ及び前記第 2 のトランジスタが前記サンプル区画に露出させられた、感知装置。

【請求項 11】

前記サンプル区画が流路を有する、請求項 10 に記載の感知装置。

【請求項 12】

それぞれの前記第 1 及び第 2 のトランジスタに個別に結合された信号プロセッサを更に有する、請求項 10 又は 11 に記載の感知装置。

【請求項 13】

媒体中の検体を測定する方法であって、

請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の集積回路を備えるステップと、

前記第 1 のトランジスタ及び前記第 2 のトランジスタを前記検体を潜在的に含む媒体に露出させるステップと、

前記第 2 のトランジスタを用いて前記媒体の電位を感知するステップと、

前記感知された前記媒体の電位に応じて、前記基板に供給されるバイアス電圧を調節するステップと、
を有する方法。

【請求項 14】

前記バイアス電圧を調節するステップに後続して、前記第 1 のトランジスタを流れるドレイン - ソース電流を測定するステップと、

前記測定されたドレイン - ソース電流から、前記検体の存在を導出するステップと、
を更に有する、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記測定するステップは、前記媒体の電位が一定となるような期間の間に実行される、請求項 14 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体基板と、前記基板上の絶縁層と、媒体中の検体を感知するための、ソース領域とドレイン領域との間に露出させられた機能化チャネルを有する第 1 のトランジスタを含む前記絶縁層上のトランジスタのアレイと、を有する集積回路 (IC) に関する

10

20

30

40

50

。

【 0 0 0 2 】

本発明は更に、斯かる I C を含む感知装置に関する。

【 0 0 0 3 】

本発明は更に、斯かる I C を用いて媒体中の対象検体を測定する方法に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 4 】

現在進んでいる半導体技術の小型化は、集積回路 (I C) のような半導体素子に組み込まれた機能の著しい多様化を可能としており、幾つかの場合においては、単一の素子における準総体的な方法の提供に導いている。例えば、半導体素子の小型化は、1つ以上のセンサを単一の半導体素子に集積化することをもたらししており、斯かる素子の展開は、例えば自動車用途、ヘルスケア用途、工業的な排煙監視等といった、広範な種々の技術領域においてみられる。

10

【 0 0 0 5 】

例えば、ここ数十年で、例えばイオン感应性電界効果トランジスタ (I S F E T) 、生体分子を感知する酵素機能化電界効果トランジスタ (E N F E T) 等のような、化学的電界効果トランジスタのような感知トランジスタが I C に付加されてきている。これらの電界素子は、該素子のチャネル領域が感知されるべき媒体に晒され、該チャネル領域を流れる電流が対象検体の関数となるようにするという原理で動作する。この目的のため、該素子は、フローティングゲートとして機能するゲート酸化物又は機能化された延長ゲートによりチャネル領域から離隔された機能化層を有しても良く、ここでゲート電位は、対象検体と機能化層との間の相互作用のレベルにより定義される。

20

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

I C のような電子素子において感知機能を提供することにおける大きな問題の1つは、半導体素子が経済的に実現可能な態様で製造され得ることである。このことは例えば、ナノワイヤベースのトランジスタのようなナノサイズの要素といったサブミクロンの大きさの感知要素が半導体素子に一体化されるべきである場合には、半導体素子全体の製造工程と両立する加工ステップを用いて斯かるナノサイズの要素を製造することが全く簡単ではないため、特に問題となる。それ故、斯かる専用の要素の一体化は、半導体素子の製造工程の複雑さの著しい増大をもたらし得るものであり、斯かる素子のコストの著しい増大をもたらし得る。

30

【 0 0 0 7 】

この点に関し特に問題となる点は、感知媒体が例えば液体又は気体のような流体である場合、センサ構成が通常、センサのドリフト、即ち対象媒体に対するセンサの時間的に変化する応答を補償するため、外部の基準センサ又は電極の存在を必要とする点である。斯かる構成の例は、米国特許出願公開US2004/0136866A1に開示されており、該文献においては、半導体ナノワイヤ感知要素に対する溶液の電位を制御するため、解析されるべき流体に基準電極が接触させられる。しかしながら、基準センサ又は電極を含むことは、センサ構成の設計を更に複雑化し、それ故更に電子素子のコストを増大させる。更に、基準電極の表面が付着物の影響を受けやすくなり得、この場合にはセンサの測定値が信頼性の低いものとなり得る。

40

【 0 0 0 8 】

本発明の目的は、別個の基準電極の必要性が回避される、冒頭段落による I C を提供することにある。

【 0 0 0 9 】

本発明の更なる目的は、斯かる I C を含む感知装置を提供することにある。

【 0 0 1 0 】

本発明の更なる目的は、斯かる I C を用いた対象検体を測定する方法を提供することに

50

ある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

独立請求項により定義される本発明は、本目的を少なくとも部分的に達成する。従属請求項は、有利な実施例を提供する。

【0012】

本発明の一態様によれば、本発明において定義される集積回路が提供される。第1のトランジスタが検体感知トランジスタであり、第2のトランジスタが媒体感知トランジスタであっても良い。

【0013】

本発明は、電界素子を用いた対象検体の測定が、媒体における電荷の総量が略一定となるような時間スケールで実行され得るという認識に基づいたものである。換言すれば、該媒体は、該測定の時間スケールにおいて、閉じた系又は孤立系とみなされ得る。このことは勿論、例えば閉じた流体セルのような真に閉じた系に適用可能であり、測定の時間スケールにおいて周囲環境から孤立しているとみなせる小さな局所的流体測定に対しても同様に適用可能である。従って、この時間スケールにおける該媒体中の電荷の保存のため、基準電位が背面ゲート電位の関数となることが示され得る。それ故、該媒体の実際の電位を測定することにより、即ち機能化されていない電界素子を用いた基準電位を測定することにより、該媒体（例えば対象の流体）の電位を設定するための別個の基準電極を備える必要なく、望ましい基準電位が該媒体において維持されるように、測定された基準電位に応じて背面ゲート電位が調節されることができる。

【0014】

第1のトランジスタは、いずれかの適切な態様で、対象検体を感知するよう機能化されても良い。例えば、機能化されたチャンネル領域が、結合層によって機能化されても良いし、又は該チャンネル領域の化学修飾により機能化されても良い。代替としては、該チャンネル領域は、延長されたゲート、即ちチャンネル領域から空間的に離隔され、金属化構造によりチャンネル領域に導電的に結合されたゲートを介して、媒体に晒されても良い。酸化物膜のような酸化物層が典型的には、チャンネル領域と機能化層との間に存在し、フローティングゲートからチャンネル領域を電氣的に絶縁する。酸化物膜は、機能化層を提供するため、機能化された外側面を持っても良い。

【0015】

一実施例においては、該ICは、本発明において定義されるトランジスタのアレイを有する。このことは、幾つかの異なる対象検体、例えば異なる気体又は異なるDNA断片のような異なる生体分子が、同時に測定され得るという利点を持つ。この目的のため、該第1のトランジスタの各々は、別個に機能化されても良く、即ち、各第1のトランジスタが、異なる対象検体を検出するように機能化されても良い。本発明はこのとき、指紋法のために用いられることができる。代替としては、複数の第1のトランジスタが、同一の検体を、異なる感度及び/又は検出レベルで感知するよう構成されても良い。

【0016】

本発明は、シリコンナノワイヤのようなナノワイヤ又はカーボンナノチューブのようなナノチューブを有するチャンネル領域のような、サブミクロンの寸法のチャンネル領域を持つトランジスタが備えられた感知ICに、特に適している。基準電極は一般に異なる形状因子で別個に備えられる必要があるという事実のため、斯かるICについては、別個の基準電極を備えることは面倒でありコストが高い。それ故、本発明による、別個の基準電極の必要性を取り除くことは、特に斯かるサブミクロンの寸法の素子を含むICが、コスト効率の良い態様で製造されることができ、それを確実にする。特に、シリコンナノワイヤを有するICは、日常的に利用可能なCMOS加工工程を用いて製造されることができ、それ故特にコスト効率良く製造されることができ。

【0017】

本発明の他の態様によれば、本発明において定義される感知機器が提供される。斯かる

10

20

30

40

50

感知機器は、別個の基準電極の必要なく、例えば露出させられた第１のトランジスタを有する流れセルを通して流れる流体のような、サンプル区画中のサンプルにおける対象検体の存在及び／又は濃度の正確で信頼性の高い決定から利益を受ける。

【００１８】

該感知機器は更に、例えば少なくとも前記１つ以上の第１のトランジスタのソース又はドレイン領域に導電的に結合されたＩＣにおける結合パッドを介して、それぞれの感知トランジスタに個別に結合された信号プロセッサを有しても良い。

【００１９】

本発明の他の態様によれば、本発明において定義される媒体中の対象検体を測定する方法が提供される。

10

【００２０】

本発明の方法は、既に詳細に説明された、流体媒体の電位を制御するための基準電極の必要なく、気体又は液体のような流体中の対象検体の正確な測定を容易化する。

【００２１】

一実施例においては、本方法は更に、前記バイアス調節ステップに後続して、第１のトランジスタを流れるドレイン・ソース電流を測定するステップと、該測定されたドレイン・ソース電流から前記検体の存在を導出するステップと、を有する。とりわけ、該測定ステップは、該媒体の電位が該測定の間一定となるような時間スケールで実行されても良い。これらの条件の下では、該媒体の電位が背面ゲート電位の直接な関数となり、そのため当該電位は、別個の基準電極の必要なく、背面ゲート電位により制御されることができる。

20

【００２２】

本発明の実施例は、添付図面を参照しながら、限定するものではない例として、詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

【図１】本発明の実施例によるＩＣの一態様を模式的に示す。

【図２】本発明の実施例によるＩＣの他の態様を模式的に示す。

【図３（ａ）】基準電極による溶液中に生成される電位の輪郭プロット（上側）と、本発明の背面ゲートバイアス制御原理による同プロット（下側）とを示す。

30

【図３（ｂ）】基準電極による他の溶液中に生成される電位の輪郭プロット（上側）と、本発明の背面ゲートバイアス制御原理による同プロット（下側）とを示す。

【図４】本発明の実施例による背面ゲートバイアス電圧を用いてバイアスをかけられたときの、種々のＮａＣｌ溶液に晒されたＳｉナノワイヤＦＥＴから実験的に得られた応答を示す。

【図５】本発明のＩＣを製造する方法の実施例を模式的に示す。

【図６】本発明の実施例によるＩＣの更なる態様を模式的に示す。

【発明を実施するための形態】

【００２４】

図面は単に模式的なものであり、定縮尺で描かれていないことは、理解されるべきである。また、図面を通して、同一の参照番号が同一の又は類似する部分を示すために用いられていることも、理解されるべきである。

40

【００２５】

図１は、シリコン基板１１０と、パターン化された埋め込まれた酸化物層１２０と、チャネル領域としてシリコンナノワイヤ又はカーボンナノチューブのようなナノ構造を持つ複数の電界効果トランジスタ１４０と、を有するＩＣ１００を模式的に示す。複数の電界効果トランジスタ１４０は、アレイで配列されても良い。複数の電界効果トランジスタ１４０は典型的には、ソース領域１４２と共通ドレイン領域１４４との間に延在するシリコンナノワイヤのチャネル領域１４６を備えた少なくとも１つの第１のトランジスタ１４０を有するが、ＩＣ１００の電界効果トランジスタは、いずれの適切なチャネル領域構造

50

を持っていても良いことは、理解されるべきである。とりわけ、別の物質のナノワイヤのような他のサブミクロンの寸法のチャンネル領域構造、又は例えばカーボンナノチューブのような単一壁若しくは多壁のナノチューブのような別のナノ構造が、同様に実現可能である。

【0026】

本発明の文脈において、ナノワイヤとは、サブミクロンの寸法の断面を持ち、数百ナノメートル乃至数ミクロンの範囲に亘る長さを持つ、導電性の又は半導体の構造である。ナノワイヤは、中空でない構造であっても良いし、又は中空の構造であっても良く、円形の断面を持っていても良いし、又は例えば正方形又は長方形のような非円形の断面を持っていても良い。本明細において「ナノチューブ」なる語は、単一壁又は多壁のナノチューブを含むものと意図される。好適な実施例においては、ナノワイヤはシリコンナノワイヤであり、好適には以下に詳細に説明されるように酸化された外側面を持つ。

10

【0027】

第1のトランジスタ140aのチャンネル領域146aの露出面は、典型的には機能化層又は接合層148によって機能化され、該層は、例えばスピンコーティングのようないずれかの適切な蒸着手法を用いてチャンネル領域146aの上に蒸着させられても良いし、又は、例えばゲート酸化物の露出面のシラン処理により水素基若しくは(3-アミノプロピル)トリエトキシシラン(APTES)基を形成することによって、チャンネル領域146a若しくはチャンネル領域146a上のゲート酸化物の露出面を化学的に修飾することによって形成されても良い。斯かる感知面の機能化は、例えばChemFETの技術分野から当業者にはそれ自体が良く知られており、チャンネル領域146aの機能化の性質は本発明に重要ではなく、簡潔さのため本明細ではこの点については更には詳細に開示しない。

20

【0028】

IC100は、好適には機能化されていない電界効果トランジスタ140bを更に有し、該電界効果トランジスタ140bは、IC100の感知電界効果トランジスタ140a、140bがIC100の動作の間に露出させられた媒体又は流体の電位を測定することを意図される。第2のトランジスタ140bは、例えばシリコンナノワイヤチャンネル領域のようなチャンネル領域146b、又は、ソース領域142bと共通ドレイン領域144との間に延在する、以上に説明したような、他のいずれかの適切なチャンネル領域を持つ。第1のチャンネル領域146aと第2のチャンネル領域146bとは、ナノワイヤチャンネル領域に共通駆動電流を供給するためのドレイン領域を共有し、ここで個々のソース領域142a及び142bは、個々のナノワイヤチャンネル領域146a及び146bを通して誘導された電流の測定を可能とする。当該構成は単に限定するものではない例に過ぎず、感知トランジスタ140がソース領域を共有し、個々のドレイン領域を持つこと、又は個々のソース及びドレイン領域を持つこと、も同様に実現可能であることは理解されるべきであるが、後者は、これらの別個の領域に対する多くの接点が備えられる必要があるという事実のため、IC100の製造性を複雑化する。

30

【0029】

IC100は更に、例えばAu、Al、Ti及び/又はCuといった金属のような、いずれの適切な導体材料を用いて実現されても良い、例えば背面ゲート接点102を介して半導体基板110に導電可能に結合された、バイアス電圧生成器150を有する。バイアス電圧生成器150は、IC100の感知トランジスタ140a、140bのための共通ゲートとして基板110が機能するようにさせ、このとき基板110とチャンネル領域146a、146bとの間の酸化物層が底部ゲート酸化物として機能する。バイアス電圧生成器150は、第2のトランジスタ140bに導電可能に結合され、第2のトランジスタ140bにより感知される電位に応答可能である。特に、バイアス電圧生成器150は、基板110に印加されるバイアス電圧を調節することにより、媒体の電位を所定の値に保つよう構成される。

40

【0030】

このことは、本発明の実施例によるIC100の断面図を模式的に示す図2を参照しな

50

から、より良く理解されることができる。図2に示されるように、基板110は、コンデンサ200により記号的に示された第1のトランジスタ140aのナノワイヤチャネル領域に、容量結合されている（実際には基板110は、底部ゲート酸化物120上の全ての感知トランジスタ140a、140bに容量結合される）。更に、ナノワイヤチャネル領域146aは、上部ゲート酸化物（図示されていない）を介して、曲線矢印により示されるように、媒体に容量結合され、図2における構成は積層コンデンサ構成と同等となる。

【0031】

従って、基板110の可変のバイアス電位が媒体に容量結合されている事実のため、IC100の感知期間の間、媒体中の電荷の量が一定のままである限り、バイアス電圧生成器150により供給されるバイアス電圧の操作により、媒体の電位が調節されることができる。このことは、完全に閉じた系については常に成り立つが、測定の時間スケールにおいて系の空間の全体のうちの小さな空間のみが該空間の残りから孤立しているとみなせるような開いた系においても等しく成り立つ。それ故、媒体の電位が良く定義されているため、電流源160により誘導されるドレイン・ソース電位差により支配されるドレイン領域144とソース領域142との間に延在するナノワイヤチャネル領域146aを流れる電流は、媒体中の対象検体の存在（例えば濃度）に直接に関連するものとなる。

【0032】

一実施例においては、バイアス電圧生成器150は、第2のトランジスタ140bにより測定された媒体電位に応答してバイアス電圧が調節される、フィードバックループを、例えば以下のように実装しても良い。

REPEAT

IF ($V_{medium} > V_{set}$) THEN $V_{bias} := V_{bias} - x$

IF ($V_{medium} < V_{set}$) THEN $V_{bias} := V_{bias} + x$

UNTIL $V_{medium} = V_{set}$

ここで、 V_{medium} は媒体の電位であり、 V_{set} は媒体の目標電位であり、 V_{bias} はバイアス電圧生成器150によって基板110に印加されるバイアス電圧であり、 x は V_{bias} が調節される量を定義する正の数である。量 x は一定の、即ち予め定義された量であっても良いし、又は V_{medium} と V_{set} との間の差に基づいて動的に決定される量であっても良い。以上のアルゴリズムから明らかであるように、バイアス電圧生成器150により生成されるバイアス電圧は徐々に調節され、即ち V_{set} が V_{medium} と等しくなるまで、 V_{medium} が V_{set} を超えている場合に低減させられ、又は V_{medium} が V_{set} を超えている場合には増大させられる。媒体が一定の電荷を保持しているという仮定が依然として成り立つことを確実にするのに十分に迅速に、検体測定が完了し得ることを確実にするのに十分にステップ周波数が高い限り（特に、以上に説明されたように、測定の時間スケールにおいて、測定空間が閉じた副系とみなされるような開いた流体系に重要である）、いずれの適切な調節ステップ周波数が利用されても良い。典型的には、上述の仮定は、ミリ秒又はそれ以下の範囲で実行されるいずれの測定についても成り立つ。

【0033】

上述のフィードバックアルゴリズムは、単に限定するものではない例として示されたものであり、基板110に印加されるバイアス電圧を調節するためにいずれの適切なフィードバック機構が用いられても良いことは、理解されるべきである。また、バイアス電圧生成器150は、上述したフィードバックアルゴリズムを実装するための制御回路を含んでも良いが、IC100が、第2のトランジスタ160から媒体電位値を受信し、バイアス電圧生成器150に適切な制御信号を提供するための、別個の制御回路を有することも、同等に実現可能であることは理解されるべきである。例えば、斯かる制御回路は、IC100の単一のプロセッサの一部を形成しても良く、該プロセッサが更に、1つ以上の第1のトランジスタ146aからの第1の信号を処理するよう構成されても良い。他の適切な構成は、当業者にはすぐに明らかであろう。

【0034】

この点において、IC100は、複数のトランジスタ146aを有しても良く、これらトランジスタが、1つ以上の第2のトランジスタ146bを更に有するアレイに組織化されても良いことに留意されたい。一実施例においては、第1のトランジスタ146aの少なくとも幾つかが、異なる機能化層148を有し、これにより、IC100の単一の測定で、異なる対象検体が検出されることができる。

【0035】

FET140のアレイの共有ドレイン144に印加される駆動電流は、例えば直流又は交流のような、いずれの適切な形態を持っていても良いことに、更に留意されたい。交流電流を利用する場合には、ナノワイヤのインピーダンスは複素形態を持ち、即ち実数部と虚数部とを有する。このことは、交流電流が粒子の並進又は回転モードの共振又は固有振動数に合致するときにインピーダンスが大きな変動を呈するという事実のため、感知FET140の感度を更に増大させ、粒子状のサイズの物質又は粒子の検出可能性を更に改善する。

【0036】

IC100は、FET140により生成される信号を処理するための信号プロセッサ(図示されていない)を有しても良い。斯かる信号プロセッサは、限定するものではない単なる例として、この目的のため個々のソース領域142a、142bに結合されても良く、検体及び第2のトランジスタ140a、140bと該信号プロセッサとの間にいずれの適切な導電結合が利用されても良いことは、当業者によって容易に理解されるであろう。

【0037】

該信号プロセッサは、信号取得期間、即ち1つ以上の第1のトランジスタ140a及び第2のトランジスタ140bがバイアス電圧生成器150によりイネーブルにされている期間の間に取得された第1のトランジスタ信号から、検体測定値を導出するように構成されても良い。取得された信号の解釈はそれ自体が知られており、簡潔さのため更に詳細には説明されない。

【0038】

代替の実施例においては、該信号プロセッサはIC100からは省略されても良く、この場合には、例えばソース領域142a、142bは、外部アクセス可能な結合パッドに導電的に結合され、感知トランジスタ140a、140bの感知信号のチップ外での評価を容易化しても良い。

【0039】

図3a及び3bは、基準電極(上側)及び本発明の背面ゲートバイアス手法(下側)により生成された、 10^{-1} MのNaCl溶液(図3a)及び 10^{-6} MのNaCl溶液(図3b)の表面電位を示す。これら図は、本発明の背面ゲートバイアス手法により、対象媒体(ここでは異なるNaCl水溶液)中に所望の電位を得ることが完全に可能であることを、明確に示している。

【0040】

図4は、シリコン・オン・インシュレータ(SOI)基板に形成され、例えば任意にAPTESにより機能化された Al_2O_3 膜、 SiO_2 膜等によってシリコンナノワイヤを被覆することによってpHセンサとして機能化された、SiナノワイヤFET140aを露出させることにより得られた測定結果を示す。該センサは、それぞれが溶解した Na^+ 及び Cl^- イオンを有する、異なるpHの幾つかのサンプル水溶液にさらされた。各pH測定について、バイアス電圧生成器150が第2のトランジスタ140bに応答し、NaCl溶液の電位が所望の電位で一定となることを確実とした。各場合において、pHはセンサ応答から正確に得られ、媒体即ち種々のNaCl溶液の感知された電極に応答して基板110に印加されるバイアス電圧を調節することにより、各溶液のpHが正確に決定されたことを明らかに示している。

【0041】

IC100を製造する方法の例が、図5に模式的に示される。ステップ(a)において、電氣的な絶縁層120及び半導体材料層130を担持する基板110が備えられる。好

10

20

30

40

50

適には当該構成は、層 1 1 0 及び 1 3 0 が埋め込み酸化物層 1 2 0 により分離されたシリコン層であるシリコン・オン・インシュレータ基板として備えられるが、ステップ (a) において示された積層は、いずれの適切な材料を用いていずれの適切な態様で備えられても良いことは、理解されるべきである。例えば金属接点のような導電性接点 1 0 2 (図示されていない) が更に存在し、基板 1 1 0 が背面ゲートとして用いられるように基板 1 1 0 に背面ゲート接点を備える方法におけるいずれかの適切な点において形成されても良い。

【 0 0 4 2 】

次のステップにおいて、不純物が埋め込まれるべき領域を定義するシリコン層 1 3 0 にパターニングされたマスク 5 1 0 が形成され、その後、ナノワイヤチャネル領域 1 4 6 が形成されるべき領域において例えば N 型不純物のような不純物 5 2 0、並びにソース及びドレイン領域 1 4 2 及び 1 4 4 において、例えば N + + 型不純物のような不純物 5 3 0、といったように、斯かる不純物がシリコン層 1 3 0 に埋め込まれる。斯かるマスクの形成及び斯かる埋め込みステップは当業者には通常の技術であり、単に簡略さのため、ここでは更に詳細には説明されない。

【 0 0 4 3 】

次いで、シリコン層 1 3 0 からマスク 5 1 0 が除去され、ステップ (c) に示されるように、該層がパターニングされて、ナノワイヤ 1 4 6 並びにソース及びドレイン領域 1 4 2 及び 1 4 4 を形成する。ステップ (c) に示された IC 1 0 0 の断面は、ステップ (a) 及び (b) にしめされた断面に対して 9 0 ° 回転させられており、形成されたソース及びドレイン領域 1 4 2 及び 1 4 4 は、ステップ (c) の断面図においては示されていないことに留意されたい。シリコン層 1 3 0 のパターニングは、いずれの適切な態様で実現されても良い。特に好適なものは、電子ビームリソグラフィを用いてナノワイヤ 1 4 6 を形成することであり、ソース領域 1 4 2 及びドレイン領域 1 4 4 を形成するドライエッチングと組み合わせられても良い。

【 0 0 4 4 】

ステップ (d) は任意のステップであるが、ナノワイヤ 1 4 6 が露出させられた媒体が、ナノワイヤチャネル領域 1 4 6 を含む電界効果トランジスタ 1 4 0 のチャネル領域においてフローティングゲートとして機能することを確実にするために好適である。ステップ (d) において、ナノワイヤ 1 4 6 が酸化物層 5 4 0 を備えられる。シリコンナノワイヤ 1 4 6 の場合には、このことは例えば、或る時間の間 3 0 0 以上の上昇させられた温度の酸化物に富んだ環境に、シリコンナノワイヤ 1 4 6 をさらすことによる、シリコンの部分的な酸化によって実現される。斯くして酸化物層 5 4 0 は、ナノワイヤ 1 4 6 が媒体に接触させられたときに、上側ゲート酸化物として機能する。

【 0 0 4 5 】

次いで、ステップ (e) に示されるように、機能化層又は結合層 1 4 8 を用いて、選択されたナノワイヤ 1 4 6 が機能化されても良い。1 つ以上の結合層部分 1 4 8 が、いずれかの適切な方法で形成されても良く該方法は、例えば、全てのナノワイヤ 1 4 6 上への結合層の蒸着、及び、結合層 1 4 8 との親和性を持つ検体に対して感知ナノワイヤとして使用されないナノワイヤ 1 4 6 からの結合層材料の選択的な除去により、又は代替として、結合層 1 4 8 との親和性を持つ対象検体に対して感度を持つナノワイヤ 1 4 6 のみへの結合層 1 4 8 の選択的な蒸着によるものであっても良い。当業者には明らかであろうように、異なるナノワイヤ 1 4 6 は、異なる結合層 7 5 0 を用いて機能化されても良い。斯くして結合層材料の多くはそれ自体が良く知られており、いずれかの適切な結合材料が使用され得ることを言及することで十分である。

【 0 0 4 6 】

ナノワイヤ 1 4 0 間の空間は単一のナノワイヤ 1 4 0 の断面又は厚さよりも大きな因子であるという事実のため、斯かる選択的な蒸着は、当業者に通常利用可能な手法を用いて実現されることができる。図 6 は、ソース接点 6 4 2、ドレイン接点 6 4 4、ソース接点 6 4 2 と導電的に接触している金属 6 5 2 (ドレイン接点に接触する金属は明確さのため

10

20

30

40

50

省略されている)、及びナノワイヤ146を含む、単一のFET140の上面図を模式的に示す。本図は、ナノワイヤ146上の結合層550の選択的な蒸着のために十分な余地があることを明確に示している。

【0047】

IC100は、いずれの適切な感知装置に一体化されても良い。斯かる感知装置は典型的には、流れるサンプルの静止サンプルを受容するためのサンプル区画を有し、この場合には、該サンプル区画は、いずれの適切な寸法を持っていても良い流れチャネルを有しても良い。IC100は典型的には、感知トランジスタ140a及び140bがサンプル区画に露出させられるように配置される。斯かる感知装置は例えば、ヘルスケア用途において利用されるマイクロ流体工学ベースの感知装置又は分析ベースの感知装置、家庭用、工業用若しくは車両用の用途において利用される排出ガス感知装置、等であっても良い。対象検体は、 O_2 、CO、 CO_2 、 NO_x 等といった気体、ウィルス及び細菌のような微生物、重金属、農薬、薬品、グルコース、ヘマトクリット、並びに唾液、尿又は血液といった体液中に検出され得るその他の体物質を含んでも良い。斯かる感知装置のためのその他の多くの適切な適用領域及び対象検体は、当業者には明らかであろう。

【0048】

上述の実施例は本発明を限定するものではなく説明するものであって、当業者は添付する請求項の範囲から逸脱することなく多くの代替実施例を設計することが可能であろうことは留意されるべきである。請求項において、括弧に挟まれたいずれの参照記号も、請求の範囲を限定するものとして解釈されるべきではない。「有する(comprise)」なる語は、請求項に記載されたもの以外の要素又はステップの存在を除外するものではない。要素に先行する冠詞「1つの(a又はan)」は、複数の斯かる要素の存在を除外するものではない。本発明は、幾つかの別個の要素を有するハードウェアによって実装されても良い。幾つかの手段を列記した装置請求項において、これら手段の幾つかは同一のハードウェアのアイテムによって実施化されても良い。特定の手段が相互に異なる従属請求項に列挙されているという単なる事実は、これら手段の組み合わせが有利に利用されることができないことを示すものではない。

10

20

【図 1】

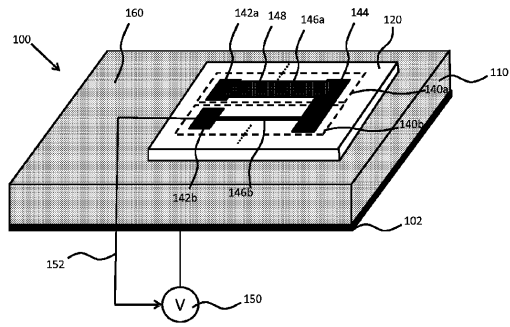


FIG. 1

【図 2】

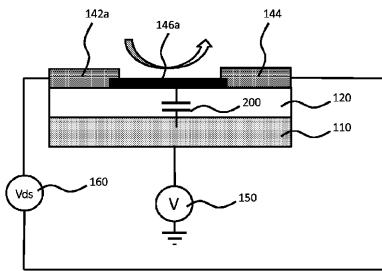
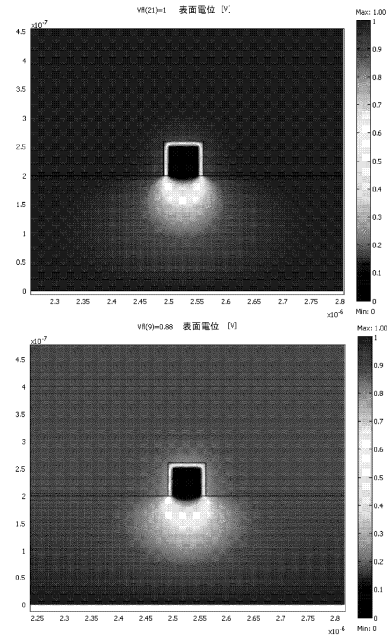
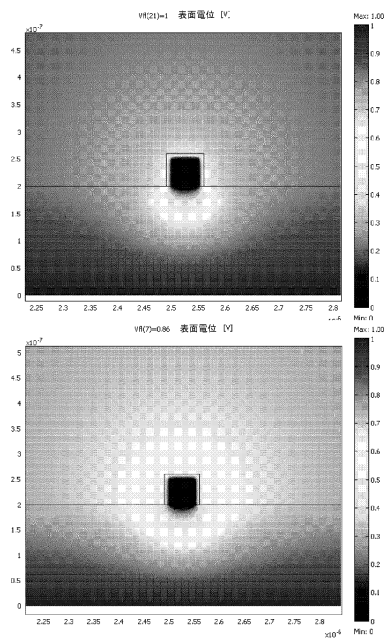


FIG. 2

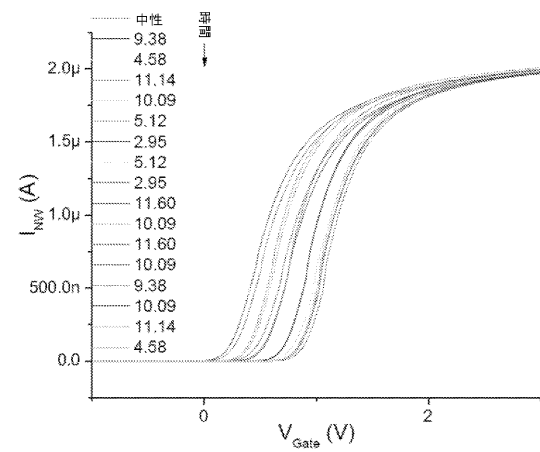
【図 3 (a)】



【図 3 (b)】



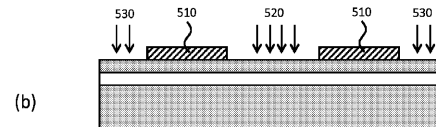
【図 4】



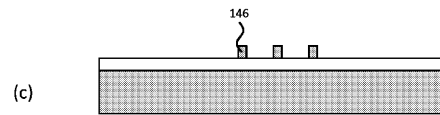
【図 5 (a)】



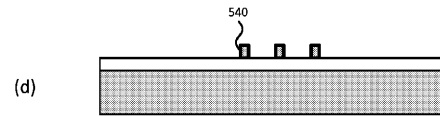
【図 5 (b)】



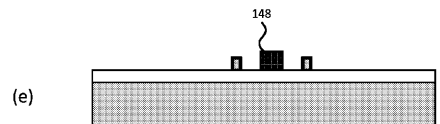
【図 5 (c) 】



【図 5 (d) 】



【図 5 (e) 】



【図 6 】

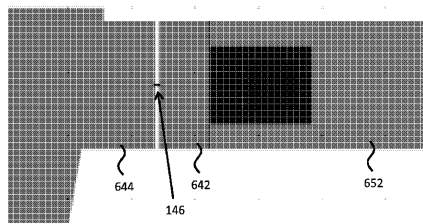


FIG. 6

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 29/786 (2006.01) B 8 2 Y 30/00
B 8 2 Y 30/00 (2011.01)

(72)発明者 クロートウェイク ヨハン ヘンドリク
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
(72)発明者 メッシャー マーレーン
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
(72)発明者 デ クラーフ パスカル
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5
(72)発明者 マルセリス バウト
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

審査官 田中 秀直

(56)参考文献 米国特許出願公開第2006/0263255 (US, A1)
特表2012-519279 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 1 N 2 7 / 0 0 - 2 7 / 1 0
G 0 1 N 2 7 / 1 4 - 2 7 / 2 4
B 8 2 Y 3 0 / 0 0
G 0 1 N 2 7 / 3 0
H 0 1 L 2 1 / 8 2 2