

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6987520号
(P6987520)

(45) 発行日 令和4年1月5日 (2022. 1. 5)

(24) 登録日 令和3年12月3日 (2021. 12. 3)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 21/336 (2006. 01)

HO 1 L 29/786 (2006. 01)

HO 1 L 29/78 6 1 9 A

HO 1 L 29/78 6 1 8 B

HO 1 L 29/78 6 1 8 E

HO 1 L 29/78 6 1 7 U

HO 1 L 29/78 6 1 7 T

請求項の数 3 (全 72 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-74988 (P2017-74988)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成29年4月5日 (2017. 4. 5)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2017-191934 (P2017-191934A)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地
(43) 公開日	平成29年10月19日 (2017. 10. 19)	(72) 発明者	山崎 舜平
審査請求日	令和2年3月31日 (2020. 3. 31)		神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2016-78286 (P2016-78286)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成28年4月8日 (2016. 4. 8)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)	審査官	市川 武宜
(31) 優先権主張番号	特願2016-78347 (P2016-78347)		
(32) 優先日	平成28年4月8日 (2016. 4. 8)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 乃至第 3 の電極と、第 1 乃至第 5 の絶縁層と、第 1 の酸化物半導体層および第 2 の酸化物半導体層と、を有し、

前記第 1 の絶縁層は、前記第 1 の電極の上にあり、

前記第 2 の絶縁層は、前記第 1 の絶縁層の上にあり、

前記第 3 の絶縁層は、前記第 2 の絶縁層の上にあり、

前記第 1 の酸化物半導体層は、前記第 3 の絶縁層の上にあり、

前記第 2 の酸化物半導体層は、前記第 1 の酸化物半導体層の上にあり、

前記第 1 の電極、前記第 1 の絶縁層、前記第 2 の絶縁層、前記第 3 の絶縁層、前記第 1 の酸化物半導体層、および前記第 2 の酸化物半導体層は、それぞれが互いに重なる領域を有し、

前記第 2 の電極は、前記第 2 の酸化物半導体層上で前記第 2 の酸化物半導体層と重なる領域と、前記第 2 の絶縁層上で前記第 2 の絶縁層と重なる領域と、を有し、

前記第 3 の電極は、前記第 2 の酸化物半導体層上で前記第 2 の酸化物半導体層と重なる領域と、前記第 2 の絶縁層上で前記第 2 の絶縁層と重なる領域と、を有し、

前記第 4 の絶縁層は、前記第 2 の酸化物半導体層と重なる領域を有し、

前記第 5 の絶縁層は、前記第 4 の絶縁層の上にあり、

前記第 2 の酸化物半導体層は結晶性を有し、

前記第 2 の電極は、第 1 の導電層と、前記第 1 の導電層の上にある第 3 の導電層と、前

10

20

記第 1 の導電層及び前記第 3 の導電層により覆われた、銅を含む第 2 の導電層と、を有し、

前記第 3 の電極は、第 4 の導電層と、前記第 4 の導電層の上にある第 6 の導電層と、前記第 4 の導電層及び前記第 6 の導電層により覆われた、銅を含む第 5 の導電層と、を有し、

前記第 2 の絶縁層は、前記第 3 の絶縁層及び前記第 4 の絶縁層に設けられた開口を介して、前記第 5 の絶縁層と接する第 1 の領域を有し、

前記第 1 の酸化物半導体層及び前記第 2 の酸化物半導体層を平面図で見た場合に、前記第 1 の領域は、前記第 1 の酸化物半導体層及び前記第 2 の酸化物半導体層の外側を囲んでいる半導体装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記第 2 の絶縁層は、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化ガリウム、酸化ゲルマニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ランタン、酸化ネオジム、酸化ハフニウム、酸化タンタル、または窒化シリコンを有する半導体装置。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 において、

前記第 5 の絶縁層は、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化ガリウム、酸化ゲルマニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ランタン、酸化ネオジム、酸化ハフニウム、酸化タンタル、または窒化シリコンを有する半導体装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物、方法、または製造方法に関する。または、本発明は、プロセス、マシン、マニファクチャ、または組成物（コンポジション・オブ・マター）に関する。また、本発明の一態様は、半導体装置、表示装置、発光装置、照明装置、蓄電装置、記憶装置、プロセッサ、それらの駆動方法またはそれらの製造方法に関する。特に、本発明の一態様は、酸化物半導体を含む半導体装置、表示装置、または発光装置に関する。

30

【0002】

なお、本明細書等において半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指す。表示装置、発光装置、照明装置、電気光学装置、半導体回路および電子機器は、半導体装置を有する場合がある。

【背景技術】

【0003】

トランジスタの半導体層に用いる材料の一つとしてシリコンが知られている。シリコンは、用途によって非晶質シリコンと多結晶シリコンとが使い分けられている。例えば、大型の表示装置を構成するトランジスタの半導体層にシリコンを用いる場合、大面積基板への形成技術が確立されている非晶質シリコンを用いると好適である。また、駆動回路を一体形成した高機能の表示装置を構成するトランジスタの半導体層にシリコンを用いる場合、高い電界効果移動度を有するトランジスタを作製可能な多結晶シリコンを用いると好適である。

40

【0004】

一方で、近年は、トランジスタの半導体層に用いる材料として、酸化物半導体が注目されている。例えば、インジウム、ガリウムおよび亜鉛を有する非晶質酸化物半導体を用いたトランジスタが知られている（特許文献 1 参照。）。

【0005】

酸化物半導体は、スパッタリング法などを用いて形成できるため、大型の表示装置を構成

50

するトランジスタの半導体層に用いることができる。また、非晶質シリコンを用いたトランジスタの生産設備の一部を改良して利用することが可能であるため、設備投資を抑えられる。また、酸化物半導体を用いたトランジスタは、高い電界効果移動度を有するため、駆動回路を一体形成した高機能の表示装置を実現できる。

【0006】

加えて、半導体層に酸化物半導体を用いたトランジスタは、非導通状態において極めてリーク電流が小さいことが知られている。例えば、酸化物半導体を用いたトランジスタのリーク電流が低いという特性を応用した低消費電力のCPUなどが開示されている（特許文献2参照。）。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2006-165528号公報

【特許文献2】特開2012-257187号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

電気特性の良好なトランジスタを提供することを課題の一とする。または、電気特性の安定したトランジスタを提供することを課題の一とする。または、消費電力の少ないトランジスタを提供することを課題の一とする。または、信頼性の良好なトランジスタを提供することを課題の一とする。または、新規なトランジスタを提供することを課題の一とする。または、これらのトランジスタの少なくとも一つを有する半導体装置を提供することを課題の一とする。

20

【0009】

なお、これらの課題の記載は、他の課題の存在を妨げるものではない。なお、本発明の一態様は、これらの課題の全てを解決する必要はないものとする。なお、これら以外の課題は、明細書、図面、請求項などの記載から、自ずと明らかとなるものであり、明細書、図面、請求項などの記載から、これら以外の課題を抽出することが可能である。

【課題を解決するための手段】

【0010】

30

チャネルが形成される半導体層に酸化物半導体層を用いたボトムゲート構造のトランジスタにおいて、酸化物半導体層上に過剰酸素を含む絶縁層を形成した後、途中で大気に曝すことなく、不純物が透過しにくい絶縁層を形成する。不純物が透過しにくい絶縁層としては、酸化アルミニウム層などを用いることができる。また、ソース電極およびドレイン電極に、水素を吸い取る機能を有する導電層を用いることで、酸化物半導体層中の水素濃度を低減することができる。

【0011】

または、チャネルが形成される半導体層に酸化物半導体層を用いたトップゲート構造のトランジスタにおいて、ゲート電極の形成後、ゲート電極をマスクとして用いて酸化物半導体層に不純物を導入する。もしくは、不活性ガスまたは窒素ガスのプラズマ処理などを行う。続いて、加熱処理を行った後、途中で大気に曝すことなく、不純物が透過しにくい絶縁層を形成する。

40

【0012】

本発明の一態様は、第1乃至第3の電極と、第1乃至第5の絶縁層と、第1および第2の酸化物半導体層と、を有し、第1の絶縁層は、第1の電極の上にあり、第2の絶縁層は、第1の絶縁層の上にあり、第3の絶縁層は、第2の絶縁層の上にあり、第1の酸化物半導体層は、第3の絶縁層の上にあり、第2の酸化物半導体層は、第1の酸化物半導体層の上にあり、第1の電極、第1の絶縁層、第2の絶縁層、第3の絶縁層、第1の酸化物半導体層、および第2の酸化物半導体層は、それぞれが互いに重なる領域を有し、第2の電極は、第2の酸化物半導体層上で第2の酸化物半導体層と重なる領域と、第2の絶縁層上で第

50

2の絶縁層と重なる領域と、を有し、第3の電極は、第2の酸化物半導体層上で第2の酸化物半導体層と重なる領域と、第2の絶縁層上で第2の絶縁層と重なる領域と、を有し、第4の絶縁層は、第2の酸化物半導体層と重なる領域を有し、第5の絶縁層は、第4の絶縁層の上にあり、第2の酸化物半導体層は結晶性を有することを特徴とするトランジスタである。

【0013】

または、本発明の一態様は、第1の電極を形成する工程と、第1の電極を覆う第1の絶縁層を形成する工程と、第1の絶縁層上に第2の絶縁層を形成する工程と、第2の絶縁層上に第3の絶縁層を形成する工程と、第3の絶縁層上に第1の酸化物半導体層を形成する工程と、第1の酸化物半導体層上に第2の酸化物半導体層を形成する工程と、第1の酸化物半導体層および第2の酸化物半導体層を島状に加工する工程と、一部が第2の酸化物半導体層の一部と重なる第2の電極および一部が第2の酸化物半導体層の他の一部と重なる第3の電極を形成する工程と、第2の酸化物半導体層を覆う第4の絶縁層を形成する工程と、加熱処理を行う工程と、第4の絶縁層上に第5の絶縁層を形成する工程と、を有し、加熱処理を行う工程から第5の絶縁層を形成する工程までを大気に曝すことなく行うことを特徴とするトランジスタの作製方法である。

10

【0014】

第2の絶縁層は、アルミニウムと酸素を含むことが好ましい。第5の絶縁層は、アルミニウムと酸素を含むことが好ましい。

【0015】

20

第4の絶縁層を形成した後に行なう加熱処理は、200 以上500 以下で行われることが好ましい。

【0016】

また、当該加熱処理は、不活性雰囲気下で行ってもよいし、酸化性雰囲気下で行ってもよい。当該加熱処理は、不活性雰囲気下で行った後に酸化性雰囲気下で行ってもよい。

【0017】

または、本発明の一態様は、第1の電極と、第2の電極と、第1乃至第5の絶縁層と、酸化物半導体層と、を有し、第1の絶縁層は、第1の電極の上にあり、第2の絶縁層は、第1の絶縁層の上にあり、第3の絶縁層は、第2の絶縁層の上にあり、酸化物半導体層は、第3の絶縁層の上にあり、第4の絶縁層は、酸化物半導体層の上にあり、第2の電極は、第4の絶縁層の上にあり、第1の電極、第2の電極、および第1乃至第4の絶縁層は、互いに重なる領域を有し、第5の絶縁層は、第2の電極を覆う領域と、酸化物半導体層と接する領域と、を有することを特徴とするトランジスタである。

30

【0018】

または、本発明の一態様は、第1の電極を形成する工程と、第1の電極を覆う第1の絶縁層を形成する工程と、第1の絶縁層上に第2の絶縁層を形成する工程と、第2の絶縁層上に第3の絶縁層を形成する工程と、第3の絶縁層上に酸化物半導体層を形成する工程と、酸化物半導体層を島状に加工する工程と、酸化物半導体層上に第4の絶縁層を形成する工程と、第4の絶縁層上に第2の電極を形成する工程と、第2の電極をマスクとして用いて第4の絶縁層を島状に加工する工程と、酸化物半導体層の一部に不純物を導入する工程と、加熱処理を行う工程と、第2の電極、および酸化物半導体層を覆って第5の絶縁層を形成する工程と、を有し、加熱処理を行う工程から第5の絶縁層を形成する工程までを大気に曝すことなく行うことを特徴とするトランジスタの作製方法である。

40

【発明の効果】

【0019】

電気特性の良好なトランジスタを提供することができる。または、電気特性の安定したトランジスタを提供することができる。または、消費電力の少ないトランジスタを提供することができる。または、信頼性の良好なトランジスタを提供することができる。または、新規なトランジスタを提供することができる。または、これらのトランジスタの少なくとも一つを有する半導体装置を提供することができる。

50

【 0 0 2 0 】

なお、これらの効果の記載は、他の効果の存在を妨げるものではない。なお、本発明の一態様は、これらの効果の全てを有する必要はない。なお、これら以外の効果は、明細書、図面、請求項などの記載から、自ずと明らかとなるものであり、明細書、図面、請求項などの記載から、これら以外の効果を抽出することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 1 】

【図 1】トランジスタを説明する図。

【図 2】トランジスタを説明する図。

【図 3】トランジスタを説明する図。

10

【図 4】トランジスタを説明する図。

【図 5】トランジスタを説明する図。

【図 6】トランジスタを説明する図。

【図 7】トランジスタの作製工程を説明する図。

【図 8】トランジスタの作製工程を説明する図。

【図 9】トランジスタの作製工程を説明する図。

【図 10】トランジスタの作製工程を説明する図。

【図 11】トランジスタを説明する図。

【図 12】トランジスタを説明する図。

【図 13】トランジスタを説明する図。

20

【図 14】トランジスタを説明する図。

【図 15】トランジスタを説明する図。

【図 16】トランジスタを説明する図。

【図 17】トランジスタを説明する図。

【図 18】本発明に係る酸化物の原子数比の範囲を説明する図。

【図 19】トランジスタを説明する図。

【図 20】トランジスタを説明する図。

【図 21】トランジスタを説明する図。

【図 22】トランジスタを説明する図。

【図 23】トランジスタの作製工程を説明する図。

30

【図 24】トランジスタの作製工程を説明する図。

【図 25】トランジスタの作製工程を説明する図。

【図 26】トランジスタの作製工程を説明する図。

【図 27】トランジスタを説明する図。

【図 28】トランジスタを説明する図。

【図 29】トランジスタを説明する図。

【図 30】トランジスタを説明する図。

【図 31】トランジスタを説明する図。

【図 32】トランジスタを説明する図。

【図 33】トランジスタを説明する図。

40

【図 34】表示装置の一例および画素の回路構成例を説明する図。

【図 35】画素の回路構成例を説明する図。

【図 36】駆動回路の構成例を説明する図。

【図 37】表示装置の一例を説明する図。

【図 38】表示装置の一例を説明する図。

【図 39】表示装置の一例を説明する図。

【図 40】表示モジュールの一例を説明する図。

【図 41】電子機器の一例を説明する図。

【図 42】表示装置の一例を説明する斜視図。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 2 2 】

実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲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。従って、本発明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。なお、以下に説明する発明の構成において、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場合がある。

【 0 0 2 3 】

また、図面などにおいて示す各構成の、位置、大きさ、範囲などは、発明の理解を容易とするため、実際の位置、大きさ、範囲などを表していない場合がある。このため、開示する発明は、必ずしも、図面などに開示された位置、大きさ、範囲などに限定されない。例えば、実際の製造工程において、エッチングなどの処理により層やレジストマスクなどが意図せずに目減りすることがあるが、理解を容易とするために省略して示すことがある。

10

【 0 0 2 4 】

また、特に上面図（「平面図」ともいう。）や斜視図などにおいて、発明の理解を容易とするため、一部の構成要素の記載を省略する場合がある。また、一部の隠れ線などの記載を省略する場合がある。

【 0 0 2 5 】

本明細書等における「第 1」、「第 2」などの序数詞は、構成要素の混同を避けるために付すものであり、工程順または積層順など、なんらかの順番や順位を示すものではない。また、本明細書等において序数詞が付されていない用語であっても、構成要素の混同を避けるため、特許請求の範囲において序数詞が付される場合がある。また、本明細書等において序数詞が付されている用語であっても、特許請求の範囲において異なる序数詞が付される場合がある。また、本明細書等において序数詞が付されている用語であっても、特許請求の範囲などにおいて序数詞を省略する場合がある。

20

【 0 0 2 6 】

また、本明細書等において「電極」や「配線」の用語は、これらの構成要素を機能的に限定するものではない。例えば、「電極」は「配線」の一部として用いられることがあり、その逆もまた同様である。さらに、「電極」や「配線」の用語は、複数の「電極」や「配線」が一体となって設けられている場合なども含む。

30

【 0 0 2 7 】

なお、本明細書等において「上」や「下」の用語は、構成要素の位置関係が直上または直下で、かつ、直接接していることを限定するものではない。例えば、「絶縁層 A 上の電極 B」の表現であれば、絶縁層 A の上に電極 B が直接接して設けられている必要はなく、絶縁層 A と電極 B との間に他の構成要素を含むものを除外しない。

【 0 0 2 8 】

また、ソースおよびドレインの機能は、異なる極性のトランジスタを採用する場合や、回路動作において電流の方向が変化する場合など、動作条件などによって互いに入れ替わるため、いずれがソースまたはドレインであるかを限定することが困難である。このため、本明細書においては、ソースおよびドレインの用語は、入れ替えて用いることができるものとする。

40

【 0 0 2 9 】

また、本明細書等において、X と Y とが接続されている、と明示的に記載されている場合は、X と Y とが電氣的に接続されている場合と、X と Y とが機能的に接続されている場合と、X と Y とが直接接続されている場合とが、本明細書等を開示されているものとする。したがって、所定の接続関係、例えば、図または文章に示された接続関係に限定されず、図または文章に示された接続関係以外のものも、図または文章に記載されているものとする。

【 0 0 3 0 】

また、本明細書等において、「電氣的に接続」には、「何らかの電氣的作用を有するもの

50

」を介して接続されている場合が含まれる。ここで、「何らかの電気的作用を有するもの」は、接続対象間での電気信号の授受を可能とするものであれば、特に制限を受けない。よって、「電氣的に接続する」と表現される場合であっても、現実の回路においては、物理的な接続部分がなく、配線が延在しているだけの場合もある。

【 0 0 3 1 】

なお、チャンネル長とは、例えば、トランジスタの上面図において、半導体（またはトランジスタがオン状態のときに半導体の中で電流の流れる部分）とゲート電極とが互いに重なる領域、またはチャンネルが形成される領域における、ソース（ソース領域またはソース電極）とドレイン（ドレイン領域またはドレイン電極）との間の距離をいう。なお、一つのトランジスタにおいて、チャンネル長が全ての領域で同じ値をとるとは限らない。即ち、一つのトランジスタのチャンネル長は、一つの値に定まらない場合がある。そのため、本明細書では、チャンネル長は、チャンネルの形成される領域における、いずれか一の値、最大値、最小値または平均値とする。

10

【 0 0 3 2 】

チャンネル幅とは、例えば、半導体（またはトランジスタがオン状態のときに半導体の中で電流の流れる部分）とゲート電極とが互いに重なる領域、またはチャンネルが形成される領域における、ソースとドレインとが向かい合っている部分の長さをいう。なお、一つのトランジスタにおいて、チャンネル幅がすべての領域で同じ値をとるとは限らない。即ち、一つのトランジスタのチャンネル幅は、一つの値に定まらない場合がある。そのため、本明細書では、チャンネル幅は、チャンネルの形成される領域における、いずれか一の値、最大値、最小値または平均値とする。

20

【 0 0 3 3 】

なお、トランジスタの構造によっては、実際にチャンネルの形成される領域におけるチャンネル幅（以下、「実効的なチャンネル幅」ともいう。）と、トランジスタの上面図において示されるチャンネル幅（以下、「見かけ上のチャンネル幅」ともいう。）と、が異なる場合がある。例えば、ゲート電極が半導体層の側面を覆う場合、実効的なチャンネル幅が、見かけ上のチャンネル幅よりも大きくなり、その影響が無視できなくなる場合がある。例えば、微細かつゲート電極が半導体の側面を覆うトランジスタでは、半導体の側面に形成されるチャンネル形成領域の割合が大きくなる場合がある。その場合は、見かけ上のチャンネル幅よりも、実効的なチャンネル幅の方が大きくなる。

30

【 0 0 3 4 】

このような場合、実効的なチャンネル幅の、実測による見積もりが困難となる場合がある。例えば、設計値から実効的なチャンネル幅を見積もるためには、半導体の形状が既知という仮定が必要である。したがって、半導体の形状が正確にわからない場合には、実効的なチャンネル幅を正確に測定することは困難である。

【 0 0 3 5 】

そこで、本明細書では、見かけ上のチャンネル幅を、「囲い込みチャンネル幅（SCW：Surrounded Channel Width）」と呼ぶ場合がある。また、本明細書では、単にチャンネル幅と記載した場合には、囲い込みチャンネル幅または見かけ上のチャンネル幅を指す場合がある。または、本明細書では、単にチャンネル幅と記載した場合には、実効的なチャンネル幅を指す場合がある。なお、チャンネル長、チャンネル幅、実効的なチャンネル幅、見かけ上のチャンネル幅、囲い込みチャンネル幅などは、断面TEM像などを解析することなどによって、値を決定することができる。

40

【 0 0 3 6 】

なお、トランジスタの電界効果移動度や、チャンネル幅当たりの電流値などを計算して求める場合、囲い込みチャンネル幅を用いて計算する場合がある。その場合には、実効的なチャンネル幅を用いて計算する場合とは異なる値をとる場合がある。

【 0 0 3 7 】

なお、半導体の「不純物」とは、例えば、半導体を構成する主成分以外をいう。例えば、濃度が0.1原子%未満の元素は不純物と言える。不純物が含まれることにより、例えば

50

、半導体のDOS (Density of States) が高くなることや、キャリア移動度が低下することや、結晶性が低下することなどが起こる場合がある。半導体が酸化物半導体である場合、半導体の特性を変化させる不純物としては、例えば、第1族元素、第2族元素、第13族元素、第14族元素、第15族元素、および酸化物半導体の主成分以外の遷移金属などがあり、例えば、水素、リチウム、ナトリウム、シリコン、ホウ素、リン、炭素、窒素などがある。

【0038】

酸化物半導体の場合、水も不純物として機能する場合がある。また、酸化物半導体の場合、例えば不純物の混入によって酸素欠損を形成する場合がある。また、半導体がシリコンである場合、半導体の特性を変化させる不純物としては、例えば、酸素、水素を除く第1族元素、第2族元素、第13族元素、第15族元素などがある。

10

【0039】

また、本明細書において、「平行」とは、二つの直線が -10° 以上 10° 以下の角度で配置されている状態をいう。従って、 -5° 以上 5° 以下の場合も含まれる。また、「略平行」とは、二つの直線が -30° 以上 30° 以下の角度で配置されている状態をいう。また、「垂直」および「直交」とは、二つの直線が 80° 以上 100° 以下の角度で配置されている状態をいう。従って、 85° 以上 95° 以下の場合も含まれる。また、「略垂直」とは、二つの直線が 60° 以上 120° 以下の角度で配置されている状態をいう。

【0040】

また、本明細書において、結晶が三方晶または菱面体晶である場合、六方晶系として表す。

20

【0041】

なお、本明細書等において、計数値および計量値に関して「同一」、「同じ」、「等しい」または「均一」（これらの同意語を含む）などと言う場合は、明示されている場合を除き、プラスマイナス20%の誤差を含むものとする。

【0042】

また、本明細書等において、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成し、その後エッチング工程（除去工程）を行う場合は、特段の説明がない限り、当該レジストマスクは、エッチング工程終了後に除去するものとする。

【0043】

また、本明細書等において、高電源電位VDD（「VDD」または「H電位」ともいう。）とは、低電源電位VSSよりも高い電位の電源電位を示す。また、低電源電位VSS（「VSS」または「L電位」ともいう。）とは、高電源電位VDDよりも低い電位の電源電位を示す。また、接地電位（「GND」または「GND電位」ともいう。）をVDDまたはVSSとして用いることもできる。例えばVDDが接地電位の場合には、VSSは接地電位より低い電位であり、VSSが接地電位の場合には、VDDは接地電位より高い電位である。

30

【0044】

なお、「膜」という言葉と、「層」という言葉とは、場合によっては、または、状況に応じて、互いに入れ替えることが可能である。例えば、「導電層」という用語を、「導電膜」という用語に変更することが可能な場合がある。または、例えば、「絶縁膜」という用語を、「絶縁層」という用語に変更することが可能な場合がある。

40

【0045】

また、本明細書等において、トランジスタとは、ゲートと、ドレインと、ソースとを含む少なくとも三つの端子を有する素子である。そして、ドレイン（ドレイン端子、ドレイン領域またはドレイン電極）とソース（ソース端子、ソース領域またはソース電極）の間にチャンネル領域を有しており、チャンネル領域を介してソースとドレインとの間に電流を流すことができるものである。なお、本明細書等において、チャンネル領域とは、電流が主として流れる領域をいう。

【0046】

50

また、本明細書等に示すトランジスタは、特に断りがない場合、エンハンスメント型（ノーマリーオフ型）の電界効果トランジスタとする。また、本明細書等に示すトランジスタは、特に断りがない場合、nチャネル型のトランジスタとする。よって、そのしきい値電圧（「 V_{th} 」ともいう。）は、特に断りがない場合、0 Vよりも大きいものとする。

【0047】

なお、本明細書等において、バックゲートを有するトランジスタの V_{th} は、特に断りがない場合、バックゲートの電位をソースまたはゲートと同電位としたときの V_{th} をいう。

【0048】

また、本明細書等において、特に断りがない場合、オフ電流とは、トランジスタがオフ状態（非導通状態、遮断状態、ともいう）にあるときのドレイン電流をいう。オフ状態とは、特に断りがない場合、nチャネル型トランジスタでは、ゲートとソースの間の電圧 V_{gs} がしきい値電圧 V_{th} よりも低い状態、pチャネル型トランジスタでは、ゲートとソースの間の電圧 V_{gs} がしきい値電圧 V_{th} よりも高い状態をいう。例えば、nチャネル型のトランジスタのオフ電流とは、ゲートとソースの間の電圧 V_{gs} がしきい値電圧 V_{th} よりも低いときのドレイン電流を言う場合がある。

【0049】

トランジスタのオフ電流は、 V_{gs} に依存する場合がある。従って、トランジスタのオフ電流が I 以下である、とは、トランジスタのオフ電流が I 以下となる V_{gs} の値が存在することを言う場合がある。トランジスタのオフ電流は、所定の V_{gs} におけるオフ状態、所定の範囲内の V_{gs} におけるオフ状態、または、十分に低減されたオフ電流が得られる V_{gs} におけるオフ状態、等におけるオフ電流を指す場合がある。

【0050】

一例として、しきい値電圧 V_{th} が0.5 Vであり、 V_{gs} が0.5 Vにおけるドレイン電流が 1×10^{-9} Aであり、 V_{gs} が0.1 Vにおけるドレイン電流が 1×10^{-13} Aであり、 V_{gs} が-0.5 Vにおけるドレイン電流が 1×10^{-19} Aであり、 V_{gs} が-0.8 Vにおけるドレイン電流が 1×10^{-22} Aであるようなnチャネル型トランジスタを想定する。当該トランジスタのドレイン電流は、 V_{gs} が-0.5 Vにおいて、または、 V_{gs} が-0.5 V乃至-0.8 Vの範囲において、 1×10^{-19} A以下であるから、当該トランジスタのオフ電流は 1×10^{-19} A以下である、と言う場合がある。当該トランジスタのドレイン電流が 1×10^{-22} A以下となる V_{gs} が存在するため、当該トランジスタのオフ電流は 1×10^{-22} A以下である、と言う場合がある。

【0051】

トランジスタのオフ電流は、温度に依存する場合がある。本明細書において、オフ電流は、特に記載がない場合、室温、60、85、95、または125におけるオフ電流を表す場合がある。または、当該トランジスタが含まれる半導体装置等の信頼性が保証される温度、または、当該トランジスタが含まれる半導体装置等が使用される温度（例えば、5乃至35のいずれか一の温度）におけるオフ電流、を表す場合がある。トランジスタのオフ電流が I 以下である、とは、室温、60、85、95、125、当該トランジスタが含まれる半導体装置の信頼性が保証される温度、または、当該トランジスタが含まれる半導体装置等が使用される温度（例えば、5乃至35のいずれか一の温度）、におけるトランジスタのオフ電流が I 以下となる V_{gs} の値が存在することを指す場合がある。

【0052】

トランジスタのオフ電流は、ドレインとソースの間の電圧 V_{ds} に依存する場合がある。本明細書において、オフ電流は、特に記載がない場合、 V_{ds} が0.1 V、0.8 V、1 V、1.2 V、1.8 V、2.5 V、3 V、3.3 V、10 V、12 V、16 V、または20 Vにおけるオフ電流を表す場合がある。または、当該トランジスタが含まれる半導体装置等の信頼性が保証される V_{ds} 、または、当該トランジスタが含まれる半導体装置等において使用される V_{ds} におけるオフ電流、を表す場合がある。トランジスタのオフ電

10

20

30

40

50

流がI以下である、とは、 V_{ds} が0.1V、0.8V、1V、1.2V、1.8V、2.5V、3V、3.3V、10V、12V、16V、20V、当該トランジスタが含まれる半導体装置の信頼性が保証される V_{ds} 、または、当該トランジスタが含まれる半導体装置等において使用される V_{ds} 、におけるトランジスタのオフ電流がI以下となる V_{gs} の値が存在することを指す場合がある。

【0053】

上記オフ電流の説明において、ドレインをソースと読み替えてもよい。つまり、オフ電流は、トランジスタがオフ状態にあるときのソースを流れる電流を言う場合もある。

【0054】

また、本明細書等では、オフ電流と同じ意味で、リーク電流と記載する場合がある。また、本明細書等において、オフ電流とは、例えば、トランジスタがオフ状態にあるときに、ソースとドレインとの間に流れる電流を指す場合がある。

【0055】

(実施の形態1)

本発明の一態様のトランジスタ100について、図面を用いて説明する。

【0056】

<トランジスタ100の構造例>

図1(A)は、トランジスタ100の平面図である。図1(B)は、図1(A)に記したX1-X2の一点鎖線で示す部位の断面図である。図1(C)は、図1(A)に記したY1-Y2の一点鎖線で示す部位の断面図である。図2(A)は、図1(B)に示した部位131の拡大図である。図2(B)は、図1(C)に示した部位132の拡大図である。

【0057】

トランジスタ100はボトムゲート型のトランジスタの一種である。トランジスタ100は、電極102、絶縁層103、絶縁層104、絶縁層105、酸化物半導体層106(酸化物半導体層106_1、および酸化物半導体層106_2)、電極107a(電極107a_1、電極107a_2、電極107a_3)、電極107b(電極107b_1、電極107b_2、および電極107b_3)、絶縁層108、絶縁層109、および絶縁層110を有する。

【0058】

電極102は、基板101上に設けられている。絶縁層103は電極102を覆って設けられている。絶縁層104は、絶縁層103の上に設けられている。絶縁層105は、絶縁層104の上に設けられている。酸化物半導体層106は、絶縁層105の上に設けられている。電極102と酸化物半導体層106は、絶縁層103、絶縁層104、および絶縁層105を介して、互いに重なる領域を有する。

【0059】

電極107aおよび電極107bは、絶縁層105の上に設けられている。電極107aは、酸化物半導体層106の一部と重なる領域を有し、電極107bは、酸化物半導体層106の他の一部と重なる領域を有する。

【0060】

絶縁層108は、電極107a、電極107b、および酸化物半導体層106を覆って設けられている。絶縁層109は、絶縁層108上に設けられている。絶縁層110は、絶縁層109上に設けられている。

【0061】

絶縁層108と絶縁層109に同種の材料を用いる場合は、絶縁層108と絶縁層109の界面が明確に確認できない場合がある。したがって、本実施の形態では、絶縁層108と絶縁層109の界面を破線で示している。なお、本実施の形態では、絶縁層108と絶縁層109の2層構造について説明したが、本発明の一態様はこれに限定されず、例えば、絶縁層108または絶縁層109どちらか一方の単層構造、あるいは3層以上の積層構造としてもよい。

【0062】

10

20

30

40

50

また、図3および図4に示すように、絶縁層110の上に絶縁層111を設けてもよい。図3(A)は、トランジスタ100の平面図である。図3(B)は、図3(A)に記したX1-X2の一点鎖線で示す部位の断面図である。図3(C)は、図3(A)に記したY1-Y2の一点鎖線で示す部位の断面図である。図4(A)は、図3(B)に示した部位131の拡大図である。図4(B)は、図3(C)に示した部位132の拡大図である。

【0063】

トランジスタ100に絶縁層110と絶縁層111を設ける場合は、絶縁層110と絶縁層111の一方または両方に不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いることが好ましい。例えば、絶縁層110と絶縁層111の少なくとも一方を、窒化シリコン層または酸化アルミニウム層などとしてもよい。また、絶縁層110と絶縁層111の一方を窒化シリコン層などとし、他方を酸化アルミニウム層などとしてもよい。

10

【0064】

特に、絶縁層110として、酸化アルミニウム層をスパッタリング法で形成することが好ましい。特に、絶縁層111として、酸化アルミニウム層をALD法で形成することが好ましい。これらの効果については追って説明する。

【0065】

また、図1(B)、図1(C)、図2(A)、および図2(B)では、酸化物半導体層106を酸化物半導体層106__1と酸化物半導体層106__2の二層の積層として示しているが、本発明の一態様はこれに限定されない。例えば、図5(A)に示すように、酸化物半導体層106を単層にしてもよい。また、図5(B)に示すように、酸化物半導体層106を、酸化物半導体層106__1、酸化物半導体層106__2、および酸化物半導体層106__3の三層としてもよい。酸化物半導体層106は四層以上の積層であってもよい。なお、図5(A)および図5(B)は、どちらも図1(B)に相当する断面図である。

20

【0066】

酸化物半導体層106__3は、酸化物半導体層106__1または酸化物半導体層106__2と同様の材料および方法で形成することができる。

【0067】

また、絶縁層110上に、酸化物半導体層106と重なる領域を有する電極121を設けてもよい(図6(A)、図6(B)参照。)。また、絶縁層110上に平坦な表面を有する絶縁層113を設けてもよい(図6(C)参照。)。絶縁層113上に、酸化物半導体層106と重なる領域を有する電極121を設けてもよい。なお、電極121を、絶縁層109と絶縁層110の間に設けてもよい。

30

【0068】

〔ゲート電極とバックゲート電極〕

電極102は、ゲート電極として機能できる。電極102に加えて電極121をトランジスタ100に設ける場合、電極121もゲート電極として機能できる。電極102または電極121の一方を、「ゲート電極」という場合、他方を「バックゲート電極」という。例えば、図6(A)または図6(C)に示すトランジスタ100において、電極102を「ゲート電極」と言う場合、電極121を「バックゲート電極」と言う。電極121を「ゲート電極」として用いる場合は、トランジスタ100をトップゲート型のトランジスタの一種と考えることができる。電極102および電極121のどちらか一方を、「第1のゲート電極」といい、他方を「第2のゲート電極」という場合がある。

40

【0069】

一般に、ゲート電極とバックゲート電極は導電層で形成される。また、ゲート電極とバックゲート電極で半導体層のチャネル形成領域を挟むように配置される。言い換えると、ゲート電極とバックゲート電極で半導体層(酸化物半導体層)を取り囲む構成となる。このような構成を有することで、トランジスタ100に含まれる酸化物半導体層106を、ゲート電極として機能する電極102と、バックゲート電極として機能する電極121の電界によって電氣的に取り囲むことができる。ゲート電極およびバックゲート電極の電界に

50

よって、チャンネルが形成される半導体層を電氣的に取り囲むトランジスタの構造を *Surrounded channel (S-channel)* 構造と呼ぶことができる。

【0070】

バックゲート電極はゲート電極と同様に機能させることができる。バックゲート電極の電位は、ゲート電極と同電位としてもよいし、接地電位や、任意の電位としてもよい。また、バックゲート電極の電位をゲート電極と連動させず独立して変化させることで、トランジスタのしきい値電圧を変化させることができる。

【0071】

前述した通り、電極102は、ゲート電極として機能できる。よって、絶縁層103、絶縁層104、および絶縁層105は、ゲート絶縁層として機能できる。また、電極121

10

を設けた場合、絶縁層108および絶縁層110は、ゲート絶縁層として機能できる。

【0072】

酸化物半導体層106を挟んで電極102および電極121を設けることで、更には、電極102および電極121を同電位とすることで、酸化物半導体層106においてキャリアの流れる領域が膜厚方向においてより大きくなるため、キャリアの移動量が増加する。この結果、トランジスタのオン電流が大きくなると共に、電界効果移動度が高くなる。

【0073】

したがって、トランジスタを占有面積に対して大きいオン電流を有するトランジスタとすることができる。すなわち、求められるオン電流に対して、トランジスタの占有面積を小さくすることができる。よって、集積度の高い半導体装置を実現することができる。

20

【0074】

また、ゲート電極とバックゲート電極は導電層で形成されるため、トランジスタの外部で生じる電界が、チャンネルが形成される半導体層に作用しないようにする機能（特に静電気などに対する電界遮蔽機能）を有する。なお、平面視において、バックゲート電極を半導体層よりも大きく形成し、バックゲート電極で半導体層を覆うことで、電界遮蔽機能を高めることができる。

【0075】

電極102および電極121は、それぞれが外部からの電界を遮蔽する機能を有するため、電極121の上方および電極102の下方に生じる荷電粒子等の電荷が酸化物半導体層106のチャンネル形成領域に影響しない。この結果、ストレス試験（例えば、ゲートに負の電荷を印加する -GBT (Gate Bias - Temperature) ストレス試験）での電気特性の劣化が抑制される。また、電極102および電極121は、ドレイン電極から生じる電界が半導体層に作用しないように遮断することができる。よって、ドレイン電圧の変動に起因する、オン電流の立ち上がり電圧の変動を抑制することができる。なお、この効果は、電極102および電極121に電位が供給されている場合において顕著に生じる。

30

【0076】

なお、GBTストレス試験は加速試験の一種であり、長期間の使用によって起こるトランジスタの特性変化（経年変化）を短時間で評価することができる。特に、GBTストレス試験前後におけるトランジスタのしきい値電圧の変動量は、信頼性を調べるための重要な指標となる。GBTストレス試験前後において、しきい値電圧の変動量が少ないほど、信頼性が高いトランジスタであるといえる。

40

【0077】

また、電極102および電極121を有し、且つ電極102および電極121を同電位とすることで、しきい値電圧の変動量が低減される。このため、複数のトランジスタ間における電気特性のばらつきも同時に低減される。

【0078】

また、バックゲート電極を有するトランジスタは、ゲートに正の電荷を印加する +GBT ストレス試験前後におけるしきい値電圧の変動も、バックゲート電極を有さないトランジスタより小さい。

50

【0079】

また、バックゲート電極側から光が入射する場合に、バックゲート電極を、遮光性を有する導電膜で形成することで、バックゲート電極側から半導体層に光が入射することを防ぐことができる。よって、半導体層の光劣化を防ぎ、トランジスタのしきい値電圧がシフトするなどの電気特性の劣化を防ぐことができる。

【0080】

電極107aまたは電極107bの一方は、ソース電極またはドレイン電極の一方として機能できる。電極107aまたは電極107bの他方は、ソース電極またはドレイン電極の他方として機能できる。

【0081】

〔基板〕

基板101としては、ガラス基板、セラミック基板の他、本作製工程の処理温度に耐える程度の耐熱性を有する可撓性基板（フレキシブル基板）等を用いることができる。また、基板に透光性を要しない場合には、ステンレス合金等の金属の基板の表面に絶縁層を設けたものを用いてもよい。ガラス基板としては、例えば、バリウムホウケイ酸ガラス、アルミノホウケイ酸ガラス若しくはアルミノケイ酸ガラス等の無アルカリガラス基板を用いるとよい。他に、石英基板、サファイア基板などを用いることができる。

【0082】

また、基板101として、第3世代（550mm×650mm）、第3.5世代（600mm×720mm、または620mm×750mm）、第4世代（680mm×880mm、または730mm×920mm）、第5世代（1100mm×1300mm）、第6世代（1500mm×1850mm）、第7世代（1870mm×2200mm）、第8世代（2200mm×2400mm）、第9世代（2400mm×2800mm、2450mm×3050mm）、第10世代（2950mm×3400mm）等のガラス基板を用いることができる。

【0083】

基板101として、可撓性基板を用いる場合、可撓性基板上に、トランジスタや容量素子などを直接作製してもよいし、他の作製基板上にトランジスタや容量素子などを作製し、その後可撓性基板に剥離、転置してもよい。なお、作製基板から可撓性基板に剥離、転置するために、作製基板とトランジスタや容量素子などとの間に剥離層を設けるとよい。

【0084】

可撓性基板としては、例えば、金属、合金、樹脂もしくはガラス、またはそれらの繊維などを用いることができる。基板101に用いる可撓性基板は、線膨張率が低いほど環境による変形が抑制されて好ましい。基板101に用いる可撓性基板は、例えば、線膨張率が $1 \times 10^{-3} / K$ 以下、 $5 \times 10^{-5} / K$ 以下、または $1 \times 10^{-5} / K$ 以下である材質を用いればよい。樹脂としては、例えば、ポリエステル、ポリオレフィン、ポリアミド（ナイロン、アラミドなど）、ポリイミド、ポリカーボネート、アクリルなどがある。特に、アラミドは、線膨張率が低いため、可撓性基板として好適である。

【0085】

なお、基板101としてシリコンや炭化シリコンなどを材料とした単結晶半導体基板、多結晶半導体基板、シリコンゲルマニウムなどを材料とした化合物半導体基板等を用いることもできる。また、SOI基板や、半導体基板上に歪トランジスタやFIN型トランジスタなどの半導体素子が設けられたものなどを用いることもできる。または、高電子移動度トランジスタ（HEMT：High Electron Mobility Transistor）に適用可能なヒ化ガリウム、ヒ化アルミニウムガリウム、ヒ化インジウムガリウム、窒化ガリウム、リン化インジウム、シリコンゲルマニウムなどを用いてもよい。すなわち、基板101は、単なる支持基板に限らず、他のトランジスタなどのデバイスが形成された基板であってもよい。この場合、トランジスタのゲート、ソース、またはドレインの少なくとも一つは、上記他のデバイスと電氣的に接続されていてもよい。

【0086】

〔絶縁層〕

絶縁層 103 乃至絶縁層 105、絶縁層 108、絶縁層 109、絶縁層 110、絶縁層 111、絶縁層 113 は、窒化アルミニウム、酸化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、酸化マグネシウム、窒化シリコン、酸化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化ガリウム、酸化ゲルマニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ランタン、酸化ネオジム、酸化ハフニウム、酸化タンタル、アルミニウムシリケートなどから選ばれた材料を、単層でまたは積層して用いる。また、酸化物材料、窒化物材料、酸化窒化物材料、窒化酸化物材料のうち、複数の材料を混合した材料を用いてもよい。

【0087】

10

なお、本明細書中において、窒化酸化物とは、酸素よりも窒素の含有量が多い化合物をいう。また、酸化窒化物とは、窒素よりも酸素の含有量が多い化合物をいう。なお、各元素の含有量は、例えば、ラザフォード後方散乱法 (RBS: Rutherford Backscattering Spectrometry) 等を用いて測定することができる。

【0088】

特に、絶縁層 104、絶縁層 110 および絶縁層 111 は、不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。例えば、不純物が透過しにくい絶縁性材料として、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、酸化ガリウム、酸化ゲルマニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ランタン、酸化ネオジム、酸化ハフニウム、酸化タンタル、窒化シリコンなどを挙げることができる。

20

【0089】

絶縁層 104 に不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いることで、基板 101 側からの不純物の拡散を防ぎ、トランジスタの信頼性を高めることができる。絶縁層 110 に不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いることで、絶縁層 110 よりも上層側からの不純物の拡散を防ぎ、トランジスタの信頼性を高めることができる。

【0090】

加えて、絶縁層 104、絶縁層 110、および絶縁層 111 は、酸素が拡散しにくい、および/または吸収されにくい絶縁性材料を用いることが好ましい。絶縁層 104、絶縁層 110、および絶縁層 111 に酸素が拡散されにくい、および/または吸収されにくい絶縁性材料を用いることで、酸素の外部への拡散を防ぐことができる。

30

【0091】

なお、絶縁層 104、絶縁層 110、および絶縁層 111 として、これらの材料で形成される絶縁層を複数層積層して用いてもよい。

【0092】

また、酸化物半導体層 106 中の水素濃度の増加を防ぐために、絶縁層中の水素濃度を低減することが好ましい。特に、酸化物半導体層 106 に接する絶縁層中の水素濃度を低減することが好ましい。本実施の形態においては、絶縁層 105、および絶縁層 108 の水素濃度を低減することが好ましい。具体的には、絶縁層中の水素濃度を、SIMS において $2 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とする。また、酸化物半導体層中の窒素濃度の増加を防ぐために、絶縁層中の窒素濃度を低減することが好ましい。具体的には、絶縁層中の窒素濃度を、SIMS において $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とする。

40

【0093】

また、絶縁層 105、絶縁層 108、および絶縁層 109 の少なくとも 1 つは、加熱により酸素が放出される絶縁層（以下、「過剰酸素を含む絶縁層」ともいう。）を用いて形成

50

することが好ましい。具体的には、層の表面温度が100 以上700 以下、好ましくは100 以上500 以下の加熱処理で行われる昇温脱離ガス分析法(TDS: Thermal Desorption Spectroscopy)において、酸素原子に換算した酸素の脱離量が $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、 $1.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上または $1.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上である絶縁層を用いることが好ましい。

【0094】

また、特に、酸化物半導体層と接する絶縁層は、欠陥量が少ないことが好ましい。代表的には、ESR測定により、シリコンのダングリングボンドに由来する $g = 2.001$ に現れる信号のスピ密度が $3 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 以下であることが好ましい。絶縁層に欠陥が多いと、該欠陥に酸素が結合して過剰酸素が減少する場合がある。

10

【0095】

また、特に、酸化物半導体層に接する絶縁層は、窒素酸化物(NO_x)に起因する準位密度が低い酸化物絶縁層を用いることが好ましい。窒素酸化物の放出量の少ない酸化窒化シリコン層とは、昇温脱離ガス分析法において、窒素酸化物の放出量よりアンモニアの放出量が多い層であり、代表的にはアンモニアの放出量が $1 \times 10^{18} \text{ 個/cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ 個/cm}^3$ 以下である。なお、アンモニアの放出量は、膜の表面温度が50 以上650 以下、好ましくは50 以上550 以下の加熱処理による放出量とする。

【0096】

窒素酸化物(代表的には、 NO_2 または NO)は、酸化物半導体層や絶縁層中で準位を形成する。当該準位は、酸化物半導体のエネルギーギャップ内に位置する。窒素酸化物が、絶縁層と酸化物半導体層の界面に到達すると、当該準位が絶縁層側において電子をトラップする場合がある。この結果、トラップされた電子が、絶縁層と酸化物半導体層の界面近傍に留まるため、トランジスタのしきい値電圧をプラス方向にシフトさせてしまう。

20

【0097】

なお、当該窒素酸化物に起因する準位密度は、酸化物半導体層の価電子帯の上端のエネルギー(E_{v_os})と酸化物半導体層の伝導帯の下端のエネルギー(E_{c_os})の間に形成され得る場合がある。上記酸化物絶縁層として、窒素酸化物の放出量が少ない酸化窒化シリコン層、または窒素酸化物の放出量が少ない酸化窒化アルミニウム層等を用いることができる。

30

【0098】

また、窒素酸化物は、加熱処理においてアンモニアおよび酸素と反応する。絶縁層に含まれる窒素酸化物は、加熱処理において、絶縁層に含まれるアンモニアと反応するため、絶縁層に含まれる窒素酸化物が低減される。このため、絶縁層と酸化物半導体層の界面において、電子がトラップされにくい。

【0099】

特に、酸化物半導体層と接する絶縁層に、上記酸化物絶縁層を用いることで、トランジスタのしきい値電圧のシフトを低減することが可能であり、トランジスタの電気特性の変動を低減することができる。

【0100】

過剰酸素を含む絶縁層は、絶縁層に酸素を添加する処理を行って形成することもできる。酸素を添加する処理は、酸素雰囲気下における熱処理や、イオン注入法、イオンドーピング法、またはプラズマイメージョンイオン注入法、ならびに、プラズマ処理、または逆スパッタリング処理などを用いて行うことができる。逆スパッタリング処理による酸素の添加は、試料表面の洗浄効果も期待できる。一方で、処理条件によっては試料表面にダメージが生じる場合がある。酸素を添加するためのガスとしては、 $^{16}\text{O}_2$ もしくは $^{18}\text{O}_2$ などの酸素ガス、亜酸化窒素ガスまたはオゾンガスなどを用いることができる。なお、本明細書では酸素を添加する処理を「酸素ドーブ処理」ともいう。

40

【0101】

また、絶縁層113は、トランジスタ等に起因する凹凸等を平坦化させる機能を有するこ

50

とが好ましい。絶縁層 113 に用いる材料は、絶縁性材料であればよい。よって、絶縁層 113 は無機材料または有機材料を用いて形成することができる。例えば、絶縁層 113 として、前述した無機材料のみでなく、ポリイミド、アクリル、ベンゾシクロブテン、ポリアミド、エポキシ等の、耐熱性を有する有機材料を用いることができる。また上記有機材料の他に、低誘電率材料 (low - k 材料)、シロキサン系樹脂、PSG (リンガラス)、BPSG (リンボロンガラス) 等を用いることができる。なお、これらの材料で形成される絶縁層を複数積層させることで、絶縁層 113 を形成してもよい。

【0102】

なおシロキサン系樹脂とは、シロキサン系材料を出発材料として形成された Si - O - Si 結合を含む樹脂に相当する。シロキサン系樹脂は置換基としては有機基 (例えばアルキル基やアリール基) やフルオロ基を用いても良い。また、有機基はフルオロ基を有していても良い。

【0103】

絶縁層 113 の形成方法は、特に限定されず、その材料に応じて、スパッタ法、SOG 法、スピンコート、ディップ、スプレー塗布、液滴吐出法 (インクジェット法など)、印刷法 (スクリーン印刷、オフセット印刷など) などを用いればよい。絶縁層 113 の焼成工程と他の熱処理工程を兼ねることで、効率よくトランジスタを作製することが可能となる。

【0104】

〔電極〕

電極 102、電極 107a__1、電極 107a__2、電極 107a__3、電極 107b__1、電極 107b__2、電極 107b__3、および電極 121 を形成するための導電性材料としては、アルミニウム (Al)、クロム (Cr)、銅 (Cu)、銀 (Ag)、金 (Au)、白金 (Pt)、タンタル (Ta)、ニッケル (Ni)、チタン (Ti)、モリブデン (Mo)、タングステン (W)、ハフニウム (Hf)、バナジウム (V)、ニオブ (Nb)、マンガン (Mn)、マグネシウム (Mg)、ジルコニウム (Zr)、ベリリウム (Be) などから選ばれた金属元素を 1 種以上含む材料を用いることができる。また、リン等の不純物元素を含有させた多結晶シリコンに代表される、電気伝導度が高い半導体、ニッケルシリサイドなどのシリサイドを用いてもよい。

【0105】

また、導電性材料として、Cu - X 合金 (X は、Mn、Ni、Cr、Fe、Co、Mo、Ta、または Ti) を適用してもよい。Cu - X 合金で形成した層は、ウエットエッチングプロセスで加工できるため、製造コストを抑制することが可能となる。

【0106】

また、前述した金属元素および酸素を含む導電性材料を用いてもよい。また、前述した金属元素および窒素を含む導電性材料を用いてもよい。例えば、窒化チタン、窒化タンタルなどの窒素を含む導電性材料を用いてもよい。また、インジウム錫酸化物 (ITO: Indium Tin Oxide)、インジウム亜鉛酸化物、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、シリコンを添加したインジウム錫酸化物を用いてもよい。また、窒素を含むインジウムガリウム亜鉛酸化物を用いてもよい。

【0107】

また、上記の材料で形成される導電層を複数積層して用いてもよい。例えば、前述した金属元素を含む材料と、酸素を含む導電性材料を組み合わせた積層構造としてもよい。また、前述した金属元素を含む材料と、窒素を含む導電性材料を組み合わせた積層構造としてもよい。また、前述した金属元素を含む材料、酸素を含む導電性材料、および窒素を含む導電性材料を組み合わせた積層構造としてもよい。

【0108】

また、本実施の形態では、電極 107a および電極 107b のそれぞれを三層積層構造とする例を示しているが、本発明の一態様はこれに限定されない。電極 107a および電極

10

20

30

40

50

107bは、それぞれが単層構造であってもよいし、二層構造であってもよい。また、4層以上の積層構造であってもよい。

【0109】

なお、電極107aおよび電極107bの抵抗を下げるために、電極107aおよび電極107bに銅を用いる場合は、電極107aと酸化物半導体層106の間に銅が拡散しにくい導電性材料を設けることが好ましい。また、電極107bと酸化物半導体層106の間に銅が拡散しにくい導電性材料を設けることが好ましい。銅は半導体層中で拡散しやすいため、半導体装置の動作を不安定にし、歩留まりを著しく低下させてしまう恐れがある。銅を含む配線または電極と半導体層の間に銅が拡散しにくい導電性材料を設けることで、トランジスタ100の信頼性を高めることができる。

10

【0110】

銅が拡散しにくい導電性材料としては、例えば、タングステン、チタン、タンタルなどの銅よりも融点の高い金属材料や、それらの窒化物材料などがある。また、これらの導電性材料で銅を含む電極または配線を覆ってもよい。銅を含む配線または電極を銅が拡散しにくい導電性材料で覆うまたは包むことで、トランジスタ100の信頼性をさらに高めることができる。

【0111】

また、電極107aおよび電極107bの酸化物半導体層106と接する領域を、加熱処理により水素を吸収する機能を有する導電性材料とすることで、後の加熱処理によって酸化物半導体層106中の水素濃度を低減することができる。水素を吸収する機能を有する導電性材料の一例としては、チタン、インジウム亜鉛酸化物、シリコンを添加したインジウム錫酸化物などがある。

20

【0112】

〔酸化物半導体層〕

酸化物半導体層106として、酸化物半導体を用いることが好ましい。酸化物半導体のバンドギャップは2eV以上あるため、酸化物半導体層106に酸化物半導体を用いると、オフ電流が極めて少ないトランジスタを実現することができる。また、チャネルが形成される半導体層に酸化物半導体を用いたトランジスタ(「OSトランジスタ」ともいう。)は、ソースとドレイン間の絶縁耐圧が高い。よって、信頼性の良好なトランジスタを提供できる。また、出力電圧が大きく高耐圧なトランジスタを提供できる。また、信頼性の良好な半導体装置などを提供できる。また、出力電圧が大きく高耐圧な半導体装置を提供することができる。

30

【0113】

本発明に係る酸化物半導体について説明する。酸化物半導体は、少なくともインジウムまたは亜鉛を含むことが好ましい。特にインジウムおよび亜鉛を含むことが好ましい。また、それらに加えて、アルミニウム、ガリウム、イットリウムまたはスズなどが含まれていることが好ましい。また、ホウ素、シリコン、チタン、鉄、ニッケル、ゲルマニウム、ジルコニウム、モリブデン、ランタン、セリウム、ネオジム、ハフニウム、タンタル、タングステン、またはマグネシウムなどから選ばれた一種、または複数種が含まれていてもよい。

40

【0114】

ここで、酸化物半導体が、インジウム、元素M及び亜鉛を有する場合を考える。なお、元素Mは、アルミニウム、ガリウム、イットリウムまたはスズなどとする。その他の元素Mに適用可能な元素として、ホウ素、シリコン、チタン、鉄、ニッケル、ゲルマニウム、ジルコニウム、モリブデン、ランタン、セリウム、ネオジム、ハフニウム、タンタル、タングステン、マグネシウムなどがある。ただし、元素Mとして、前述の元素を複数組み合わせても構わない場合がある。

【0115】

まず、図18(A)、図18(B)、および図18(C)を用いて、本発明に係る酸化物半導体が有するインジウム、元素M及び亜鉛の原子数比の好ましい範囲について説明する

50

。なお、図18には、酸素の原子数比については記載しない。また、酸化物半導体が有するインジウム、元素M、及び亜鉛の原子数比のそれぞれの項を $[In]$ 、 $[M]$ 、および $[Zn]$ とする。

【0116】

図18(A)、図18(B)、および図18(C)において、破線は、 $[In] : [M] : [Zn] = (1 + \quad) : (1 - \quad) : 1$ の原子数比 $(-1 \quad 1)$ となるライン、 $[In] : [M] : [Zn] = (1 + \quad) : (1 - \quad) : 2$ の原子数比となるライン、 $[In] : [M] : [Zn] = (1 + \quad) : (1 - \quad) : 3$ の原子数比となるライン、 $[In] : [M] : [Zn] = (1 + \quad) : (1 - \quad) : 4$ の原子数比となるライン、および $[In] : [M] : [Zn] = (1 + \quad) : (1 - \quad) : 5$ の原子数比となるラインを表す。

10

【0117】

また、一点鎖線は、 $[In] : [M] : [Zn] = 1 : 1 : \quad$ の原子数比 $(\quad 0)$ となるライン、 $[In] : [M] : [Zn] = 1 : 2 : \quad$ の原子数比となるライン、 $[In] : [M] : [Zn] = 1 : 3 : \quad$ の原子数比となるライン、 $[In] : [M] : [Zn] = 1 : 4 : \quad$ の原子数比となるライン、 $[In] : [M] : [Zn] = 2 : 1 : \quad$ の原子数比となるライン、及び $[In] : [M] : [Zn] = 5 : 1 : \quad$ の原子数比となるラインを表す。

【0118】

また、二点鎖線は、 $[In] : [M] : [Zn] = (1 + \quad) : 2 : (1 - \quad)$ の原子数比 $(-1 \quad 1)$ となるラインを表す。また、図18に示す、 $[In] : [M] : [Zn] = 0 : 2 : 1$ の原子数比またはその近傍値の酸化物半導体は、スピネル型の結晶構造をとりやすい。

20

【0119】

図18(A)および図18(B)では、本発明の一態様の酸化物半導体が有する、インジウム、元素M、及び亜鉛の原子数比の好ましい範囲の一例について示している。

【0120】

例えば、酸化物半導体をスパッタリング装置にて成膜する場合、ターゲットの原子数比からずれた原子数比の膜が形成される。特に、成膜時の基板温度によっては、ターゲットの $[Zn]$ よりも、膜の $[Zn]$ が小さくなる場合がある。

30

【0121】

$InMZO$ は、インジウム、および酸素を有する層(以下、 In 層)と、元素M、亜鉛、および酸素を有する層(以下、 (M, Zn) 層)とが積層した、層状の結晶構造(層状構造ともいう)を有する傾向がある。なお、インジウムと元素Mは、互いに置換可能であり、 (M, Zn) 層の元素Mがインジウムと置換し、 (In, M, Zn) 層と表すこともできる。

【0122】

また、酸化物半導体中に複数の相が共存する場合がある(二相共存、三相共存など)。例えば、 $[In] : [M] : [Zn] = 0 : 2 : 1$ の原子数比の近傍値である原子数比では、スピネル型の結晶構造と層状の結晶構造との二相が共存しやすい。また、 $[In] : [M] : [Zn] = 1 : 0 : 0$ を示す原子数比の近傍値である原子数比では、ピクスパイト型の結晶構造と層状の結晶構造との二相が共存しやすい。酸化物半導体中に複数の相が共存する場合、異なる結晶構造の間において、粒界(グレインバウンダリーともいう)が形成される場合がある。

40

【0123】

また、インジウムの含有率を高くすることで、酸化物半導体のキャリア移動度(電子移動度)を高くすることができる。これは、インジウム、元素M及び亜鉛を有する酸化物半導体では、主として重金属のs軌道がキャリア伝導に寄与しており、インジウムの含有率を高くすることにより、s軌道が重なる領域がより大きくなるため、インジウムの含有率が高い酸化物半導体はインジウムの含有率が低い酸化物半導体と比較してキャリア移動度が

50

高くなるためである。

【0124】

一方、酸化物半導体中のインジウムおよび亜鉛の含有率が低くなると、キャリア移動度が低くなる。従って、 $[In] : [M] : [Zn] = 0 : 1 : 0$ を示す原子数比、およびその近傍値である原子数比（例えば図18（C）に示す領域C）では、絶縁性が高くなる。

【0125】

従って、本発明の一態様の酸化物半導体は、キャリア移動度が高く、かつ、粒界が少ない層状構造となりやすい、図18（A）の領域Aで示される原子数比を有することが好ましい。

【0126】

また、図18（B）に示す領域Bは、 $[In] : [M] : [Zn] = 4 : 2 : 3$ から4.1、およびその近傍値を示している。近傍値には、例えば、原子数比が $[In] : [M] : [Zn] = 5 : 3 : 4$ が含まれる。領域Bで示される原子数比を有する酸化物半導体は、特に、結晶性が高く、キャリア移動度も高い優れた酸化物半導体である。

【0127】

なお、酸化物半導体が有する性質は、原子数比によって一義的に定まらない。同じ原子数比であっても、形成条件により、酸化物半導体の性質が異なる場合がある。従って、図示する領域は、酸化物半導体が、特定の特性を有する傾向がある原子数比を示す領域であり、領域A乃至領域Cの境界は厳密ではない。

【0128】

続いて、上記酸化物半導体をトランジスタに用いる場合について説明する。

【0129】

なお、上記酸化物半導体をトランジスタに用いることで、粒界におけるキャリア散乱等を減少させることができるため、高い電界効果移動度のトランジスタを実現することができる。また、信頼性の高いトランジスタを実現することができる。

【0130】

また、トランジスタには、キャリア密度の低い酸化物半導体を用いることが好ましい。例えば、酸化物半導体は、キャリア密度が $8 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ 未満、好ましくは $1 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ 未満、さらに好ましくは $1 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 未満であり、 $1 \times 10^{-9} / \text{cm}^3$ 以上とすればよい。

【0131】

なお、高純度真性または実質的に高純度真性である酸化物半導体は、キャリア発生源が少ないため、キャリア密度を低くすることができる。また、高純度真性または実質的に高純度真性である酸化物半導体は、欠陥準位密度が低いため、トラップ準位密度も低くなる場合がある。

【0132】

また、酸化物半導体のトラップ準位に捕獲された電荷は、消失するまでに要する時間が長く、あたかも固定電荷のように振る舞うことがある。そのため、トラップ準位密度の高い酸化物半導体にチャネルが形成されるトランジスタは、電気特性が不安定となる場合がある。

【0133】

従って、トランジスタの電気特性を安定にするためには、酸化物半導体中の不純物濃度を低減することが有効である。また、酸化物半導体中の不純物濃度を低減するためには、近接する膜中の不純物濃度も低減することが好ましい。不純物としては、水素、窒素、アルカリ金属、アルカリ土類金属、鉄、ニッケル、シリコン等がある。

【0134】

ここで、酸化物半導体中における各不純物の影響について説明する。

【0135】

酸化物半導体において、第14族元素の一つであるシリコンや炭素が含まれると、酸化物半導体において欠陥準位が形成される。このため、酸化物半導体におけるシリコンや炭素

10

20

30

40

50

の濃度と、酸化物半導体との界面近傍のシリコンや炭素の濃度（二次イオン質量分析法（SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry）により得られる濃度）を、 $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とする。

【0136】

また、酸化物半導体にアルカリ金属またはアルカリ土類金属が含まれると、欠陥準位を形成し、キャリアを生成する場合がある。従って、アルカリ金属またはアルカリ土類金属が含まれている酸化物半導体を用いたトランジスタはノーマリーオン特性となりやすい。このため、酸化物半導体中のアルカリ金属またはアルカリ土類金属の濃度を低減することが好ましい。具体的には、SIMSにより得られる酸化物半導体中のアルカリ金属またはアルカリ土類金属の濃度を、 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以下にする。

10

【0137】

また、酸化物半導体において、窒素が含まれると、キャリアである電子が生じ、キャリア密度が増加し、n型化しやすい。この結果、窒素が含まれている酸化物半導体を半導体を用いたトランジスタはノーマリーオン特性となりやすい。従って、該酸化物半導体において、窒素はできる限り低減されていることが好ましい。特に、チャンネルが形成される領域の窒素はできる限り低減されていることが好ましい。例えば、酸化物半導体中の窒素濃度は、SIMSにおいて、 $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、より好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、さらに好ましくは $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 未満とする。

20

【0138】

また、酸化物半導体に含まれる水素は、金属原子と結合する酸素と反応して水になるため、酸素欠損を形成する場合がある。該酸素欠損に水素が入ることで、キャリアである電子が生成される場合がある。また、水素の一部が金属原子と結合する酸素と結合して、キャリアである電子を生成することがある。従って、水素が含まれている酸化物半導体を用いたトランジスタはノーマリーオン特性となりやすい。このため、酸化物半導体中の水素はできる限り低減されていることが好ましい。特に、チャンネルが形成される領域の水素はできる限り低減されていることが好ましい。具体的には、酸化物半導体中の水素濃度は、SIMSにおいて、 $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、好ましくは $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、より好ましくは $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 未満、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 未満とする。

30

【0139】

不純物が十分に低減された酸化物半導体をトランジスタのチャンネル形成領域に用いることで、安定した電気特性を付与することができる。

【0140】

例えば、酸化物半導体層106として、熱CVD法で InGaZnO_x ($x > 0$) 膜を成膜する場合には、トリメチルインジウム ($\text{In}(\text{CH}_3)_3$)、トリメチルガリウム ($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$)、およびジメチル亜鉛 ($\text{Zn}(\text{CH}_3)_2$) を用いる。また、これらの組み合わせに限定されず、トリメチルガリウムに代えてトリエチルガリウム ($\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$) を用いることもでき、ジメチル亜鉛に代えてジエチル亜鉛 ($\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$) を用いることもできる。

40

【0141】

例えば、酸化物半導体層106として、ALD法で、 InGaZnO_x ($x > 0$) 膜を成膜する場合には、 $\text{In}(\text{CH}_3)_3$ ガスと O_3 ガスを順次繰り返し導入して InO_2 層を形成し、その後、 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ ガスと O_3 ガスを順次繰り返し導入して GaO 層を形成し、更にその後 $\text{Zn}(\text{CH}_3)_2$ ガスと O_3 ガスを順次繰り返し導入して ZnO 層を形成する。なお、これらの層の順番はこの例に限らない。また、これらのガスを用いて InGaO_2 層や InZnO_2 層、 GaInO 層、 ZnInO 層、 GaZnO 層などの混合化合物層を形成しても良い。なお、 O_3 ガスに替えて Ar 等の不活性ガスで水をバブリング

50

した H_2O ガスを用いても良いが、 H を含まない O_3 ガスを用いる方が好ましい。また、 $\text{In}(\text{CH}_3)_3$ ガスにかえて、 $\text{In}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ガスやトリス(アセチルアセトナト)インジウムを用いても良い。なお、トリス(アセチルアセトナト)インジウムは、 $\text{In}(\text{acac})_3$ とも呼ぶ。また、 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ ガスにかえて、 $\text{Ga}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ガスやトリス(アセチルアセトナト)ガリウムを用いても良い。なお、トリス(アセチルアセトナト)ガリウムは、 $\text{Ga}(\text{acac})_3$ とも呼ぶ。また、 $\text{Zn}(\text{CH}_3)_2$ ガスや、酢酸亜鉛を用いても良い。これらのガス種には限定されない。

【0142】

酸化物半導体層106をスパッタリング法で成膜する場合、パーティクル数低減のため、インジウムを含むターゲットを用いると好ましい。また、元素 M の原子数比が高い酸化物ターゲットを用いた場合、ターゲットの導電性が低くなる場合がある。インジウムを含むターゲットを用いる場合、ターゲットの導電率を高めることができ、 DC 放電、 AC 放電が容易となるため、大面積の基板へ対応しやすくなる。したがって、半導体装置の生産性を高めることができる。

【0143】

酸化物半導体層106をスパッタリング法で成膜する場合、ターゲットの原子数比は、 $\text{In}:\text{M}:\text{Zn}$ が3:1:1、3:1:2、3:1:4、1:1:0.5、1:1:1、1:1:2、1:1:1.2、1:4:4、4:2:4.1、1:3:2、1:3:4、5:1:6、5:1:8などとすればよい。

【0144】

酸化物半導体層106をスパッタリング法で成膜する場合、ターゲットの原子数比からずれた原子数比の膜が形成される場合がある。特に、亜鉛は、ターゲットの原子数比よりも膜の原子数比が小さくなる場合がある。具体的には、ターゲットに含まれる亜鉛の原子数比の40atomic%以上90atomic%程度以下となる場合がある。

【0145】

酸化物半導体層106__1は、例えば、エネルギーギャップが大きい酸化物半導体を用いる。酸化物半導体層106__1のエネルギーギャップは、例えば、2.5eV以上4.2eV以下、好ましくは2.8eV以上3.8eV以下、さらに好ましくは3eV以上3.5eV以下とする。

【0146】

酸化物半導体層106__3および酸化物半導体層106__2は、酸化物半導体層106__1を構成する酸素以外の元素のうち、1種類以上の同じ金属元素を含む材料により形成されることが好ましい。このような材料を用いると、酸化物半導体層106__3および酸化物半導体層106__1との界面、ならびに酸化物半導体層106__2および酸化物半導体層106__1との界面に界面準位を生じにくくすることができる。よって、界面におけるキャリアの散乱や捕獲が生じにくく、トランジスタの電界効果移動度を向上させることが可能となる。また、トランジスタのしきい値電圧のばらつきを低減することが可能となる。よって、良好な電気特性を有する半導体装置を実現することが可能となる。

【0147】

また、酸化物半導体層106__1が $\text{In}-\text{M}-\text{Zn}$ 酸化物(In と元素 M と Zn を含む酸化物)であり、酸化物半導体層106__3および酸化物半導体層106__2も $\text{In}-\text{M}-\text{Zn}$ 酸化物であるとき、酸化物半導体層106__3および酸化物半導体層106__2を $\text{In}:\text{M}:\text{Zn}=x_1:y_1:z_1$ [原子数比]、酸化物半導体層106__1を $\text{In}:\text{M}:\text{Zn}=x_2:y_2:z_2$ [原子数比]とすると、好ましくは y_1/x_1 が y_2/x_2 よりも大きくなる酸化物半導体層106__3、酸化物半導体層106__2、および酸化物半導体層106__1を選択する。より好ましくは、 y_1/x_1 が y_2/x_2 よりも1.5倍以上大きくなる酸化物半導体層106__3、酸化物半導体層106__2、および酸化物半導体層106__1を選択する。さらに好ましくは、 y_1/x_1 が y_2/x_2 よりも2倍以上大きくなる酸化物半導体層106__3、酸化物半導体層106__2、および酸化物半導体層106__1を選択する。より好ましくは、 y_1/x_1 が y_2/x_2 よりも3倍以上大き

10

20

30

40

50

くなる酸化物半導体層 106__3、酸化物半導体層 106__2 および酸化物半導体層 106__1 を選択する。このとき、酸化物半導体層 106__1 において、 y_1 が x_1 以上であるとトランジスタに安定した電気特性を付与できるため好ましい。ただし、 y_1 が x_1 の 5 倍以上になると、トランジスタの電界効果移動度が低下してしまうため、 y_1 は x_1 の 5 倍未満であると好ましい。酸化物半導体層 106__3 および酸化物半導体層 106__2 を上記構成とすることにより、酸化物半導体層 106__3 および酸化物半導体層 106__2 を、酸化物半導体層 106__1 よりも酸素欠損が生じにくい層とすることができる。

【0148】

なお、酸化物半導体層 106__3 が In - M - Zn 酸化物のとき、In および M の和を 100 atomic % としたとき、好ましくは In が 50 atomic % 未満、M が 50 atomic % より高く、さらに好ましくは In が 25 atomic % 未満、M が 75 atomic % より高くする。また、酸化物半導体層 106__1 が In - M - Zn 酸化物のとき、In および M の和を 100 atomic % としたとき、好ましくは In が 25 atomic % より高く、M が 75 atomic % 未満、さらに好ましくは In が 34 atomic % より高く、M が 66 atomic % 未満とする。また、酸化物半導体層 106__2 が In - M - Zn 酸化物のとき、In および M の和を 100 atomic % としたとき、好ましくは In が 50 atomic % 未満、M が 50 atomic % より高く、さらに好ましくは In が 25 atomic % 未満、M が 75 atomic % より高くとする。なお、酸化物半導体層 106__2 は、酸化物半導体層 106__3 と同種の酸化物を用いても構わない。

【0149】

例えば、In または Ga を含む酸化物半導体層 106__3、および In または Ga を含む酸化物半導体層 106__2 として、In : Ga : Zn = 1 : 3 : 2、1 : 3 : 4、1 : 3 : 6、1 : 4 : 5、1 : 6 : 4、または 1 : 9 : 6 などの原子数比のターゲットを用いて形成した In - Ga - Zn 酸化物や、In : Ga = 1 : 9、または 7 : 93 などの原子数比のターゲットを用いて形成した In - Ga 酸化物を用いることができる。また、酸化物半導体層 106__1 として、例えば、In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1 または 3 : 1 : 2 などの原子数比のターゲットを用いて形成した In - Ga - Zn 酸化物を用いることができる。なお、酸化物半導体層 106__3、酸化物半導体層 106__1、および酸化物半導体層 106__2 の原子数比はそれぞれ、誤差として上記の原子数比のプラスマイナス 20 % の変動を含む。

【0150】

酸化物半導体層 106__1 は、酸化物半導体層 106__3 および酸化物半導体層 106__2 よりも電子親和力の大きい酸化物を用いることが好ましい。例えば、酸化物半導体層 106__1 として、酸化物半導体層 106__3 および酸化物半導体層 106__2 よりも電子親和力が 0.07 eV 以上 1.3 eV 以下、好ましくは 0.1 eV 以上 0.7 eV 以下、さらに好ましくは 0.15 eV 以上 0.4 eV 以下大きい酸化物を用いてもよい。なお、電子親和力は、真空準位と伝導帯下端のエネルギーとの差である。

【0151】

なお、インジウムガリウム酸化物は、小さい電子親和力と、高い酸素ブロック性を有する。そのため、酸化物半導体層 106__2 がインジウムガリウム酸化物を含むと好ましい。ガリウム原子割合 $[Ga / (In + Ga)]$ は、例えば、70 % 以上、好ましくは 80 % 以上、さらに好ましくは 90 % 以上とする。

【0152】

ただし、酸化物半導体層 106__3 または / および酸化物半導体層 106__2 が、酸化ガリウムであっても構わない。例えば、酸化物半導体層 106__3 として、酸化ガリウムを用いると電極 102 と酸化物半導体層 106 との間に生じるリーク電流を低減することができる。即ち、トランジスタ 100 のオフ電流を小さくすることができる。

【0153】

このとき、ゲート電圧を印加すると、酸化物半導体層 106__3、酸化物半導体層 106

10

20

30

40

50

__ 1、酸化物半導体層 1 0 6 __ 2 のうち、電子親和力の大きい酸化物半導体層 1 0 6 __ 1 にチャネルが形成される。

【 0 1 5 4 】

ＯＳトランジスタに安定した電気特性を付与するためには、酸化物半導体層中の不純物及び酸素欠損を低減して高純度真性化し、少なくとも酸化物半導体層 1 0 6 __ 1 を真性または実質的に真性に見なせる酸化物半導体層とすることが好ましい。また、少なくとも酸化物半導体層 1 0 6 __ 1 中のチャネル形成領域が真性または実質的に真性に見なせる半導体層とすることが好ましい。

【 0 1 5 5 】

〔酸化物半導体膜の区分〕

次に、酸化物半導体膜の区分について説明する。

【 0 1 5 6 】

酸化物半導体膜は、単結晶酸化物半導体膜と、それ以外の非単結晶酸化物半導体膜と、に分けられる。非単結晶酸化物半導体膜としては、C A A C - O S (c - a x i s - a l i g n e d c r y s t a l l i n e o x i d e s e m i c o n d u c t o r) 膜、多結晶酸化物半導体膜、n c - O S (n a n o c r y s t a l l i n e o x i d e s e m i c o n d u c t o r) 膜、擬似非晶質酸化物半導体 (a - l i k e O S : a m o r p h o u s - l i k e o x i d e s e m i c o n d u c t o r) 膜、及び非晶質酸化物半導体膜などがある。

【 0 1 5 7 】

また別の観点では、酸化物半導体膜は、非晶質酸化物半導体膜と、それ以外の結晶性酸化物半導体膜と、に分けられる。結晶性酸化物半導体膜としては、単結晶酸化物半導体膜、C A A C - O S 膜、多結晶酸化物半導体膜、及び n c - O S 膜などがある。

【 0 1 5 8 】

非晶質構造は、一般に、等方的であって不均質構造を持たない、準安定状態で原子の配置が固定化していない、結合角度が柔軟である、短距離秩序は有するが長距離秩序を有さない、などといわれている。

【 0 1 5 9 】

すなわち、安定な酸化物半導体膜を完全な非晶質 (c o m p l e t e l y a m o r p h o u s) 酸化物半導体膜とは呼べない。また、等方的でない (例えば、微小な領域において周期構造を有する) 酸化物半導体膜を、完全な非晶質酸化物半導体膜とは呼べない。一方、a - l i k e O S 膜は、等方的でないが、鬆 (ポイドともいう。) を有する不安定な構造である。不安定であるという点では、a - l i k e O S 膜は、物性的に非晶質酸化物半導体膜に近い。

【 0 1 6 0 】

[C A A C - O S]

C A A C - O S 膜は、c 軸配向した複数の結晶部 (ペレットともいう。) を有する酸化物半導体膜の一種である。

【 0 1 6 1 】

C A A C - O S 膜は結晶性の高い酸化物半導体膜である。酸化物半導体膜の結晶性は不純物の混入や欠陥の生成などによって低下する場合があるため、C A A C - O S 膜は不純物や欠陥 (酸素欠損など) の少ない酸化物半導体膜ともいえる。

【 0 1 6 2 】

なお、不純物は、酸化物半導体膜の主成分以外の元素で、水素、炭素、シリコン、遷移金属元素などがある。例えば、シリコンなどの、酸化物半導体膜を構成する金属元素よりも酸素との結合力の強い元素は、酸化物半導体膜から酸素を奪うことで酸化物半導体膜の原子配列を乱し、結晶性を低下させる要因となる。また、鉄やニッケルなどの重金属、アルゴン、二酸化炭素などは、原子半径 (または分子半径) が大きいため、酸化物半導体膜の原子配列を乱し、結晶性を低下させる要因となる。

【 0 1 6 3 】

10

20

30

40

50

[n c - O S]

n c - O S を X R D によって解析した場合について説明する。例えば、n c - O S に対し、o u t - o f - p l a n e 法による構造解析を行うと、配向性を示すピークが現れない。即ち、n c - O S の結晶は配向性を有さない。

【 0 1 6 4 】

n c - O S 膜は、非晶質酸化物半導体膜よりも規則性の高い酸化物半導体膜である。そのため、n c - O S 膜は、a - l i k e O S 膜や非晶質酸化物半導体膜よりも欠陥準位密度が低くなる。ただし、n c - O S は、異なるペレット間で結晶方位に規則性が見られない。そのため、n c - O S は、C A A C - O S と比べて欠陥準位密度が高くなる場合がある。

10

【 0 1 6 5 】

[a - l i k e O S]

a - l i k e O S 膜は、n c - O S 膜と非晶質酸化物半導体膜との間の構造を有する酸化物半導体膜である。

【 0 1 6 6 】

a - l i k e O S は、鬆または低密度領域を有する。a - l i k e O S は、鬆を有するため、不安定な構造である。

【 0 1 6 7 】

また、a - l i k e O S は、鬆を有するため、n c - O S 及び C A A C - O S と比べて密度の低い構造である。具体的には、a - l i k e O S の密度は、同じ組成の単結晶の密度の 7 8 . 6 % 以上 9 2 . 3 % 未満である。また、n c - O S の密度及び C A A C - O S の密度は、同じ組成の単結晶の密度の 9 2 . 3 % 以上 1 0 0 % 未満である。単結晶の密度の 7 8 % 未満である酸化物半導体は、成膜すること自体が困難である。

20

【 0 1 6 8 】

例えば、 $\text{In} : \text{Ga} : \text{Zn} = 1 : 1 : 1$ [原子数比] を満たす酸化物半導体膜において、菱面体晶構造を有する単結晶 InGaZnO_4 の密度は 6.357 g/cm^3 である。よって、例えば、 $\text{In} : \text{Ga} : \text{Zn} = 1 : 1 : 1$ [原子数比] を満たす酸化物半導体膜において、a - l i k e O S の密度は 5.0 g/cm^3 以上 5.9 g/cm^3 未満である。また、例えば、 $\text{In} : \text{Ga} : \text{Zn} = 1 : 1 : 1$ [原子数比] を満たす酸化物半導体膜において、n c - O S の密度及び C A A C - O S の密度は 5.9 g/cm^3 以上 6.3 g/cm^3 未満である。

30

【 0 1 6 9 】

なお、同じ組成の単結晶が存在しない場合、任意の割合で組成の異なる単結晶を組み合わせることにより、所望の組成における単結晶に相当する密度を見積もることができる。所望の組成の単結晶に相当する密度は、組成の異なる単結晶を組み合わせる割合に対して、加重平均を用いて見積もればよい。ただし、密度は、可能な限り少ない種類の単結晶を組み合わせで見積もることが好ましい。

【 0 1 7 0 】

以上のように、酸化物半導体膜は、様々な構造をとり、それぞれが様々な特性を有する。なお、本発明の一態様の酸化物半導体膜は、非晶質酸化物半導体、a - l i k e O S 、 n c - O S 、 C A A C - O S のうち、二種以上が混在していてもよい。

40

【 0 1 7 1 】

[成膜方法について]

絶縁層、電極や配線を形成するための導電層、または半導体層などは、スパッタリング法、スピンコート法、CVD (C h e m i c a l V a p o r D e p o s i t i o n) 法 (熱 CVD 法、MOCVD (M e t a l O r g a n i c C h e m i c a l V a p o r D e p o s i t i o n) 法、PECVD (P l a s m a E n h a n c e d C V D) 法、高密度プラズマ CVD (H i g h d e n s i t y p l a s m a C V D) 法、LPCVD 法 (l o w p r e s s u r e C V D) 、APCVD 法 (a t m o s p h e r i c p r e s s u r e C V D) 等を含む)、ALD (A t o m i c L a y e r

50

Deposition)法、または、MBE(Molecular Beam Epitaxy)法、または、PLD(Pulsed Laser Deposition)法、ディップ法、スプレー塗布法、液滴吐出法(インクジェット法など)、印刷法(スクリーン印刷、オフセット印刷など)を用いて形成することができる。

【0172】

プラズマCVD法は、比較的低温で高品質の膜が得られる。MOCVD法、ALD法、または熱CVD法などの、成膜時にプラズマを用いない成膜方法を用いると、被形成面にダメージが生じにくい。例えば、半導体装置に含まれる配線、電極、素子(トランジスタ、容量素子など)などは、プラズマから電荷を受け取ることでチャージアップする場合がある。このとき、蓄積した電荷によって、半導体装置に含まれる配線、電極、素子などが破壊される場合がある。一方、プラズマを用いない成膜方法の場合、こういったプラズマダメージが生じないため、半導体装置の歩留まりを高くすることができる。また、成膜中のプラズマダメージが生じないため、欠陥の少ない膜が得られる。

10

【0173】

CVD法およびALD法は、ターゲットなどから放出される粒子が堆積する成膜方法とは異なり、被処理物の表面における反応により膜が形成される成膜方法である。したがって、被処理物の形状の影響を受けにくく、良好な段差被覆性を有する成膜方法である。特に、ALD法は、優れた段差被覆性と、優れた厚さの均一性を有するため、アスペクト比の高い開口部の表面を被覆する場合などに好適である。ただし、ALD法は、比較的成膜速度が遅いため、成膜速度の速いCVD法などの他の成膜方法と組み合わせて用いることが

20

【0174】

CVD法およびALD法は、原料ガスの流量比によって、得られる膜の組成を制御することができる。例えば、CVD法およびALD法では、原料ガスの流量比によって、任意の組成の膜を成膜することができる。また、例えば、CVD法およびALD法では、成膜しながら原料ガスの流量比を変化させることによって、組成が連続的に変化した膜を成膜することができる。原料ガスの流量比を変化させながら成膜する場合、複数の成膜室を用いて成膜する場合と比べて、搬送や圧力調整に掛かる時間の分、成膜に掛かる時間を短くすることができる。したがって、半導体装置の生産性を高めることができる場合がある。

【0175】

なお、ALD法により成膜する場合は、材料ガスとして塩素を含まないガスを用いることが好ましい。

30

【0176】

また、スパッタリング法で酸化物半導体を形成する場合、スパッタリング装置におけるチャンバーは、酸化物半導体にとって不純物となる水等を可能な限り除去すべくクライオポンプのような吸着式の真空排気ポンプを用いて、高真空(5×10^{-7} Paから 1×10^{-4} Pa程度まで)に排気することが好ましい。特に、スパッタリング装置の待機時における、チャンバー内の H_2O に相当するガス分子($m/z = 18$ に相当するガス分子)の分圧を 1×10^{-4} Pa以下、好ましく 5×10^{-5} Pa以下とすることが好ましい。

【0177】

また、スパッタリングガスの高純度化も必要である。例えば、スパッタリングガスとして用いる酸素ガスやアルゴンガスは、露点が -40 以下、好ましくは -80 以下、より好ましくは -100 以下、より好ましくは -120 以下にまで高純度化したガスを用いることで酸化物半導体膜に水分等が取り込まれることを可能な限り防ぐことができる。

40

【0178】

また、スパッタリング法で絶縁層、導電層、または半導体層などを形成する場合、酸素を含むスパッタリングガスを用いることで、被形成層に酸素を供給することができる。スパッタリングガスに含まれる酸素が多いほど、被形成層に供給される酸素が多くなりやすい。

【0179】

50

<トランジスタ100の作製方法例>

図1および図2に示すトランジスタ100の作製方法例について図7(A)乃至図7(D)、図8(A)乃至図8(C)、図9(A)乃至図9(C)および図10(A)乃至図10(C)を用いて説明する。図7(A)乃至図7(D)、図8(A)乃至図8(C)、図9(A)乃至図9(C)および図10(A)乃至図10(C)中のX1-X2断面は、図1(A)にX1-X2の一点鎖線で示す部位の断面に相当する。

【0180】

[工程1]

まず、基板101上に電極102を形成するための導電層181を形成する(図7(A)参照。)。本実施の形態では、基板101としてアルミノホウケイ酸ガラスを用いる。また、本実施の形態では、導電層181として厚さ50nmのチタン層と、厚さ200nmの銅層とを、それぞれ順にスパッタリング法により形成する。

【0181】

[工程2]

次に、レジストマスクを形成する(図示せず。)。レジストマスクの形成は、フォトリソグラフィ法、印刷法、インクジェット法等を適宜用いて行うことができる。レジストマスクを印刷法やインクジェット法などで形成すると、フォトマスクを使用しないため製造コストを低減できる。

【0182】

フォトリソグラフィ法によるレジストマスクの形成は、感光性レジストにフォトマスクを介して光を照射し、現像液を用いて感光した部分(または感光していない部分)のレジストを除去して行なうことができる。感光性レジストに照射する光は、KrFエキシマレーザ光、ArFエキシマレーザ光、EUV(Extreme Ultraviolet)光などがある。また、基板と投影レンズとの間に液体(例えば水)を満たして露光する液浸技術を用いてもよい。また、前述した光に代えて、電子ビームやイオンビームを用いてもよい。なお、電子ビームやイオンビームを用いる場合には、フォトマスクは不要となる。

【0183】

当該レジストマスクをマスクとして用いて、導電層181の一部を選択的に除去して電極102を形成する(図7(B)参照。)。導電層181の除去は、ドライエッチング法や、ウェットエッチング法などを用いて行なうことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

【0184】

導電層181の一部を除去した後、レジストマスクを除去する。レジストマスクの除去は、アッシングなどのドライエッチング法または専用の剥離液などを用いたウェットエッチング法で行うことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

【0185】

また、電極102側面の断面形状をテーパ形状とすることが好ましい。電極102側面のテーパ角は、20°以上90°未満が好ましく、30°以上80°未満がより好ましく、40°以上70°未満がさらに好ましい。なお、テーパ角とは、テーパ形状を有する層を断面(基板の表面と直交する面)方向から観察した際に、当該層の側面と底面がなす角度を示す。

【0186】

電極102の側面にテーパ形状を付与することで、その上に形成する層の段切れを防ぎ、被覆性を向上させることができる。また、電極102の側面をテーパ形状とすることで、電極102の上端部の電界集中を緩和できる。一方で、テーパ角が小さすぎると、トランジスタの微細化が困難になる場合がある。また、テーパ角が小さすぎると、開口の大きさや配線の幅などのばらつきが大きくなる場合がある。

【0187】

また、電極102の側面を階段形状としてもよい。側面を階段状とすることで、その上に

10

20

30

40

50

形成する層の段切れを防ぎ、被覆性を向上させることができる。なお、電極 102 の側面に限らず、各層の端部をテーパ形状または階段形状とすることで、その上に被覆する層が途切れてしまう現象（段切れ）を防ぎ、被覆性を良好なものとするすることができる。

【0188】

[工程3]

次に、絶縁層 103、絶縁層 104、および絶縁層 105 を順に形成する（図 7（C）参照。）。本実施の形態では、絶縁層 103 として厚さ 400 nm の窒化シリコン層を形成し、絶縁層 104 として厚さ 30 nm の酸化アルミニウム層を形成し、絶縁層 105 として厚さ 50 nm の酸化窒化シリコン層を形成する。

【0189】

なお、絶縁層 103 に用いる窒化シリコン層は、第 1 の窒化シリコン層と、第 2 の窒化シリコン層と、第 3 の窒化シリコン層とを有する三層積層構造である。該三層積層構造の一例としては、以下のように形成することができる。

【0190】

第 1 の窒化シリコン層としては、例えば、流量 200 sccm のシラン、流量 2000 sccm の窒素、及び流量 100 sccm のアンモニアガスを原料ガスとして PECVD 装置の反応室に供給し、反応室内の圧力を 100 Pa に制御し、27.12 MHz の高周波電源を用いて 2000 W の電力を供給して、厚さが 50 nm となるように形成すればよい。

【0191】

第 2 の窒化シリコン層としては、流量 200 sccm のシラン、流量 2000 sccm の窒素、及び流量 2000 sccm のアンモニアガスを原料ガスとして PECVD 装置の反応室に供給し、反応室内の圧力を 100 Pa に制御し、27.12 MHz の高周波電源を用いて 2000 W の電力を供給して、厚さが 300 nm となるように形成すればよい。

【0192】

第 3 の窒化シリコン層としては、流量 200 sccm のシラン、及び流量 5000 sccm の窒素を原料ガスとして PECVD 装置の反応室に供給し、反応室内の圧力を 100 Pa に制御し、27.12 MHz の高周波電源を用いて 2000 W の電力を供給して、厚さが 50 nm となるように形成すればよい。

【0193】

なお、上記第 1 の窒化シリコン層、第 2 の窒化シリコン層、及び第 3 の窒化シリコン層形成時の基板温度は 350 以下とすることができる。

【0194】

窒化シリコン層を上記の三層の積層構造とすることで、例えば、電極 102 に銅を含む導電層を用いる場合において、以下の効果を奏する。

【0195】

第 1 の窒化シリコン層は、電極 102 からの銅元素の拡散を抑制することができる。第 2 の窒化シリコン層は、水素を放出する機能を有し、ゲート絶縁層として機能する絶縁層の耐圧を向上させることができる。第 3 の窒化シリコン層は、第 3 の窒化シリコン層からの水素放出が少なく、且つ第 2 の窒化シリコン層からの放出される水素の拡散を防ぐことができる。

【0196】

前述した通り、絶縁層 104 は、不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。また、絶縁層 104 は、酸素が拡散しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。絶縁層 104 に用いる酸化アルミニウム層は、アルミニウムターゲットを用いた DC スパッタリング法で形成してもよいし、酸化アルミニウムターゲットを用いた AC スパッタリング法で形成してもよい。また、ALD 法で形成してもよい。

【0197】

絶縁層 105 は、過剰酸素を含む絶縁層を用いることが好ましい。絶縁層 105 に酸素ドーピング処理を行ってもよい。また、絶縁層 105 の形成後に加熱処理を行なって、絶縁層 1

10

20

30

40

50

05中に含まれる水素や水分を低減させることが好ましい。加熱処理の後に酸素ドーブ処理を行ってもよい。酸素ドーブ処理は、例えば、基板を400に加熱して、アルゴンと酸素を含むガスを周波数2.45GHzで励起して行なえばよい。加熱処理と酸素ドーブ処理を複数回繰り返して行なってもよい。

【0198】

また、絶縁層105を、窒素や不活性ガスのプラズマ雰囲気中に曝すことで、絶縁層105表面および表面近傍の水素や炭素などの不純物を低減することができる。例えば、基板を400に加熱して、アルゴンと窒素を含むガスを周波数2.45GHzで励起したプラズマ雰囲気に絶縁層105を曝せばよい。

【0199】

加熱処理は、例えば、窒素や希ガスなどを含む不活性雰囲気下、酸化性雰囲気下、又は超乾燥エア(CRDS(キャビティリングダウンレーザー分光法)方式の露点計を用いて測定した場合の水分量が20ppm(露点換算で-55)以下、好ましくは1ppm以下、好ましくは10ppb以下の空気)雰囲気下で行なう。なお、「酸化性雰囲気」とは、酸素、オゾンまたは窒化酸素などの酸化性ガスを10ppm以上含有する雰囲気を用いる。また、「不活性雰囲気」とは、前述の酸化性ガスが10ppm未満であり、その他、窒素または希ガスで充填された雰囲気を用いる。加熱処理中の圧力に特段の制約はないが、加熱処理は減圧下で行なうことが好ましい。

【0200】

加熱処理は、150以上基板の歪み点未満、好ましくは200以上500以下、より好ましくは250以上400以下で行なえばよい。処理時間は24時間以内とする。24時間を超える加熱処理は生産性の低下を招くため好ましくない。

【0201】

また、加熱処理は、電気炉、RTA装置等を用いて行なうことができる。RTA装置を用いることで、短時間に限り基板の歪み点以上の温度で熱処理を行うことができる。そのため、加熱時間を短縮することが可能となる。なお、上記窒素、酸素、超乾燥エア、または希ガスに水素、水等が含まれないことが好ましい。

【0202】

[工程4]

次に、酸化物半導体層182と酸化物半導体層183を順に形成する(図7(D)参照)。なお、酸化物半導体層182を形成する前に、酸素ガスを供給してプラズマを発生させてもよい。このことにより、酸化物半導体層182の被形成面となる絶縁層105中に酸素を添加できる。

【0203】

酸化物半導体層182としては、インジウム亜鉛酸化物や、組成がIn:Ga:Zn=5:1:6[原子数比]のターゲットを用いて形成したインジウムガリウム亜鉛酸化物や、組成がIn:Ga:Zn=4:2:3[原子数比]のターゲットを用いて形成したインジウムガリウム亜鉛酸化物などを用いることが好ましい。

【0204】

本実施の形態では、酸化物半導体層182として、インジウムガリウム亜鉛酸化物を組成がIn:Ga:Zn=5:1:6[原子数比]のターゲットを用いたスパッタリング法で形成する。また、スパッタリングガスとして酸素、または、酸素と希ガスの混合ガスを用いる。本実施の形態では、スパッタリングガスとして酸素の流量比が10%の酸素とアルゴンの混合ガスを用いる。

【0205】

スパッタリングガスに含まれる酸素の流量比を0%以上30%以下、好ましくは5%以上20%以下として成膜すると、酸素欠乏型の酸化物半導体層が形成される。酸素欠乏型の酸化物半導体層を用いたトランジスタは、比較的高い電界効果移動度が得られる。

【0206】

また、酸化物半導体層182の形成時に、スパッタリングガスに含まれる酸素の一部が絶

10

20

30

40

50

緑層 105 に供給される場合がある。スパッタリングガスに含まれる酸素が多いほど、絶縁層 105 に供給される酸素も増加する。絶縁層 105 に供給された酸素の一部は、絶縁層 105 中に残存する水素と反応して水となり、後の加熱処理によって絶縁層 105 から放出される。このようにして、絶縁層 105 中の水素濃度を低減することができる。また、絶縁層 105 中の過剰酸素を増やすことで、後の加熱処理において酸化物半導体層 182 (後の酸化物半導体層 106 __ 1) に酸素を供給することもできる。

【0207】

また、酸化物半導体層 183 としては、組成が $In : Ga : Zn = 5 : 1 : 6$ [原子数比]、 $In : Ga : Zn = 4 : 2 : 3$ [原子数比]、または $In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$ [原子数比] などのターゲットを用いて形成したインジウムガリウム亜鉛酸化物などを用いることが好ましい。

10

【0208】

また、酸化物半導体層 183 としては、結晶性の高い酸化物半導体層を用いることが好ましい。例えば、酸化物半導体層 183 として $CAAC - OS$ を用いることが好ましい。例えば、後に行なわれる電極 107a および電極 107b を形成するためのエッチング工程の際に、露出した酸化物半導体層がエッチングされて、酸化物半導体層にダメージが生じる場合がある。結晶性の高い酸化物半導体層は、当該エッチング工程でエッチングされにくい。酸化物半導体層 183 に結晶性の高い酸化物半導体層を用いることで、当該エッチング工程で酸化物半導体層に生じるダメージを低減することができる。よって、トランジスタの信頼性を高めることができる。

20

【0209】

本実施の形態では、酸化物半導体層 183 として、 $CAAC - OS$ を用いる。具体的には、インジウムガリウム亜鉛酸化物を組成が $In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$ [原子数比] のターゲットを用いたスパッタリング法で形成する。また、スパッタリングガスとして酸素、または、酸素と希ガスの混合ガスを用いる。本実施の形態では、スパッタリングガスとして酸素を 100% の割合で用いる。酸化物半導体層 183 を形成するためのスパッタリングガスに含まれる酸素の流量比は、70% 以上が好ましく、80% 以上がさらに好ましく、100% がより好ましい。スパッタリングガスに含まれる酸素の割合 (流量比) を高めることで、酸化物半導体層の結晶性を高めることができる。

【0210】

30

なお、酸化物半導体層 183 の形成後に不純物元素を導入することで、トランジスタ 100 のしきい値電圧を変化させることができる。不純物元素の導入は、イオン注入法、イオンドーピング法、またはプラズマイメージョンイオン注入法、または不純物元素を含むガスを用いたプラズマ処理などで行うことができる。

【0211】

また、酸化物半導体層 183 の形成後に、加熱処理を行ってもよいし、酸素ドーブ処理を行なってもよい。加熱処理と酸素ドーブ処理を複数回繰り返してもよい。

【0212】

また、窒素または希ガス雰囲気中で加熱処理を行なった後、酸素または超乾燥空気雰囲気中で加熱処理を行なってもよい。この結果、酸化物半導体層に含まれる水素、水等を脱離させると共に、酸化物半導体層に酸素を供給することができる。この結果、酸化物半導体層に含まれる酸素欠損を低減することができる。

40

【0213】

【工程 5】

次に、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成する (図示せず。)。当該レジストマスクをマスクとして用いて、酸化物半導体層 182 および酸化物半導体層 183 の一部を選択的に除去して、島状の酸化物半導体層 106 __ 1 および島状の酸化物半導体層 106 __ 2 を形成する (図 8 (A) 参照。)。

【0214】

酸化物半導体層 106 __ 1 および酸化物半導体層 106 __ 2 の形成後に加熱処理を行って

50

もよいし、酸素ドーブ処理を行なってもよい。加熱処理と酸素ドーブ処理を繰り返してもよい。

【0215】

[工程6]

次に、導電層184および導電層185を順に形成する(図8(B)参照。)。導電層184は、酸化物半導体層106と接するため、加熱処理により水素を吸収する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。導電層184にこのような材料を用いることで、後の加熱処理によって、酸化物半導体層106中の水素濃度を低減することができる。水素を吸収する機能を有する導電性材料の一例として、チタン、インジウム亜鉛酸化物、シリコンを添加したインジウム錫酸化物などがある。

10

【0216】

本実施の形態では、導電層184として厚さ30nmのチタン層を形成し、導電層185として厚さ200nmの銅層をスパッタリング法により形成する。

【0217】

[工程7]

次に、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成する(図示せず。)。当該レジストマスクをマスクとして用いて、導電層185の一部を選択的に除去して、電極107a__2および電極107b__2を形成する(図8(C)参照。)。

【0218】

導電層185の除去は、ドライエッチング法や、ウェットエッチング法などを用いて行なうことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

20

【0219】

[工程8]

次に、導電層186を形成する(図9(A)参照。)。本実施の形態では、導電層186として厚さ10nmのチタン層を形成する。

【0220】

[工程9]

次に、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成する(図示せず。)。当該レジストマスクをマスクとして用いて、導電層184および導電層186の一部を選択的に除去して、電極107a__1、電極107a__3、電極107b__1、および電極107b__3を形成する(図9(B)参照。)。このようにして電極107aおよび電極107bが形成される。

30

【0221】

導電層184および導電層185の除去は、ドライエッチング法や、ウェットエッチング法などを用いて行なうことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

【0222】

ドライエッチング法により導電層184および導電層185の一部を除去した場合は、露出した酸化物半導体層106__2や絶縁層105にエッチングガスの残留成分などの不純物元素が付着する場合がある。例えば、エッチングガスとして塩素系ガスを用いると、塩素などが付着する場合がある。また、エッチングガスとして炭化水素系ガスを用いると、炭素や水素などが付着する場合がある。

40

【0223】

このため、酸化物半導体層106__2および絶縁層105の、露出した表面に付着した不純物元素を低減することが好ましい。当該不純物の低減は、例えば、希フッ酸などを用いた洗浄処理、オゾンなどを用いた洗浄処理、または紫外線などを用いた洗浄処理で行なえばよい。また、酸化性ガスを用いたプラズマ処理を行ってもよい。例えば、亜酸化窒素ガスを用いたプラズマ処理を行なってもよい。当該プラズマ処理を行うことで、露出した表面に付着したフッ素などを低減することができる。また、有機物を除去する効果も得られる。なお、複数の洗浄処理を組み合わせてもよい。洗浄処理とプラズマ処理を組み合わせ

50

てもよい。

【0224】

[工程10]

次に、絶縁層108と絶縁層109を順に形成する(図9(C)参照。)。絶縁層108と絶縁層109は、途中で大気に曝すことなく連続して形成することが好ましい。

【0225】

絶縁層108は過剰酸素を含む絶縁層であることが好ましい。絶縁層108の厚さは5nm以上150nm以下、好ましくは5nm以上50nm以下とすればよい。また、絶縁層108として酸素を透過することができる絶縁層を用いることで、後に形成する絶縁層109に含まれる酸素を酸化物半導体層106に移動させることができる。

10

【0226】

例えば、絶縁層108として、PECVD法で形成した酸化窒化シリコン層を用いることができる。この場合、原料ガスとしては、シリコンを含む堆積性気体及び酸化性気体を用いることが好ましい。シリコンを含む堆積性気体の代表例としては、シラン、ジシラン、トリシラン、フッ化シラン等がある。酸化性気体としては、一酸化二窒素、二酸化窒素等がある。また、上記の堆積性気体の流量に対して酸化性気体の流量を20倍以上5000倍以下、好ましくは40倍以上100倍以下とする。

【0227】

本実施の形態では、絶縁層108として、厚さ30nmの酸化窒化シリコン層を形成する。具体的には、基板温度を350とし、流量20sccmのシランおよび流量3000sccmの一酸化二窒素を原料ガスとし、処理室内の圧力を200Paとし、平行平板電極に供給する高周波電力を13.56MHz、100WとするPECVD法を用いて、酸化窒化シリコン層を形成する。

20

【0228】

絶縁層109は過剰酸素を含む絶縁層であることが好ましい。絶縁層109の厚さは30nm以上500nm以下、好ましくは50nm以上400nm以下とすればよい。

【0229】

また、絶縁層109は、欠陥量が少ないことが好ましく、代表的には、ESR測定により、シリコンのダングリングボンドに由来する $g = 2.001$ に現れる信号のスピン密度が $1.5 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 未満、さらには $1 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 以下であることが好ましい。なお、絶縁層109は、絶縁層108と比較して酸化物半導体層106から離れているため、絶縁層108よりも欠陥密度が多くてもよい。

30

【0230】

絶縁層109として、PECVD法で形成した酸化窒化シリコン層を用いることができる。例えば、PECVD装置の真空排気された処理室内に載置された基板を180以上400以下に保持し、処理室に原料ガスを導入して処理室内における圧力を100Pa以上250Pa以下、さらに好ましくは100Pa以上200Pa以下とし、処理室内に設けられる電極に 0.17 W/cm^2 以上 0.5 W/cm^2 以下、さらに好ましくは 0.25 W/cm^2 以上 0.35 W/cm^2 以下の高周波電力を供給する条件により、酸化シリコン層または酸化窒化シリコン層を形成する。

40

【0231】

絶縁層109の形成において、上記圧力の反応室内で上記パワー密度の高周波電力を供給することで、プラズマ中で原料ガスの分解効率が高まる。すなわち、反応室内の酸素ラジカルが増加し、原料ガスの酸化が進む。このため、形成される絶縁層109中の酸素含有量が化学量論的組成よりも多くなる。

【0232】

また、上記の基板温度で形成された絶縁層では、シリコンと酸素の結合力が弱いため、後の工程の加熱処理により絶縁層中の酸素の一部が脱離する。この結果、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含み、加熱により酸素の一部が脱離する酸化物絶縁層を形成することができる。

50

【0233】

本実施の形態では、絶縁層109として、厚さ100nmの酸化窒化シリコン層を形成する。具体的には、基板温度を220とし、流量160sccmのシランおよび流量400sccmの一酸化二窒素を原料ガスとし、処理室内の圧力を200Paとし、平行平板電極に供給する高周波電力を13.56MHz、1500WとするPECVD法を用いて、酸化窒化シリコン層を形成する。

【0234】

なお、絶縁層109の形成工程において、絶縁層108が酸化物半導体層106の保護層となる。したがって、酸化物半導体層106へのダメージを低減しつつ、パワー密度の高い高周波電力を用いて絶縁層109を形成することができる。

10

【0235】

なお、絶縁層109の形成条件において、酸化性気体に対するシリコンを含む堆積性気体の流量を増加することで、絶縁層109の欠陥量を低減することが可能である。代表的には、ESR測定により、シリコンのダングリングボンドに由来する $g = 2.001$ に現れる信号のスピン密度が $6 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 未満、好ましくは $3 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 以下、好ましくは $1.5 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 以下である欠陥量の少ない酸化物絶縁層を形成することができる。この結果、トランジスタの信頼性を高めることができる。

【0236】

[工程11]

次に、不活性雰囲気下で加熱処理を行ない、絶縁層108および絶縁層109中に含まれる水素や水分などの不純物を低減する。なお、不活性ガスなどのガス供給を行わず、減圧下で加熱処理を行なってもよい。本実施の形態では、窒素雰囲気中で400、1時間の加熱処理をおこなう(図10(A)参照。)

20

【0237】

[工程12]

続けて、酸化性雰囲気中で加熱処理を行なう。本実施の形態では、酸素雰囲気中で400、1時間の加熱処理をおこなう(図10(B)参照。)。工程11および工程12において、絶縁層108および/または絶縁層109に含まれる酸素の一部を酸化物半導体層106に移動させ、酸化物半導体層106に含まれる酸素欠損を低減することができる。

30

なお、工程11または工程12の一方を省略してもよい。

【0238】

[工程13]

次に、絶縁層110を形成する(図10(C)参照。)。前述した通り、絶縁層110は、不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。また、絶縁層110は、酸素が拡散しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。絶縁層110の厚さは5nm乃至40nmであればよい。

【0239】

本実施の形態では、絶縁層110として厚さ30nmの酸化アルミニウム層をスパッタリング法で形成する。また、スパッタリングガスとして酸素、または、酸素と希ガスの混合ガスを用いる。スパッタリングガスに含まれる酸素の流量比は、70%以上が好ましく、80%以上がさらに好ましく、100%がより好ましい。酸素を含むスパッタリングガスを用いることで、被形成層(絶縁層109)に酸素を供給することができる。スパッタリングガスに含まれる酸素が多いほど、被形成層に供給される酸素が多くなりやすい。本実施の形態では、スパッタリングガスとして100%酸素を用いる。

40

【0240】

絶縁層110に用いる酸化アルミニウム層は、アルミニウムターゲットを用いたDCスパッタリング法で形成してもよいし、酸化アルミニウムターゲットを用いたACスパッタリング法で形成してもよい。

【0241】

50

また、絶縁層 110 として、水素を含まない、または、ほとんど含まない窒化シリコン層を用いてもよい。このような窒化シリコン層は、例えば、スパッタリング法などで形成することができる。

【0242】

なお、絶縁層 110 の上に絶縁層 111 を形成する場合は、絶縁層 111 として酸化アルミニウム層を ALD 法で形成することが好ましい。絶縁層 111 の厚さは 5 nm 乃至 40 nm であればよい。酸化アルミニウム層を ALD 法で形成することで、被覆性の良好な酸化アルミニウム層を設けることができる。よって、トランジスタの信頼性を高めることができる。また、絶縁層 111 として窒化シリコン層を用いてもよい。

【0243】

工程 11 から工程 13 までは、途中で大気に曝すことなく連続して行なう。このようにすることで、水素や水分などの吸着を防ぎ、トランジスタの信頼性を高めることができる。また、絶縁層 110 で酸化物半導体層 106 を覆うことで、外部から水素や水分などの浸入を防ぐことができる。加えて、酸素の外部への拡散を防ぐことができる。

【0244】

<トランジスタ 100 の変形例>

トランジスタ 100 の変形例について図面を用いて説明する。

【0245】

〔変形例 1〕

図 11 (A) は、トランジスタ 100 A の平面図である。図 11 (B) は、図 11 (A) に記した X1 - X2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 11 (C) は、図 11 (A) に記した Y1 - Y2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。

【0246】

トランジスタ 100 A は、平面図で見た場合に、酸化物半導体層 106 の外側を囲む領域 123 を有する点が、トランジスタ 100 と異なる。領域 123 では絶縁層 105、絶縁層 108、および絶縁層 109 が除去され、絶縁層 104 と絶縁層 110 が接している。

【0247】

領域 123 を設けることで、外部から水素や水分などの浸入を防ぐ効果を高めることができる。加えて、酸素の外部への拡散を防ぐ効果を高めることができる。

【0248】

〔変形例 2〕

図 12 (A) は、トランジスタ 100 B の平面図である。図 12 (B) は、図 12 (A) に記した X1 - X2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 12 (C) は、図 12 (A) に記した Y1 - Y2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 13 (A) は、図 12 (B) に示した部位 131 B の拡大図である。図 13 (B) は、図 12 (C) に示した部位 132 B の拡大図である。

【0249】

トランジスタ 100 B は、絶縁層 108 および絶縁層 110 の積層順がトランジスタ 100 と異なる。トランジスタ 100 B では、酸素を含むスパッタリングガスを用いたスパッタリング法で絶縁層 110 を形成する際に、絶縁層 105 に酸素を供給することができる。また、酸化物半導体層 106 の一部に酸素を供給することができる。

【0250】

〔変形例 3〕

図 14 (A) は、トランジスタ 100 C の平面図である。図 14 (B) は、図 14 (A) に記した X1 - X2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 14 (C) は、図 14 (A) に記した Y1 - Y2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 15 (A) は、図 14 (B) に示した部位 131 C の拡大図である。図 15 (B) は、図 14 (C) に示した部位 132 C の拡大図である。

【0251】

トランジスタ 100 C は、絶縁層 105 の形状がトランジスタ 100 A と異なる。トラン

10

20

30

40

50

ジスタ１００Ｃは酸化物半導体層１０６と重畳する島状の絶縁層１０５を有する。島状の絶縁層１０５は、工程５で酸化物半導体層１０６を形成する際に、露出した絶縁層１０５の一部を続けて除去することで形成できる。

【０２５２】

トランジスタ１００Ｃにおいて、絶縁層１１０と絶縁層１０４は酸化物半導体層１０６の端部および絶縁層１０５の端部を越えて延伸し、互いに接する領域を有する。このような構成とすることで、外部から水素や水分などの浸入を防ぐ効果を高めることができる。加えて、酸素の外部への拡散を防ぐ効果を高めることができる。

【０２５３】

また、絶縁層１１０として、酸化アルミニウムなどの不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いることで、電極１０７ａ__２に銅を含む導電層を用いた場合でも、電極１０７ａ__３の形成を省略することができる。よって、製造コストを低減することができる。

【０２５４】

〔変形例４〕

図１６（Ａ）は、トランジスタ１００Ｄの平面図である。図１６（Ｂ）は、図１６（Ａ）に記したＸ１－Ｘ２の一点鎖線で示す部位の断面図である。図１６（Ｃ）は、図１６（Ａ）に記したＹ１－Ｙ２の一点鎖線で示す部位の断面図である。図１７（Ａ）は、図１６（Ｂ）に示した部位１３１Ｄの拡大図である。図１７（Ｂ）は、図１６（Ｃ）に示した部位１３２Ｄの拡大図である。

【０２５５】

トランジスタ１００Ｄは、絶縁層１１０の形状がトランジスタ１００Ｂと異なる。トランジスタ１００Ｄは、絶縁層１１０の一部が除去され、酸化物半導体層１０６と絶縁層１０８が接する領域を有する。このような構成とすることで、絶縁層１０８中の過剰酸素を酸化物半導体層１０６に効率よく供給することができる。

【０２５６】

本実施の形態は、他の実施の形態などに記載した構成と適宜組み合わせることで実施することが可能である。

【０２５７】

（実施の形態２）

本発明の一態様のトランジスタ２００について、図面を用いて説明する。

【０２５８】

<トランジスタ２００の構造例>

図１９（Ａ）は、トランジスタ２００の平面図である。図１９（Ｂ）は、図１９（Ａ）に記したＸ１－Ｘ２の一点鎖線で示す部位の断面図である。図１９（Ｃ）は、図１９（Ａ）に記したＹ１－Ｙ２の一点鎖線で示す部位の断面図である。図２０は、図１９（Ｂ）に示した部位２３１の拡大図である。

【０２５９】

トランジスタ２００はトップゲート型のトランジスタの一種である。トランジスタ２００は、電極１０２、絶縁層１０３、絶縁層１０４、絶縁層１０５、酸化物半導体層１０６、絶縁層１０８、絶縁層１０９、電極１１２、絶縁層１１０、絶縁層１１３、電極１１４ａ（電極１１４ａ__１および電極１１４ａ__２）、および電極１１４ｂ（電極１１４ｂ__１および電極１１４ｂ__２）を有する。

【０２６０】

電極１０２は、基板１０１上に設けられている。絶縁層１０３は電極１０２を覆って設けられている。絶縁層１０４は、絶縁層１０３の上に設けられている。絶縁層１０５は、絶縁層１０４の上に設けられている。酸化物半導体層１０６は、絶縁層１０５の上に設けられている。電極１０２と酸化物半導体層１０６は、絶縁層１０３、絶縁層１０４、および絶縁層１０５を介して、互いに重なる領域を有する。

【０２６１】

また、絶縁層１０８は、酸化物半導体層１０６上に設けられている。絶縁層１０９は、絶

10

20

30

40

50

絶縁層 108 上に設けられている。電極 112 は、絶縁層 109 上に設けられている。絶縁層 108、絶縁層 109、および電極 112 は、酸化物半導体層 106 と重なる領域を有する。絶縁層 110 は、絶縁層 105、酸化物半導体層 106、絶縁層 108、絶縁層 109、および電極 112 上に設けられている。絶縁層 113 は、絶縁層 110 上に設けられている。

【0262】

電極 114a (電極 114a__1 および電極 114a__2) は、絶縁層 113 上に設けられている。電極 114a は、絶縁層 113 および絶縁層 110 それぞれに設けられた開口において、酸化物半導体層 106 の一部と電氣的に接続されている。電極 114b (電極 114b__1 および電極 114b__2) は、絶縁層 113 上に設けられている。電極 114b は、絶縁層 113 および絶縁層 110 それぞれに設けられた開口において、酸化物半導体層 106 の他の一部と電氣的に接続されている。

10

【0263】

絶縁層 108 と絶縁層 109 に同種の材料を用いる場合は、絶縁層 108 と絶縁層 109 の界面が明確に確認できない場合がある。したがって、本実施の形態では、絶縁層 108 と絶縁層 109 の界面を破線で示している。なお、本実施の形態では、絶縁層 108 と絶縁層 109 の 2 層構造について説明したが、本発明の一態様はこれに限定されず、例えば、絶縁層 108 または絶縁層 109 どちらか一方の単層構造、あるいは 3 層以上の積層構造としてもよい。

【0264】

また、図 21 に示すように、絶縁層 110 の上に絶縁層 111 を設けてもよい。図 21 (A) は、トランジスタ 200 の平面図である。図 21 (B) は、図 21 (A) に記した X1 - X2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 21 (C) は、図 21 (A) に記した Y1 - Y2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。

20

【0265】

トランジスタ 200 に絶縁層 110 と絶縁層 111 を設ける場合は、絶縁層 110 と絶縁層 111 の一方または両方に不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いることが好ましい。例えば、絶縁層 110 と絶縁層 111 の少なくとも一方を、窒化シリコン層または酸化アルミニウム層などとしてもよい。また、絶縁層 110 と絶縁層 111 の一方を窒化シリコン層などとし、他方を酸化アルミニウム層などとしてもよい。

30

【0266】

特に、絶縁層 110 として、酸化アルミニウム層をスパッタリング法で形成することが好ましい。特に、絶縁層 111 として、酸化アルミニウム層を ALD 法で形成することが好ましい。これらの効果については追って説明する。

【0267】

酸化物半導体層 106 は、単層に限らず、複数層の積層でもよい。例えば、図 22 (A) に示すように、酸化物半導体層 106 を酸化物半導体層 106__1 および酸化物半導体層 106__2 の二層積層としてもよい。また、例えば、図 22 (B) に示すように、酸化物半導体層 106 を酸化物半導体層 106__1、酸化物半導体層 106__2、および酸化物半導体層 106__3 の三層積層としてもよい。もちろん、酸化物半導体層 106 を四層以上の積層としてもよい。なお、図 22 (A) および図 22 (B) は、どちらも図 19 (B) に相当する断面図である。

40

【0268】

トランジスタ 200 において、電極 102 と電極 112 は、ゲート電極として機能できる。なお、電極 102 または電極 112 の一方を、「ゲート電極」という場合、他方を「バックゲート電極」という。例えば、トランジスタ 200 において、電極 102 を「ゲート電極」と言う場合、電極 112 を「バックゲート電極」と言う。電極 102 を「ゲート電極」として用いる場合は、トランジスタ 200 をボトムゲート型のトランジスタの一種と考えることができる。電極 102 および電極 112 のどちらか一方を、「第 1 のゲート電極」といい、他方を「第 2 のゲート電極」という場合がある。

50

【0269】

また、トランジスタ200において、絶縁層108および絶縁層109は、ゲート絶縁層として機能できる。また、絶縁層103、絶縁層104、および絶縁層105も、ゲート絶縁層として機能できる。

【0270】

酸化物半導体層106を挟んで電極102および電極112を設けることで、更には、電極102および電極112を同電位とすることで、酸化物半導体層106においてキャリアの流れる領域が膜厚方向においてより大きくなるため、キャリアの移動量が増加する。この結果、トランジスタのオン電流が大きくなると共に、電界効果移動度が高くなる。

【0271】

したがって、トランジスタを占有面積に対して大きいオン電流を有するトランジスタとすることができる。すなわち、求められるオン電流に対して、トランジスタの占有面積を小さくすることができる。よって、集積度の高い半導体装置を実現することができる。

【0272】

また、ゲート電極とバックゲート電極は導電層で形成されるため、トランジスタの外部で生じる電界が、チャンネルが形成される半導体層に作用しないようにする機能（特に静電気などに対する電界遮蔽機能）を有する。なお、平面視において、バックゲート電極を半導体層よりも大きく形成し、バックゲート電極で半導体層を覆うことで、電界遮蔽機能を高めることができる。

【0273】

電極102および電極112は、それぞれが外部からの電界を遮蔽する機能を有するため、電極112の上方および電極102の下方に生じる荷電粒子等の電荷が酸化物半導体層106のチャンネル形成領域に影響しない。この結果、ストレス試験での電気特性の劣化が抑制される。また、電極102および電極112は、ドレイン電極から生じる電界が半導体層に作用しないように遮断することができる。よって、ドレイン電圧の変動に起因する、オン電流の立ち上がり電圧の変動を抑制することができる。なお、この効果は、電極102および電極112に電位が供給されている場合において顕著に生じる。

【0274】

また、電極102および電極112を有し、且つ電極102および電極112を同電位とすることで、しきい値電圧の変動量が低減される。このため、複数のトランジスタ間における電気特性のばらつきも同時に低減される。

【0275】

電極114aまたは電極114bの一方は、ソース電極またはドレイン電極の一方として機能できる。電極114aまたは電極114bの他方は、ソース電極またはドレイン電極の他方として機能できる。

【0276】

電極114a__1、電極114a__2、電極114b__1、電極114b__2、および電極112を形成するための導電性材料としては、電極102などと同様の材料を用いることができる。

【0277】

また、本実施の形態では、電極114aおよび電極114bのそれぞれを二層積層構造とする例を示しているが、本発明の一態様はこれに限定されない。電極114aおよび電極114bは、それぞれが単層構造であってもよいし、三層構造であってもよい。また、4層以上の積層構造であってもよい。

【0278】

なお、電極114aおよび電極114bの抵抗を下げるために、電極114aおよび電極114bに銅を用いる場合は、電極114aと酸化物半導体層106の間に銅が拡散しにくい導電性材料を設けることが好ましい。また、電極114bと酸化物半導体層106の間に銅が拡散しにくい導電性材料を設けることが好ましい。銅は半導体層中で拡散しやすいため、半導体装置の動作を不安定にし、歩留まりを著しく低下させてしまう恐れがある

10

20

30

40

50

。銅を含む配線または電極と半導体層の間に銅が拡散しにくい導電性材料を設けることで、トランジスタ200の信頼性を高めることができる。

【0279】

また、銅を含む配線または電極を銅が拡散しにくい導電性材料で覆うまたは包むことで、トランジスタ200の信頼性をさらに高めることができる。

【0280】

また、電極114aおよび電極114bの酸化物半導体層106と接する領域を、加熱処理により水素を吸収する機能を有する導電性材料とすることで、後の加熱処理によって酸化物半導体層106中の水素濃度を低減することができる。

【0281】

<トランジスタ200の作製方法例>

トランジスタ200の作製方法例について図23(A)乃至図26(C)を用いて説明する。図23(A)乃至図26(C)中のX1-X2断面は、図19(A)にX1-X2の一点鎖線で示す部位の断面に相当する。

【0282】

[工程1]

まず、基板101上に電極102を形成するための導電層181を形成する(図23(A)参照。)。本実施の形態では、基板101としてアルミノホウケイ酸ガラスを用いる。また、本実施の形態では、導電層181として厚さ50nmのチタン層と、厚さ200nmの銅層とを、それぞれ順にスパッタリング法により形成する。

【0283】

[工程2]

次に、レジストマスクを形成する(図示せず。)。レジストマスクの形成は、フォトリソグラフィ法、印刷法、インクジェット法等を適宜用いて行うことができる。レジストマスクを印刷法やインクジェット法などで形成すると、フォトマスクを使用しないため製造コストを低減できる。

【0284】

フォトリソグラフィ法によるレジストマスクの形成は、感光性レジストにフォトマスクを介して光を照射し、現像液を用いて感光した部分(または感光していない部分)のレジストを除去して行なうことができる。感光性レジストに照射する光は、KrFエキシマレーザ光、ArFエキシマレーザ光、EUV(Extreme Ultraviolet)光などがある。また、基板と投影レンズとの間に液体(例えば水)を満たして露光する液浸技術を用いてもよい。また、前述した光に代えて、電子ビームやイオンビームを用いてもよい。なお、電子ビームやイオンビームを用いる場合には、フォトマスクは不要となる。

【0285】

当該レジストマスクをマスクとして用いて、導電層181の一部を選択的に除去して電極102を形成する(図23(B)参照。)。導電層181の除去は、ドライエッチング法や、ウェットエッチング法などを用いて行なうことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

【0286】

導電層181の一部を除去した後、レジストマスクを除去する。レジストマスクの除去は、アッシングなどのドライエッチング法または専用の剥離液などを用いたウェットエッチング法で行うことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

【0287】

また、電極102側面の断面形状をテーパ形状とすることが好ましい。電極102側面のテーパ角は、20°以上90°未満が好ましく、30°以上80°未満がより好ましく、40°以上70°未満がさらに好ましい。なお、テーパ角とは、テーパ形状を有する層を断面(基板の表面と直交する面)方向から観察した際に、当該層の側面と底面がなす角度を示す。

10

20

30

40

50

【0288】

電極102の側面にテーパ形状を付与することで、その上に形成する層の段切れを防ぎ、被覆性を向上させることができる。また、電極102の側面をテーパ形状とすることで、電極102の上端部の電界集中を緩和できる。一方で、テーパ角が小さすぎると、トランジスタの微細化が困難になる場合がある。また、テーパ角が小さすぎると、開口の大きさや配線の幅などのばらつきが大きくなる場合がある。

【0289】

また、電極102の側面を階段形状としてもよい。側面を階段状とすることで、その上に形成する層の段切れを防ぎ、被覆性を向上させることができる。なお、電極102の側面に限らず、各層の端部をテーパ形状または階段形状とすることで、その上に被覆する層が途切れてしまう現象（段切れ）を防ぎ、被覆性を良好なものとするすることができる。

10

【0290】

〔工程3〕

次に、絶縁層103、絶縁層104、および絶縁層105を順に形成する（図23（C）参照。）。本実施の形態では、絶縁層103として厚さ400nmの窒化シリコン層を形成し、絶縁層104として厚さ30nmの酸化アルミニウム層を形成し、絶縁層105として厚さ50nmの酸化窒化シリコン層を形成する。

【0291】

なお、絶縁層103に用いる窒化シリコン層は、第1の窒化シリコン層と、第2の窒化シリコン層と、第3の窒化シリコン層とを有する三層積層構造である。該三層積層構造の一例としては、以下のように形成することができる。

20

【0292】

第1の窒化シリコン層としては、例えば、流量200sccmのシラン、流量2000sccmの窒素、及び流量100sccmのアンモニアガスを原料ガスとしてPECVD装置の反応室に供給し、反応室内の圧力を100Paに制御し、27.12MHzの高周波電源を用いて2000Wの電力を供給して、厚さが50nmとなるように形成すればよい。

【0293】

第2の窒化シリコン層としては、流量200sccmのシラン、流量2000sccmの窒素、及び流量2000sccmのアンモニアガスを原料ガスとしてPECVD装置の反応室に供給し、反応室内の圧力を100Paに制御し、27.12MHzの高周波電源を用いて2000Wの電力を供給して、厚さが300nmとなるように形成すればよい。

30

【0294】

第3の窒化シリコン層としては、流量200sccmのシラン、及び流量5000sccmの窒素を原料ガスとしてPECVD装置の反応室に供給し、反応室内の圧力を100Paに制御し、27.12MHzの高周波電源を用いて2000Wの電力を供給して、厚さが50nmとなるように形成すればよい。

【0295】

なお、上記第1の窒化シリコン層、第2の窒化シリコン層、及び第3の窒化シリコン層形成時の基板温度は350以下とすることができる。

40

【0296】

窒化シリコン層を上述の三層の積層構造とすることで、例えば、電極102に銅を含む導電層を用いる場合において、以下の効果を奏する。

【0297】

第1の窒化シリコン層は、電極102からの銅元素の拡散を抑制することができる。第2の窒化シリコン層は、水素を放出する機能を有し、ゲート絶縁層として機能する絶縁層の耐圧を向上させることができる。第3の窒化シリコン層は、第3の窒化シリコン層からの水素放出が少なく、且つ第2の窒化シリコン層からの放出される水素の拡散を防ぐことができる。

【0298】

50

前述した通り、絶縁層 104 は、不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。また、絶縁層 104 は、酸素が拡散しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。絶縁層 104 に用いる酸化アルミニウム層は、アルミニウムターゲットを用いた DC スパッタリング法で形成してもよいし、酸化アルミニウムターゲットを用いた AC スパッタリング法で形成してもよい。また、ALD 法で形成してもよい。

【0299】

絶縁層 105 は、過剰酸素を含む絶縁層を用いることが好ましい。絶縁層 105 に酸素ドーブ処理を行ってもよい。また、絶縁層 105 の形成後に加熱処理を行なって、絶縁層 105 中に含まれる水素や水分を低減させることが好ましい。加熱処理の後に酸素ドーブ処理を行ってもよい。酸素ドーブ処理は、例えば、基板を 400 に加熱して、アルゴンと酸素を含むガスを周波数 2.45 GHz で励起して行なえばよい。加熱処理と酸素ドーブ処理を複数回繰り返し行なってもよい。

10

【0300】

また、絶縁層 105 を、窒素や不活性ガスのプラズマ雰囲気中に曝すことで、絶縁層 105 表面および表面近傍の水素や炭素などの不純物を低減することができる。例えば、基板を 400 に加熱して、アルゴンと窒素を含むガスを周波数 2.45 GHz で励起したプラズマ雰囲気に絶縁層 105 を曝せばよい。

【0301】

加熱処理は、例えば、窒素や希ガスなどを含む不活性雰囲気下、酸化性雰囲気下、又は超乾燥エア（CRDS（キャビティリングダウンレーザ分光法）方式の露点計を用いて測定した場合の水分量が 20 ppm（露点換算で -55）以下、好ましくは 1 ppm 以下、好ましくは 10 ppb 以下の空気）雰囲気下で行なう。なお、「酸化性雰囲気」とは、酸素、オゾンまたは窒化酸素などの酸化性ガスを 10 ppm 以上含有する雰囲気をいう。また、「不活性雰囲気」とは、前述の酸化性ガスが 10 ppm 未満であり、その他、窒素または希ガスで充填された雰囲気をいう。加熱処理中の圧力に特段の制約はないが、加熱処理は減圧下で行なうことが好ましい。

20

【0302】

加熱処理は、150 以上基板の歪み点未満、好ましくは 200 以上 500 以下、より好ましくは 250 以上 400 以下で行えばよい。処理時間は 24 時間以内とする。24 時間を超える加熱処理は生産性の低下を招くため好ましくない。

30

【0303】

また、加熱処理は、電気炉、RTA 装置等を用いて行なうことができる。RTA 装置を用いることで、短時間に限り基板の歪み点以上の温度で熱処理を行うことができる。そのため、加熱時間を短縮することが可能となる。また、加熱処理は、窒素、酸素、超乾燥空気（水の含有量が 20 ppm 以下、好ましくは 1 ppm 以下、好ましくは 10 ppb 以下の空気）、または希ガス（アルゴン、ヘリウム等）の雰囲気下で行えばよい。なお、上記窒素、酸素、超乾燥空気、または希ガスに水素、水等が含まれないことが好ましい。

【0304】

〔工程 4〕

次に、酸化物半導体層 182 を形成する（図 23（D）参照。）。なお、酸化物半導体層 182 を形成する前に、酸素ガスを供給してプラズマを発生させてもよい。このことにより、酸化物半導体層 182 の被形成面となる絶縁層 105 中に酸素を添加できる。

40

【0305】

酸化物半導体層 182 としては、インジウム亜鉛酸化物や、組成が $In : Ga : Zn = 5 : 1 : 6$ [原子数比] のターゲットを用いて形成したインジウムガリウム亜鉛酸化物や、組成が $In : Ga : Zn = 4 : 2 : 3$ [原子数比] のターゲットを用いて形成したインジウムガリウム亜鉛酸化物などを用いることが好ましい。

【0306】

本実施の形態では、酸化物半導体層 182 として、インジウムガリウム亜鉛酸化物を組成が $In : Ga : Zn = 5 : 1 : 6$ [原子数比] のターゲットを用いたスパッタリング法で

50

形成する。また、スパッタリングガスとして酸素、または、酸素と希ガスの混合ガスを用いる。本実施の形態では、スパッタリングガスとして酸素の流量比が10%の酸素とアルゴンの混合ガスを用いる。

【0307】

スパッタリングガスに含まれる酸素の流量比を0%以上30%以下、好ましくは5%以上20%以下として成膜すると、酸素欠乏型の酸化物半導体層が形成される。酸素欠乏型の酸化物半導体層を用いたトランジスタは、比較的高い電界効果移動度が得られる。

【0308】

また、酸化物半導体層182の形成時に、スパッタリングガスに含まれる酸素の一部が絶縁層105に供給される場合がある。スパッタリングガスに含まれる酸素が多いほど、絶縁層105に供給される酸素も増加する。絶縁層105に供給された酸素の一部は、絶縁層105中に残存する水素と反応して水となり、後の加熱処理によって絶縁層105から放出される。このようにして、絶縁層105中の水素濃度を低減することができる。また、絶縁層105中の過剰酸素を増やすことで、後の加熱処理において酸化物半導体層182（後の酸化物半導体層106）に酸素を供給することもできる。

【0309】

図22（A）および図22（B）に示したように、酸化物半導体層106を二層または三層の積層とする場合、酸化物半導体層106__1を形成するための酸化物半導体層は、上記の方法で形成する。

【0310】

また、酸化物半導体層106__2および/または酸化物半導体層106__3を形成するための酸化物半導体層は、結晶性の高い酸化物半導体層を用いることが好ましい。例えば、CAAC-OSを用いることが好ましい。例えば、後に行なわれる絶縁層108、絶縁層109および電極112を形成するためのエッチング工程の際に、露出した酸化物半導体層がエッチングされて、酸化物半導体層にダメージが生じる場合がある。結晶性の高い酸化物半導体層は、当該エッチング工程でエッチングされにくい。酸化物半導体層に結晶性の高い酸化物半導体層を用いることで、当該エッチング工程で酸化物半導体層に生じるダメージを低減することができる。よって、トランジスタの信頼性を高めることができる。

【0311】

酸化物半導体層106__2および/または酸化物半導体層106__3を形成するための酸化物半導体層として、例えば、インジウムガリウム亜鉛酸化物を組成がIn:Ga:Zn=1:1:1〔原子数比〕のターゲットを用いたスパッタリング法で形成する。また、スパッタリングガスとして酸素、または、酸素と希ガスの混合ガスを用いる。例えば、スパッタリングガスとして酸素を100%の割合で用いる。酸化物半導体層を形成するためのスパッタリングガスに含まれる酸素の流量比は、70%以上が好ましく、80%以上がさらに好ましく、100%がより好ましい。スパッタリングガスに含まれる酸素の割合（流量比）を高めることで、酸化物半導体層の結晶性を高めることができる。

【0312】

なお、酸化物半導体層182の形成後に不純物元素を導入することで、トランジスタ200のしきい値電圧を変化させることができる。不純物元素の導入は、イオン注入法、イオンドーピング法、またはプラズマイメージョンイオン注入法、または不純物元素を含むガスを用いたプラズマ処理などで行うことができる。

【0313】

また、酸化物半導体層182の形成後に、加熱処理を行ってもよいし、酸素ドーブ処理を行なってもよい。加熱処理と酸素ドーブ処理を複数回繰り返してもよい。

【0314】

また、窒素または希ガス雰囲気中で加熱処理を行なった後、酸素または超乾燥空気雰囲気中で加熱処理を行なってもよい。この結果、酸化物半導体層に含まれる水素、水等を脱離させると共に、酸化物半導体層に酸素を供給することができる。この結果、酸化物半導体層に含まれる酸素欠損を低減することができる。

【0315】

[工程5]

次に、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成する（図示せず。）。当該レジストマスクをマスクとして用いて、酸化物半導体層182の一部を選択的に除去して、島状の酸化物半導体層106を形成する（図24（A）参照。）。

【0316】

酸化物半導体層182の除去は、ドライエッチング法や、ウェットエッチング法などを用いて行なうことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

【0317】

酸化物半導体層106の形成後に加熱処理を行ってもよいし、酸素ドーピング処理を行ってもよい。加熱処理と酸素ドーピング処理を繰り返してもよい。

【0318】

[工程6]

次に、絶縁層108と絶縁層109を順に形成する（図24（B）参照。）。絶縁層108と絶縁層109は、途中で大気に曝すことなく連続して形成することが好ましい。

【0319】

絶縁層108は過剰酸素を含む絶縁層であることが好ましい。絶縁層108の厚さは5nm以上150nm以下、好ましくは5nm以上50nm以下とすればよい。また、絶縁層108として酸素を透過することができる絶縁層を用いることで、後に形成する絶縁層109に含まれる酸素を酸化物半導体層106に移動させることができる。

【0320】

例えば、絶縁層108として、PECVD法で形成した酸化窒化シリコン層を用いることができる。この場合、原料ガスとしては、シリコンを含む堆積性気体及び酸化性気体を用いることが好ましい。シリコンを含む堆積性気体の代表例としては、シラン、ジシラン、トリシラン、フッ化シラン等がある。酸化性気体としては、一酸化二窒素、二酸化窒素等がある。また、上記の堆積性気体の流量に対して酸化性気体の流量を20倍以上5000倍以下、好ましくは40倍以上100倍以下とする。

【0321】

本実施の形態では、絶縁層108として、厚さ30nmの酸化窒化シリコン層を形成する。具体的には、基板温度を350とし、流量20sccmのシランおよび流量3000sccmの一酸化二窒素を原料ガスとし、処理室内の圧力を200Paとし、平行平板電極に供給する高周波電力を13.56MHz、100WとするPECVD法を用いて、酸化窒化シリコン層を形成する。

【0322】

絶縁層109は過剰酸素を含む絶縁層であることが好ましい。絶縁層109の厚さは30nm以上500nm以下、好ましくは50nm以上400nm以下とすればよい。

【0323】

また、絶縁層109は、欠陥量が少ないことが好ましく、代表的には、ESR測定により、シリコンのダングリングボンドに由来する $g = 2.001$ に現れる信号のスピンの密度が $1.5 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 未満、さらには $1 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 以下であることが好ましい。なお、絶縁層109は、絶縁層108と比較して酸化物半導体層106から離れているため、絶縁層108よりも欠陥密度が多くてもよい。

【0324】

絶縁層109として、PECVD法で形成した酸化窒化シリコン層を用いることができる。例えば、PECVD装置の真空排気された処理室内に載置された基板を180以上400以下に保持し、処理室に原料ガスを導入して処理室内における圧力を100Pa以上250Pa以下、さらに好ましくは100Pa以上200Pa以下とし、処理室内に設けられる電極に 0.17 W/cm^2 以上 0.5 W/cm^2 以下、さらに好ましくは 0.25 W/cm^2 以上 0.35 W/cm^2 以下の高周波電力を供給する条件により、酸化シリ

10

20

30

40

50

コン層または酸化窒化シリコン層を形成する。

【0325】

絶縁層109の形成において、上記圧力の反応室内で上記パワー密度の高周波電力を供給することで、プラズマ中で原料ガスの分解効率が高まる。すなわち、反応室内の酸素ラジカルが増加し、原料ガスの酸化が進む。このため、形成される絶縁層109中の酸素含有量が化学量論的組成よりも多くなる。

【0326】

また、上記の基板温度で形成された絶縁層では、シリコンと酸素の結合力が弱いため、後の工程の加熱処理により絶縁層中の酸素の一部が脱離する。この結果、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含み、加熱により酸素の一部が脱離する酸化物絶縁層を形成することができる。

10

【0327】

本実施の形態では、絶縁層109として、厚さ100nmの酸化窒化シリコン層を形成する。具体的には、基板温度を220℃とし、流量160sccmのシランおよび流量400sccmの一酸化二窒素を原料ガスとし、処理室内の圧力を200Paとし、平行平板電極に供給する高周波電力を13.56MHz、1500WとするPECVD法を用いて、酸化窒化シリコン層を形成する。

【0328】

なお、絶縁層109の形成工程において、絶縁層108が酸化物半導体層106の保護層となる。したがって、酸化物半導体層106へのダメージを低減しつつ、パワー密度の高い高周波電力を用いて絶縁層109を形成することができる。

20

【0329】

なお、絶縁層109の形成条件において、酸化性気体に対するシリコンを含む堆積性気体の流量を増加することで、絶縁層109の欠陥量を低減することが可能である。代表的には、ESR測定により、シリコンのダングリングボンドに由来する $g = 2.001$ に現れる信号のスピン密度が $6 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 未満、好ましくは $3 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 以下、好ましくは $1.5 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 以下である欠陥量の少ない酸化物絶縁層を形成することができる。この結果、トランジスタの信頼性を高めることができる。

【0330】

30

[工程7]

絶縁層109上に電極112を形成するための導電層185を形成する(図24(C)参照)。本実施の形態では、導電層185としてインジウムガリウム亜鉛酸化物を用いる。より具体的には、導電層185としてインジウムガリウム亜鉛酸化物の二層積層を用いる。

【0331】

まず、組成が $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn} = 4:2:3$ [原子数比]のターゲットと、酸素が100%のスパッタリングガスと、を用いて、厚さ10nmのインジウムガリウム亜鉛酸化物層を形成する。次に、組成が $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn} = 4:2:3$ [原子数比]のターゲットと、酸素の割合が10%でアルゴンの割合が90%のスパッタリングガスと、を用いて、厚さ90nmのインジウムガリウム亜鉛酸化物層を形成する。

40

【0332】

[工程8]

次に、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成する(図示せず。)。当該レジストマスクをマスクとして用いて、導電層185の一部を選択的に除去して、電極112を形成する。この時、電極112をマスクとして用いて、絶縁層108と絶縁層109の一部も選択的に除去する(図24(D)参照。)。工程8により、酸化物半導体層106の一部が露出する。

【0333】

導電層185、絶縁層108、および絶縁層109の除去は、ドライエッチング法や、ウ

50

ェットエッチング法などを用いて行なうことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

【0334】

[工程9]

次に、酸化物半導体層106の工程8で露出した領域に不純物を導入する(図25(A)参照。)。不純物の導入は、イオン注入法、イオンドーピング法、プラズマイメージョンイオン注入法などで行うことができる。当該領域に窒素などの不純物を導入することにより、当該領域の抵抗値を低下させることができる。

【0335】

また、当該領域を窒素や不活性ガスのプラズマ雰囲気中に曝してもよい。当該領域をプラズマ雰囲気中に曝すことにより、当該領域に欠陥を生じさせて、当該領域の抵抗値を低下させることができる。

【0336】

酸化物半導体層106の不純物が導入された領域、またはプラズマ雰囲気中に曝された領域は、トランジスタのソース領域またはドレイン領域として機能できる。また、酸化物半導体層106の電極112と重なる領域は、チャンネル形成領域として機能できる。すなわち、トランジスタのソース領域とドレイン領域を、自己整合(セルフアライン)で形成することができる。

【0337】

[工程10]

次に、不活性雰囲気下で加熱処理を行ない、酸化物半導体層106、絶縁層108および絶縁層109中に含まれる水素や水分などを低減する。また、工程9の後に加熱処理を行うことで、酸化物半導体層106のソース領域とドレイン領域の抵抗値が低下する場合がある。なお、加熱処理は不活性ガスなどのガス供給を行わず、減圧下で行なってもよい。本実施の形態では、窒素雰囲気中で400、1時間の加熱処理をおこなう。

【0338】

[工程11]

続けて、酸化性雰囲気中で加熱処理を行なってもよい。本実施の形態では、酸素雰囲気中で400、1時間の加熱処理をおこなう。例えば、工程8で酸化物半導体層106に窒素を導入した場合、酸素雰囲気中で加熱処理を行うことで、ソース領域およびドレイン領域の NO_x が増加し、抵抗値が低下する場合がある。なお、工程10または工程11の一方を省略してもよい。

【0339】

[工程12]

次に、絶縁層110を形成する(図25(B)参照。)。前述した通り、絶縁層110は、不純物が透過しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。また、絶縁層110は、酸素が拡散しにくい絶縁性材料を用いて形成することが好ましい。絶縁層110の厚さは5nm乃至40nmであればよい。

【0340】

本実施の形態では、絶縁層110として厚さ30nmの酸化アルミニウム層をスパッタリング法で形成する。また、スパッタリングガスとして酸素、または、酸素と希ガスの混合ガスを用いる。スパッタリングガスに含まれる酸素の流量比は、70%以上が好ましく、80%以上がさらに好ましく、100%がより好ましい。酸素を含むスパッタリングガスを用いることで、被形成層(絶縁層109)に酸素を供給することができる。スパッタリングガスに含まれる酸素が多いほど、被形成層に供給される酸素が多くなりやすい。本実施の形態では、スパッタリングガスとして100%酸素を用いる。

【0341】

絶縁層110に用いる酸化アルミニウム層は、アルミニウムターゲットを用いたDCスパッタリング法で形成してもよいし、酸化アルミニウムターゲットを用いたACスパッタリング法で形成してもよい。

10

20

30

40

50

【 0 3 4 2 】

また、絶縁層 1 1 0 として、水素を含まない、または、ほとんど含まない窒化シリコン層を用いてもよい。このような窒化シリコン層は、例えば、スパッタリング法などで形成することができる。

【 0 3 4 3 】

なお、絶縁層 1 1 0 の上に絶縁層 1 1 1 を形成する場合は、絶縁層 1 1 1 として酸化アルミニウム層を A L D 法で形成することが好ましい。絶縁層 1 1 1 の厚さは 5 n m 乃至 4 0 n m であればよい。酸化アルミニウム層を A L D 法で形成することで、被覆性の良好な酸化アルミニウム層を設けることができる。よって、トランジスタの信頼性を高めることができる。また、絶縁層 1 1 1 として窒化シリコン層を用いてもよい。

10

【 0 3 4 4 】

工程 1 0 から工程 1 2 までは、途中で大気に曝すことなく連続して行なう。このようにすることで、水素や水分などの酸化物半導体層 1 0 6 への吸着を防ぎ、トランジスタの信頼性を高めることができる。また、絶縁層 1 1 0 で酸化物半導体層 1 0 6 を覆うことで、外部から水素や水分などの浸入を防ぐことができる。加えて、酸素の外部への拡散を防ぐことができる。

【 0 3 4 5 】

[工程 1 3]

次に、絶縁層 1 1 3 を形成する（図 2 5 (C) 参照。）。本実施の形態では、絶縁層 1 1 3 として厚さ 1 . 5 μ m のアクリル樹脂層を形成する。

20

【 0 3 4 6 】

[工程 1 4]

次に、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成する（図示せず。）。当該レジストマスクをマスクとして用いて、絶縁層 1 1 3 および絶縁層 1 1 0 それぞれの一部を選択的に除去して、開口 1 8 8 を形成する（図 2 6 (A) 参照。）。この時、酸化物半導体層 1 0 6 の一部が露出する。

【 0 3 4 7 】

[工程 1 5]

次に、導電層 1 8 6 と導電層 1 8 7 を順に形成する（図 2 6 (B) 参照。）。特に導電層 1 8 6 は、酸化物半導体層 1 0 6 と接するため、加熱処理により水素を吸収する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。導電層 1 8 6 にこのような材料を用いることで、後の加熱処理によって、酸化物半導体層 1 0 6 中の水素濃度を低減することができる。水素を吸収する機能を有する導電性材料の一例として、チタン、インジウム亜鉛酸化物、シリコンを添加したインジウム錫酸化物などがある。

30

【 0 3 4 8 】

本実施の形態では、導電層 1 8 6 として厚さ 3 0 n m のチタン層を形成し、導電層 1 8 7 として厚さ 2 0 0 n m の銅層をスパッタリング法により形成する。

【 0 3 4 9 】

[工程 1 6]

次に、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成する（図示せず。）。当該レジストマスクをマスクとして用いて、導電層 1 8 6 の一部を選択的に除去して、電極 1 1 4 a _ 1 および電極 1 1 4 b _ 1 を形成する（図 2 6 (C) 参照。）。同時に導電層 1 8 7 の一部を選択的に除去して、電極 1 1 4 a _ 2 および電極 1 1 4 b _ 2 を形成する。

40

【 0 3 5 0 】

導電層 1 8 6 および絶縁層 1 8 7 の除去は、ドライエッチング法や、ウェットエッチング法などを用いて行なうことができる。ドライエッチング法とウェットエッチング法の両方を用いてもよい。

【 0 3 5 1 】

レジストマスクを除去した後、加熱処理を行ってもよい。例えば、窒素雰囲気中で 2 5 0 、 1 時間の加熱処理を行う。

50

【 0 3 5 2 】

<トランジスタ 2 0 0 の変形例>

トランジスタ 2 0 0 の変形例について図面を用いて説明する。

【 0 3 5 3 】

〔変形例 1〕

図 2 7 (A) は、トランジスタ 2 0 0 A の平面図である。図 2 7 (B) は、図 2 7 (A) に記した X 1 - X 2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 2 7 (C) は、図 2 7 (A) に記した Y 1 - Y 2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。

【 0 3 5 4 】

トランジスタ 2 0 0 A は、絶縁層 1 1 3 上に電極 1 1 4 c (電極 1 1 4 c __ 1 および電極 1 1 4 c __ 2) を有する点がトランジスタ 2 0 0 と異なる。電極 1 1 4 c は、電極 1 1 4 a および電極 1 1 4 b と同様の材料および方法を用いて、同じ工程で設けることができる。電極 1 1 4 c は、絶縁層 1 1 3 および絶縁層 1 1 0 それぞれに設けられた開口において、電極 1 1 2 と電氣的に接続されている。

10

【 0 3 5 5 】

また、トランジスタ 2 0 0 A は、平面図で見た場合に、酸化物半導体層 1 0 6 の外側を囲む領域 1 2 3 を有する点が、トランジスタ 2 0 0 と異なる。領域 1 2 3 では絶縁層 1 0 5 が除去され、絶縁層 1 0 4 と絶縁層 1 1 0 が接している。

【 0 3 5 6 】

領域 1 2 3 を設けることで、外部から水素や水分などの浸入を防ぐ効果を高めることができる。加えて、酸素の外部への拡散を防ぐ効果を高めることができる。

20

【 0 3 5 7 】

〔変形例 2〕

図 2 8 (A) は、トランジスタ 2 0 0 B の平面図である。図 2 8 (B) は、図 2 8 (A) に記した X 1 - X 2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 2 8 (C) は、図 2 8 (A) に記した Y 1 - Y 2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 2 9 (A) は、図 2 8 (B) に示した部位 2 3 1 B の拡大図である。図 2 9 (B) は、図 2 8 (C) に示した部位 2 3 2 B の拡大図である。

【 0 3 5 8 】

トランジスタ 2 0 0 B は、トランジスタ 2 0 0 と絶縁層 1 0 5 の形状が異なる。トランジスタ 2 0 0 B は酸化物半導体層 1 0 6 と重畳する島状の絶縁層 1 0 5 を有する。島状の絶縁層 1 0 5 は、工程 5 で酸化物半導体層 1 0 6 を形成する際に、露出した絶縁層 1 0 5 の一部を続けて除去することで形成できる。

30

【 0 3 5 9 】

また、トランジスタ 2 0 0 B において、絶縁層 1 1 0 と絶縁層 1 0 4 は酸化物半導体層 1 0 6 の端部および絶縁層 1 0 5 の端部を越えて延伸し、互いに接する領域を有する。このような構成とすることで、外部からの水素や水分などの浸入を防ぐ効果を高めることができる。加えて、酸素の外部への拡散を防ぐ効果を高めることができる。

【 0 3 6 0 】

〔変形例 3〕

図 3 0 (A) は、トランジスタ 2 0 0 C の平面図である。図 3 0 (B) は、図 3 0 (A) に記した X 1 - X 2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 3 0 (C) は、図 3 0 (A) に記した Y 1 - Y 2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。

40

【 0 3 6 1 】

トランジスタ 2 0 0 C は、トランジスタ 2 0 0 と、絶縁層 1 0 8 および絶縁層 1 0 9 の形状が異なる。トランジスタ 2 0 0 C では、絶縁層 1 0 8 および絶縁層 1 0 9 が酸化物半導体層 1 0 6 を覆う構造を有する。トランジスタ 2 0 0 C は、工程 8 において電極 1 1 2 を形成する際に、絶縁層 1 0 8 および絶縁層 1 0 9 をエッチングせずに残している。

【 0 3 6 2 】

絶縁層 1 0 8 および絶縁層 1 0 9 で酸化物半導体層 1 0 6 を覆うことで、絶縁層 1 0 8 お

50

よび絶縁層 109 から酸化物半導体層 106 に供給する酸素の量を増やすことができる。

【0363】

〔変形例 4〕

図 31 (A) は、トランジスタ 200D の平面図である。図 31 (B) は、図 31 (A) に記した X1 - X2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 31 (C) は、図 31 (A) に記した Y1 - Y2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。

【0364】

トランジスタ 200D は、トランジスタ 200 から電極 102 を除去した構成を有する。トランジスタに求められる性能や目的などによっては、電極 102 を設けなくてもよい。電極 102 を設けないことで、トランジスタの作製工程数が減るため、製造コストを低減

10

【0365】

〔変形例 5〕

図 32 (A) は、トランジスタ 200E の平面図である。図 32 (B) は、図 32 (A) に記した X1 - X2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 32 (C) は、図 32 (A) に記した Y1 - Y2 の一点鎖線で示す部位の断面図である。図 33 は、図 32 (B) に示した部位 231E の拡大図である。

【0366】

トランジスタ 200E は、絶縁層 109 と電極 112 の間に絶縁層 118 を有する点がトランジスタ 200 と異なる。絶縁層 118 は、絶縁層 108 または絶縁層 109 と同様の

20

材料および方法で形成すればよい。
例えば、絶縁層 118 として、厚さ 20 nm の酸化窒化シリコン層を形成する。具体的には、基板温度を 350 とし、流量 20 sccm のシランおよび流量 3000 sccm の一酸化二窒素を原料ガスとし、処理室内の圧力を 200 Pa とし、平行平板電極に供給する高周波電力を 13.56 MHz、100 W とする PECVD 法を用いて、酸化窒化シリコン層を形成する。

【0368】

また、絶縁層 118 として過剰酸素を含む絶縁層を用いることで、酸化物半導体層 106 に供給する酸素の量を増やすことができる。

30

【0369】

本実施の形態は、他の実施の形態などに記載した構成と適宜組み合わせることで実施することが可能である。

【0370】

(実施の形態 3)

本実施の形態では、本明細書等の開示したトランジスタを用いた半導体装置の一例として、表示装置および表示モジュールについて説明する。

【0371】

<表示装置>

上述したトランジスタを用いることができる表示装置の一例を説明する。図 34 (A) は、表示装置 500 の構成例を説明するブロック図である。

40

【0372】

図 34 (A) に示す表示装置 500 は、駆動回路 511、駆動回路 521a、駆動回路 521b、および表示領域 531 を有している。なお、駆動回路 511、駆動回路 521a、および駆動回路 521b をまとめて「駆動回路」または「周辺駆動回路」という場合がある。

【0373】

駆動回路 521a、駆動回路 521b は、例えば走査線駆動回路として機能できる。また、駆動回路 511 は、例えば信号線駆動回路として機能できる。なお、駆動回路 521a、および駆動回路 521b は、どちらか一方のみとしてもよい。また、表示領域 531 を

50

挟んで駆動回路 5 1 1 と向き合う位置に、何らかの回路を設けてもよい。

【 0 3 7 4 】

また、図 3 4 (A) に例示する表示装置 5 0 0 は、各々が略平行に配設され、且つ、駆動回路 5 2 1 a、および / または駆動回路 5 2 1 b によって電位が制御される p 本の配線 5 3 5 と、各々が略平行に配設され、且つ、駆動回路 5 1 1 によって電位が制御される q 本の配線 5 3 6 と、を有する (p、q は、ともに 1 以上の自然数。)。さらに、表示領域 5 3 1 はマトリクス状に配設された複数の画素 5 3 2 を有する。画素 5 3 2 は、画素回路 5 3 4 および表示素子を有する。

【 0 3 7 5 】

また、3つの画素 5 3 2 を1つの画素として機能させることで、フルカラー表示を実現することができる。3つの画素 5 3 2 は、それぞれが赤色光、緑色光、または青色光の、透過率、反射率、または発光光量などを制御する。なお、3つの画素 5 3 2 で制御する光の色は赤、緑、青の組み合わせに限らず、黄、シアン、マゼンタであってもよい。

【 0 3 7 6 】

また、赤色光、緑色光、青色光を制御する画素に、白色光を制御する画素 5 3 2 を加えて、4つの画素 5 3 2 をまとめて1つの画素として機能させてもよい。白色光を制御する画素 5 3 2 を加えることで、表示領域の輝度を高めることができる。また、1つの画素として機能させる画素 5 3 2 を増やし、赤、緑、青、黄、シアン、およびマゼンタを適宜組み合わせることで、再現可能な色域を広げることができる。

【 0 3 7 7 】

画素を 1920×1080 のマトリクス状に配置すると、いわゆるフルハイビジョン (「2K 解像度」、「2K 1K」、「2K」などとも言われる。) の解像度で表示可能な表示装置 5 0 0 を実現することができる。また、例えば、画素を 3840×2160 のマトリクス状に配置すると、いわゆるウルトラハイビジョン (「4K 解像度」、「4K 2K」、「4K」などとも言われる。) の解像度で表示可能な表示装置 5 0 0 を実現することができる。また、例えば、画素を 7680×4320 のマトリクス状に配置すると、いわゆるスーパーハイビジョン (「8K 解像度」、「8K 4K」、「8K」などとも言われる。) の解像度で表示可能な表示装置 5 0 0 を実現することができる。画素を増やすことで、16K や 32K の解像度で表示可能な表示装置 5 0 0 を実現することも可能である。

【 0 3 7 8 】

g 行目の配線 5 3 5 __ g (g は 1 以上 p 以下の自然数。) は、表示領域 5 3 1 において p 行 q 列に配設された複数の画素 5 3 2 のうち、g 行に配設された q 個の画素 5 3 2 と電気的に接続される。また、h 列目の配線 5 3 6 __ h (h は 1 以上 q 以下の自然数。) は、p 行 q 列に配設された画素 5 3 2 のうち、h 列に配設された p 個の画素 5 3 2 に電気的に接続される。

【 0 3 7 9 】

〔 表示素子 〕

表示装置 5 0 0 は、様々な形態を用いること、または様々な表示素子を有することが出来る。表示素子の一例としては、EL (エレクトロルミネッセンス) 素子 (有機 EL 素子、無機 EL 素子、または、有機物及び無機物を含む EL 素子)、LED (白色 LED、赤色 LED、緑色 LED、青色 LED など)、トランジスタ (電流に応じて発光するトランジスタ)、電子放出素子、液晶素子、電子インク、電気泳動素子、グレーティングライトバルブ (GLV)、MEMS (マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム) を用いた表示素子、デジタルマイクロミラーデバイス (DMD)、DMS (デジタル・マイクロ・シャッター)、MIRASOL (登録商標)、IMOD (インターフェロメトリック・モジュレーション) 素子、シャッター方式の MEMS 表示素子、光干渉方式の MEMS 表示素子、エレクトロウエッチング素子、圧電セラミックディスプレイ、カーボンナノチューブを用いた表示素子、など、電気的または磁気的作用により、コントラスト、輝度、反射率、透過率などが変化する表示媒体を有するものがある。また、表示素子として量子ドットを用いてもよい。

10

20

30

40

50

【0380】

EL素子を用いた表示装置の一例としては、ELディスプレイなどがある。電子放出素子を用いた表示装置の一例としては、フィールドエミッションディスプレイ(FED)又はSED方式平面型ディスプレイ(SED: Surface-conduction Electron-emitter Display)などがある。量子ドットを用いた表示装置の一例としては、量子ドットディスプレイなどがある。液晶素子を用いた表示装置の一例としては、液晶ディスプレイ(透過型液晶ディスプレイ、半透過型液晶ディスプレイ、反射型液晶ディスプレイ、直視型液晶ディスプレイ、投射型液晶ディスプレイ)などがある。電子インク、電子粉流体(登録商標)、又は電気泳動素子を用いた表示装置の一例としては、電子ペーパーなどがある。表示装置はプラズマディスプレイパネル(PDP)であってもよい。表示装置は網膜走査型の投影装置であってもよい。

10

【0381】

なお、半透過型液晶ディスプレイや反射型液晶ディスプレイを実現する場合には、画素電極の一部、または、全部が、反射電極としての機能を有するようにすればよい。例えば、画素電極の一部、または、全部が、アルミニウム、銀、などを有するようにすればよい。さらに、その場合、反射電極の下に、SRAMなどの記憶回路を設けることも可能である。これにより、さらに、消費電力を低減することができる。

【0382】

なお、LEDを用いる場合、LEDの電極や窒化物半導体の下に、グラフェンやグラファイトを配置してもよい。グラフェンやグラファイトは、複数の層を重ねて、多層膜としてもよい。このように、グラフェンやグラファイトを設けることにより、その上に、窒化物半導体、例えば、結晶を有するn型GaN半導体層などを容易に成膜することができる。さらに、その上に、結晶を有するp型GaN半導体層などを設けて、LEDを構成することができる。なお、グラフェンやグラファイトと、結晶を有するn型GaN半導体層との間に、AlN層を設けてもよい。なお、LEDが有するGaN半導体層は、MOCVDで成膜してもよい。ただし、グラフェンを設けることにより、LEDが有するGaN半導体層は、スパッタ法で成膜することも可能である。

20

【0383】

図34(B)、図34(C)、図35(A)、および図35(B)は、画素532に用いることができる回路構成例を示している。

30

【0384】

(発光表示装置用画素回路の一例)

図34(B)に示す画素回路534は、トランジスタ461と、容量素子463と、トランジスタ468と、トランジスタ464と、を有する。また、図34(B)に示す画素回路534は、表示素子として機能できる発光素子469と電氣的に接続されている。

【0385】

トランジスタ461、トランジスタ468、およびトランジスタ464にOSトランジスタを用いることができる。特に、トランジスタ461にOSトランジスタを用いることが好ましい。

【0386】

トランジスタ461のソース電極およびドレイン電極の一方は、配線536_hに電氣的に接続される。さらに、トランジスタ461のゲート電極は、配線535_gに電氣的に接続される。配線536_hからはビデオ信号が供給される。

40

【0387】

トランジスタ461は、ビデオ信号のノード465への書き込みを制御する機能を有する。

【0388】

容量素子463の一对の電極の一方は、ノード465に電氣的に接続され、他方は、ノード467に電氣的に接続される。また、トランジスタ461のソース電極およびドレイン電極の他方は、ノード465に電氣的に接続される。

50

【0389】

容量素子463は、ノード465に書き込まれたデータを保持する保持容量としての機能を有する。

【0390】

トランジスタ468のソース電極およびドレイン電極の一方は、電位供給線VL__aに電氣的に接続され、他方はノード467に電氣的に接続される。さらに、トランジスタ468のゲート電極は、ノード465に電氣的に接続される。

【0391】

トランジスタ464のソース電極およびドレイン電極の一方は、電位供給線V0に電氣的に接続され、他方はノード467に電氣的に接続される。さらに、トランジスタ464のゲート電極は、配線535__gに電氣的に接続される。

10

【0392】

発光素子469のアノードまたはカソードの一方は、電位供給線VL__bに電氣的に接続され、他方は、ノード467に電氣的に接続される。

【0393】

発光素子469としては、例えば有機エレクトロルミネセンス素子（有機EL素子ともいう）などを用いることができる。ただし、発光素子469としては、これに限定されず、例えば無機材料からなる無機EL素子を用いても良い。

【0394】

例えば、電位供給線VL__aまたは電位供給線VL__bの一方には、高電源電位VDDが与えられ、他方には、低電源電位VSSが与えられる。

20

【0395】

図34(B)の画素回路534を有する表示装置500では、駆動回路521a、および/または駆動回路521bにより各行の画素532を順次選択し、トランジスタ461、およびトランジスタ464をオン状態にしてビデオ信号をノード465に書き込む。

【0396】

ノード465にデータが書き込まれた画素532は、トランジスタ461、およびトランジスタ464がオフ状態になることで保持状態になる。さらに、ノード465に書き込まれたデータの電位に応じてトランジスタ468のソース電極とドレイン電極の間に流れる電流量が制御され、発光素子469は、流れる電流量に応じた輝度で発光する。これを行毎に順次行うことにより、画像を表示できる。

30

【0397】

また、図35(A)に示すように、トランジスタ461、トランジスタ464、およびトランジスタ468として、バックゲートを有するトランジスタを用いてもよい。図35(A)に示すトランジスタ461、およびトランジスタ464は、ゲートがバックゲートと電氣的に接続されている。よって、ゲートとバックゲートが常に同じ電位となる。また、トランジスタ468はバックゲートがノード467と電氣的に接続されている。よって、バックゲートがノード467と常に同じ電位となる。

【0398】

トランジスタ461、トランジスタ468、およびトランジスタ464の少なくとも一つに、本発明の一態様のトランジスタを用いることができる。

40

【0399】

〔液晶表示装置用画素回路の一例〕

図34(C)に示す画素回路534は、トランジスタ461と、容量素子463と、を有する。また、図34(C)に示す画素回路534は、表示素子として機能できる液晶素子462と電氣的に接続されている。トランジスタ461にOSトランジスタを用いることが好ましい。

【0400】

液晶素子462の一对の電極の一方の電位は、画素回路534の仕様に依拠して適宜設定される。例えば、液晶素子462の一对の電極の一方に、共通の電位（コモン電位）を与え

50

てもよいし、容量線CLと同電位としてもよい。また、液晶素子462の一对の電極の一方に、画素532毎に異なる電位を与えてもよい。液晶素子462の一对の電極の他方はノード466に電氣的に接続されている。液晶素子462は、ノード466に書き込まれるデータにより配向状態が設定される。

【0401】

液晶素子462を備える表示装置の駆動方法としては、例えば、TN(Twisted Nematic)モード、STN(Super Twisted Nematic)モード、VA(Vertical Alignment)モード、ASM(Axially Symmetric Aligned Micro-cell)モード、OCB(Optically Compensated Birefringence)モード、FLC(Ferroelectric Liquid Crystal)モード、AFLC(AntiFerroelectric Liquid Crystal)モード、MVA(Multi-Domain Vertical Alignment)モード、PVA(Patterned Vertical Alignment)モード、IPS(In-Plane Switching)モード、FFS(Fringe Field Switching)モード、またはTBA(Transverse Bend Alignment)モードなどを用いてもよい。また、表示装置の駆動方法としては、上述した駆動方法の他、ECB(Electrically Controlled Birefringence)モード、PDLC(Polymer Dispersed Liquid Crystal)モード、PNLC(Polymer Network Liquid Crystal)モード、ゲストホストモードなどがある。ただし、これに限定されず、液晶素子およびその駆動方式として様々なものを用いることができる。

【0402】

表示素子として、液晶素子を用いる場合、サーモトロピック液晶、低分子液晶、高分子液晶、高分子分散型液晶、強誘電性液晶、反強誘電性液晶等を用いることができる。これらの液晶材料は、条件により、コレステリック相、スメクチック相、キュービック相、カイラルネマチック相、等方相等を示す。

【0403】

また、配向膜を用いないブルー相(Blue Phase)を示す液晶を用いてもよい。ブルー相は液晶相の一つであり、コレステリック液晶を昇温していくと、コレステリック相から等方相へ転移する直前に発現する相である。ブルー相は狭い温度範囲でしか発現しないため、温度範囲を改善するために5重量%以上のカイラル剤を混合させた液晶組成物を液晶層に用いる。ブルー相を示す液晶とカイラル剤とを含む液晶組成物は、応答速度が1msec以下と短く、光学的等方性であるため配向処理が不要であり、かつ、視野角依存性が小さい。また配向膜を設けなくてもよいのでラビング処理も不要となるため、ラビング処理によって引き起こされる静電破壊を防止することができ、作製工程中の液晶表示装置の不良や破損を軽減することができる。よって液晶表示装置の生産性を向上させることが可能となる。

【0404】

また、画素(ピクセル)をいくつかの領域(サブピクセル)に分け、それぞれ別の方向に分子を倒すよう工夫されているマルチドメイン化あるいはマルチドメイン設計といわれる方法を用いることができる。

【0405】

また、液晶材料の固有抵抗は、 $1 \times 10^9 \cdot \text{cm}$ 以上であり、好ましくは $1 \times 10^{11} \cdot \text{cm}$ 以上であり、さらに好ましくは $1 \times 10^{12} \cdot \text{cm}$ 以上である。なお、本明細書における固有抵抗の値は、20で測定した値とする。

【0406】

g行h列目の画素回路534において、トランジスタ461のソース電極およびドレイン電極の一方は、配線536__hに電氣的に接続され、他方はノード466に電氣的に接続される。トランジスタ461のゲート電極は、配線535__gに電氣的に接続される。配

線 5 3 6 ― h からはビデオ信号が供給される。トランジスタ 4 6 1 は、ノード 4 6 6 へのビデオ信号の書き込みを制御する機能を有する。

【 0 4 0 7 】

容量素子 4 6 3 の一対の電極の一方は、特定の電位が供給される配線（以下、容量線 C L ）に電氣的に接続され、他方は、ノード 4 6 6 に電氣的に接続される。なお、容量線 C L の電位の値は、画素回路 5 3 4 の仕様に依拠して適宜設定される。容量素子 4 6 3 は、ノード 4 6 6 に書き込まれたデータを保持する保持容量としての機能を有する。

【 0 4 0 8 】

例えば、図 3 4 (C) の画素回路 5 3 4 を有する表示装置 5 0 0 では、駆動回路 5 2 1 a 、および / または駆動回路 5 2 1 b により各行の画素回路 5 3 4 を順次選択し、トランジスタ 4 6 1 をオン状態にしてノード 4 6 6 にビデオ信号を書き込む。

10

【 0 4 0 9 】

ノード 4 6 6 にビデオ信号が書き込まれた画素回路 5 3 4 は、トランジスタ 4 6 1 がオフ状態になることで保持状態になる。これを行毎に順次行うことにより、表示領域 5 3 1 に画像を表示できる。

【 0 4 1 0 】

また、図 3 5 (B) に示すように、トランジスタ 4 6 1 にバックゲートを有するトランジスタを用いてもよい。図 3 5 (B) に示すトランジスタ 4 6 1 は、ゲートがバックゲートと電氣的に接続されている。よって、ゲートとバックゲートが常に同じ電位となる。

【 0 4 1 1 】

20

〔周辺回路の構成例〕

図 3 6 (A) に駆動回路 5 1 1 の構成例を示す。駆動回路 5 1 1 は、シフトレジスタ 5 1 2 、ラッチ回路 5 1 3 、およびバッファ 5 1 4 を有する。また、図 3 6 (B) に駆動回路 5 2 1 a の構成例を示す。駆動回路 5 2 1 a は、シフトレジスタ 5 2 2 、およびバッファ 5 2 3 を有する。駆動回路 5 2 1 b も駆動回路 5 2 1 a と同様の構成とすることができる。

【 0 4 1 2 】

シフトレジスタ 5 1 2 およびシフトレジスタ 5 2 2 にはスタートパルス S P 、クロック信号 C L K などが入力される。

【 0 4 1 3 】

30

〔表示装置の構成例〕

上記実施の形態に示したトランジスタを用いて、シフトレジスタを含む駆動回路の一部または全体を画素部と同じ基板上に一体形成して、システムオンパネルを形成することができる。

【 0 4 1 4 】

本実施の形態では、液晶素子を用いた表示装置の構成例と、E L 素子を用いた表示装置の構成例について説明する。図 3 7 (A) において、第 1 の基板 4 0 0 1 上に設けられた画素部 4 0 0 2 を囲むようにして、シール材 4 0 0 5 が設けられ、第 2 の基板 4 0 0 6 によって封止されている。図 3 7 (A) においては、第 1 の基板 4 0 0 1 上のシール材 4 0 0 5 によって囲まれている領域とは異なる領域に、別途用意された基板上に単結晶半導体または多結晶半導体で形成された信号線駆動回路 4 0 0 3 、および走査線駆動回路 4 0 0 4 が実装されている。また、信号線駆動回路 4 0 0 3 、走査線駆動回路 4 0 0 4 、または画素部 4 0 0 2 に与えられる各種信号および電位は、F P C 4 0 1 8 a (F P C : F l e x i b l e p r i n t e d c i r c u i t) 、F P C 4 0 1 8 b から供給されている。

40

【 0 4 1 5 】

図 3 7 (B) および図 3 7 (C) において、第 1 の基板 4 0 0 1 上に設けられた画素部 4 0 0 2 と、走査線駆動回路 4 0 0 4 とを囲むようにして、シール材 4 0 0 5 が設けられている。また画素部 4 0 0 2 と、走査線駆動回路 4 0 0 4 の上に第 2 の基板 4 0 0 6 が設けられている。よって画素部 4 0 0 2 と、走査線駆動回路 4 0 0 4 とは、第 1 の基板 4 0 0 1 とシール材 4 0 0 5 と第 2 の基板 4 0 0 6 とによって、表示素子と共に封止されている

50

。図37(B)および図37(C)においては、第1の基板4001上のシール材4005によって囲まれている領域とは異なる領域に、別途用意された基板上に単結晶半導体または多結晶半導体で形成された信号線駆動回路4003が実装されている。図37(B)および図37(C)においては、信号線駆動回路4003、走査線駆動回路4004、または画素部4002に与えられる各種信号および電位は、FPC4018から供給されている。

【0416】

また図37(B)および図37(C)においては、信号線駆動回路4003を別途形成し、第1の基板4001に実装している例を示しているが、この構成に限定されない。走査線駆動回路を別途形成して実装しても良いし、信号線駆動回路の一部または走査線駆動回路の一部のみを別途形成して実装しても良い。

10

【0417】

なお、別途形成した駆動回路の接続方法は、特に限定されるものではなく、ワイヤボンディング、COG(Chip On Glass)、TCP(Tape Carrier Package)、COF(Chip On Film)などを用いることができる。図37(A)は、COGにより信号線駆動回路4003、走査線駆動回路4004を実装する例であり、図37(B)は、COGにより信号線駆動回路4003を実装する例であり、図37(C)は、TCPにより信号線駆動回路4003を実装する例である。

【0418】

また、表示装置は、表示素子が封止された状態にあるパネルと、該パネルにコントローラを含むIC等を実装した状態にあるモジュールとを含む場合がある。

20

【0419】

また第1の基板上に設けられた画素部および走査線駆動回路は、トランジスタを複数有しており、上記実施の形態で示したトランジスタを適用することができる。

【0420】

図38(A)、図38(B)、図39(A)、および図39(B)は、図37(B)中でN1-N2の鎖線で示した部位の断面構成を示す断面図である。図38(A)、図38(B)、図39(A)、および図39(B)に示す表示装置は電極4015を有しており、電極4015はFPC4018が有する端子と異方性導電層4019を介して、電氣的に接続されている。また、図38(A)および図38(B)では、電極4015は、絶縁層4112、絶縁層4111、および絶縁層4110に形成された開口において配線4014と電氣的に接続されている。また、図39(A)および図39(B)では、電極4015は、絶縁層4112に形成された開口において配線4014と電氣的に接続されている。

30

【0421】

電極4015は、第1の電極層4030と同じ導電層から形成され、配線4014は、トランジスタ4010、およびトランジスタ4011のソース電極およびドレイン電極と同じ導電層で形成されている。

【0422】

また、第1の基板4001上に設けられた画素部4002と走査線駆動回路4004は、トランジスタを複数有しており、図38(A)、図38(B)、図39(A)、および図39(B)では、画素部4002に含まれるトランジスタ4010、および走査線駆動回路4004に含まれるトランジスタ4011を例示している。

40

【0423】

図38(A)および図38(B)では、トランジスタ4010およびトランジスタ4011としてボトムゲート型のトランジスタを例示している。図39(A)および図39(B)では、トランジスタ4010およびトランジスタ4011としてトップゲート型のトランジスタを例示している。

【0424】

図38(A)および図38(B)では、トランジスタ4010およびトランジスタ401

50

1 上に絶縁層 4 1 1 2 が設けられている。また、図 3 8 (B) では、絶縁層 4 1 1 2 上に隔壁 4 5 1 0 が形成されている。図 3 9 (A) および図 3 9 (B) では、トランジスタ 4 0 1 0 およびトランジスタ 4 0 1 1 上に絶縁層 4 1 1 3 が設けられ、絶縁層 4 1 1 3 上に絶縁層 4 1 1 2 が設けられている。また、図 3 9 (B) では、絶縁層 4 1 1 2 上に隔壁 4 5 1 0 が形成されている。

【 0 4 2 5 】

また、トランジスタ 4 0 1 0 およびトランジスタ 4 0 1 1 は、絶縁層 4 1 0 2 上に設けられている。また、図 3 8 (A) および図 3 8 (B) において、トランジスタ 4 0 1 0 およびトランジスタ 4 0 1 1 は、絶縁層 4 1 1 1 上に形成された電極 4 0 1 7 を有する。また、図 3 9 (A) および図 3 9 (B) において、トランジスタ 4 0 1 0 およびトランジスタ 4 0 1 1 は、絶縁層 4 1 0 2 上に形成された電極 4 0 1 7 を有する。電極 4 0 1 7 はバックゲート電極として機能することができる。

10

【 0 4 2 6 】

トランジスタ 4 0 1 0 およびトランジスタ 4 0 1 1 は、上記実施の形態で示したトランジスタを用いることができる。トランジスタ 4 0 1 0 およびトランジスタ 4 0 1 1 として O S トランジスタを用いることが好ましい。O S トランジスタは、電気特性変動が抑制されており、電氣的に安定である。よって、図 3 8 (A) および図 3 8 (B) で示す本実施の形態の表示装置を信頼性の高い表示装置とすることができる。

【 0 4 2 7 】

また、O S トランジスタは、オフ状態における電流値（オフ電流値）を低くすることができる。よって、画像信号等の電気信号の保持時間を長くすることができ、画像信号等の書き込み間隔も長く設定できる。よって、リフレッシュ動作の頻度を少なくすることができるため、消費電力を抑制する効果を奏する。

20

【 0 4 2 8 】

また、O S トランジスタは、比較的高い電界効果移動度を得ることも可能であるため、高速駆動が可能である。よって、表示装置の駆動回路部や画素部に上記トランジスタを用いることで、高画質な画像を提供することができる。また、同一基板上に駆動回路部または画素部を作り分けて作製することが可能であるため、表示装置の部品点数を削減することができる。

【 0 4 2 9 】

30

また、図 3 8 (A)、図 3 8 (B)、図 3 9 (A)、および図 3 9 (B) に示す表示装置は、容量素子 4 0 2 0 を有する。図 3 8 (A) および図 3 8 (B) に示す容量素子 4 0 2 0 は、トランジスタ 4 0 1 0 のゲート電極と同じ工程で形成された電極 4 0 2 1 と、ソース電極およびドレイン電極と同じ工程で形成された電極と、を有する。それぞれの電極は、絶縁層 4 1 0 3 を介して重なっている。図 3 9 (A) および図 3 9 (B) に示す容量素子 4 0 2 0 は、トランジスタ 4 0 1 0 のゲート電極と同じ工程で形成された電極と、電極 4 0 1 7 と同じ工程で形成された電極 4 0 2 1 と、を有する。それぞれの電極は、絶縁層 4 1 0 3 を介して重なっている。

【 0 4 3 0 】

一般に、表示装置の画素部に設けられる容量素子の容量は、画素部に配置されるトランジスタのリーク電流等を考慮して、所定の期間の間電荷を保持できるように設定される。容量素子の容量は、トランジスタのオフ電流等を考慮して設定すればよい。

40

【 0 4 3 1 】

例えば、液晶表示装置の画素部に O S トランジスタを用いることにより、容量素子の容量を、液晶容量に対して 1 / 3 以下、さらには 1 / 5 以下とすることができる。O S トランジスタを用いることにより、容量素子の形成を省略することもできる。

【 0 4 3 2 】

画素部 4 0 0 2 に設けられたトランジスタ 4 0 1 0 は表示素子と電氣的に接続する。図 3 8 (A) および図 3 9 (A) は、表示素子として液晶素子を用いた液晶表示装置の一例である。図 3 8 (A) および図 3 9 (A) において、表示素子である液晶素子 4 0 1 3 は、

50

第1の電極層4030、第2の電極層4031、および液晶層4008を含む。なお、液晶層4008を挟持するように配向膜として機能する絶縁層4032、絶縁層4033が設けられている。第2の電極層4031は第2の基板4006側に設けられ、第1の電極層4030と第2の電極層4031は液晶層4008を介して重畳する。

【0433】

またスペーサ4035は絶縁層を選択的にエッチングすることで得られる柱状のスペーサであり、第1の電極層4030と第2の電極層4031との間隔（セルギャップ）を制御するために設けられている。なお球状のスペーサを用いても良い。

【0434】

また、表示装置において、ブラックマトリクス（遮光層）、偏光部材、位相差部材、反射防止部材などの光学部材（光学基板）などを適宜設けてもよい。例えば、偏光基板および位相差基板による円偏光を用いてもよい。また、光源としてバックライト、サイドライトなどを用いてもよい。

【0435】

また、図38（A）、図38（B）、図39（A）、および図39（B）に示す表示装置は、絶縁層4111と絶縁層4104を有する。絶縁層4111と絶縁層4104として、不純物元素を透過しにくい絶縁層を用いる。絶縁層4111と絶縁層4104でトランジスタの半導体層を挟むことで、外部からの不純物の浸入を防ぐことができる。また、画素部4002の外側で絶縁層4111と絶縁層4104が接することで、外部からの不純物の浸入を防ぐ効果を高めることができる。

【0436】

絶縁層4104は、例えば、絶縁層104と同様の材料および方法で形成すればよい。絶縁層4111は、例えば、絶縁層110と同様の材料および方法で形成すればよい。

【0437】

また、表示装置に含まれる表示素子として、エレクトロルミネッセンスを利用する発光素子（「EL素子」ともいう。）を適用することができる。EL素子は、一对の電極の間に発光性の化合物を含む層（「EL層」ともいう。）を有する。一对の電極間に、EL素子の閾値電圧よりも大きい電位差を生じさせると、EL層に陽極側から正孔が注入され、陰極側から電子が注入される。注入された電子と正孔はEL層において再結合し、EL層に含まれる発光物質が発光する。

【0438】

また、EL素子は、発光材料が有機化合物であるか、無機化合物であるかによって区別され、一般的に、前者は有機EL素子、後者は無機EL素子と呼ばれている。

【0439】

有機EL素子は、電圧を印加することにより、一方の電極から電子、他方の電極から正孔がそれぞれEL層に注入される。そして、それらキャリア（電子および正孔）が再結合することにより、発光性の有機化合物が励起状態を形成し、その励起状態が基底状態に戻る際に発光する。このようなメカニズムから、このような発光素子は、電流励起型の発光素子と呼ばれる。

【0440】

なお、EL層は、発光性の化合物以外に、正孔注入性の高い物質、正孔輸送性の高い物質、正孔ブロック材料、電子輸送性の高い物質、電子注入性の高い物質、またはバイポーラ性の物質（電子輸送性および正孔輸送性が高い物質）などを有していてもよい。

【0441】

EL層は、蒸着法（真空蒸着法を含む）、転写法、印刷法、インクジェット法、塗布法などの方法で形成することができる。

【0442】

無機EL素子は、その素子構成により、分散型無機EL素子と薄膜型無機EL素子とに分類される。分散型無機EL素子は、発光材料の粒子をバインダ中に分散させた発光層を有するものであり、発光メカニズムはドナー準位とアクセプター準位を利用するドナー - ア

10

20

30

40

50

クセプター再結合型発光である。薄膜型無機EL素子は、発光層を誘電体層で挟み込み、さらにそれを電極で挟んだ構造であり、発光メカニズムは金属イオンの内殻電子遷移を利用する局在型発光である。なお、ここでは、発光素子として有機EL素子を用いて説明する。

【0443】

発光素子は発光を取り出すために少なくとも一対の電極の一方が透明であればよい。そして、基板上にトランジスタおよび発光素子を形成し、当該基板とは逆側の面から発光を取り出す上面射出（トップエミッション）構造や、基板側の面から発光を取り出す下面射出（ボトムエミッション）構造や、両面から発光を取り出す両面射出（デュアルエミッション）構造の発光素子があり、どの射出構造の発光素子も適用することができる。

10

【0444】

図38（B）および図39（B）は、表示素子として発光素子を用いた発光表示装置（「EL表示装置」ともいう。）の一例である。表示素子である発光素子4513は、画素部4002に設けられたトランジスタ4010と電気的に接続している。なお発光素子4513の構成は、第1の電極層4030、発光層4511、第2の電極層4031の積層構造であるが、この構成に限定されない。発光素子4513から取り出す光の方向などに合わせて、発光素子4513の構成は適宜変えることができる。

【0445】

隔壁4510は、有機絶縁材料、または無機絶縁材料を用いて形成する。特に感光性の樹脂材料を用い、第1の電極層4030上に開口部を形成し、その開口部の側面が連続した曲率を持って形成される傾斜面となるように形成することが好ましい。

20

【0446】

発光層4511は、単数の層で構成されていても、複数の層が積層されるように構成されていてもどちらでも良い。

【0447】

発光素子4513に酸素、水素、水分、二酸化炭素等が侵入しないように、第2の電極層4031および隔壁4510上に保護層を形成してもよい。保護層としては、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム、DLC（Diamond Like Carbon）などを形成することができる。また、第1の基板4001、第2の基板4006、およびシール材4005によって封止された空間には充填材4514が設けられ密封されている。このように、外気に曝されないように気密性が高く、脱ガスの少ない保護フィルム（貼り合わせフィルム、紫外線硬化樹脂フィルム等）やカバー材でパッケージング（封入）することが好ましい。

30

【0448】

充填材4514としては窒素やアルゴンなどの不活性な気体の他に、紫外線硬化樹脂または熱硬化樹脂を用いることができ、PVC（ポリビニルクロライド）、アクリル系樹脂、ポリイミド、エポキシ系樹脂、シリコーン系樹脂、PVB（ポリビニルブチラル）またはEVA（エチレンビニルアセテート）などを用いることができる。また、充填材4514に乾燥剤が含まれていてもよい。

40

【0449】

シール材4005には、ガラスフリットなどのガラス材料や、二液混合型の樹脂などの常温で硬化する硬化樹脂、光硬化性の樹脂、熱硬化性の樹脂などの樹脂材料を用いることができる。また、シール材4005に乾燥剤が含まれていてもよい。

【0450】

また、必要であれば、発光素子の射出面に偏光板、または円偏光板（楕円偏光板を含む）、位相差板（ $\lambda/4$ 板、 $\lambda/2$ 板）、カラーフィルタなどの光学フィルムを適宜設けてもよい。また、偏光板または円偏光板に反射防止膜を設けてもよい。例えば、表面の凹凸により反射光を拡散し、映り込みを低減できるアンチグレア処理を施すことができる。

【0451】

50

また、発光素子をマイクロキャビティ構造とすることで、色純度の高い光を取り出すことができる。また、マイクロキャビティ構造とカラーフィルタを組み合わせることで、映り込みが低減し、表示画像の視認性を高めることができる。

【0452】

表示素子に電圧を印加する第1の電極層および第2の電極層（画素電極層、共通電極層、対向電極層などともいう）においては、取り出す光の方向、電極層が設けられる場所、および電極層のパターン構造によって透光性、反射性を選択すればよい。

【0453】

第1の電極層4030、第2の電極層4031は、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、インジウム錫酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、酸化ケイ素を添加したインジウム錫酸化物などの透光性を有する導電性材料を用いることができる。

10

【0454】

また、第1の電極層4030、第2の電極層4031はタングステン(W)、モリブデン(Mo)、ジルコニウム(Zr)、ハフニウム(Hf)、バナジウム(V)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)、クロム(Cr)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)、チタン(Ti)、白金(Pt)、アルミニウム(Al)、銅(Cu)、銀(Ag)などの金属、またはその合金、もしくはその金属窒化物から一種以上を用いて形成することができる。

20

【0455】

また、第1の電極層4030、第2の電極層4031として、導電性高分子（導電性ポリマーともいう）を含む導電性組成物を用いて形成することができる。導電性高分子としては、いわゆる電子共役系導電性高分子を用いることができる。例えば、ポリアニリン若しくはその誘導体、ポリピロール若しくはその誘導体、ポリチオフェン若しくはその誘導体、または、アニリン、ピロールおよびチオフェンの2種以上からなる共重合体若しくはその誘導体などがあげられる。

【0456】

また、トランジスタは静電気などにより破壊されやすいため、駆動回路保護用の保護回路を設けることが好ましい。保護回路は、非線形素子を用いて構成することが好ましい。

30

【0457】

上記実施の形態で示したトランジスタを用いることで、信頼性のよい表示装置を提供することができる。また、上記実施の形態で示したトランジスタを用いることで、高精細化や、大面積化が可能で、表示品質の良い表示装置を提供することができる。また、消費電力が低減された表示装置を提供することができる。

【0458】

<表示モジュール>

上述したトランジスタを使用した半導体装置の一例として、表示モジュールについて説明する。図40に示す表示モジュール6000は、上部カバー6001と下部カバー6002との間に、FPC6003に接続されたタッチセンサ6004、FPC6005に接続された表示パネル6006、バックライトユニット6007、フレーム6009、プリント基板6010、バッテリー6011を有する。なお、バックライトユニット6007、バッテリー6011、タッチセンサ6004などは、設けられない場合もある。

40

【0459】

本発明の一態様の半導体装置は、例えば、タッチセンサ6004、表示パネル6006、プリント基板6010に実装された集積回路などに用いることができる。例えば、表示パネル6006に前述した表示装置を用いることができる。

【0460】

上部カバー6001および下部カバー6002は、タッチセンサ6004や表示パネル6006などのサイズに合わせて、形状や寸法を適宜変更することができる。

50

【0461】

タッチセンサ6004は、抵抗膜方式または静電容量方式のタッチセンサを表示パネル6006に重畳して用いることができる。表示パネル6006にタッチセンサの機能を付加することも可能である。例えば、表示パネル6006の各画素内にタッチセンサ用電極を設け、静電容量方式のタッチパネル機能を付加することなども可能である。または、表示パネル6006の各画素内に光センサを設け、光学式のタッチセンサの機能を付加することなども可能である。また、タッチセンサ6004を設ける必要が無い場合は、タッチセンサ6004を省略することができる。

【0462】

バックライトユニット6007は、光源6008を有する。光源6008をバックライトユニット6007の端部に設け、光拡散板を用いる構成としてもよい。また、表示パネル6006に発光表示装置などを用いる場合は、バックライトユニット6007を省略することができる。

10

【0463】

フレーム6009は、表示パネル6006の保護機能の他、プリント基板6010側から発生する電磁波を遮断するための電磁シールドとしての機能を有する。また、フレーム6009は、放熱板としての機能を有していてもよい。

【0464】

プリント基板6010は、電源回路、ビデオ信号およびクロック信号を出力するための信号処理回路などを有する。電源回路に電力を供給する電源としては、バッテリー6011であってよいし、商用電源であってよい。なお、電源として商用電源を用いる場合には、バッテリー6011を省略することができる。

20

【0465】

また、表示モジュール6000に、偏光板、位相差板、プリズムシートなどの部材を追加して設けてもよい。

【0466】

本実施の形態は、他の実施の形態などに記載した構成と適宜組み合わせて実施することが可能である。

【0467】

(実施の形態4)

30

本発明の一態様に係るトランジスタおよび/または半導体装置は、様々な電子機器に用いることができる。図41および図42に、本発明の一態様に係るトランジスタおよび/または半導体装置を用いた電子機器の例を示す。

【0468】

本発明の一態様に係る半導体装置を用いた電子機器として、テレビ、モニタ等の表示装置、照明装置、デスクトップ型或いはノート型のパーソナルコンピュータ、ワードプロセッサ、DVD(Digital Versatile Disc)などの記録媒体に記憶された静止画又は動画を再生する画像再生装置、ポータブルCDプレーヤ、ラジオ、テープレコーダ、ヘッドホンステレオ、ステレオ、置き時計、壁掛け時計、コードレス電話子機、トランシーバ、携帯電話、自動車電話、携帯型ゲーム機、タブレット型端末、パチンコ機などの大型ゲーム機、電卓、携帯情報端末、電子手帳、電子書籍端末、電子翻訳機、音声入力機器、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、電気シェーバ、電子レンジ等の高周波加熱装置、電気炊飯器、電気洗濯機、電気掃除機、温水器、扇風機、毛髪乾燥機、エアコンディショナー、加湿器、除湿器などの空調設備、食器洗い器、食器乾燥器、衣類乾燥器、布団乾燥器、電気冷蔵庫、電気冷凍庫、電気冷凍冷蔵庫、DNA保存用冷凍庫、懐中電灯、チェーンソーなどの工具、煙感知器、透析装置などの医療機器などが挙げられる。さらに、誘導灯、信号機、ベルトコンベア、エレベータ、エスカレータ、産業用ロボット、電力貯蔵システム、電力の平準化やスマートグリッドのための蓄電装置などの産業機器が挙げられる。

40

【0469】

50

また、蓄電装置からの電力を用いて電動機により推進する移動体なども、電子機器の範疇に含まれるものとする。上記移動体として、例えば、電気自動車（EV）、内燃機関と電動機を併せ持ったハイブリッド車（HEV）、プラグインハイブリッド車（PHEV）、これらのタイヤ車輪を無限軌道に変えた装軌車両、電動アシスト自転車を含む原動機付自転車、自動二輪車、電動車椅子、ゴルフ用カート、小型又は大型船舶、潜水艦、ヘリコプター、航空機、ロケット、人工衛星、宇宙探査機や惑星探査機、宇宙船などが挙げられる。

【0470】

図41（A）乃至図41（G）に示す電子機器は、筐体9000、表示部9001、スピーカ9003、操作キー9005（電源スイッチ、又は操作スイッチを含む）、接続端子9006、センサ9007（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、におい又は赤外線を測定する機能を含むもの）、マイクロフォン9008、等を有する。

10

【0471】

図41（A）乃至図41（G）に示す電子機器は、様々な機能を有する。例えば、様々な情報（静止画、動画、テキスト画像など）を表示部に表示する機能、タッチパネル機能、カレンダー、日付または時刻などを表示する機能、様々なソフトウェア（プログラム）によって処理を制御する機能、無線通信機能、無線通信機能を用いて様々なコンピュータネットワークに接続する機能、無線通信機能を用いて様々なデータの送信または受信を行う機能、記録媒体に記録されているプログラムまたはデータを読み出して表示部に表示する機能、等を有することができる。なお、図41（A）乃至図41（G）に示す電子機器が有することのできる機能はこれらに限定されず、様々な機能を有することができる。また、図41（A）乃至図41（G）には図示していないが、電子機器には、複数の表示部を有する構成としてもよい。また、該電子機器にカメラ等を設け、静止画を撮影する機能、動画を撮影する機能、撮影した画像を記録媒体（外部またはカメラに内蔵）に保存する機能、撮影した画像を表示部に表示する機能、等を有していてもよい。

20

【0472】

図41（A）は、テレビジョン装置9100を示す斜視図である。テレビジョン装置9100は、表示部9001を大画面、例えば、50インチ以上、または100インチ以上の表示部9001を組み込むことが可能である。

30

【0473】

図41（B）は、携帯情報端末9101を示す斜視図である。携帯情報端末9101は、例えば電話機、手帳又は情報閲覧装置等から選ばれた一つ又は複数の機能を有する。具体的には、スマートフォンとして用いることができる。なお、携帯情報端末9101は、スピーカ9003、接続端子9006、センサ9007等を設けてもよい。また、携帯情報端末9101は、文字や画像情報をその複数の面に表示することができる。例えば、3つの操作ボタン9050（操作アイコンまたは単にアイコンともいう）を表示部9001の一面に表示することができる。また、破線の矩形で示す情報9051を表示部9001の他の面に表示することができる。なお、情報9051の一例としては、電子メールやSNS（ソーシャル・ネットワーキング・サービス）や電話などの着信を知らせる表示、電子メールやSNSなどの題名、電子メールやSNSなどの送信者名、日時、時刻、バッテリーの残量、アンテナ受信の強度などがある。または、情報9051が表示されている位置に、情報9051の代わりに、操作ボタン9050などを表示してもよい。

40

【0474】

図41（C）は、携帯情報端末9102を示す斜視図である。携帯情報端末9102は、表示部9001の3面以上に情報を表示する機能を有する。ここでは、情報9052、情報9053、情報9054がそれぞれ異なる面に表示されている例を示す。例えば、携帯情報端末9102の使用人は、洋服の胸ポケットに携帯情報端末9102を収納した状態で、その表示（ここでは情報9053）を確認することができる。具体的には、着信した

50

電話の発信者の電話番号又は氏名等を、携帯情報端末 9 1 0 2 の上方から観察できる位置に表示する。使用者は、携帯情報端末 9 1 0 2 をポケットから取り出すことなく、表示を確認し、電話を受けるか否かを判断できる。

【 0 4 7 5 】

図 4 1 (D) は、腕時計型の携帯情報端末 9 2 0 0 を示す斜視図である。携帯情報端末 9 2 0 0 は、移動電話、電子メール、文章閲覧及び作成、音楽再生、インターネット通信、コンピュータゲームなどの種々のアプリケーションを実行することができる。また、表示部 9 0 0 1 はその表示面が湾曲して設けられ、湾曲した表示面に沿って表示を行うことができる。また、携帯情報端末 9 2 0 0 は、通信規格された近距離無線通信を実行することが可能である。例えば無線通信可能なヘッドセットと相互通信することによって、ハンズフリーで通話することもできる。また、携帯情報端末 9 2 0 0 は、接続端子 9 0 0 6 を有し、他の情報端末とコネクタを介して直接データのやりとりを行うことができる。また接続端子 9 0 0 6 を介して充電を行うこともできる。なお、充電動作は接続端子 9 0 0 6 を介さずに無線給電により行ってもよい。

10

【 0 4 7 6 】

図 4 1 (E) (F) (G) は、折り畳み可能な携帯情報端末 9 2 0 1 を示す斜視図である。また、図 4 1 (E) が携帯情報端末 9 2 0 1 を展開した状態の斜視図であり、図 4 1 (F) が携帯情報端末 9 2 0 1 を展開した状態または折り畳んだ状態の一方から他方に変化する途中の状態の斜視図であり、図 4 1 (G) が携帯情報端末 9 2 0 1 を折り畳んだ状態の斜視図である。携帯情報端末 9 2 0 1 は、折り畳んだ状態では可搬性に優れ、展開した状態では、継ぎ目のない広い表示領域により表示の一覧性に優れる。携帯情報端末 9 2 0 1 が有する表示部 9 0 0 1 は、ヒンジ 9 0 5 5 によって連結された 3 つの筐体 9 0 0 0 に支持されている。ヒンジ 9 0 5 5 を介して 2 つの筐体 9 0 0 0 間を屈曲させることにより、携帯情報端末 9 2 0 1 を展開した状態から折りたたんだ状態に可逆的に変形させることができる。例えば、携帯情報端末 9 2 0 1 は、曲率半径 1 m m 以上 1 5 0 m m 以下で曲げることができる。

20

【 0 4 7 7 】

次に、図 4 1 (A) 乃至図 4 1 (G) に示す電子機器と異なる電子機器の一例を図 4 2 (A) (B) に示す。図 4 2 (A) (B) は、複数の表示パネルを有する表示装置の斜視図である。なお、図 4 2 (A) は、複数の表示パネルが巻き取られた形態の斜視図であり、図 4 2 (B) は、複数の表示パネルが展開された状態の斜視図である。

30

【 0 4 7 8 】

図 4 2 (A) (B) に示す表示装置 9 5 0 0 は、複数の表示パネル 9 5 0 1 と、軸部 9 5 1 1 と、軸受部 9 5 1 2 と、を有する。また、複数の表示パネル 9 5 0 1 は、表示領域 9 5 0 2 と、透光性を有する領域 9 5 0 3 と、を有する。

【 0 4 7 9 】

また、複数の表示パネル 9 5 0 1 は、可撓性を有する。また、隣接する 2 つの表示パネル 9 5 0 1 は、それらの一部が互いに重なるように設けられる。例えば、隣接する 2 つの表示パネル 9 5 0 1 の透光性を有する領域 9 5 0 3 を重ね合わせることができる。複数の表示パネル 9 5 0 1 を用いることで、大画面の表示装置とすることができる。また、使用状況に応じて、表示パネル 9 5 0 1 を巻き取ることが可能であるため、汎用性に優れた表示装置とすることができる。

40

【 0 4 8 0 】

また、図 4 2 (A) (B) においては、隣接する表示パネル 9 5 0 1 において、互いの表示領域 9 5 0 2 が重ならない状態を図示しているが、これに限定されず、例えば、隣接する表示パネル 9 5 0 1 の表示領域 9 5 0 2 を隙間なく重ねあわせることで、連続した表示領域 9 5 0 2 としてもよい。

【 0 4 8 1 】

本実施の形態において述べた電子機器は、何らかの情報を表示するための表示部を有することを特徴とする。ただし、本発明の一態様の半導体装置は、表示部を有さない電子機器

50

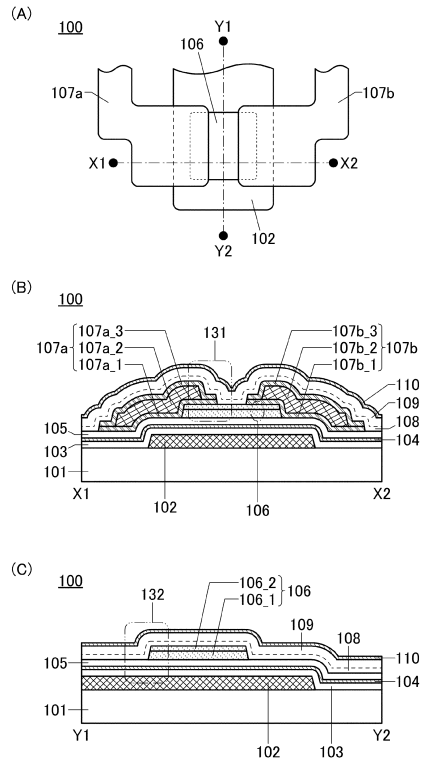
にも適用することができる。

【符号の説明】

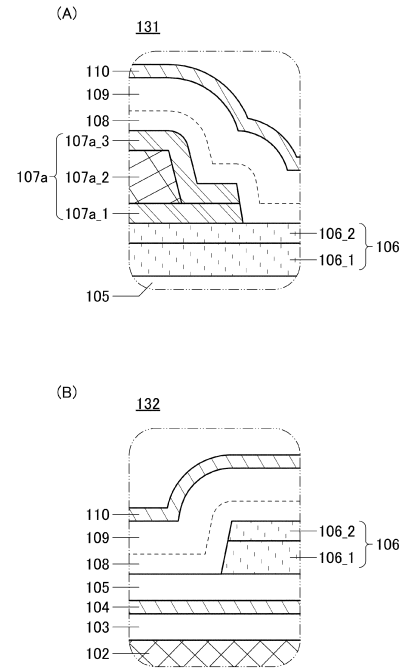
【 0 4 8 2 】

1 0 0	トランジスタ	
1 0 1	基板	
1 0 2	電極	
1 0 3	絶縁層	
1 0 4	絶縁層	
1 0 5	絶縁層	
1 0 6	酸化物半導体層	10
1 0 8	絶縁層	
1 0 9	絶縁層	
1 1 0	絶縁層	
1 1 3	絶縁層	
1 2 1	電極	
1 3 1	部位	
1 3 2	部位	
1 8 1	導電層	
1 8 2	酸化物半導体層	
1 8 3	酸化物半導体層	20
1 8 4	導電層	
1 8 5	導電層	
1 8 6	導電層	
2 0 0	トランジスタ	
4 6 1	トランジスタ	
4 6 2	液晶素子	
4 6 3	容量素子	
4 6 4	トランジスタ	
4 6 5	ノード	
4 6 6	ノード	30
4 6 7	ノード	
4 6 8	トランジスタ	
4 6 9	発光素子	
5 0 0	表示装置	
5 1 1	駆動回路	

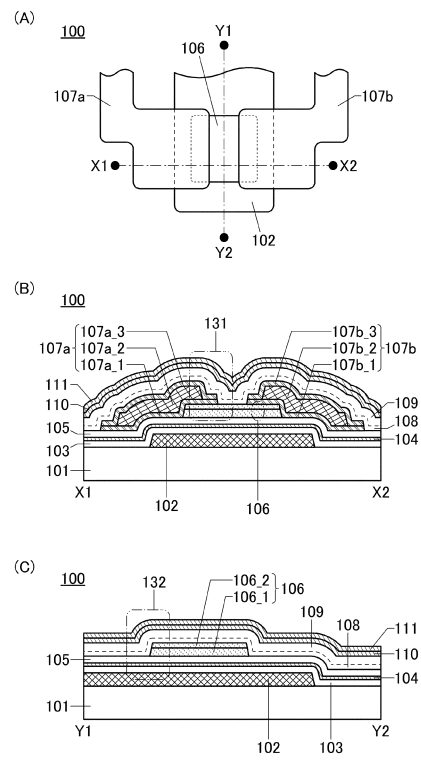
【図 1】



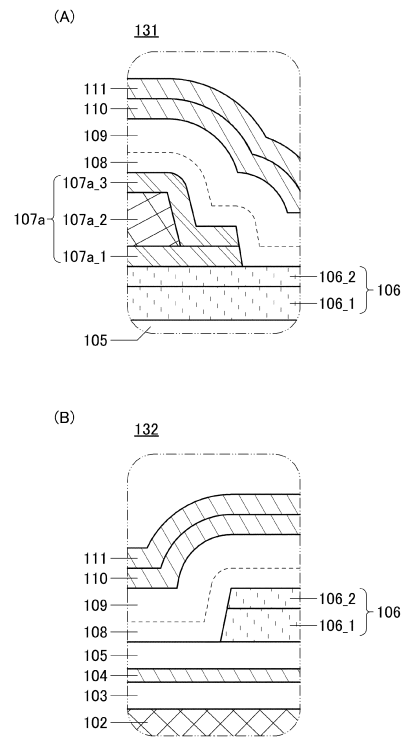
【図 2】



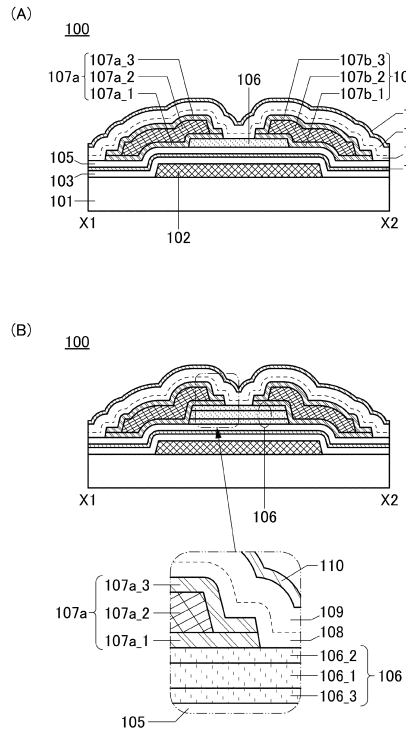
【図 3】



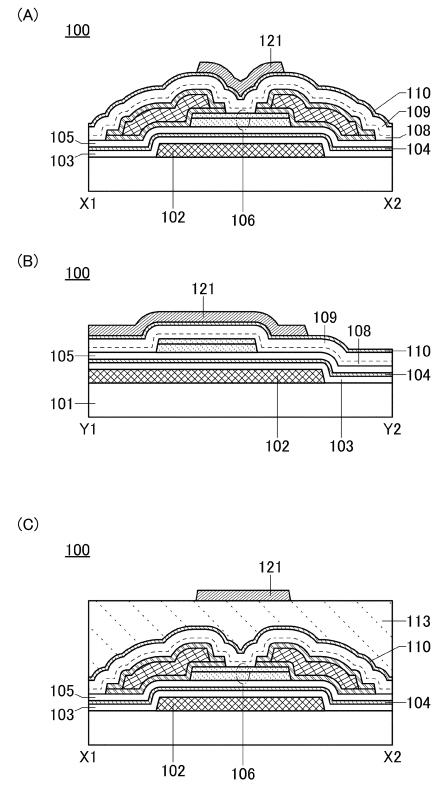
【図 4】



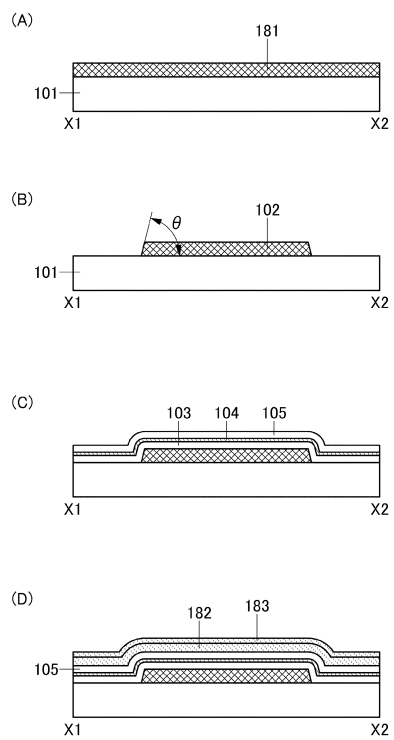
【図 5】



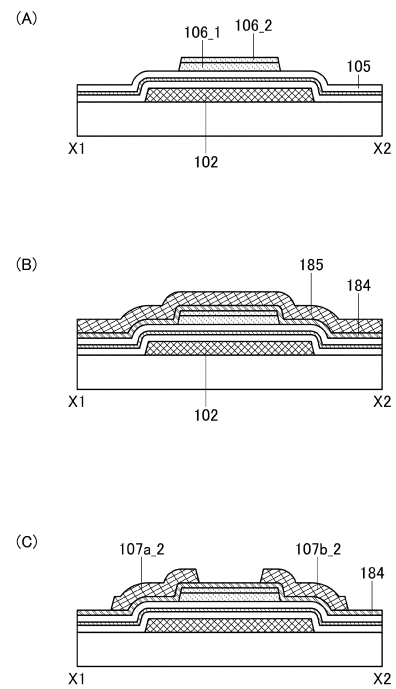
【図 6】



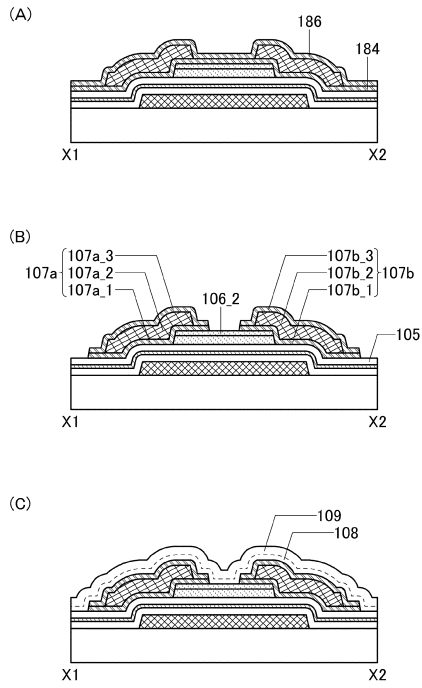
【図 7】



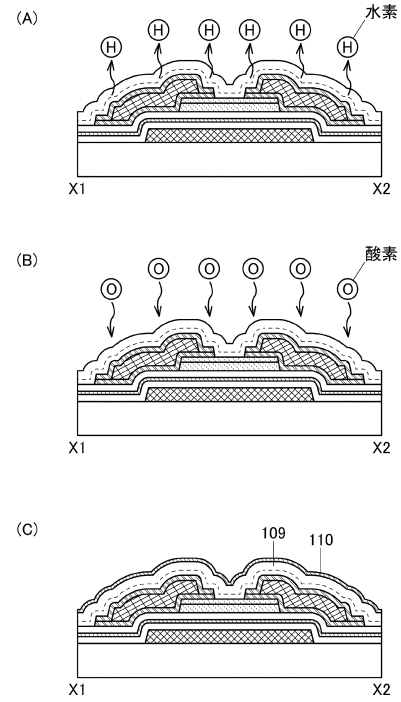
【図 8】



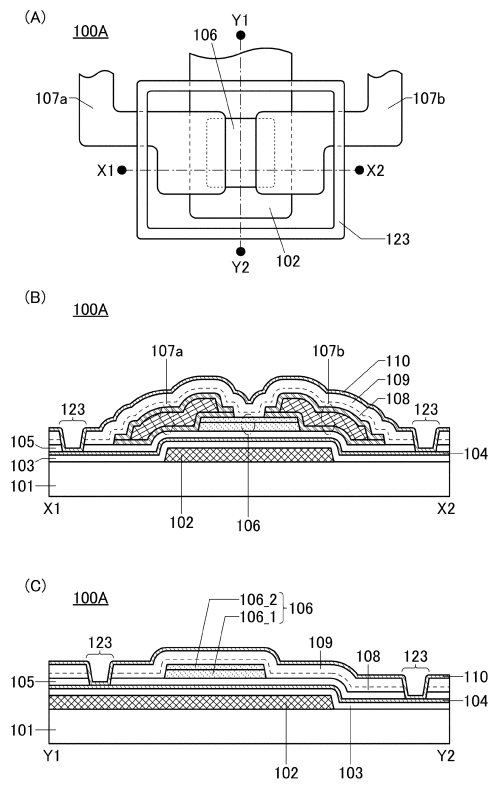
【図 9】



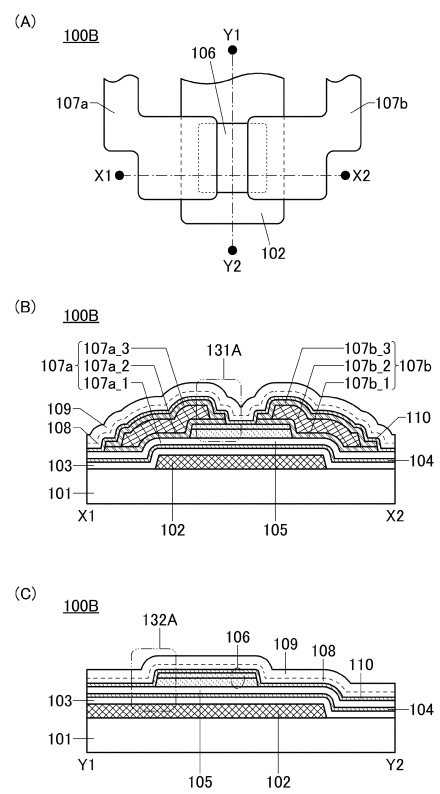
【図 10】



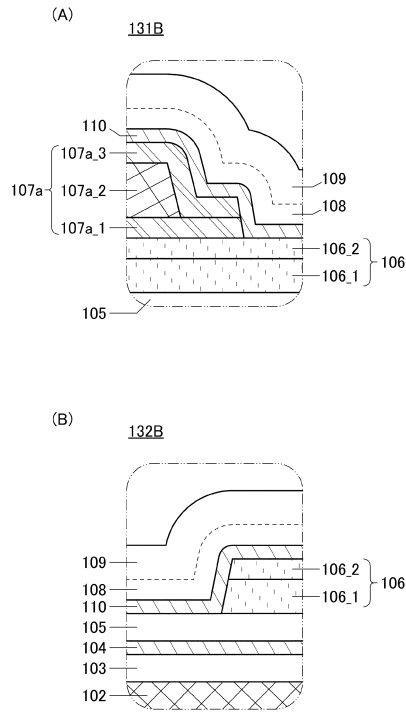
【図 11】



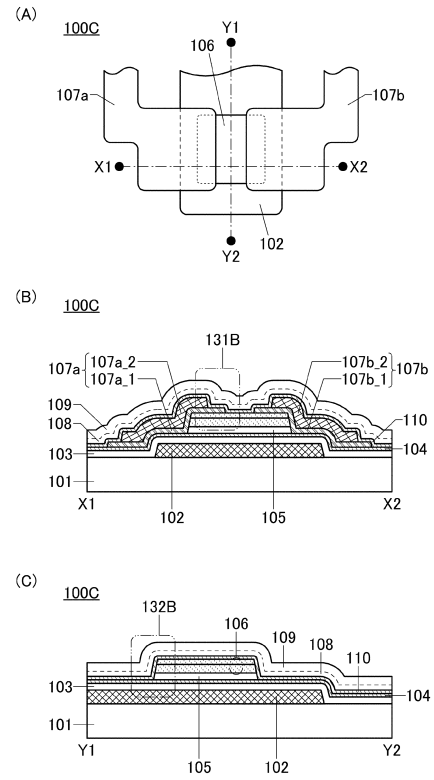
【図 12】



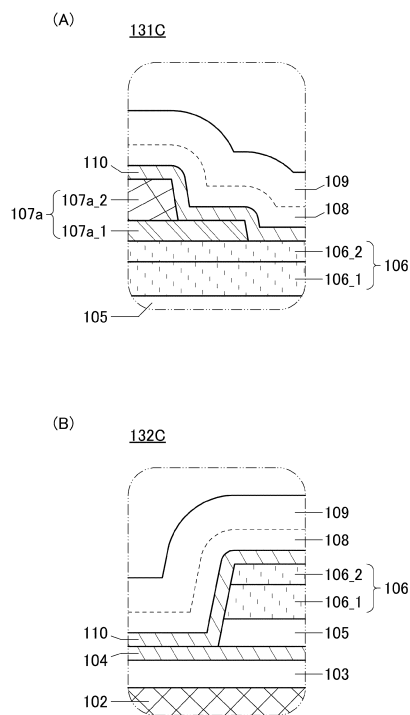
【図 13】



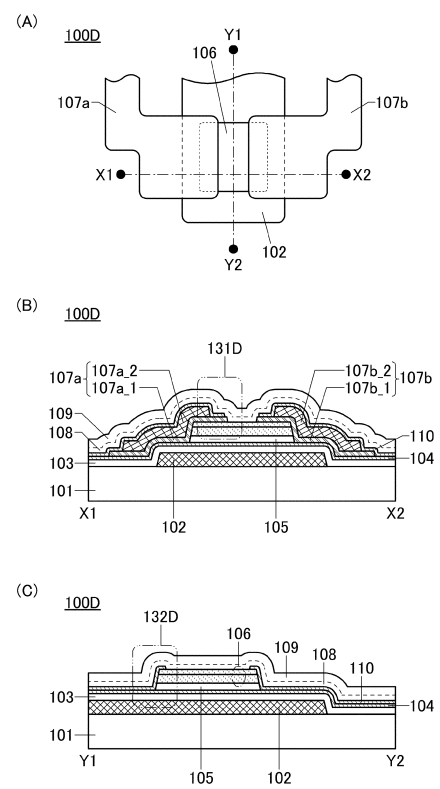
【図 14】



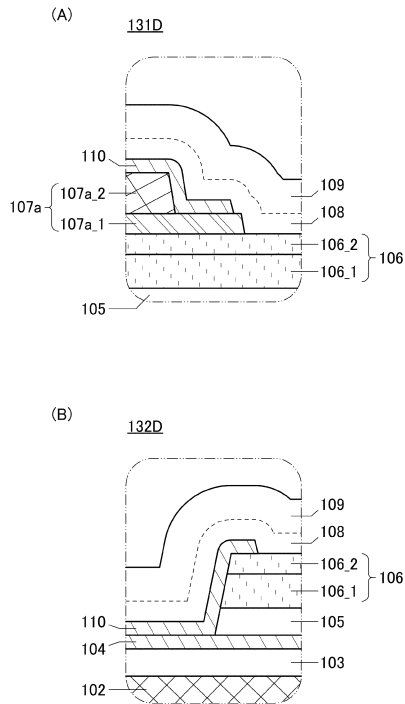
【図 15】



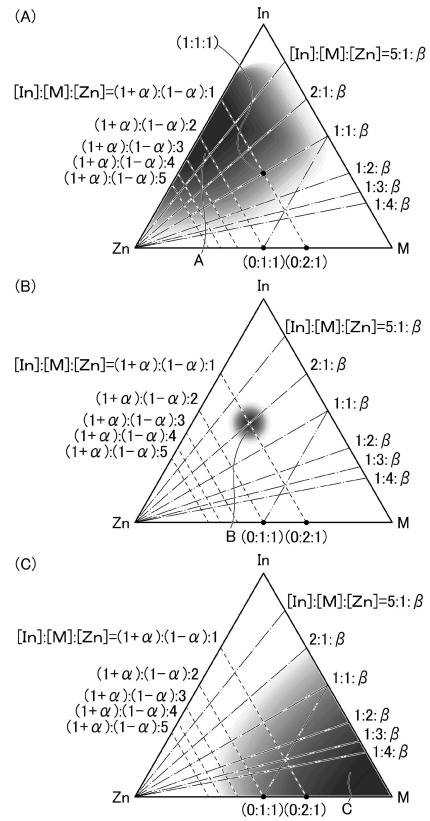
【図 16】



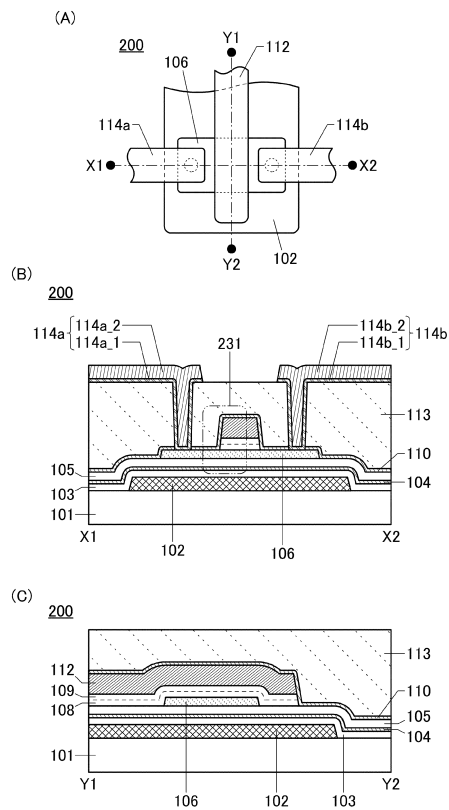
【 図 1 7 】



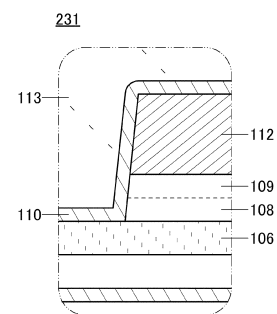
【 図 1 8 】



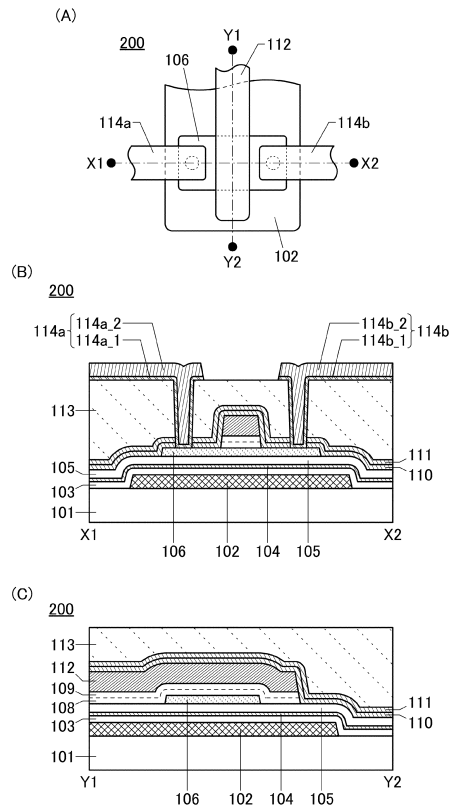
【 図 1 9 】



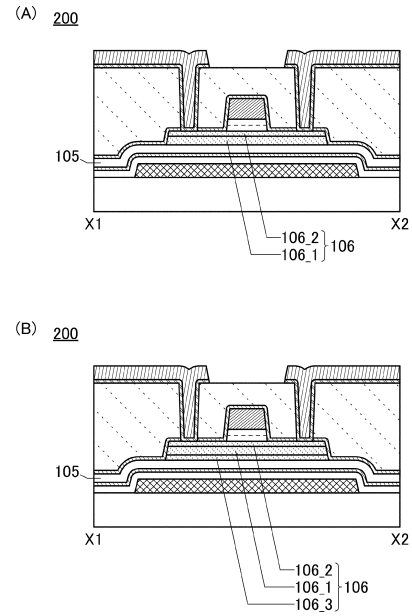
【 図 2 0 】



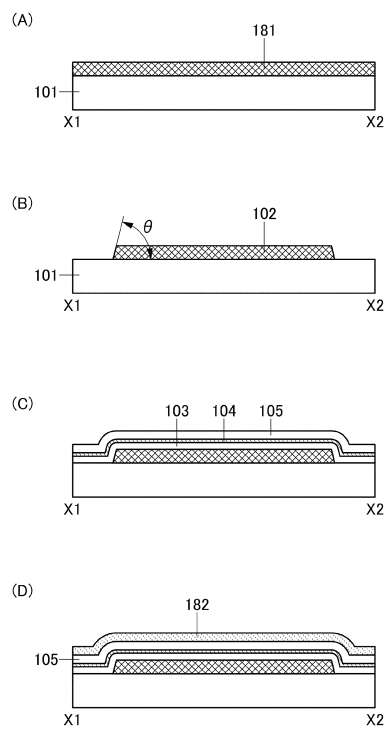
【図 2 1】



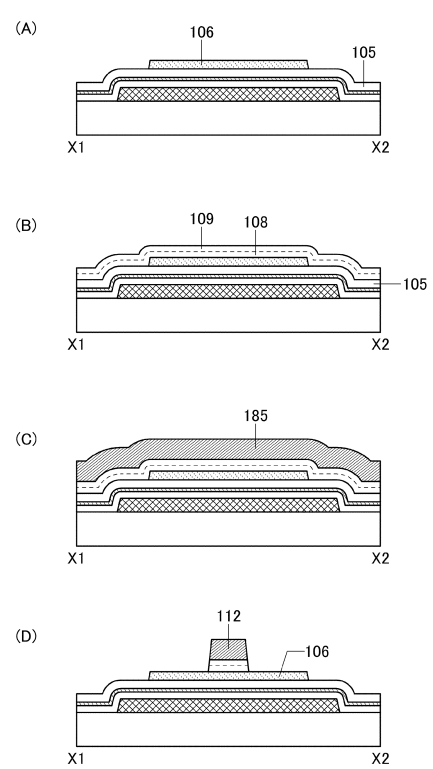
【図 2 2】



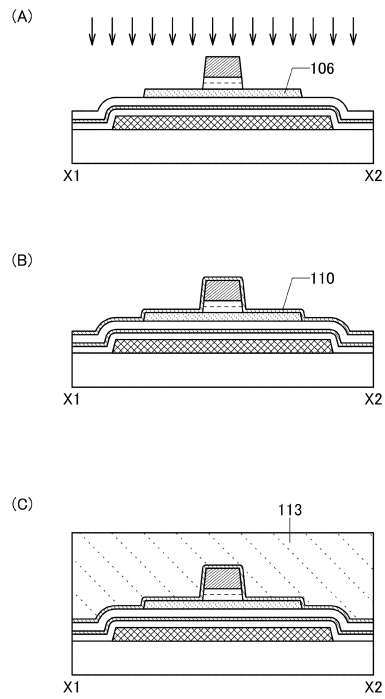
【図 2 3】



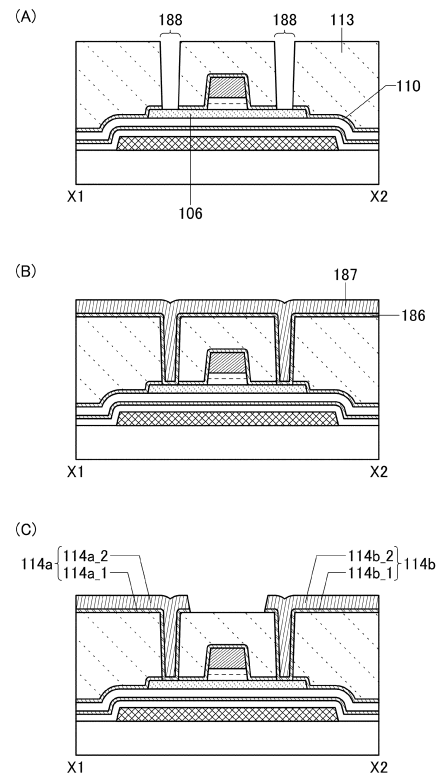
【図 2 4】



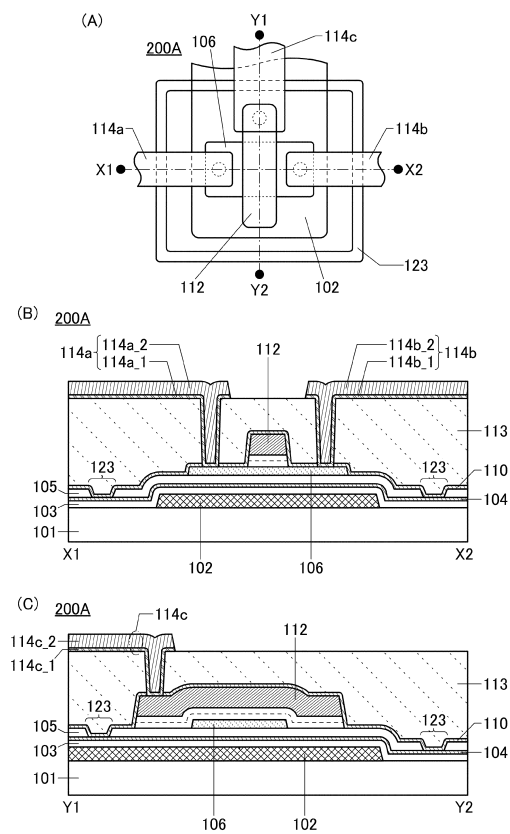
【図 25】



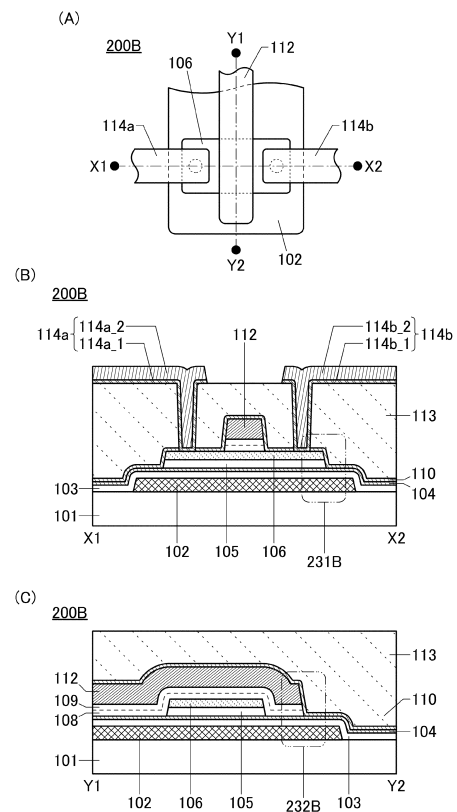
【図 26】



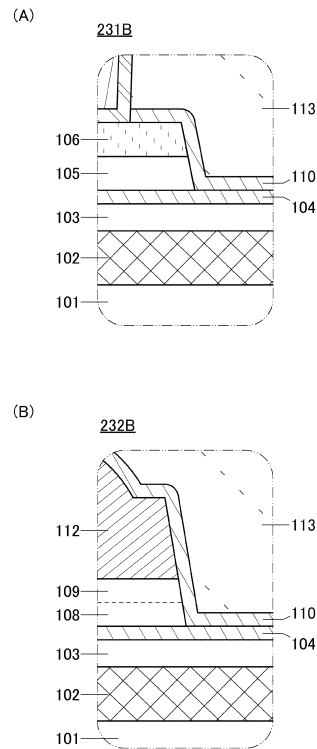
【図 27】



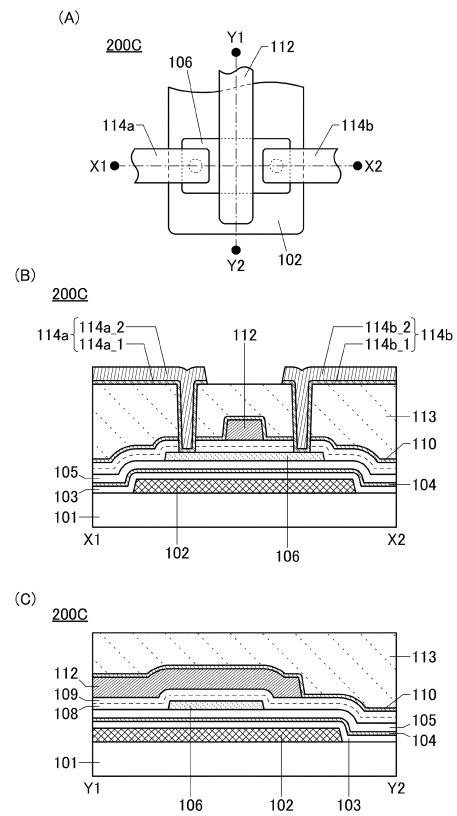
【図 28】



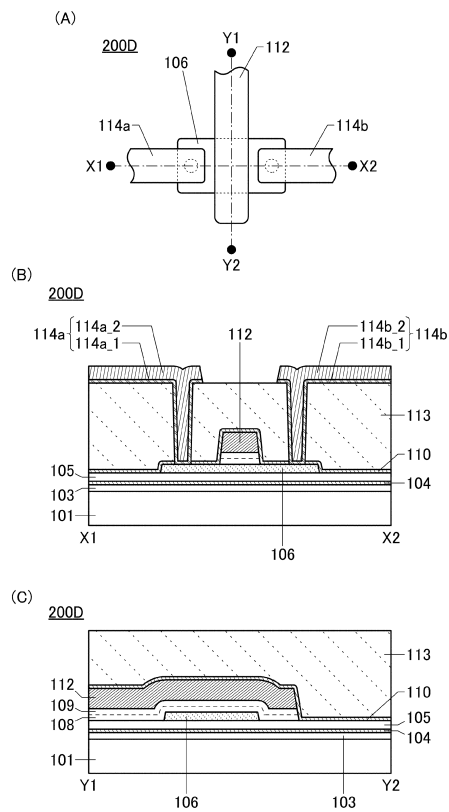
【 図 2 9 】



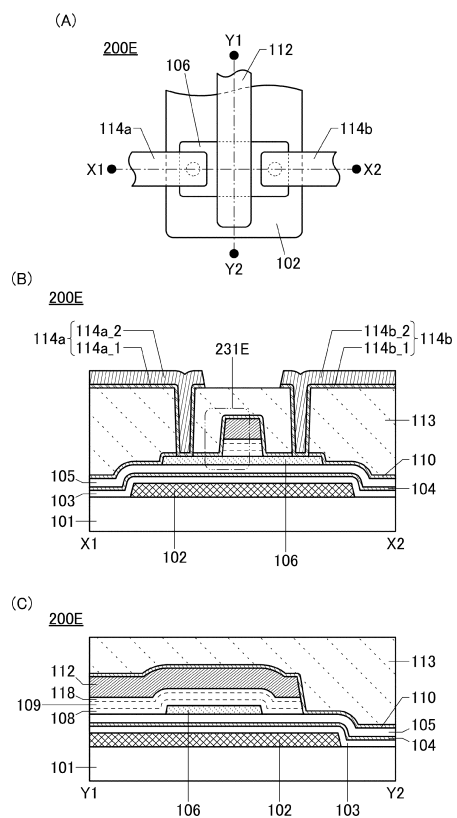
【 図 3 0 】



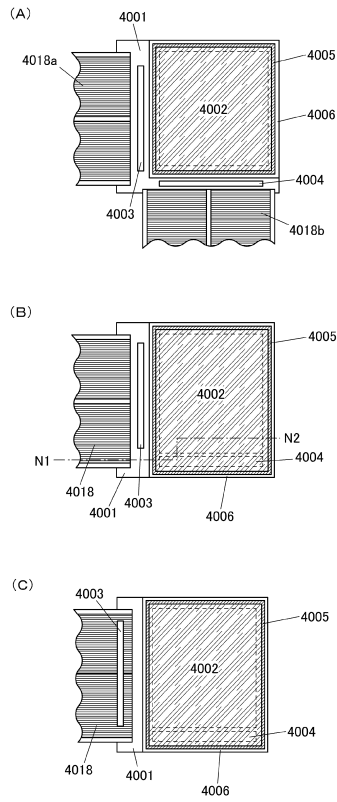
【 図 3 1 】



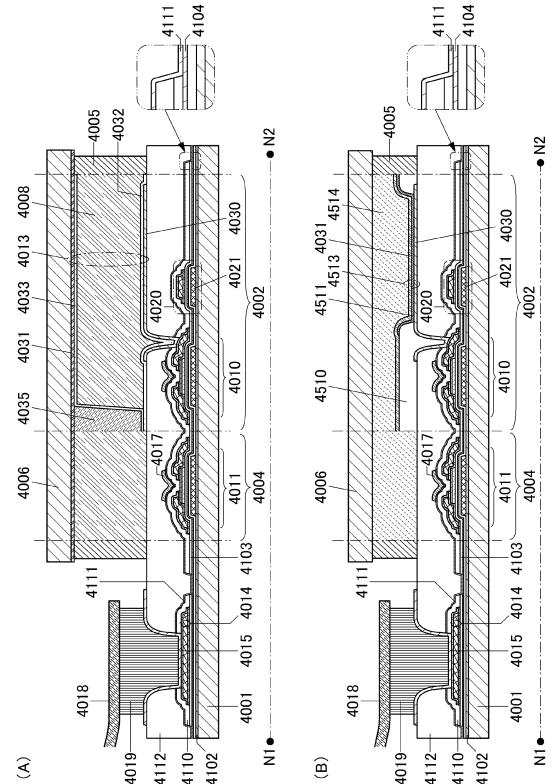
【 図 3 2 】



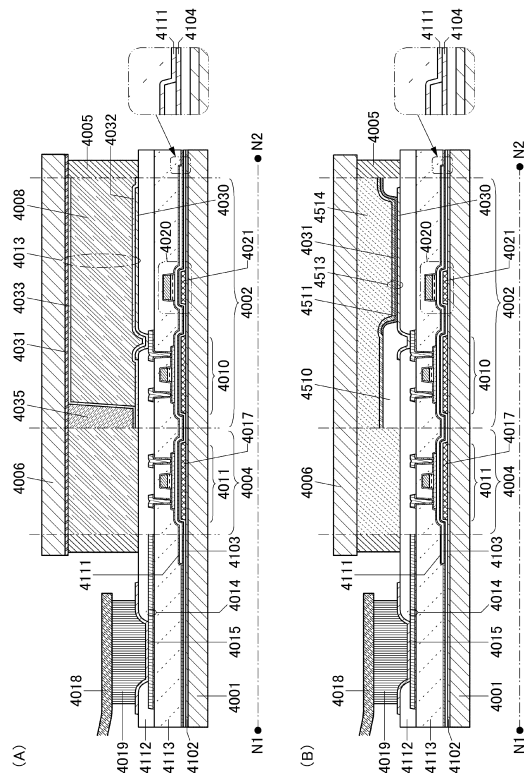
【図 37】



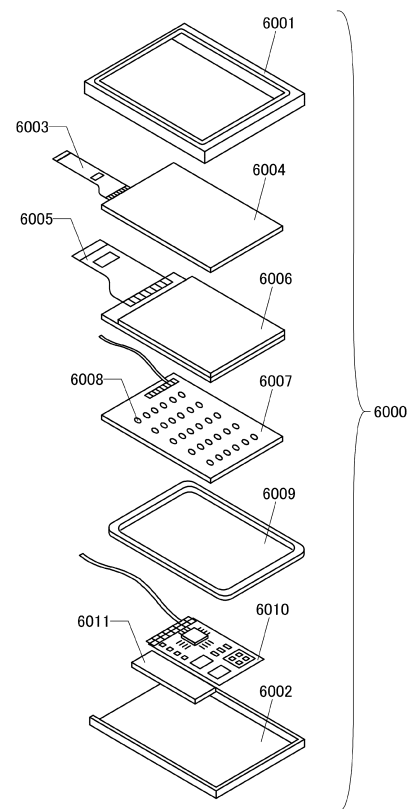
【図 38】



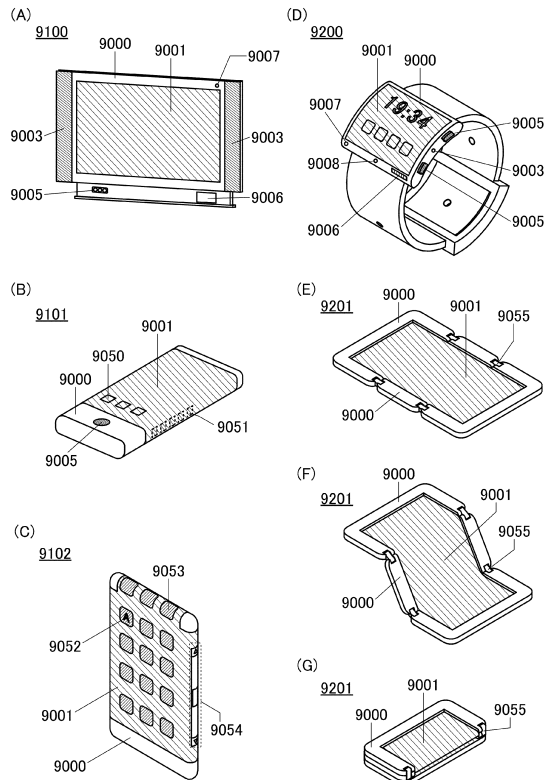
【図 39】



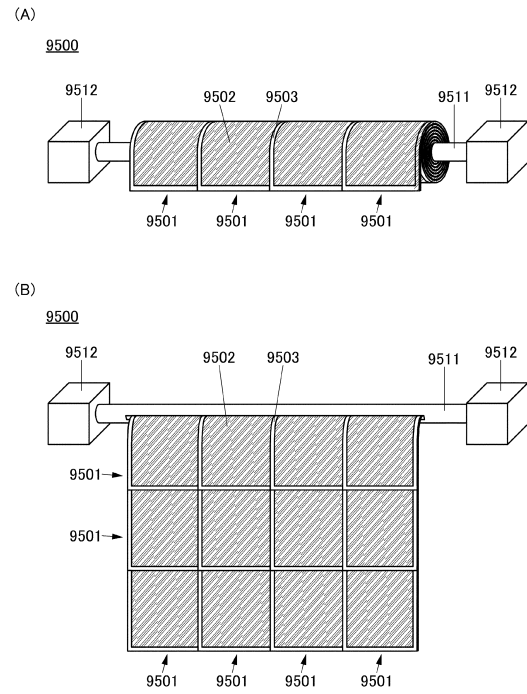
【図 40】



【図 4 1】



【図 4 2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I		
	H 0 1 L	29/78	6 1 6 V
	H 0 1 L	29/78	6 2 7 F
	H 0 1 L	29/78	6 2 7 B

(56)参考文献 特開2014-103389(JP,A)
特開2013-065843(JP,A)
特開2014-030003(JP,A)
特開2014-199918(JP,A)
特開2013-179290(JP,A)
特開2015-026830(JP,A)
特開2016-021563(JP,A)
特開2013-201428(JP,A)
特開2015-012131(JP,A)
特開2014-210702(JP,A)
特開2014-030001(JP,A)
特開2011-139049(JP,A)
特開2015-213164(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L	2 1 / 3 3 6
H 0 1 L	2 9 / 7 8 6
G 0 9 F	9 / 3 0