

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6165945号
(P6165945)

(45) 発行日 平成29年7月19日(2017.7.19)

(24) 登録日 平成29年6月30日(2017.6.30)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 29/786 (2006.01)

H O 1 L 29/78 6 1 8 B

H O 1 L 21/336 (2006.01)

H O 1 L 29/78 6 1 9 A

請求項の数 3 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2016-163315 (P2016-163315)
 (22) 出願日 平成28年8月24日 (2016.8.24)
 (62) 分割の表示 特願2015-121049 (P2015-121049)
 の分割
 原出願日 平成22年12月8日 (2010.12.8)
 (65) 公開番号 特開2016-195291 (P2016-195291A)
 (43) 公開日 平成28年11月17日 (2016.11.17)
 審査請求日 平成28年8月25日 (2016.8.25)
 (31) 優先権主張番号 特願2009-286234 (P2009-286234)
 (32) 優先日 平成21年12月17日 (2009.12.17)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000153878
 株式会社半導体エネルギー研究所
 神奈川県厚木市長谷398番地
 (72) 発明者 宮永 昭治
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 本田 達也
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 審査官 市川 武宜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の作製方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ゲート電極と、
 前記ゲート電極上のゲート絶縁層と、
 前記ゲート絶縁層上の酸化物半導体層と、
 前記酸化物半導体層上の酸化アルミニウム膜と、を有し、
 前記酸化物半導体層はチャネル形成領域を有し、
 前記酸化物半導体層は、I n と、Z n と、G a とを有し、
 前記酸化アルミニウム膜が形成される前に、前記酸化物半導体層に350度以上の温度
 で第1の加熱処理を行い、
 前記酸化アルミニウム膜が形成された後に、第2の加熱処理を行い、
 前記酸化物半導体層は、比誘電率が13以上70以下であることを特徴とする半導体装
 置の作製方法。

【請求項2】

ゲート電極と、
 前記ゲート電極上のゲート絶縁層と、
 前記ゲート絶縁層上の酸化物半導体層と、
 前記酸化物半導体層上の酸化珪素膜と、を有し、
 前記酸化物半導体層はチャネル形成領域を有し、
 前記酸化物半導体層は、I n と、Z n と、G a とを有し、

前記酸化珪素膜が形成される前に、前記酸化物半導体層に 350 度以上の温度で第 1 の加熱処理を行い、

前記酸化珪素膜が形成された後に、第 2 の加熱処理を行い、

前記酸化物半導体層は、比誘電率が 13 以上 70 以下であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 3】

ゲート電極と、

前記ゲート電極上のゲート絶縁層と、

前記ゲート絶縁層上の酸化物半導体層と、

前記酸化物半導体層上の、窒素を含む酸化珪素膜と、を有し、

前記酸化物半導体層はチャンネル形成領域を有し、

前記酸化物半導体層は、In と、Zn と、Ga とを有し、

前記酸化珪素膜が形成される前に、前記酸化物半導体層に 350 度以上の温度で第 1 の加熱処理を行い、

前記酸化珪素膜が形成された後に、第 2 の加熱処理を行い、

前記酸化物半導体層は、比誘電率が 13 以上 70 以下であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

技術分野は酸化物半導体、新規な MOS キャパシタ（測定装置）等に関する。

【背景技術】

【0002】

非特許文献 1 及び非特許文献 2 には酸化物半導体層を用いたトランジスタが開示されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】T. C. Fung et. al., AM-FPD 08 Digest of Technical Papers

【非特許文献 2】M. Fujii et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 04C091

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

酸化物半導体の分野は近年注目されはじめた分野である。

【0005】

そのため、酸化物半導体層を用いたトランジスタの電気特性と、酸化物半導体層の物性値と、の相関関係が未だ明らかになっていない。

【0006】

よって、酸化物半導体層の物性値を調整することによって、トランジスタの電気特性を向上させることを第 1 の課題とする。

【0007】

また、酸化物半導体層の物性値を測定するための新規な構造体並びに新規な測定方法を提供することを第 2 の課題とする。

【0008】

なお、以下に開示する発明は第 1 の課題又は第 2 の課題のいずれか一方を解決できれば良い。

【課題を解決するための手段】

【0009】

10

20

30

40

50

まず、第 1 の課題について説明する。

【 0 0 1 0 】

本発明者らは酸化物半導体層の比誘電率に注目した。

【 0 0 1 1 】

MOS (Metal Oxide Semiconductor) トランジスタのオン電流は Oxide \ Semiconductor 界面 (酸化膜 (ゲート絶縁層) と半導体層との界面) に誘起されるキャリアの電荷密度 Q に比例する。

【 0 0 1 2 】

なお、電荷密度 Q は次の式で与えられる。

【 0 0 1 3 】

【数 1】

$$Q = C_{ox} (V_{gs} - V_{th} - \phi) \quad (1)$$

【 0 0 1 4 】

ここで、 C_{ox} は単位面積当たりの絶縁膜容量であり、 V_{gs} はゲート電極 - ソース電極間に印加される電位差であり、 V_{th} は閾値電圧であり、 ϕ は表面ポテンシャルである。

【 0 0 1 5 】

さらに、表面ポテンシャル ϕ は以下の式で与えられる。

【 0 0 1 6 】

【数 2】

$$\phi = e \times N_d \times \frac{W_d^2}{2 \epsilon_0 \epsilon} \quad (2)$$

【 0 0 1 7 】

ここで、 e は電子電荷であり、 N_d は空間電荷密度であり、 W_d は空乏層幅であり、 ϵ_0 は真空の誘電率であり、 ϵ は酸化物半導体の比誘電率である。

【 0 0 1 8 】

(2) 式からわかるように、比誘電率 ϵ が大きいほど表面ポテンシャル ϕ は小さくなる。

【 0 0 1 9 】

そして (1) 式からわかるように、表面ポテンシャル ϕ が小さくなれば Oxide \ Semiconductor 界面に誘起されるキャリアの電荷密度 Q は大きくなる。

【 0 0 2 0 】

即ち、表面ポテンシャル ϕ が小さくなればトランジスタのオン電流が大きくなる。

【 0 0 2 1 】

以上の考察から、酸化物半導体の比誘電率を高くすることによって、その酸化物半導体を活性層とするトランジスタのオン電流を上昇させることができることを見出した。

【 0 0 2 2 】

つまり、オン電流、または駆動力の大きいトランジスタを得るためには活性層となる酸化物半導体層の比誘電率が高い方が好ましいことを見出した。

【 0 0 2 3 】

そして、非特許文献 1 及び非特許文献 2 よりも比誘電率の高い酸化物半導体層 (つまり、比誘電率が 1.3 以上の酸化物半導体層) を作製することができた。(なお、非特許文献 1 には、酸化物半導体の比誘電率が 1.0 であることが開示されている。また、非特許文献 2 には、酸化物半導体の比誘電率が 1.2 であることが開示されている。)

10

20

30

40

50

【0024】

以上のように、従来よりも高い比誘電率を持つ新規な酸化物半導体層を作製した。

【0025】

そして、従来よりも高い比誘電率を持つ新規な酸化物半導体層を用いることによって、オン電流または駆動力の大きいトランジスタを作製することができるのである。

【0026】

ここで、酸化物半導体層中のキャリア密度が小さいほど比誘電率は高くなる傾向がある。

【0027】

つまり、酸化物半導体層中のキャリア密度を低減させることによって比誘電率を上げる
ことができる。 10

【0028】

なお、キャリアの発生源としては酸素欠損、ドナー、アクセプタなどがある。

【0029】

そして、我々の行った実験結果及びその考察から水素原子を含む物質がドナーになることが分かっている。（ただし、水素原子を含む物質とは、水素、水、水酸化物、水素化物等をいう。）

【0030】

次に、第2の課題について説明する。

【0031】

比誘電率の測定方法は、図4(B)のように第1の電極1101(1st Metal)と第2の電極1103(2nd Metal)との間に酸化物半導体層1102(Oxide Semiconductor)を挟み、第1の電極1101(1st Metal)と第2の電極1103(2nd Metal)に交流電圧を印加することで誘電体となる酸化物半導体層1102の容量を計測する。そして計測した酸化物半導体層1102の容量値から比誘電率を算出すれば良い。 20

【0032】

しかしながら、実際に図4(B)の構造体を形成し交流電圧を印加してみたが、図4(B)の構造体では容量を計測することができなかった。

【0033】

容量を計測することができなかった理由としては、電極と酸化物半導体層とがオーミック接合をしてしまい、酸化物半導体層中にキャリアが注入されて電荷が電極に蓄積されな
いたためと考えられた。 30

【0034】

このように、半絶縁物である酸化物半導体層は通常の計測方法では比誘電率を計測することが難しい。（なお、非特許文献1及び非特許文献2には比誘電率の計測方法についての開示が一切ない。）

【0035】

そこで、酸化物半導体層の比誘電率を測定する新規な構造体を作製した。

【0036】

具体的には、図4(A)の構造体のように、シリコンウェハ1001(Silicon Wafer)上に設けられた酸化物半導体層1002(Oxide Semiconductor)と、酸化物半導体層1002(Oxide Semiconductor)上に設けられたゲート電極層1003(Gate Electrode)と、を有するMOSキャパシタ(測定装置)を作製した。 40

【0037】

当該MOSキャパシタ(測定装置)は、酸化物半導体層の比誘電率測定用のMOSキャパシタ(測定装置)である。

【0038】

そして、当該MOSキャパシタ(測定装置)の蓄積状態の飽和容量 C_0 を測定し、下記 50

式に測定した蓄積状態の飽和容量 C_a を代入することによって酸化物半導体層の比誘電率を求めることができる。

【 0 0 3 9 】

【 数 3 】

$$\varepsilon = C_a \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{d}{S} \quad (4)$$

【 0 0 4 0 】

10

つまり、ゲート電極と、酸化物半導体層と、前記ゲート電極と前記酸化物半導体層との間に挟まれたゲート絶縁層と、を有し、前記酸化物半導体層は、比誘電率が 1.3 以上であることを特徴とする半導体装置を提供することができる。

【 0 0 4 1 】

また、ゲート電極と、酸化物半導体層と、前記ゲート電極と前記酸化物半導体層との間に挟まれたゲート絶縁層と、を有し、前記酸化物半導体層は、比誘電率が 1.4 以上であることを特徴とする半導体装置を提供することができる。

【 0 0 4 2 】

また、前記酸化物半導体層は、インジウムとガリウムと亜鉛と酸素とを主成分とすることもできる。

20

【 0 0 4 3 】

また、半導体と、前記半導体上に設けられた酸化物半導体層と、前記酸化物半導体層上に設けられたゲート電極と、を有し、前記半導体のバンドギャップは、前記酸化物半導体層のバンドギャップよりも狭いことを特徴とする測定装置を提供することができる。

【 0 0 4 4 】

また、酸化物半導体層の比誘電率を測定するための測定装置であって、半導体と、前記半導体上に設けられた酸化物半導体層と、前記酸化物半導体層上に設けられたゲート電極と、を有し、前記半導体のバンドギャップは、前記酸化物半導体層のバンドギャップよりも狭いことを特徴とする測定装置を提供することができる。

【 0 0 4 5 】

30

また、半導体と、前記半導体上に設けられた前記半導体のバンドギャップよりも広いバンドギャップを有する酸化物半導体層と、前記酸化物半導体層上に設けられたゲート電極と、を有する測定装置を形成するステップと、前記測定装置の C-V 特性の蓄積領域における容量 C_a を求めるステップと、前記容量 C_a を下記数式に代入して前記酸化物半導体層の比誘電率を求めるステップと、を有することを特徴とする比誘電率の測定方法を提供することができる。(式中、 ε_0 は真空の誘電率、 S は前記ゲート電極の面積、 d は前記酸化物半導体層の膜厚である。)

【 0 0 4 6 】

【 数 4 】

$$\varepsilon = C_a \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{d}{S} \quad (4)$$

40

【 0 0 4 7 】

また、半導体と前記半導体上の酸化物半導体層と前記酸化物半導体層上の電極を有する測定装置を提供することができる。

【 0 0 4 8 】

上記において、前記半導体はシリコンであると好ましい。

【 0 0 4 9 】

50

上記において、前記酸化物半導体層は $\text{In} - \text{Ga} - \text{Zn} - \text{O}$ 系酸化物であると好ましい。

【0050】

上記において、前記酸化物半導体層上の電極は積層構造であると好ましい。

【0051】

上記において、前記測定装置は前記半導体上の酸化物半導体層の比誘電率を測定すると好ましい。

【0052】

上記において、前記半導体は前記半導体上の酸化物半導体層よりも狭いバンドギャップを有すると好ましい。

10

【0053】

また、半導体と前記半導体上の比誘電率を測定したい半導体と前記比誘電率を測定したい半導体上の電極を有する測定装置を提供することができる。

【発明の効果】

【0054】

トランジスタの活性層となる酸化物半導体層の比誘電率を高くすることによって、トランジスタのオン電流、または駆動力を大きくすることができる。(第1の課題)

【0055】

図4(A)の構造体を形成することによって、半絶縁層である酸化物半導体の比誘電率を求めることができる。(第2の課題)

20

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】半導体装置の作製方法の一例

【図2】半導体装置の作製方法の一例

【図3】半導体装置の一例

【図4】MOSキャパシタ(測定装置)の一例

【図5】CV測定の結果の一例

【発明を実施するための形態】

【0057】

実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。

30

【0058】

但し、発明の趣旨から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更し得ることは、当業者であれば容易に理解される。

【0059】

従って、発明の範囲は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

【0060】

なお、以下に説明する構成において、同一部分又は同様な機能を有する部分には同一の符号を異なる図面間で共通して用い、その繰り返しの説明は省略する。

【0061】

40

また、以下の実施の形態は、いくつかを適宜組み合わせる実施することができる。

【0062】

(実施の形態1)

半導体装置の作製方法の一例について説明する。

【0063】

まず、絶縁表面を有する基板100上にゲート電極200を形成し、ゲート電極200上にゲート絶縁層300を形成し、ゲート絶縁層300上に酸化物半導体層400を形成する。(図1(A))

【0064】

基板の材料は限定されない。例えば、ガラス基板、石英基板、金属基板、プラスチック

50

基板、半導体基板等を用いることができる。

【0065】

基板として絶縁性の基板を用いる場合は、絶縁表面を有している。

【0066】

一方、基板として金属基板、半導体基板等を用いる場合は、基板上に下地絶縁層を形成することにより、絶縁表面を形成することができる。

【0067】

なお、基板として絶縁性の基板を用いる場合にも、基板上に下地絶縁層を形成しても良い。

【0068】

ゲート電極の材料は導電性材料である。例えば、アルミニウム、チタン、モリブデン、タングステン、金、銀、銅、ドーパされたシリコン、様々な合金、酸化物導電層（代表的にはインジウム錫酸化物等）等を用いることができるがこれらに限定されない。ゲート電極は、単層構造でも積層構造でも良い。

【0069】

ゲート絶縁層の材料は絶縁性材料である。例えば、酸化珪素膜、窒化珪素膜、窒素を含む酸化珪素膜、酸素を含む窒化珪素膜、窒化アルミニウム膜、酸化アルミニウム膜、半導体層を酸化又は窒化した膜、半導体基板を酸化又は窒化した膜、酸化ハフニウム膜等を用いることができるがこれらに限定されない。ゲート絶縁層は、単層構造でも積層構造でも良い。

【0070】

但し、酸化物半導体層へのキャリア注入を防止するためゲート絶縁層として水素含有量の少ないものが好ましい。

【0071】

水素含有量の少ないゲート絶縁層としては、成膜ガスとして水素（H）又は水素化物（ SiH_4 等）を含ませないで形成したゲート絶縁膜が好ましい。

【0072】

したがって、水素含有量が少ないという点に着目すると、プラズマCVD法は水素化物（ SiH_4 等）を用いるものであるので、スパッタ法により形成したゲート絶縁層が好ましい。

【0073】

但し、プラズマCVD法で形成したゲート絶縁層はスパッタ法で形成したゲート絶縁層よりも欠陥が少なく膜質に優れるため、プラズマCVD法で形成したゲート絶縁層を用いた方がトランジスタの特性が高い場合もある。よって、必要に応じて適宜使い分ければ良い。なお、プラズマCVD法で形成したゲート絶縁層を用いる場合、加熱処理を行えば水素原子を含む物質が離脱するため、プラズマCVD法を用いるときはゲート絶縁層形成後に加熱処理（200 以上1000 以下（好ましくは300 以上800 以下））を行うことが好ましい。

【0074】

なお、水素原子を含む物質とは、水素、水、水酸化物、水素化物等である。

【0075】

酸化物半導体層は、例えばIn-Ga-Zn-O系酸化物（インジウムとガリウムと亜鉛と酸素とを主成分とする）、In-Sn-Zn-O系酸化物（インジウムと錫と亜鉛と酸素とを主成分とする）、In-Al-Zn-O系酸化物（インジウムとアルミニウムと亜鉛と酸素とを主成分とする）、Sn-Ga-Zn-O系酸化物（錫とガリウムと亜鉛と酸素とを主成分とする）、Al-Ga-Zn-O系酸化物（アルミニウムとガリウムと亜鉛と酸素とを主成分とする）、Sn-Al-Zn-O系酸化物（錫とアルミニウムと亜鉛と酸素とを主成分とする）、In-Zn-O系酸化物（インジウムと亜鉛と酸素とを主成分とする）、Sn-Zn-O系酸化物（錫と亜鉛と酸素とを主成分とする）、Al-Zn-O系酸化物（アルミニウムと亜鉛と酸素とを主成分とする）、In-O系酸化物（イン

10

20

30

40

50

ジウム酸化物（酸化インジウム）、Sn-O系酸化物（錫酸化物（酸化錫））、Zn-O系酸化物（亜鉛酸化物（酸化亜鉛））等の酸化物半導体を用いることができるがこれらに限定されない。

【0076】

酸化物半導体の比誘電率の下限値は、13以上（又は13超過）、14以上（又は14超過）、14.7以上（又は14.7超過）、16.7以上（又は16.7超過）から選ぶことができる。

【0077】

比誘電率は高いほど好ましいので特に上限値を設けなくても良い。

【0078】

但し、上限値を設定するならば、酸化物半導体の比誘電率の上限値は、16.7以下（又は16.7未満）、17以下（又は17未満）、18以下（又は18未満）、20以下（又は20未満）、25以下（又は25未満）、30以下（又は30未満）、40以下（又は40未満）、50以下（又は50未満）、60以下（又は60未満）、70以下（又は70未満）から選ぶことができる。

【0079】

酸化物半導体層をスパッタ法を用いて形成する場合、スパッタのターゲットには水素原子を含む物質が含まれないことが好ましい。

【0080】

また、酸化物半導体層を形成する際、外部からの水素原子を含む物質の侵入を防止するため、成膜チャンバーはリークがないようにすることが好ましい。

【0081】

次に、酸化物半導体層400を島状にエッチングして酸化物半導体層410を形成する。（図1（B））

【0082】

次に、酸化物半導体層の第1の加熱処理（X 以上Y 未満）を行う。なお、第1の加熱処理は必須の工程ではないが行った方が好ましい。

【0083】

第1の加熱処理の雰囲気は、窒素雰囲気、希ガス雰囲気、酸素雰囲気、酸素と窒素を含む雰囲気、酸素と希ガスを含む雰囲気、窒素と希ガスを含む雰囲気、酸素と窒素と希ガスを含む雰囲気等から適宜選択できる。

【0084】

第1の加熱処理は酸化物半導体層400を島状にエッチングして酸化物半導体層410を形成する前に行っても良い。

【0085】

一方、酸化物半導体層400を島状にエッチングして酸化物半導体層410を形成する工程で酸化物半導体層がフォトレジスト並びに剥離液の水に曝される。

【0086】

したがって、フォトレジスト並びに剥離液に起因する水を除去するため、酸化物半導体層400を島状にエッチングして酸化物半導体層410を形成した後に第1の加熱処理を行った方が好ましいといえる。

【0087】

第1の加熱処理の下限値（X）は、350 以上（又は350 超過）、400 以上（又は400 超過）、450 以上（又は450 超過）、500 以上（又は500 超過）、550 以上（又は550 超過）、600 以上（又は600 超過）、650 以上（又は650 超過）、700 以上（又は700 超過）、750 以上（又は750 超過）から選ぶことができる。

【0088】

第1の加熱処理は、炉、オープン、ガスRTA等を用いる加熱方法を用いることが好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 9 】

ガス R T A とは、高温に暖めたガス内に被処理物を短時間（数分～数十分）入れることにより急速に被処理物を加熱する方式をいう。

【 0 0 9 0 】

第 1 の加熱処理の温度は高い方が好ましいので特に上限を設ける必要はない。

【 0 0 9 1 】

但し、第 1 の加熱処理の上限値（ Y ）は、基板の耐熱性温度よりも低い温度であることが好ましい。

【 0 0 9 2 】

また、第 1 の加熱処理の上限値（ Y ）を、 1 0 0 0 以下（又は 1 0 0 0 未満）、 9 0 0 以下（又は 9 0 0 未満）、 8 0 0 以下（又は 8 0 0 未満）、 7 0 0 以下（又は 7 0 0 未満）から選ぶこともできる。

10

【 0 0 9 3 】

第 1 の加熱処理の時間は 1 時間以上が好ましい。上限は特に限定されないが、処理時間削減及び結晶化抑制の観点から 1 0 時間以下、 9 時間以下、 8 時間以下から選ぶことができる。

【 0 0 9 4 】

第 1 の加熱処理の時間をガス R T A で行う場合は 3 分以上が好ましい。上限は特に限定されないが、処理時間削減及び結晶化抑制の観点から 1 時間以下、 5 0 分以下、 4 0 分以下から選ぶことができる。

20

【 0 0 9 5 】

なお、実験の結果から、炉で 3 5 0 1 時間のベークを行うとトランジスタの電気特性が向上することがわかっている。具体的には加熱処理をしない場合と比較してオフ電流が下がった。

【 0 0 9 6 】

また、昇温脱離ガス分析法（ T D S : T h e r m a l D e s o r p t i o n S p e c t r o s c o p y ）で測定したところ、炉で 4 5 0 、 1 時間のベークを行ったサンプルは 3 0 0 付近の水のピークがなくなっていた。ガス R T A で 6 5 0 、 3 分でベークを行ったサンプルも 3 0 0 付近の水のピークがなくなっていた。一方、 3 5 0 、 1 時間のベークを行ったサンプルは 3 0 0 付近の水のピークが残存していた。

30

【 0 0 9 7 】

また、二次イオン質量分析法（ S I M S : S e c o n d a r y I o n M a s s S p e c t r o m e t r y ）で測定したところ、 5 5 0 、 1 時間のベークを行ったサンプルは、 4 5 0 、 1 時間のベークを行ったサンプルと比較して、 1 桁近く水素濃度が減少していた。

【 0 0 9 8 】

なお、加熱温度が高いほどトランジスタの電気特性は向上した。

【 0 0 9 9 】

特に、炉で 4 5 0 以上の加熱処理を行ったサンプル、並びに、ガス R T A で 6 5 0 以上で加熱処理を行ったサンプルはトランジスタの電気特性のばらつきが低減された。

40

【 0 1 0 0 】

トランジスタの電気特性のばらつきが低減された理由として、酸化物半導体層中のトランジスタに影響を与える不純物（水素原子を含む物質）が低減されたためであると考えられた。

【 0 1 0 1 】

即ち、水素は酸化物半導体層中においてドナーとして働く。

【 0 1 0 2 】

つまり、水素原子を含む物質はトランジスタの動作に影響を及ぼす。

【 0 1 0 3 】

よって、酸化物半導体中に水素原子またはその化合物が含まれるとキャリアが発生し

50

ランジスタはノーマリオン型となる。

【0104】

その結果、トランジスタの閾値電圧あるいは動作電圧がずれるという問題が生じる。

【0105】

また、水素を含む物質は酸化物半導体中で空間電荷として働き、酸化物半導体の比誘電率を低下させる。

【0106】

そして、比誘電率が低下するとトランジスタのオン電流、または駆動力が低下する。

【0107】

したがって、酸化物半導体層中の水素原子を含む物質は極力減少させた方が好ましいのである。 10

【0108】

なお、酸化物半導体に与えられるエネルギーが大きいほど水素原子を含む物質が離脱しやすくなるので、加熱温度は高い方が好ましく、加熱時間も多い方が好ましい。

【0109】

但し、酸化物半導体に与えられるエネルギーを大きくしすぎると、酸化物半導体が結晶化してしまい比誘電率が減少する。

【0110】

したがって、第1の加熱処理の加熱時間の上限及び第1の加熱処理の加熱温度の上限は前述した値が好ましい。 20

【0111】

次に、酸化物半導体層410上に導電層500を形成する。(図1(C))

【0112】

導電層の材料は、導電性材料である。例えば、アルミニウム、チタン、モリブデン、タングステン、イットリウム、インジウム、金、銀、銅、ドーパされたシリコン、これらの導電性材料を含む合金、酸化物導電層(代表的にはインジウム錫酸化物等)等を用いることができるがこれらに限定されない。導電層は、単層構造でも積層構造でも良い。

【0113】

なお、酸化物半導体層と接する導電層をチタン、インジウム、イットリウム、インジウムと亜鉛との合金、ガリウム合金(窒化ガリウム等)等とすることによって、導電層をエッチングして形成する電極(配線)と酸化物半導体層との接触抵抗を低減することができる。 30

【0114】

接触抵抗を低減することができる理由は、チタン、インジウム、イットリウム、インジウムと亜鉛との合金、ガリウム合金(窒化ガリウム等)等の電子親和力が、酸化物半導体層の電子親和力よりも低いからである。

【0115】

つまり、単層の場合は酸化物半導体層の電子親和力より低い金属(又は合金、化合物)が好ましい。

【0116】

一方、積層の場合は酸化物半導体層の電子親和力より低い金属(又は合金、化合物)を酸化物半導体層と接する位置に配置することが好ましい。 40

【0117】

チタン(Ti)、インジウム(In)、イットリウム(Y)、インジウム(In)と亜鉛(Zn)との合金、ガリウム(Ga)合金(窒化ガリウム等)等は抵抗率が高いので、アルミニウム(Al)、金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、様々な合金等の抵抗率の低い材料を酸化物半導体層と接する位置に配置された導電層上に積層することが好ましい。

【0118】

具体的には、Ti、Alを順次積層した構造、Ti、Al合金を順次積層した構造、Y 50

、Alを順次積層した構造、Y、Al合金を順次積層した構造、Ti、Al、Tiを順次積層した構造、Ti、Al合金、Tiを順次積層した構造、In、Al、Moを順次積層した構造、Y、Al、Tiを順次積層した構造、Mo、Al、Tiを順次積層した構造、Ti、Al合金、Mo、Tiを順次積層した構造等の多くのバリエーションがあるがこれらに限定されない。(つまり、導電層の層数は限定されない。また、導電層の組み合わせも限定されない。よって、ここに列挙していない組み合わせを特許請求の範囲に記載しても良い。)

【0119】

なお、抵抗率の低い合金としては、アルミニウム、金、銀、銅等と、他の物質と、の合金をいう。(例えば、Al-Si、Al-Ti、Al-Nd、Cu-Pb-Fe、Cu-Ni等)

10

【0120】

なお、導電層として酸化物導電層を用いる場合は酸化物半導体層と同様の材料を用いることができる。

【0121】

酸化物導電層はチャネル形成領域に用いる酸化物半導体層よりも抵抗率が低ければ良い。

【0122】

ここで、酸化物導電層は、水素原子を含む物質又は酸素欠損を意図的に多く含有させた酸化物である。水素原子を含む物質または酸素欠損はキャリアを誘起するので酸化物の導電性を上昇させることができる。

20

【0123】

また、酸化物半導体層は、水素原子を含む物質又は酸素欠損を意図的には含有させていない酸化物である。

【0124】

つまり、水素原子を含む物質の量又は酸素欠損の度合いの調整により抵抗率の調整が可能である。

【0125】

なお、導電層としてチャネル形成領域に用いる酸化物半導体層との材料が異なる酸化物半導体層を利用する場合、その抵抗率がチャネル形成領域に用いる酸化物半導体層よりも低くなるのであれば、水素原子を含む物質の量又は酸素欠損の度合いの調整による抵抗率の調整は不要である。

30

【0126】

次に、導電層500をエッチングして複数の電極又は複数の配線(ソース電極(コンタクト電極)、ドレイン電極(コンタクト電極)、配線等)を形成する。(図2(A))。なお、図2(A)はコンタクト電極510、コンタクト電極520等を図示している。

【0127】

図2(A)の工程によりトランジスタが完成する。(チャネルエッチ型トランジスタ)

【0128】

なお、図2の破線で囲まれた酸化物半導体領域8000の部分は導電層500のエッチング時に若干エッチングされる。

40

【0129】

破線で囲まれた酸化物半導体領域8000に(固定)電荷が存在するとこの領域もチャネルとして働く場合があり、これをバックチャネルと呼ぶことがある。

【0130】

例えば、水素は酸化物半導体中でドナーとして働くため、酸化物半導体領域8000に水素が含まれると抵抗が低下しバックチャネルが形成される。

【0131】

次に、トランジスタを覆う絶縁層600(保護膜、層間絶縁膜)を形成する。(図2(B))

50

【0132】

絶縁層の材料は、絶縁性材料である。例えば、酸化珪素膜、窒化珪素膜、窒素を含む酸化珪素膜、酸素を含む窒化珪素膜、窒化アルミニウム膜、酸化アルミニウム膜、シロキサン膜、アクリル膜、ポリイミド膜等を用いることができるがこれらに限定されない。層間絶縁膜は、単層構造でも積層構造でも良い。

【0133】

ここで、絶縁層600の膜の種類を変えてトランジスタの電気特性を比較したところ、破線で囲まれた酸化物半導体領域8000と接する部分の絶縁層には水素が含まれない方がトランジスタの電気特性は良いことがわかった。

【0134】

即ち、絶縁層600としてスパッタを用いて成膜した絶縁層がより好ましいことがわかった。

【0135】

破線で囲まれた酸化物半導体領域8000に水素原子を含む物質が含まれると、トランジスタの閾値電圧(V_{th})はマイナス側にシフトする。

【0136】

即ち、破線で囲まれた酸化物半導体領域8000に水素原子を含む物質が含まれると、トランジスタはノーマリーオン型となり、トランジスタの動作電圧がずれてしまう。

【0137】

特に、プラズマCVDで絶縁膜の成膜を形成する場合は水素原子を含む物質(代表的には SiH_4 等)を用いるため、破線で囲まれた酸化物半導体領域8000に水素を含む物質が添加されてしまう。

【0138】

また、シロキサン膜、アクリル膜、ポリイミド膜等は水を多量に含有しているため、破線で囲まれた酸化物半導体領域8000に水素原子を含む物質が常に供給された状態となってしまう。

【0139】

つまり、バックチャネルが形成されないように、破線で囲まれた酸化物半導体領域8000と接する絶縁層は水素原子を含む物質の含有量が少ないものを用いることが好ましいといえる。

【0140】

なお、図2(B)の工程は、コンタクト電極510上、コンタクト電極520上、バックチャネル(破線で囲まれた酸化物半導体領域8000の部分)上に絶縁層600を形成する工程ともいえる。

【0141】

絶縁層600にコンタクトホールを形成し、絶縁層600上に画素電極を形成しても良い。画素電極を形成後、表示素子(EL素子、液晶素子等)を形成すると表示装置を形成することができる。

【0142】

絶縁層600にコンタクトホールを形成し、絶縁層600上に配線を形成しても良い。

【0143】

絶縁層600上に配線を形成後、配線上に更に絶縁層、配線、トランジスタ、表示素子、又はアンテナ等を形成しても良い。

【0144】

また、絶縁層600を形成後、100 以上300 以下で(好ましくは200 以上250 以下)の第2の加熱処理を行うことが好ましい。なお、第2の加熱処理は必須の工程ではないが行った方が好ましい。

【0145】

加熱時間は1時間以上10時間以下が好ましい。

【0146】

10

20

30

40

50

第2の加熱処理は絶縁層600形成直後でも良いし、配線形成直後でも良いし、画素電極形成直後でも良い。つまり、加熱処理は絶縁層600の形成後であればいつ行っても良い。

【0147】

ここで、第2の加熱処理を行う際、絶縁層600を酸素過剰な状態にしておくことによって、酸化物半導体層に酸素が供給され酸化物半導体層中の酸素欠損が低減される。つまり、ドナーとして働く酸素欠損が低減されるためバックチャネルが形成されにくくなる。

【0148】

酸素過剰な絶縁層の形成方法として、例えば、スパッタターゲットとして非酸化物ターゲット（珪素、アルミニウム等）を用い且つスパッタガスとして酸素を用いた反応性スパッタを行う場合において酸素流量を多くする方法、スパッタターゲットとして酸化物ターゲット（酸化珪素、酸化アルミニウム等）を用い且つスパッタガスとして酸素を用いる方法（酸化物ターゲットを用いる場合通常は酸素は不要である。）、絶縁層を形成後に絶縁層に酸素をイオン注入又はイオンドーピングする方法等を用いることができるがこれらに限定されない。（なお、反応性スパッタを行う場合、アルゴン等のガスを用いず酸素100%のスパッタガスとすることが好ましい。）

【0149】

なお、実験により、絶縁層600として酸素過剰な酸化珪素膜をスパッタ法で形成した後に加熱処理すると加熱処理前よりもトランジスタの電気特性が向上することが確認された。

【0150】

また、実験により、スパッタ法で形成する酸素過剰な酸化珪素膜以外の絶縁層を絶縁層600として用いる場合であっても加熱処理をした方がトランジスタの電気特性が向上することがわかった。

【0151】

絶縁層600としてスパッタ法で形成する酸素過剰な酸化珪素膜を用いなかった場合であっても第2の加熱処理をした方がトランジスタの電気特性が向上した理由は、酸化物半導体層に酸素が供給された効果ではなく、第2の加熱処理により絶縁層中の水素原子を含む物質（特に水、水素）が低減されたためである。

【0152】

本実施の形態の内容の一部又は全部は、他の全ての実施の形態と組み合わせて実施することができる。

【0153】

（実施の形態2）

本実施の形態では実施の形態1と異なる構造のトランジスタを有する半導体装置について説明する。

【0154】

なお、各層の材料等は実施の形態1と同じものを用いることができる。

【0155】

図3（A）のトランジスタはボトムゲートボトムコンタクト型（BGBC）であり、絶縁表面を有する基板100上に設けられたゲート電極200と、ゲート電極200上に設けられたゲート絶縁層300と、ゲート絶縁層300上に設けられたコンタクト電極510及びコンタクト電極520と、ゲート絶縁層300上、コンタクト電極510上、及びコンタクト電極520上に設けられた酸化物半導体層410（島状）と、を有するトランジスタである。

【0156】

なお、トランジスタを覆う絶縁層600が設けられている。

【0157】

また、破線で囲まれた酸化物半導体領域8000の部分にバックチャネルが形成される場合がある。

【0158】

図3(B)のトランジスタはトップゲート型のトランジスタであり、絶縁表面を有する基板100上に設けられた酸化物半導体層410(島状)と、酸化物半導体層410上に設けられたゲート絶縁層300と、ゲート絶縁層300上に設けられたゲート電極200とを有するトランジスタである。

【0159】

なお、トランジスタを覆う絶縁層600が設けられており、前記絶縁層600に設けられたコンタクトホールを介して配線810、配線820、配線830が設けられている。

【0160】

図3(C)のトランジスタはチャネルストップ型のトランジスタであり、絶縁表面を有する基板100上に設けられたゲート電極200と、ゲート電極200上に設けられたゲート絶縁層300と、ゲート絶縁層300上に設けられた酸化物半導体層410(島状)と、酸化物半導体層410上に設けられたチャネル保護層700と、酸化物半導体層410上及びチャネル保護層700上に設けられたコンタクト電極510及びコンタクト電極520と、を有するトランジスタである。

10

【0161】

なお、トランジスタを覆う絶縁層600が設けられている。

【0162】

また、破線で囲まれた酸化物半導体領域8000の部分にバックチャネルが形成される場合がある。

20

【0163】

ここで、チャネル保護層700の材料は、実施の形態1で説明した絶縁層600の材料と同様の材料を用いることができる。(チャネル保護層700と絶縁層600の材料は同じでも異なっても良い。)

【0164】

そして、チャネルストップ型のトランジスタにおいてバックチャネルが形成される領域、すなわち破線で囲まれた酸化物半導体領域8000と接する部分は絶縁層600ではなくチャネル保護層700である。

【0165】

よって、チャネル保護層700は水素原子を含む物質の含有量が少ないものを用いることが好ましい。

30

【0166】

以上のように、トランジスタの構造はどのようなものでも良い。

【0167】

つまり、トランジスタは、少なくともゲート電極と、酸化物半導体層と、前記ゲート電極と前記酸化物半導体層との間に挟まれたゲート絶縁層を有するものであればどのようなものを用いても良い。

【0168】

したがって、トランジスタの構造は、開示された発明が実施の形態1及び実施の形態2に列挙した構造に限定されないことを付言しておく。

40

【0169】

本実施の形態の内容の一部又は全部は、他の全ての実施の形態と組み合わせて実施することができる。

【0170】

(実施の形態3)

酸化物半導体層の比誘電率をC/V特性から求める新規な方法について説明する。

【0171】

まず、図4(A)に示すMOSキャパシタ(測定装置)を形成する。

【0172】

図4(A)に示すMOSキャパシタ(測定装置)は新規なものである。

50

【0173】

図4(A)に示すように、シリコンウェハ1001(Silicon Wafer)上に酸化物半導体層1002(Oxide Semiconductor)が設けられており、酸化物半導体層1002(Oxide Semiconductor)上にゲート電極層1003(Gate Electrode)が設けられている。なお、シリコンウェハ1001はN型でもP型でも良い。

【0174】

なお、シリコンウェハ1001の下に裏面電極を形成しても良い。

【0175】

ゲート電極層及び裏面電極層の材料は、導電性を有している材料を用いることができる。 10

【0176】

酸化物半導体のバンドギャップは、シリコンのバンドギャップよりも広い。

【0177】

このため、酸化物半導体の伝導帯とシリコンの伝導帯との間にポテンシャル障壁が生じる。同様に酸化物半導体の価電子帯とシリコンの価電子帯との間にポテンシャル障壁が生じる。

【0178】

酸化物半導体層1002とシリコンウェハ1001との界面にこれらのポテンシャル障壁が存在するため、ゲート電極層1003またはシリコンウェハ1001から酸化物半導体層1002中にキャリアが注入されるのが抑えられる。これにより図4(A)の構成にてC/V特性を取得することができる。 20

【0179】

したがって、シリコンウェハ1001の代わりに酸化物半導体層1002よりもバンドギャップの狭い半導体を用いても良い。

【0180】

バンドギャップの狭い半導体としては、シリコン(約1.12 eV)、ゲルマニウム(約0.67 eV)、ガリウム砒素(約1.43 eV)等を用いることができる。なお、酸化物半導体層(例えばIn-Ga-Zn-O系の酸化物半導体層)のバンドギャップは約3~3.7 eVである。 30

【0181】

半導体はウェハ状(基板状)であっても、膜状であってもどちらでも良い。

【0182】

なお、酸化物半導体以外にも、バンドギャップの広い半導体(炭化珪素(約3 eV)、窒化ガリウム(約3.4 eV)、窒化アルミニウム(5.9 eV)、ダイヤモンド(5.27 eV)等)の比誘電率を測定することが可能である。この場合、図4(A)の酸化物半導体層を比誘電率を測定したい半導体に置換すれば良い。

【0183】

つまり、図4(A)の構造体を用いることによって、バンドギャップが2.5 eV(又は3 eV以上)の半導体の比誘電率を測定することができる。 40

【0184】

図5はP型シリコンウェハを用いた場合のC/V特性を表している。ここで、反転状態(反転領域、 V_g がプラス)の容量はシリコンウェハの空乏層容量と酸化物半導体層の容量との合計容量になる。

【0185】

一方、蓄積状態(蓄積領域、 V_g がマイナス)では反転層が生じないため、蓄積状態の容量は酸化物半導体層の容量と等しくなって容量値が飽和する。

【0186】

そして、真空の誘電率 ϵ_0 、酸化物半導体層の膜厚 d 、ゲート電極の面積 S とすると、蓄積状態の飽和容量 C_s は数式(3)で与えられる。 50

【 0 1 8 7 】

【 数 5 】

$$C_a = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d} \quad (3)$$

【 0 1 8 8 】

数式 (3) を変形すると数式 (4) のようになる。

【 0 1 8 9 】

10

【 数 6 】

$$\varepsilon = C_a \frac{1}{\varepsilon_0} \frac{d}{S} \quad (4)$$

【 0 1 9 0 】

酸化物半導体層の膜厚 d 、ゲート電極の面積 S は MOS キャパシタ (測定装置) 作製時に設定される設計値である。

【 0 1 9 1 】

20

なお、真空の誘電率 ε_0 は $8.85418782 \times 10^{-12} \text{ m}^{-3} \text{ kg}^{-1} \text{ s}^4 \text{ A}^2$ を用いれば良い。

【 0 1 9 2 】

以上のように図 4 (A) のような特殊構造の MOS キャパシタ (測定装置) を作製することによって、数式 (4) から比誘電率を計算することが可能である。

【 0 1 9 3 】

本実施の形態の内容の一部又は全部は、他の全ての実施の形態と組み合わせて実施することができる。

【 実施例 1 】

【 0 1 9 4 】

30

図 4 (A) の構造を形成して酸化物半導体層の C V 測定を行うことにより、酸化物半導体層の比誘電率を求めた。

【 0 1 9 5 】

まず、P 型のシリコンウェハ上に In - Ga - Zn - O 系の酸化物半導体層を 300 nm の膜厚で形成した。次に、酸化物半導体層上に銀の電極を 300 nm 形成した。(図 4 (A))

【 0 1 9 6 】

酸化物半導体層の成膜条件は、In : Ga : Zn が 1 : 1 : 1 (モル比) (In_2O_3 : Ga_2O_3 : ZnO が 1 : 1 : 2 (モル比)) である In - Ga - Zn - O 系のターゲットを用い、0.5 kW の電力、0.4 Pa の圧力、 $\text{Ar} / \text{O}_2 = 35 / 10 \text{ sccm}$ のガス流量比とし、基板温度は室温とした。

40

【 0 1 9 7 】

そして、上記のようにして形成した図 4 (A) の構造体を 2 つ用意した。(サンプル 1 及びサンプル 2)

【 0 1 9 8 】

サンプル 1 は大気雰囲気中で 350 、1 時間の加熱処理を行った。

【 0 1 9 9 】

サンプル 2 は大気雰囲気中で 450 、1 時間の加熱処理を行った。

【 0 2 0 0 】

なお、半導体としてシリコンを使用する際には、酸化物半導体との界面に酸化膜が形成さ

50

れないような加熱処理の条件を選択することが望ましい。

【 0 2 0 1 】

そして、実施の形態 3 に記載した方法を用いて比誘電率を算出した。

【 0 2 0 2 】

その結果、サンプル 1 (3 5 0) は比誘電率 1 6 . 7 、サンプル 2 (4 5 0) は比誘電率 1 4 . 7 となった。

【 0 2 0 3 】

このように、酸素過剰のターゲットを用い、且つ酸素をスパッタガスに混入して成膜を行ってキャリアを誘起する酸素欠損及び水素原子を含有する物質を排除した In - Ga - Zn - O 系の酸化物半導体層は高い比誘電率を有していた。

10

【 0 2 0 4 】

なお、熱処理温度の高い方が脱水素量が多いため酸化物半導体層中のキャリアが減少しているはずである。しかし、本実施例では熱処理温度の高い方が比誘電率が下がった結果となった。一方、酸化物半導体層の結晶性が高いほど比誘電率は下がる傾向にある。よって、熱処理温度の高い方が比誘電率が下がった理由は、熱処理温度により酸化物半導体層の構造が変化したためであると考察した。

【 0 2 0 5 】

即ち、4 5 0 、1 時間の加熱処理により、酸化物半導体がアモルファスから結晶性を持つことにより比誘電率が下がったと考察した。

20

【 符号の説明 】

【 0 2 0 6 】

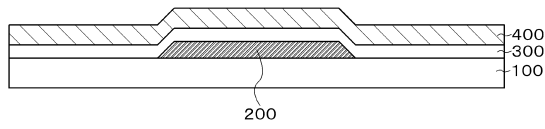
- 1 0 0 基板
- 2 0 0 ゲート電極
- 3 0 0 ゲート絶縁層
- 4 0 0 酸化物半導体層
- 4 1 0 酸化物半導体層
- 5 0 0 導電層
- 5 1 0 コンタクト電極
- 5 2 0 コンタクト電極
- 6 0 0 絶縁層
- 7 0 0 チャネル保護層
- 8 1 0 配線
- 8 2 0 配線
- 8 3 0 配線
- 1 0 0 1 シリコンウェハ
- 1 0 0 2 酸化物半導体層
- 1 0 0 3 ゲート電極層
- 1 1 0 1 第 1 の電極
- 1 1 0 2 酸化物半導体層
- 1 1 0 3 第 2 の電極
- 8 0 0 0 酸化物半導体領域

30

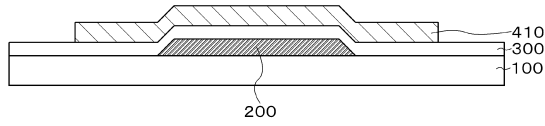
40

【図 1】

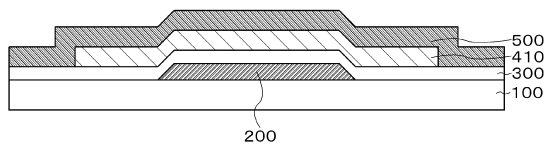
(A)



(B)

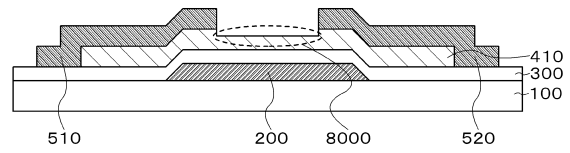


(C)

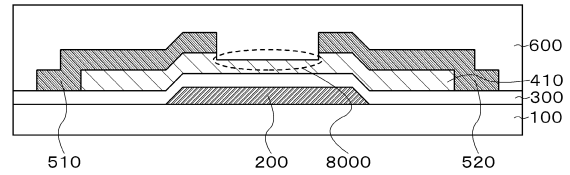


【図 2】

(A)

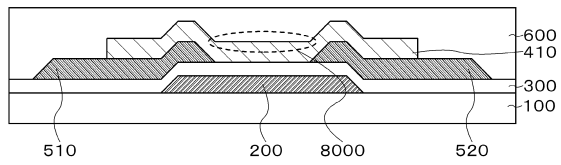


(B)

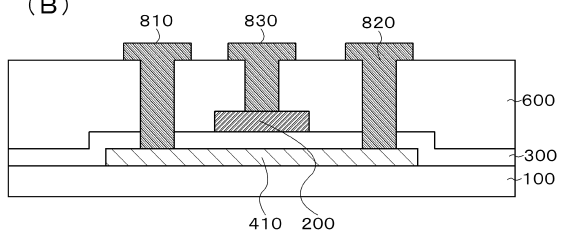


【図 3】

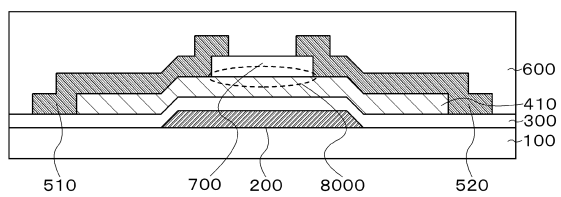
(A)



(B)

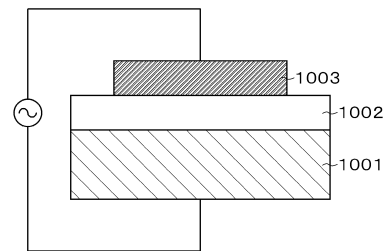


(C)

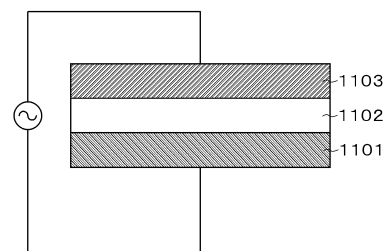


【図 4】

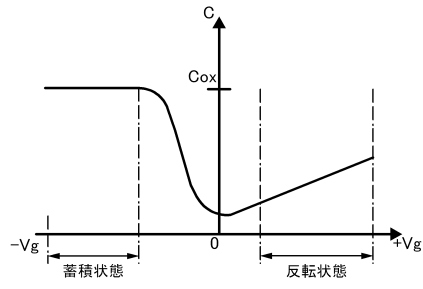
(A)



(B)



【図 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2009/075281(WO, A1)

特開2008-281988(JP, A)

特開2008-053356(JP, A)

特開2009-272427(JP, A)

特開2007-073614(JP, A)

特開2007-194628(JP, A)

特開2008-199005(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/786

H01L 21/336