(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6367655号
(P6367655)

(45)発行日　平成30年8月1日(2018.8.1)　(24)登録日　平成30年7月13日(2018.7.13)

(51)Int.Cl.		F I		
H01L 29/786	***(2006.01)***	H01L	29/78	613Z
H01L 21/336	***(2006.01)***	H01L	29/78	618B
G02F 1/1368	***(2006.01)***	H01L	29/78	619A
		H01L	29/78	627Z
		G02F	1/1368	

請求項の数 3　(全 46 頁)

(21)出願番号　特願2014-180815(P2014-180815)
(22)出願日　平成26年9月5日(2014.9.5)
(65)公開番号　特開2015-179811(P2015-179811A)
(43)公開日　平成27年10月8日(2015.10.8)
審査請求日　平成29年9月1日(2017.9.1)
(31)優先権主張番号　特願2013-191164(P2013-191164)
(32)優先日　平成25年9月13日(2013.9.13)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願2014-38611(P2014-38611)
(32)優先日　平成26年2月28日(2014.2.28)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000153878
株式会社半導体エネルギー研究所
神奈川県厚木市長谷３９８番地
(72)発明者　鈴木　幸恵
神奈川県厚木市長谷３９８番地　株式会社半導体エネルギー研究所内
(72)発明者　小野　幸治
栃木県栃木市都賀町升塚１６１－２　アドバンスト　フィルム　ディバイス　インク株式会社内
(72)発明者　後藤　尚人
栃木県栃木市都賀町升塚１６１－２　アドバンスト　フィルム　ディバイス　インク株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体装置の作製方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
絶縁表面上にゲート電極及びゲート絶縁膜を形成し、
ゲート絶縁膜上に第１の金属酸化物膜及び第１の導電膜を形成し、
前記第１の導電膜上に、第１の厚さを有する領域、及び第１の厚さよりも厚い第２の厚さを有する領域を有する第１のマスクと、前記第１の厚さと同じ厚さを有する第２のマスクを形成し、
前記第１のマスク及び前記第２のマスクを用いて、前記第１の導電膜及び前記第１の金属酸化物膜をそれぞれエッチングして、第２の導電膜及び第３の導電膜、並びに第２の金属酸化物膜及び第３の金属酸化物膜を形成し、
前記第１のマスクを加工して第３のマスクを形成すると共に、前記第２のマスクを取り除いた後、前記第３のマスクを用いて前記第２の導電膜をエッチングして、前記第２の金属酸化物膜上に、ソース電極及びドレイン電極として機能する第４の導電膜及び第５の導電膜を形成すると共に、前記第３の導電膜を取り除き、
前記第２の金属酸化物膜、前記第４の導電膜、及び前記第５の導電膜上に、第１の絶縁膜を形成し、
前記第１の絶縁膜及び前記第３の金属酸化物膜上に、第２の絶縁膜を形成し、
前記第１の絶縁膜及び前記第２の絶縁膜の一部をエッチングして、前記第１の絶縁膜及び前記第２の絶縁膜に開口部を形成した後、前記第５の導電膜に接する、画素電極として機能する第６の導電膜、及び前記第３の金属酸化物膜に接する、容量線として機能する第

７の導電膜を形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。
【請求項２】
絶縁表面上にゲート電極及びゲート絶縁膜を形成し、
前記ゲート絶縁膜上に第１の金属酸化物膜及び第１の導電膜を形成し、
前記第１の導電膜上に、第１の厚さを有する領域、及び第１の厚さよりも厚い第２の厚さを有する領域を有する第１のマスクと、前記第１の厚さと同じ厚さを有する第２のマスクをそれぞれ形成し、
前記第１のマスク及び前記第２のマスクを用いて、前記第１の導電膜及び前記第１の金属酸化物膜をそれぞれエッチングして、第２の導電膜及び第３の導電膜、並びに第２の金属酸化物膜及び第３の金属酸化物膜を形成し、
前記第１のマスクを加工して第３のマスクを形成すると共に、前記第２のマスクを加工して第４のマスクを形成し、
前記第３のマスクを用いて前記第２の導電膜をエッチングして、前記第２の金属酸化物膜上に、ソース電極及びドレイン電極として機能する第４の導電膜及び第５の導電膜を形成すると共に、前記第４のマスクを用いて前記第３の導電膜をエッチングして、前記第３の金属酸化物膜上に、容量線として機能する第６の導電膜を形成し、
前記第２の金属酸化物膜、前記第４の導電膜、及び前記第５の導電膜上に、第１の絶縁膜を形成し、
前記第１の絶縁膜及び前記第３の金属酸化物膜上に、第２の絶縁膜を形成し、
前記第１の絶縁膜及び前記第２の絶縁膜の一部をエッチングして、前記第１の絶縁膜及び前記第２の絶縁膜に開口部を形成した後、前記第５の導電膜に接する、画素電極として機能する第７の導電膜、及び前記第６の導電膜に接する、容量線として機能する第８の導電膜を形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。
【請求項３】
絶縁表面上にゲート電極及びゲート絶縁膜を形成し、
前記ゲート絶縁膜上に第１の金属酸化物膜及び第１の導電膜を形成し、
前記第１の導電膜上に、第１の厚さを有する領域、及び第１の厚さよりも厚い第２の厚さを有する領域を有する第１のマスクを形成し、
前記第１のマスクを用いて、前記第１の導電膜及び前記第１の金属酸化物膜をそれぞれエッチングして、第２の導電膜及び第２の金属酸化物膜を形成し、
前記第１のマスクを加工して第２のマスクを形成した後、前記第２のマスクを用いて前記第２の導電膜をエッチングして、前記第２の金属酸化物膜上に、ソース電極及びドレイン電極として機能する第３の導電膜及び第４の導電膜を形成し、
前記第２の金属酸化物膜、前記第３の導電膜、及び前記第４の導電膜上に、前記第２の金属酸化物膜の一部を露出する第１の絶縁膜を形成し、
前記第１の絶縁膜及び露出された前記第２の金属酸化物膜上に、第２の絶縁膜を形成し、
前記第１の絶縁膜及び前記第２の絶縁膜の一部をエッチングして、前記第１の絶縁膜及び前記第２の絶縁膜に開口部を形成した後、前記第３の導電膜に接し、且つ信号線として機能する第５の導電膜を形成するとともに、コモン電極として機能する第６の導電膜を形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
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、マニュファクチャ、または、組成物（コンポジション・オブ・マター）に関する。特に、本発明の一態様は、半導体装置、表示装置、発光装置、蓄電装置、記憶装置、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、本発明は、例えば、トランジスタを有する半導体装置の作製方法に関する。
【背景技術】

【０００２】
液晶表示装置や発光表示装置に代表されるフラットパネルディスプレイの多くに用いられているトランジスタは、ガラス基板上に形成されたアモルファスシリコン、単結晶シリコンまたは多結晶シリコンなどのシリコン半導体によって構成されている。また、該シリコン半導体を用いたトランジスタは、集積回路（ＩＣ）などにも利用されている。
【０００３】
近年、シリコン半導体に代わって、半導体特性を示す金属酸化物をトランジスタに用いる技術が注目されている。なお、本明細書中では、半導体特性を示す金属酸化物を酸化物半導体とよぶことにする。
【０００４】
例えば、酸化物半導体として、酸化亜鉛、またはＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ系酸化物を用いたトランジスタを作製し、該トランジスタを表示装置の画素のスイッチング素子などに用いる技術が開示されている（特許文献１参照）。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特開２００７－１２３８６１号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
市場で販売されている表示装置は、画面サイズが対角４０インチ以上と大型化する傾向にあり、さらには、対角１２０インチ以上の画面サイズも視野に入れた開発が行われている。このため、表示装置に用いられるガラス基板においては、第８世代以上の大面積化が進んでいる。
【０００７】
ガラス基板の大面積化に伴い、表示装置の作製工程で使用される露光装置において、使用されるフォトマスクが大きくなり、フォトマスクの価格が問題となっている。例えば、第１０世代のフォトマスクは１枚１億円以上と高価であるため、フォトマスクの枚数を削減した作製工程の開発が求められている。
【０００８】
一方で、表示装置の一例である液晶表示装置において、容量素子の電荷容量値を大きくするほど、電界を加えた状況において、液晶素子の液晶分子の配向を一定に保つことができる期間を長くすることができる。静止画を表示させる表示装置において、当該期間を長くできることは、画像データを書き換える回数を低減することができ、消費電力の低減が望める。
【０００９】
そこで、容量素子の電荷容量を大きくするためには、容量素子の占有面積を大きくする、具体的には一対の電極が重畳している面積を大きくするという手段がある。しかしながら、上記表示装置において、一対の電極が重畳している面積を大きくするために遮光性を有する導電膜の面積を大きくすると、画素の開口率が低減し、画像の表示品位が低下する。
【００１０】
そこで、本発明の一態様は、開口率が高く、且つ電荷容量を増大させることが可能な容量素子を有する半導体装置において、コストを削減することが可能な作製方法を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様は、消費電力を低減する可能な半導体装置において、コストを削減することが可能な作製方法を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様は、新規な半導体装置を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様は、新規な表示装置を提供することを課題の一とする。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、必ずしも、これらの課題の全てを解決する必要はない。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】

【００１１】

本発明の一態様は、多階調フォトマスクを用いた工程により形成されるマスクを用いて、チャネル領域を有する金属酸化物膜と、画素電極として機能する金属酸化物膜と、ソース電極及びドレイン電極とを形成することを特徴とする。多階調フォトマスクを用いることで、第１の厚さ及び該第１の厚さより厚い第２の厚さを有する第１の形状のマスクが形成される。該第１の形状のマスクを用いて、基板上の金属酸化物膜及び導電膜をエッチングして、チャネル領域を有する金属酸化物膜及び、画素電極として機能する金属酸化物膜を形成する。次に、該第１の形状のマスクを加工して第１の厚さの領域のマスクを除去し、第２の厚さ領域を残存させて、第２の形状のマスクとする。次に、第２の形状のマスクを用いて、金属酸化物膜上に形成される導電膜をエッチングして、ソース電極及びドレイン電極を形成する。なお、当該工程において、容量線を形成してもよい。さらに、チャネル領域を有する金属酸化物膜上に酸化物絶縁膜を形成し、該酸化物絶縁膜及び画素電極として機能する金属酸化物膜上に窒化物絶縁膜を形成することで、画素電極として機能する金属酸化物膜の導電性を高めることが可能である。

【００１２】

本発明の一態様は、絶縁表面上にゲート電極及びゲート絶縁膜を形成し、ゲート絶縁膜上に第１の金属酸化物膜及び第１の導電膜を形成し、第１の導電膜上に、第１の厚さを有する領域、及び第１の厚さよりも厚い第２の厚さを有する領域を有する第１のマスクと、第１の厚さと同じ厚さを有する第２のマスクを形成し、第１のマスク及び第２のマスクを用いて、第１の導電膜及び第１の金属酸化物膜をそれぞれエッチングして、第２の導電膜及び第３の導電膜、並びに第２の金属酸化物膜及び第３の金属酸化物膜を形成する。次に、第１のマスクを加工して第３のマスクを形成すると共に、第２のマスクを取り除いた後、第３のマスクを用いて第２の導電膜をエッチングして、第２の金属酸化物膜上に、ソース電極及びドレイン電極として機能する第４の導電膜及び第５の導電膜を形成すると共に、第３の導電膜を取り除く。次に、第２の金属酸化物膜、第４の導電膜、及び第５の導電膜上に第１の絶縁膜を形成し、第１の絶縁膜及び第３の金属酸化物膜上に、第２の絶縁膜を形成した後、第１の絶縁膜及び第２の絶縁膜の一部をエッチングして、第１の絶縁膜及び第２の絶縁膜に開口部を形成する。次に、第５の導電膜に接する、画素電極として機能する第６の導電膜、及び第３の金属酸化物膜に接する、容量線として機能する第７の導電膜を形成する半導体装置の作製方法である。

【００１３】

なお、第１の絶縁膜は、第３の金属酸化物膜上において開口部を有する。

【００１４】

また、第２の金属酸化物膜と、第３の金属酸化物膜とは、水素濃度が異なる。具体的には、第３の金属酸化物膜は、第２の金属酸化物膜より水素濃度が高い。

【００１５】

また、第３の金属酸化物膜は、導電性を有し、第３の金属酸化物膜、第２の絶縁膜、及び透光性を有する導電膜で容量素子を構成する。

【００１６】

また、第１の金属酸化物膜、第２の金属酸化物膜、及び第３の金属酸化物膜は、透光性を有する。また、第１の金属酸化物膜、第２の金属酸化物膜、及び第３の金属酸化物膜は、Ｉｎ、Ｇａ、及びＺｎの少なくとも一を有する。また、第１の金属酸化物膜、第２の金属酸化物膜、及び第３の金属酸化物膜は、同じ金属元素で構成されていることが好ましい。

【００１７】

また、第１の絶縁膜は、酸化物絶縁膜を用いて形成する。なお、第１の絶縁膜は、加熱により酸素の一部が脱離する酸化物絶縁膜を含むことが好ましい。また、第２の絶縁膜は

、窒化物絶縁膜を用いて形成する。
【発明の効果】
【００１８】
本発明の一態様により、開口率が高く、且つ電荷容量を増大させることが可能な容量素子を有する半導体装置の作製方法において、コストを削減することができる。消費電力を低減する可能な半導体装置の作製方法において、コストを削減することができる。または、本発明の一態様により、新規な半導体装置を提供することができる。または、本発明の一態様により、新規な表示装置を提供することができる。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、必ずしも、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】
【００１９】
【図１】半導体装置の一形態を説明するブロック図及び回路図である。
【図２】画素の一形態を説明する上面図である。
【図３】素子基板の作製方法の一形態を説明する断面図である。
【図４】素子基板の作製方法の一形態を説明する断面図である。
【図５】素子基板の作製方法の一形態を説明する断面図である。
【図６】画素の一形態を説明する上面図である。
【図７】素子基板の作製方法の一形態を説明する断面図である。
【図８】画素の一形態を説明する上面図である。
【図９】素子基板の作製方法の一形態を説明する断面図である。
【図１０】素子基板の作製方法の一形態を説明する断面図である。
【図１１】トランジスタの一形態を説明する断面図である。
【図１２】電子機器を説明する図である。
【図１３】素子基板の一形態を説明する断面図である。
【図１４】画素の一形態を説明する上面図である。
【図１５】トランジスタの一形態を説明する断面図である。
【図１６】表示モジュールを説明する図である。
【図１７】抵抗率の温度依存性を説明する図である。
【図１８】試料の構造を説明する上面図及び断面図である。
【図１９】金属酸化物膜の抵抗値を説明する図である。
【発明を実施するための形態】
【００２０】
以下では、本発明の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。ただし、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及び実施例の記載内容に限定して解釈されるものではない。また、以下に説明する実施の形態及び実施例において、同一部分または同様の機能を有する部分には、同一の符号または同一のハッチパターン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。
【００２１】
なお、本明細書で説明する各図において、各構成の大きさ、膜の厚さ、または領域は、明瞭化のために誇張されている場合がある。よって、必ずしもそのスケールに限定されない。
【００２２】
また、本明細書にて用いる第１、第２、第３などの用語は、構成要素の混同を避けるために付したものであり、数的に限定するものではない。そのため、例えば、「第１の」を「第２の」または「第３の」などと適宜置き換えて説明することができる。

【００２３】
　また、「ソース」や「ドレイン」の機能は、回路動作において電流の方向が変化する場合などには入れ替わることがある。このため、本明細書においては、「ソース」や「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。
【００２４】
　また、電圧とは２点間における電位差のことをいい、電位とはある一点における静電場の中にある単位電荷が持つ静電エネルギー（電気的な位置エネルギー）のことをいう。ただし、一般的に、ある一点における電位と基準となる電位（例えば接地電位）との電位差のことを、単に電位もしくは電圧と呼び、電位と電圧が同義語として用いられることが多い。このため、本明細書では特に指定する場合を除き、電位を電圧と読み替えてもよいし、電圧を電位と読み替えてもよいこととする。
【００２５】
　本明細書において、フォトリソグラフィ工程を行った後にエッチング工程を行う場合は、フォトリソグラフィ工程で形成したマスクは除去するものとする。
【００２６】
（実施の形態１）
　本実施の形態では、開口率が高く、且つ電荷容量を増大させることが可能な容量素子を有する半導体装置において、コストを削減することが可能な作製方法を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様は、消費電力を低減する可能な半導体装置において、コストを削減することが可能な作製方法を提供することを課題の一とする。
【００２７】
　なお、金属酸化物において、半導体特性を有する金属酸化物である酸化物半導体を用いたトランジスタにおいて、トランジスタの電気特性の不良に繋がる欠陥の一例として酸素欠損がある。例えば、膜中に酸素欠損が含まれている酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、しきい値電圧がマイナス方向に変動しやすく、ノーマリーオン特性となりやすい。これは、酸化物半導体膜に含まれる酸素欠損に起因して電荷が生じ、低抵抗化するためである。トランジスタがノーマリーオン特性を有すると、動作時に動作不良が発生しやすくなる、または非動作時の消費電力が高くなるなどの、様々な問題が生じる。また、経時変化やストレス試験により、トランジスタの電気特性、代表的にはしきい値電圧の変動量が増大するという問題がある。
【００２８】
　また、酸素欠損に限らず、絶縁膜の構成元素であるシリコンや炭素等の不純物も、トランジスタの電気特性の不良の原因となる。このため、該不純物が、酸化物半導体膜に混入することにより、当該酸化物半導体膜が低抵抗化してしまい、経時変化やストレス試験により、トランジスタの電気特性、代表的にはしきい値電圧の変動量が増大するという問題がある。
【００２９】
　そこで、本実施の形態では、発明が解決しようとする課題の他に、酸化物半導体膜を有するトランジスタを備える半導体装置において、チャネル領域である酸化物半導体膜への酸素欠損、及び酸化物半導体膜の不純物濃度を低減することを課題の一とする。
【００３０】
　本実施の形態では、上記課題の一を解決する方法として、半導体装置の作製方法について図面を参照して説明する。本実施の形態では、多階調フォトマスクを用いた工程により、チャネル領域を有する金属酸化物膜と、ソース電極及びドレイン電極とを形成することを特徴とする。
【００３１】
　図１（Ａ）に、半導体装置の一例を示す。図１（Ａ）に示す半導体装置は、画素部１１と、走査線駆動回路１４と、信号線駆動回路１６と、各々が平行または略平行に配設され、且つ走査線駆動回路１４によって電位が制御されるｍ本の走査線１７と、各々が平行または略平行に配設され、且つ信号線駆動回路１６によって電位が制御されるｎ本の信号線

１９と、を有する。さらに、画素部１１はマトリクス状に配設された複数の画素１３を有する。また、信号線１９に沿って、各々が平行または略平行に配設された容量線１５を有する。なお、容量線１５は、走査線１７に沿って、各々が平行または略平行に配設されていてもよい。また、走査線駆動回路１４及び信号線駆動回路１６をまとめて駆動回路部という場合がある。

【００３２】

各走査線１７は、画素部１１においてｍ行ｎ列に配設された画素１３のうち、いずれかの行に配設されたｎ個の画素１３と電気的に接続される。また、各信号線１９は、ｍ行ｎ列に配設された画素１３のうち、いずれかの列に配設されたｍ個の画素１３に電気的と接続される。ｍ、ｎは、ともに１以上の整数である。また、各容量線１５は、ｍ行ｎ列に配設された画素１３のうち、いずれかの行に配設されたｎ個の画素１３と電気的に接続される。なお、容量線１５が、信号線１９に沿って、各々が平行または略平行に配設されている場合は、ｍ行ｎ列に配設された画素１３のうち、いずれかの列に配設されたｍ個の画素１３に電気的と接続される。

【００３３】

図１（Ｂ）、（Ｃ）は、図１（Ａ）に示す表示装置の画素１３に用いることができる回路構成の一例を示している。

【００３４】

図１（Ｂ）に示す画素１３は、液晶素子２１と、トランジスタ２２と、容量素子２５と、を有する。

【００３５】

液晶素子２１の一対の電極の一方の電位は、画素１３の仕様に応じて適宜設定される。液晶素子２１は、書き込まれるデータにより配向状態が設定される。また、複数の画素１３のそれぞれが有する液晶素子２１の一対の電極の一方に共通の電位（コモン電位）を与えてもよい。また、各行の画素１３毎の液晶素子２１の一対の電極の一方に異なる電位を与えてもよい。

【００３６】

なお、液晶素子２１は、液晶の光学的変調作用によって光の透過または非透過を制御する素子である。なお、液晶の光学的変調作用は、液晶にかかる電界（横方向の電界、縦方向の電界又は斜め方向の電界を含む）によって制御される。なお、液晶素子２１としては、ネマチック液晶、コレステリック液晶、スメクチック液晶、サーモトロピック液晶、ライオトロピック液晶、強誘電液晶、反強誘電液晶等が挙げられる。

【００３７】

液晶素子２１を有する表示装置の駆動方法としては、例えば、ＴＮモード、ＶＡモード、ＡＳＭ（Ａｘｉａｌｌｙ　Ｓｙｍｍｅｔｒｉｃ　Ａｌｉｇｎｅｄ　Ｍｉｃｒｏ－ｃｅｌｌ）モード、ＯＣＢ（Ｏｐｔｉｃａｌｌｙ　Ｃｏｍｐｅｎｓａｔｅｄ　Ｂｉｒｅｆｒｉｎｇｅｎｃｅ）モード、ＭＶＡモード、ＰＶＡ（Ｐａｔｔｅｒｎｅｄ　Ｖｅｒｔｉｃａｌ　Ａｌｉｇｎｍｅｎｔ）モード、ＩＰＳモード、ＦＦＳモード、またはＴＢＡ（Ｔｒａｎｓｖｅｒｓｅ　Ｂｅｎｄ　Ａｌｉｇｎｍｅｎｔ）モードなどを用いてもよい。ただし、これに限定されず、液晶素子及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。

【００３８】

また、ブルー相（Ｂｌｕｅ　Ｐｈａｓｅ）を示す液晶とカイラル剤とを含む液晶組成物により液晶素子を構成してもよい。ブルー相を示す液晶は、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、且つ視野角依存性が小さい。

【００３９】

図１（Ｂ）に示す画素１３の構成において、トランジスタ２２のソース電極及びドレイン電極の一方は、信号線１９に電気的に接続され、他方は液晶素子２１の一対の電極の他方に電気的に接続される。また、トランジスタ２２のゲート電極は、走査線１７に電気的に接続される。トランジスタ２２は、オン状態またはオフ状態になることにより、データ信号のデータの書き込みを制御する機能を有する。なお、トランジスタ２２は、実施の形

態１乃至実施の形態７のいずれかに示すトランジスタを用いることができる。
【００４０】
図１（Ｂ）に示す画素１３の構成において、容量素子２５の一対の電極の一方は、電位が供給される容量線１５に電気的に接続され、他方は、液晶素子２１の一対の電極の他方に電気的に接続される。なお、容量線１５の電位の値は、画素１３の仕様に応じて適宜設定される。容量素子２５は、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。
【００４１】
例えば、図１（Ｂ）の画素１３を有する表示装置では、走査線駆動回路１４により各行の画素１３を順次選択し、トランジスタ２２をオン状態にしてデータ信号のデータを書き込む。
【００４２】
データが書き込まれた画素１３は、トランジスタ２２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、画像を表示できる。
【００４３】
また、図１（Ｃ）に示す画素１３は、表示素子のスイッチングを行うトランジスタ３３と、画素の駆動を制御するトランジスタ２２と、トランジスタ３５と、容量素子２５と、発光素子３１と、を有する。
【００４４】
発光素子３１の一例としては、陽極と、陰極と、陽極と陰極との間に挟まれたＥＬ層と、を有する素子などがある。ＥＬ層の一例としては、１重項励起子からの発光（蛍光）が可能な材料を有する層、３重項励起子からの発光（燐光）が可能な材料を有する層、１重項励起子からの発光（蛍光）が可能な材料及び３重項励起子からの発光（燐光）が可能な材料を有する層などがある。
【００４５】
トランジスタ３３のソース電極及びドレイン電極の一方は、データ信号が与えられる信号線１９に電気的に接続される。さらに、トランジスタ３３のゲート電極は、ゲート信号が与えられる走査線１７に電気的に接続される。
【００４６】
トランジスタ３３は、オン状態またはオフ状態になることにより、データ信号のデータの書き込みを制御する機能を有する。
【００４７】
トランジスタ２２のソース電極及びドレイン電極の一方は、アノード線として機能する配線３７と電気的に接続され、トランジスタ２２のソース電極及びドレイン電極の他方は、発光素子３１の一方の電極に電気的に接続される。さらに、トランジスタ２２のゲート電極は、トランジスタ３３のソース電極及びドレイン電極の他方、及び容量素子２５の一方の電極に電気的に接続される。
【００４８】
トランジスタ２２は、オン状態またはオフ状態になることにより、発光素子３１に流れる電流を制御する機能を有する。
【００４９】
トランジスタ３５のソース電極及びドレイン電極の一方はデータの基準電位が与えられる配線３９と接続され、トランジスタ３５のソース電極及びドレイン電極の他方は、発光素子３１の一方の電極、及び容量素子２５の他方の電極に電気的に接続される。さらに、トランジスタ３５のゲート電極は、ゲート信号が与えられる走査線１７に電気的に接続される。
【００５０】
トランジスタ３５は、発光素子３１に流れる電流を調整する機能を有する。例えば、発光素子３１が劣化等により、発光素子３１の内部抵抗が上昇した場合、トランジスタ３５のソース電極及びドレイン電極の一方が接続された配線３９に流れる電流をモニタリング

することで、発光素子３１に流れる電流を補正することができる。配線３９に与えられる電位としては、例えば、０Ｖとすることができる。

【００５１】

容量素子２５の一対の電極の一方は、トランジスタ３３のソース電極及びドレイン電極の他方、及びトランジスタ２２のゲート電極と電気的に接続され、容量素子２５の一対の電極の他方は、トランジスタ３５のソース電極及びドレイン電極の他方、及び発光素子３１の一方の電極に電気的に接続される。

【００５２】

図１（Ｃ）に示す画素１３の構成において、容量素子２５は、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。

【００５３】

発光素子３１の一対の電極の一方は、トランジスタ３５のソース電極及びドレイン電極の他方、容量素子２５の他方、及びトランジスタ２２のソース電極及びドレイン電極の他方と電気的に接続される。また、発光素子３１の一対の電極の他方は、カソードとして機能する配線４１に電気的に接続される。

【００５４】

発光素子３１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３１としては、これに限定されず、無機材料からなる無機ＥＬ素子を用いても良い。

【００５５】

なお、配線３７及び配線４１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。図１（Ｃ）に示す構成においては、配線３７に高電源電位ＶＤＤを、配線４１に低電源電位ＶＳＳを、それぞれ与える構成としている。

【００５６】

図１（Ｃ）の画素１３を有する表示装置では、走査線駆動回路１４により各行の画素１３を順次選択し、トランジスタ２２をオン状態にしてデータ信号のデータを書き込む。

【００５７】

データが書き込まれた画素１３は、トランジスタ２２がオフ状態になることで保持状態になる。さらに、トランジスタ２２は、容量素子２５と接続しているため、書き込まれたデータを長時間保持することが可能となる。また、トランジスタ３３により、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３１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。

【００５８】

なお、本明細書等において、表示素子、表示素子を有する装置である表示装置、発光素子、及び発光素子を有する装置である発光装置は、様々な形態を用いること、または様々な素子を有することができる。表示素子、表示装置、発光素子または発光装置の一例としては、ＥＬ（エレクトロルミネッセンス）素子（有機物及び無機物を含むＥＬ素子、有機ＥＬ素子、無機ＥＬ素子）、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、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）、など、電気磁気的作用により、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。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）またはＳＥＤ方式平面型ディスプレイ（ＳＥＤ：Ｓｕｒｆａｃｅ－ｃｏｎｄｕｃｔｉｏｎ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎ－ｅｍｉｔｔｅｒ　Ｄｉｓｐｌａｙ）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。電子インクまたは電気泳動素子を用いた表示装置の一例としては、電子ペーパなどがある。

【００５９】

次いで、画素１３に液晶素子を用いた液晶表示装置の素子基板の具体的な例について説明する。ここでは、図１（Ｂ）に示す画素１３の上面図を図２に示す。

【００６０】

図２において、走査線として機能する導電膜１０３は、信号線に略直交する方向（図中左右方向）に延伸して設けられている。信号線として機能する導電膜１１４は、走査線に略直交する方向（図中上下方向）に延伸して設けられている。容量線として機能する導電膜１１６は、信号線と平行方向に延伸して設けられている。なお、導電膜１１６は、画素ごとに分離されている。このため、導電膜１２４が隣接する画素の導電膜１１６と接続することで、隣接する画素の導電膜１１６は電気的に接続されている。なお、走査線として機能する導電膜１０３は、走査線駆動回路１４（図１（Ａ）を参照。）と電気的に接続されており、信号線として機能する導電膜１１４と、容量線として機能する導電膜１１６及び導電膜１２４は、信号線駆動回路１６（図１（Ａ）を参照。）に電気的に接続されている。

【００６１】

トランジスタ２２は、走査線及び信号線が交差する領域に設けられている。トランジスタ２２は、ゲート電極として機能する導電膜１０３、ゲート絶縁膜（図２に図示せず。）、ゲート絶縁膜上に形成されたチャネル領域が形成される金属酸化物膜１０９ａ、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜１１４、１１５により構成される。なお、導電膜１０３は、走査線としても機能し、金属酸化物膜１０９ａと重畳する領域がトランジスタ２２のゲート電極として機能する。また、導電膜１１４は、信号線としても機能し、金属酸化物膜１０９ａと重畳する領域がトランジスタ２２のソース電極またはドレイン電極として機能する。

【００６２】

本実施の形態において、平面形状において、導電膜１１４、１１５の端部の外側に金属酸化物膜１０９ａの端部が位置することを特徴とする。また、容量線として機能する導電膜１１６の端部の外側に金属酸化物膜１０９ｃの端部が位置することを特徴とする。

【００６３】

金属酸化物膜１０９ａは半導体特性を有する金属酸化物を用いて形成されているため、導電膜１１４及び導電膜１１５の間の金属酸化物膜１０９ａにおいて、チャネル領域が形成される。

【００６４】

また、導電膜１１５は、画素電極として機能する透光性を有する導電膜１２３と電気的に接続されている。

【００６５】

金属酸化物膜１０９ｃは、金属酸化物膜１０９ａと同時に形成された膜であり、且つプラズマダメージ等により酸素欠損が形成され、導電性が高められた膜である。または、金属酸化物膜１０９ｃは、金属酸化物膜１０９ａと同時に形成された膜であり、且つ不純物を含むことにより導電性が高められた膜である。または、金属酸化物膜１０９ｃは、金属酸化物膜１０９ａと同時に形成された膜であり、且つ不純物を含むと共に、プラズマダメージ等により酸素欠損が形成され、導電性が高められた膜である。

【００６６】

容量素子２５は、ゲート絶縁膜上に形成される金属酸化物膜１０９ｃと、画素電極として機能する透光性を有する導電膜１２３と、トランジスタ２２上に設けられる窒化物絶縁膜で形成される誘電体膜とで構成されている。金属酸化物膜１０９ｃは透光性を有するため、容量素子２５は透光性を有する。また、容量素子２５一対の電極の一方として機能する金属酸化物膜１０９ｃが、容量線として機能する導電膜１１６と接続されている。

【００６７】

このように容量素子２５は透光性を有するため、画素１３内に容量素子２５を大きく（大面積に）形成することができる。従って、開口率を高めつつ、５０％以上、好ましくは５５％以上、好ましくは６０％以上とすることが可能であると共に、電荷容量を増大させ

た半導体装置を得ることができる。例えば、解像度の高い半導体装置、例えば液晶表示装置においては、画素の面積が小さくなり、容量素子の面積も小さくなる。このため、解像度の高い半導体装置において、容量素子に蓄積される電荷容量が小さくなる。しかしながら、本実施の形態に示す容量素子２５は透光性を有するため、当該容量素子を画素に設けることで、各画素において十分な電荷容量を得つつ、開口率を高めることができる。代表的には、画素密度が２００ｐｐｉ以上、さらには３００ｐｐｉ以上、さらには５００ｐｐｉ以上である高解像度の半導体装置に好適に用いることができる。

【００６８】

また、図２に示す画素１３は、走査線として機能する導電膜１０３と平行な辺と比較して、信号線として機能する導電膜１１４と平行な辺の方が短い形状であり、且つ容量線として機能する導電膜１１６、及び隣接する画素に形成される導電膜１１６を電気的に接続する導電膜１２４が、信号線として機能する導電膜１１４と平行な方向に延伸して設けられている。この結果、画素１３に占める導電膜１１４、１１６の面積を低減することが可能であるため、開口率を高めることができる。

【００６９】

また、本発明の一態様は、高解像度の表示装置においても、開口率を高めることができるため、バックライトなどの光源の光を効率よく利用することができ、表示装置の消費電力を低減することができる。

【００７０】

次に、図２に示す一点破線Ａ－Ｂの断面図、一点破線Ｃ－Ｄの断面図を用いて、表示装置の素子基板の作製方法について、説明する。

【００７１】

図３（Ａ）に示すように、基板１０１上に導電膜１０２を形成する。次に、第１のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、導電膜１０２上にマスク１３１を形成する。

【００７２】

基板１０１の材質などに大きな制限はないが、少なくとも、後の熱処理に耐えうる程度の耐熱性を有している必要がある。例えば、ガラス基板、セラミック基板、石英基板、サファイア基板等を、基板１０１として用いてもよい。また、シリコンや炭化シリコンなどを用いて形成される単結晶半導体基板、多結晶半導体基板、シリコンゲルマニウム等の化合物半導体基板、ＳＯＩ基板等を適用することも可能であり、これらの基板上に半導体素子が設けられたものを、基板１０１として用いてもよい。なお、基板１０１として、ガラス基板を用いる場合、第６世代（１５００ｍｍ×１８５０ｍｍ）、第７世代（１８７０ｍｍ×２２００ｍｍ）、第８世代（２２００ｍｍ×２４００ｍｍ）、第９世代（２４００ｍｍ×２８００ｍｍ）、第１０世代（２９５０ｍｍ×３４００ｍｍ）等の大面積基板を用いることで、大型の表示装置を作製することができる。

【００７３】

また、基板１０１として、可撓性基板を用い、可撓性基板上に直接、導電膜１０２を形成してもよい。または、基板１０１と導電膜１０２の間に剥離層を設け、剥離層上にトランジスタを有する素子部を作製した後、剥離層において基板１０１から素子部を剥離し、別の基板に転載してもよい。この結果、耐熱性の低い基板や可撓性を有する基板上に素子部を設けることができる。

【００７４】

導電膜１０２は、のちにゲート電極として機能する導電膜１０３となる。このため、導電膜１０２は、ゲート電極として用いることが可能な導電材料を適宜用いる。導電膜１０２は、アルミニウム、クロム、銅、タンタル、チタン、モリブデン、タングステンから選ばれた金属元素、または上述した金属元素を成分とする合金か、上述した金属元素を組み合わせた合金等を用いて形成することができる。また、マンガン、ジルコニウムのいずれか一または複数から選択された金属元素を用いてもよい。また、導電膜１０２は、単層構造でも、二層以上の積層構造としてもよい。例えば、シリコンを含むアルミニウム膜の単

層構造、チタン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、窒化チタン膜上にチタン膜を積層する二層構造、窒化チタン膜上にタングステン膜を積層する二層構造、窒化タンタル膜または窒化タングステン膜上にタングステン膜を積層する二層構造、チタン膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜と、そのチタン膜上にアルミニウム膜を積層し、さらにその上にチタン膜を形成する三層構造等がある。また、アルミニウムに、チタン、タンタル、タングステン、モリブデン、クロム、ネオジム、スカンジウムから選ばれた元素の一または複数を組み合わせた合金膜、もしくは窒化膜を用いてもよい。

【００７５】

また、導電膜１０２は、インジウム錫酸化物膜、酸化タングステンを含むインジウム酸化物膜、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物膜、酸化チタンを含むインジウム酸化物膜、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物膜、インジウム亜鉛酸化物膜、酸化シリコンを添加したインジウム錫酸化物膜等の透光性を有する導電性材料で形成される膜を適用することもできる。また、上記透光性を有する導電性材料で形成される膜と、上記金属元素で形成される膜の積層構造とすることもできる。

【００７６】

ここでは、導電膜１０２として、厚さ１００ｎｍのタングステン膜をスパッタリング法により形成する。次に、フォトリソグラフィ工程によりマスクを形成する。

【００７７】

次に、マスク１３１を用いて導電膜１０２の一部をエッチングして、ゲート電極として機能する導電膜１０３を形成する。ドライエッチング法または／及びウェットエッチング法を用いて、導電膜１０２をエッチングすることができる。こののち、マスク１３１を除去する（図３（Ｂ）を参照。）。

【００７８】

ここでは、マスクを用いて、導電膜１０２として形成したタングステン膜をドライエッチングして、ゲート電極として機能する導電膜１０３を形成する。

【００７９】

次に、図３（Ｃ）に示すように、絶縁膜１０５、絶縁膜１０６、金属酸化物膜１０８、導電膜１１０を順に形成する。次に、第２のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、導電膜１１０上にマスク１３３、１３４を形成する。ここでは、第２のフォトマスクとして、多諧調マスクを用いることを特徴とする。

【００８０】

多階調フォトマスクとは、多段階の光量で露光を行うことが可能なマスクであり、代表的には、グレートーンマスク、ハーフトーンマスク等がある。グレートーンマスクは、透光性を有する基板上に、遮光部及び回折格子が形成される。回折格子はスリット、ドット、メッシュ等の光透過領域の間隔が、露光に用いる光の解像度限界以下の間隔であり、当該構成により、光の透過率を制御する。ハーフトーンマスクは、透光性を有する基板上に、遮光部及び半透過部が形成される。半透過部により露光に用いる光の透過率を制御する。

【００８１】

多諧調マスクを用いることで、露光領域、半露光領域、及び未露光領域の３段階の光量で露光を行うことができる。この結果、多階調フォトマスクを用いることで、一度の露光及び現像工程によって、複数（代表的には二種類）の厚さを有するレジストマスクを形成することが可能であり、フォトマスクの枚数を削減することができる。ここでは、金属酸化物膜及び導電膜１１４、１１５、１１６の形成工程において、多階調フォトマスクを用いることで、フォトマスクを１枚削減することができる。

【００８２】

絶縁膜１０５及び絶縁膜１０６は、のちに、ゲート絶縁膜となる。また、絶縁膜１０５は、基板１０１及びゲート電極として機能する導電膜１０３から金属酸化物膜１０８に不純物が拡散するのを防ぐため、窒化物絶縁膜を用いて形成することが好ましい。また、絶縁膜１０６は、金属酸化物膜１０８と接する。絶縁膜１０６及び金属酸化物膜１０８の界

面準位を低減するため、絶縁膜１０６は酸化物絶縁膜を用いて形成することが好ましい。

【００８３】

絶縁膜１０５は、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウムなどを用いて形成すればよく、積層または単層で設ける。

【００８４】

絶縁膜１０６は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ガリウムまたはＧａ－Ｚｎ系金属酸化物などを用いて形成すればよく、積層または単層で設ける。

【００８５】

また、絶縁膜１０６として、ハフニウムシリケート（$HfSiO_x$）、窒素が添加されたハフニウムシリケート（$HfSi_xO_yN_z$）、窒素が添加されたハフニウムアルミネート（$HfAl_xO_yN_z$）、酸化ハフニウム、酸化イットリウムなどのｈｉｇｈ－ｋ材料を用いて形成することでトランジスタのゲートリークを低減できる。

【００８６】

絶縁膜１０５及び絶縁膜１０６の合計の厚さは、５ｎｍ以上４００ｎｍ以下、より好ましくは１０ｎｍ以上３００ｎｍ以下、より好ましくは５０ｎｍ以上２５０ｎｍ以下とするとよい。

【００８７】

絶縁膜１０５及び絶縁膜１０６は、ＣＶＤ法、スパッタリング法、蒸着法、塗布法等を適宜用いることができる。

【００８８】

窒化物絶縁膜で形成される絶縁膜１０５をゲート絶縁膜の一部として設けることで、ゲート電極として機能する導電膜１０３からの不純物、代表的には、水素、窒素、アルカリ金属、またはアルカリ土類金属等が、金属酸化物膜１０９ａに移動することを防ぐことができる。

【００８９】

また、ゲート絶縁膜として、金属酸化物膜１０９ａ側に酸化物絶縁膜で形成される絶縁膜１０６を設けることで、ゲート絶縁膜及び金属酸化物膜１０９ａ界面における欠陥準位を低減することが可能である。この結果、電気特性の劣化の少ないトランジスタを得ることができる。

【００９０】

金属酸化物膜１０８は、代表的には、Ｉｎ－Ｇａ酸化物膜、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物膜、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物膜（Ｍは、Ａｌ、Ｇａ、Ｔｉ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄ）等の金属酸化物膜がある。なお、該金属酸化物膜は半導体特性を有するため、酸化物半導体ということもできる。

【００９１】

なお、金属酸化物膜１０８がＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物膜であるとき、ＩｎおよびＭの和を１００ａｔｏｍｉｃ％としたとき、ＩｎとＭの原子数比率は、好ましくは、ＩｎとＭの原子数比率は好ましくはＩｎが２５ａｔｏｍｉｃ％より大きく、Ｍが７５ａｔｏｍｉｃ％未満、さらに好ましくはＩｎが３４ａｔｏｍｉｃ％より大きく、Ｍが６６ａｔｏｍｉｃ％未満とする。

【００９２】

金属酸化物膜１０８のエネルギーギャップは、２ｅＶ以上、好ましくは２．５ｅＶ以上、より好ましくは３ｅＶ以上である。このように、エネルギーギャップの広い金属酸化物を用いて形成することで、後に形成するトランジスタのオフ電流を低減することができる。

【００９３】

金属酸化物膜１０８としては、キャリア密度の低い金属酸化物膜を用いる。例えば、金属酸化物膜１０８は、キャリア密度が1×10^{17}個／cm^3以下、好ましくは1×10^{15}個／cm^3以下、さらに好ましくは1×10^{13}個／cm^3以下、より好ましくは１

×１０^{11}個／ｃｍ^{3}以下の金属酸化物膜を用いる。

【００９４】

金属酸化物膜１０８の厚さは、３ｎｍ以上２００ｎｍ以下、好ましくは３ｎｍ以上１００ｎｍ以下、さらに好ましくは３ｎｍ以上５０ｎｍ以下とする。

【００９５】

金属酸化物膜１０８は、スパッタリング法、塗布法、パルスレーザー蒸着法、レーザーアブレーション法等を用いて形成することができる。

【００９６】

スパッタリング法で金属酸化物膜１０８を形成する場合、プラズマを発生させるための電源装置は、ＲＦ電源装置、ＡＣ電源装置、ＤＣ電源装置等を適宜用いることができる。

【００９７】

スパッタリングガスは、希ガス（代表的にはアルゴン）雰囲気、酸素雰囲気、希ガス及び酸素の混合ガスを適宜用いる。なお、希ガス及び酸素の混合ガスの場合、希ガスに対して酸素のガス比を高めることが好ましい。

【００９８】

金属酸化物膜１０８がＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物膜（Ｍは、Ａｌ、Ｔｉ、Ｇａ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、ＮｄまたはＨｆ）の場合、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物膜を成膜するために用いるスパッタリングターゲットの金属元素の原子数比は、金属元素の原子数比をＩｎ：Ｍ：Ｚｎ＝x_1：y_1：z_1とすると、x_1／y_1は、１／３以上６以下、さらには１以上６以下であって、z_1／y_1は、１／３以上６以下、さらには１以上６以下であることが好ましい。なお、z_1／y_1を１以上６以下とすることで、金属酸化物膜１０８として後述するＣＡＡＣ－ＯＳ（Ｃ Ａｘｉｓ Ａｌｉｇｎｅｄ Ｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ Ｏｘｉｄｅ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）膜が形成されやすくなる。ターゲットの金属元素の原子数比の代表例としては、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：１：１、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝３：１：２、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝５：５：６等がある。なお、成膜される金属酸化物膜１０８の原子数比はそれぞれ、誤差として上記のターゲットに含まれる金属元素の原子数比のプラスマイナス４０％の変動を含む。

【００９９】

高純度である金属酸化物膜１０８を得るためには、チャンバー内を高真空排気するのみならずスパッタガスの高純度化も必要である。スパッタ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金属酸化物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。

【０１００】

導電膜１１０は、後に一対の電極として機能する導電膜１１４、１１５、容量線として機能する導電膜１１６となる。このため、導電膜１１０は、電極として用いることが可能な導電材料を適宜用いる。導電膜１１０は、アルミニウム、チタン、クロム、ニッケル、銅、イットリウム、ジルコニウム、モリブデン、銀、タンタル、またはタングステンからなる単体金属、またはこれを主成分とする合金を単層構造または積層構造として用いる。例えば、シリコンを含むアルミニウム膜の単層構造、チタン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、タングステン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、銅－マグネシウム－アルミニウム合金膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜上に銅膜を積層する二層構造、タングステン膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜または窒化チタン膜と、そのチタン膜または窒化チタン膜上に重ねてアルミニウム膜または銅膜を積層し、さらにその上にチタン膜または窒化チタン膜を形成する三層構造、モリブデン膜または窒化モリブデン膜と、そのモリブデン膜または窒化モリブデン膜上に重ねてアルミニウム膜または銅膜を積層し、さらにその上にモリブデン膜または窒化モリブデン膜を形成する三層構造等がある。なお、酸化インジウム、酸化錫または酸化亜鉛を含む透明導電材料を用いて形成してもよい。

【０１０１】

導電膜１１０は、スパッタリング法、ＣＶＤ法、蒸着法等を用いて形成する。

【０１０２】

ここでは、絶縁膜１０５として、ＣＶＤ法により、厚さ４００ｎｍの窒化シリコン膜を形成する。また、絶縁膜１０６として、ＣＶＤ法により、厚さ５０ｎｍの酸化窒化シリコン膜を形成する。また、金属酸化物膜１０８として、Ｉｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物ターゲット（Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝１：１：１）を用いたスパッタリング法により、厚さ３５ｎｍのＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物膜を形成する。また、導電膜１１０として、スパッタリング法により厚さ５０ｎｍのタングステン膜及び厚さ３００ｎｍの銅膜を形成する。

【０１０３】

次に、マスク１３３、１３４を用いて、導電膜１１０の一部をエッチングして、導電膜１１１、１１３を形成する。ドライエッチング法または／及びウェットエッチング法を用いて、導電膜１１０をエッチングすることができる。次に、マスク１３３、１３４を用いて、金属酸化物膜１０８の一部をエッチングして、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂを形成する。ドライエッチング法または／及びウェットエッチング法を用いて、金属酸化物膜１０８をエッチングすることができる。

【０１０４】

ここでは、ドライエッチング法により、導電膜１１０及び金属酸化物膜１０８のそれぞれ一部をエッチングする。

【０１０５】

次に、マスク１３３、１３４を加工する。ここでは、マスク１３３の大きさが小さくなると共に、マスク１３４を除去するように加工する。ここでは、酸素を有する雰囲気で発生させたプラズマにマスク１３３、１３４を曝すプラズマ処理により、マスク１３３、１３４を加工する。酸素を有する雰囲気としては、酸素、オゾン、一酸化二窒素、二酸化窒素等の酸化性気体を有する雰囲気がある。なお、基板１０１側にバイアスを印加した状態で発生したプラズマにマスク１３３、１３４を曝してもよい。このようなプラズマ処理を行う装置の一例として、アッシング装置がある。

【０１０６】

この結果、図３（Ｄ）に示すように、マスク１３３が後退されたマスク１３５、１３６を形成することができる。また、マスク１３４が後退されたマスク１３７を形成することができる。なお、図３（Ｄ）において、破線はそれぞれ図３（Ｃ）に示すマスク１３３、１３４に相当する。

【０１０７】

次に、マスク１３５、１３６、１３７を用いて、導電膜１１１、１１３のそれぞれ一部をエッチングして、導電膜１１４、１１５、１１６を形成すると共に、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂのそれぞれ一部を露出させる。ドライエッチング法または／及びウェットエッチング法を用いて、導電膜１１１、１１２、１１３をエッチングすることができる。なお、導電膜１１１、１１３をエッチングし、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂをエッチングしない、または導電膜１１１、１１３より金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂのエッチングレートが小さい条件を用いることが好ましい。

【０１０８】

ここでは、ドライエッチング法により、導電膜１１１、１１３の一部をエッチングする。

【０１０９】

この結果、図３（Ｅ）に示すように、トランジスタの一対の電極として機能する導電膜１１４、１１５と、容量線として機能する導電膜１１６を形成することができる。また、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂのそれぞれ一部が露出する。

【０１１０】

以上の工程により、一つのフォトマスクで、トランジスタのチャネル領域を含む金属酸化物膜１０９ａと、トランジスタの一対の電極として機能する導電膜１１４、１１５と、のちに容量素子の一方の電極となる金属酸化物膜１０９ｂと、容量線として機能する導電

膜１１６とを形成することができる。

【０１１１】

なお、トランジスタの一対の電極として機能する導電膜１１４、１１５を形成するためのエッチング工程において、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂのプラズマに曝された領域はダメージを受け、酸素欠損が形成される。このため、金属酸化物膜１０９ａ及び金属酸化物膜１０９ｂにおいて露出している領域の導電性が高まる。

【０１１２】

次に、加熱処理を行うことが好ましい。該加熱処理の温度は、代表的には、１５０℃以上基板歪み点未満、好ましくは３００℃以上５００℃以下、好ましくは３２０℃以上４７０℃以下とする。

【０１１３】

該加熱処理は、電気炉、ＲＴＡ装置等を用いることができる。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。そのため加熱処理時間を短縮することができる。

【０１１４】

加熱処理は、窒素、酸素、超乾燥空気（水の含有量が２０ｐｐｍ以下、好ましくは１ｐｐｍ以下、好ましくは１０ｐｐｂ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。

【０１１５】

ここでは、窒素雰囲気で、４５０℃、１時間の加熱処理を行った後、窒素及び酸素雰囲気で、４５０℃、１時間の加熱処理を行う。

【０１１６】

また、導電膜１１４、１１５、１１６において、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂと接する領域に、タングステン、チタン、アルミニウム、銅、モリブデン、クロム、またはタンタル単体若しくは合金等の酸素と結合しやすい導電材料を用いることで、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂ中の酸素が酸素と結合しやすい導電材料に引き抜かれる。また、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂにタングステン、チタン、アルミニウム、銅、モリブデン、クロム、またはタンタル単体の若しくは合金の構成元素の一部が混入する場合もある。これらの結果、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｂにおいて、導電膜１１４、１１５，１１６と接する領域近傍に、低抵抗領域が形成される。低抵抗領域は、導電性が高いため、金属酸化物膜１０９ａと、導電膜１１４、１１５との接触抵抗を低減することが可能であり、トランジスタのオン電流を増大させることが可能である。また、金属酸化物膜１０９ｂと、導電膜１１６との接触抵抗を低減することが可能であり、信号線及び容量線の抵抗を低減することができる。

【０１１７】

次に、図４（Ａ）に示すように、絶縁膜１１８を形成する。次に、第３のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、絶縁膜１１８上にマスク１３８を形成する。

【０１１８】

絶縁膜１１８は、金属酸化物膜１０８との界面における界面準位を低減するため、酸化物絶縁膜を用いて形成することが好ましい。絶縁膜１１８は、代表的には、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ガリウムまたはＧａ－Ｚｎ系金属酸化物などを用いて形成すればよく、積層または単層で設ける。

【０１１９】

また、絶縁膜１１８の一部または全部として、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を用いて形成することが好ましい。化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜は、加熱により酸素の一部が脱離する。化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜は、ＴＤＳ分析にて、酸素原子に換算しての酸素の脱離量が1.0×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、好ましくは3.0×10^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上である酸化物絶縁膜である。

【０１２０】
また、絶縁膜１１８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１．５×１０^{18}ｓｐｉｎｓ／ｃｍ^{3}未満、更には１×１０^{18}ｓｐｉｎｓ／ｃｍ^{3}以下、１×１０^{17}ｓｐｉｎｓ／ｃｍ^{3}以下、さらには検出下限以下であることが好ましい。

【０１２１】
絶縁膜１１８の厚さは、３０ｎｍ以上５００ｎｍ以下、好ましくは５０ｎｍ以上４００ｎｍ以下とする。

【０１２２】
絶縁膜１１８として、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を用いて形成することで、加熱処理により、絶縁膜１１８から脱離する酸素を、金属酸化物膜１０９ａに移動させることができる。この結果、金属酸化物膜１０９ａに含まれる酸素欠損を低減することができる。

【０１２３】
絶縁膜１１８は、スパッタリング法、ＣＶＤ法等を用いて形成することができる。

【０１２４】
ＣＶＤ法を用いて絶縁膜１１８を形成する場合、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、酸素、オゾン、一酸化二窒素、二酸化窒素等がある。

【０１２５】
絶縁膜１１８として化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を用いて形成する場合は、プラズマＣＶＤ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２８０℃以下、さらに好ましくは２００℃以上２４０℃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２０Ｐａ以上２５０Ｐａ以下とし、処理室内に設けられる電極に０．１７Ｗ／ｃｍ^{2}以上０．５Ｗ／ｃｍ^{2}以下、さらに好ましくは０．２５Ｗ／ｃｍ^{2}以上０．３５Ｗ／ｃｍ^{2}以下の高周波電力を供給する条件により、酸化シリコン膜または酸化窒化シリコン膜を形成することができる。

【０１２６】
絶縁膜１１８の成膜条件として、上記圧力の反応室において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り、酸素ラジカルが増加し、原料ガスの酸化が進むため、絶縁膜１１８中における酸素含有量が化学量論的組成よりも多くなる。一方、基板温度が、上記温度で形成された膜では、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膜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絶縁膜１１８を形成することができる。

【０１２７】
なお、絶縁膜１１８を第１の絶縁膜及び第２の絶縁膜の多層構造とし、第１の絶縁膜として酸素を透過させることが可能な酸化物絶縁膜を用いて形成し、第２の絶縁膜として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膜を形成してもよい。該積層構造とすることで、第２の絶縁膜の成膜工程において、第１の絶縁膜が金属酸化物膜の保護膜となる。この結果、金属酸化物膜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第２の絶縁膜を形成することができる。

【０１２８】
または、スパッタリング法、ＣＶＤ法等を用いて絶縁膜を形成した後、該絶縁膜に酸素を添加することにより、絶縁膜１１８を形成することができる。なお、絶縁膜に酸素を添加する方法としては、イオンドーピング法、イオン注入法等がある。または、酸化性気体雰囲気で発生させた酸素を含むプラズマを絶縁膜に曝すことで、絶縁膜に酸素を添加する

ことができる。
【０１２９】
ここでは、絶縁膜１１８として、流量２００ｓｃｃｍのシラン及び流量４０００ｓｃｃｍの一酸化二窒素を原料ガスとし、反応室の圧力を２００Ｐａ、基板温度を２２０℃とし、２７．１２ＭＨｚの高周波電源を用いて１５００Ｗの高周波電力を平行平板電極に供給したプラズマＣＶＤ法により、厚さ４００ｎｍの酸化窒化シリコン膜を形成する。なお、プラズマＣＶＤ装置は電極面積が６０００ｃｍ^{2}である平行平板型のプラズマＣＶＤ装置であり、供給した電力を単位面積あたりの電力（電力密度）に換算すると０．２５Ｗ／ｃｍ^{2}である。また、ハーフトーンマスクを用いてマスク１３３、１３５を形成する。
【０１３０】
次に、マスク１３８を用いて絶縁膜１１８の一部をエッチングして、図４（Ｂ）に示すように、開口部１５１を有する絶縁膜１１９を形成する。開口部１５１においては、金属酸化物膜１０９ｂの一部が露出する。ドライエッチング法または／及びウェットエッチング法を用いて、絶縁膜１１８をエッチングすることができる。次に、マスク１３８を除去する。
【０１３１】
なお、絶縁膜１１９を形成するためのエッチング工程において、金属酸化物膜１０９ｂにおいてプラズマに曝された領域はダメージを受け、酸素欠損が形成される。このため、金属酸化物膜１０９ｂにおいて、絶縁膜１１９に覆われていない領域の導電性が高まる。
【０１３２】
ここでは、ドライエッチング法により、絶縁膜１１８の一部をエッチングする。
【０１３３】
次に、図４（Ｃ）に示すように、金属酸化物膜１０９ｂ及び絶縁膜１１９上に、絶縁膜１２０を形成する。次に、第４のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、絶縁膜１２０上にマスク１３９を形成する。
【０１３４】
絶縁膜１２０として、窒化物絶縁膜を設ける。窒化物絶縁膜としては、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム等がある。窒化物絶縁膜として、水素を含む窒化物絶縁膜を形成してもよい。
【０１３５】
絶縁膜１２０の厚さは、１０ｎｍ以上４００ｎｍ以下、より好ましくは５０ｎｍ以上３００ｎｍ以下とする。
【０１３６】
絶縁膜１２０は、スパッタリング法、ＣＶＤ法等を用いて形成することができる。または、スパッタリング法、ＣＶＤ法等を用いて絶縁膜を形成した後、該絶縁膜に水素を添加してもよい。なお、絶縁膜に水素を添加する方法としては、イオンドーピング法、イオン注入法等がある。または、水素を含む気体雰囲気で発生させたプラズマを絶縁膜に曝すことで、絶縁膜に水素を添加することができる。
【０１３７】
ここでは、絶縁膜１２０として、シラン、アンモニア、及び窒素を原料ガスとしたプラズマＣＶＤ法により、厚さ１００ｎｍの窒化シリコン膜を形成する。
【０１３８】
絶縁膜１１９上に絶縁膜１２０を形成する際に生じるプラズマダメージにより、金属酸化物膜１０９ｂには、酸素欠損が形成される。このため、金属酸化物膜１０９ｂにおいて絶縁膜１１９に覆われていない領域の導電性が高くなる。また、絶縁膜１２０として、水素を含む窒化物絶縁膜を用いることで、絶縁膜１２０から金属酸化物膜１０９ｂに水素が移動する。酸素欠損に水素が移動することで、キャリアである電子が生成される。この結果、金属酸化物膜１０９ｂは、導電性が高くなり、導電性を有する金属酸化物膜１０９ｃとなる。金属酸化物膜１０９ｃは、容量素子２５の一方の電極として機能する。
【０１３９】

なお、窒化物絶縁膜は、水、水素等のブロッキング膜としても機能するため、絶縁膜１２０として、窒化物絶縁膜を設けることで、外部から金属酸化物膜１０９ａへの水素、水等の侵入を防ぐことができる。

【０１４０】

金属酸化物膜１０９ａ、及び金属酸化物膜１０９ｃは共に、絶縁膜１０６上に形成されるが、不純物濃度が異なる。具体的には、金属酸化物膜１０９ａと比較して、金属酸化物膜１０９ｃの不純物濃度が高い。例えば、金属酸化物膜１０９ａに含まれる水素濃度は、５×１０^{１９}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{３}未満、好ましくは５×１０^{１８}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{３}未満、好ましくは１×１０^{１８}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{３}以下、より好ましくは５×１０^{１７}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{３}以下、さらに好ましくは１×１０^{１６}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{３}以下であり、金属酸化物膜１０９ｃに含まれる水素濃度は、８×１０^{１９}以上、好ましくは１×１０^{２０}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{３}以上、より好ましくは５×１０^{２０}以上である。また、金属酸化物膜１０９ａと比較して、金属酸化物膜１０９ｃに含まれる水素濃度は２倍、好ましくは１０倍以上である。

【０１４１】

また、金属酸化物膜１０９ｃは、金属酸化物膜１０９ａより抵抗率が低い。金属酸化物膜１０９ｃの抵抗率が、金属酸化物膜１０９ａの抵抗率の１×１０^{-８}倍以上１×１０^{-１}倍未満であることが好ましく、代表的には１×１０^{-３}Ωｃｍ以上１×１０^{４}Ωｃｍ未満、さらに好ましくは、抵抗率が１×１０^{-３}Ωｃｍ以上１×１０^{-１}Ωｃｍ未満であるとよい。

【０１４２】

次に、加熱処理を行ってもよい。該加熱処理の温度は、代表的には、１５０℃以上４００℃以下、好ましくは３００℃以上４００℃以下、好ましくは３２０℃以上３７０℃以下とする。

【０１４３】

窒化物絶縁膜は、水素、水、及び酸素の拡散係数が小さく、水素、水、及び酸素のブロッキング性が高い。また、絶縁膜１１９として、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を用いて形成することで、当該加熱処理において、金属酸化物膜１０９ａに含まれる酸素の外部への拡散を抑制することができる。また、金属酸化物膜１０９ａに含まれる酸素の外部への拡散を抑制することができる。この結果、金属酸化物膜１０９ａの酸素欠損量を低減することができる。さらには、外部からの金属酸化物膜１０９ａへの水素、水等の拡散を抑制することができる。このため、金属酸化物膜１０９ａの水素、水等を低減することができる。この結果、信頼性の高いトランジスタを作製することができる。

【０１４４】

ここでは、窒素及び酸素雰囲気で、３５０℃、１時間の加熱処理を行う。

【０１４５】

次に、マスク１３９を用いて、絶縁膜１１９、１２０の一部をエッチングして、図４（Ｄ）に示すように、開口部１５２を形成するとともに、絶縁膜１２０をエッチングして、開口部１５３、１５４を形成する。また、当該エッチングにより絶縁膜１２０は、絶縁膜１２１となる。開口部１５２においては、導電膜１１５の一部が露出される。開口部１５３、１５４においては、導電膜１１６の一部が露出される。ドライエッチング法または／及びウェットエッチング法を用いて、絶縁膜１２０をエッチングすることができる。次に、マスク１３９を除去する。

【０１４６】

ここでは、ドライエッチング法により、絶縁膜１２０の一部をエッチングする。

【０１４７】

次に、図５（Ａ）に示すように、絶縁膜１２１、導電膜１１５、１１６上に、透光性を有する導電膜１２２を形成する。次に、第５のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、導電膜１２２上にマスク１４０、１４１を形成する。

【０１４８】
導電膜１２２は、後に、画素電極として機能する導電膜１２３となる。このため、導電膜１２２は、画素電極として用いることが可能な導電材料を適宜用いる。導電膜１２２は、インジウム錫酸化物膜、酸化タングステンを含むインジウム酸化物膜、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物膜、酸化チタンを含むインジウム酸化物膜、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物膜、インジウム亜鉛酸化物膜、酸化シリコンを添加したインジウム錫酸化物膜等の透光性を有する導電性材料で形成される膜を適用することができる。
【０１４９】
導電膜１２２は、スパッタリング法、蒸着法、塗布法等を用いて形成する。
【０１５０】
ここでは、スパッタリング法により、導電膜１２２として厚さ１００ｎｍのＩＴＯ膜を形成する。
【０１５１】
次に、マスク１４０、１４１を用いて導電膜１２２の一部をエッチングして、導電膜１２３、１２４を形成する。導電膜１２３は画素電極として機能する。導電膜１２４は、隣り合う画素に形成された導電膜１１６を電気的に接続する機能を有する。なお、導電膜１２４は導電膜１１６と同様に容量線として機能する。
【０１５２】
導電膜１２３は、一対の電極として機能する導電膜１１５と接すると共に、絶縁膜１２１を介して、金属酸化物膜１０９ｃと重なるように形成される。ドライエッチング法または／及びウェットエッチング法を用いて、導電膜１２２をエッチングすることができる。こののち、マスク１４０、１４１を除去する（図５（Ｂ）を参照。）。
【０１５３】
ここでは、ウェットエッチング法により、導電膜１２２の一部をエッチングする。
【０１５４】
以上の工程により、ゲート電極として機能する導電膜１０３、ゲート絶縁膜として機能する絶縁膜１０５、１０６、金属酸化物膜１０９ａ、金属酸化物膜１０９ａと接し、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜１１４、１１５を有するトランジスタ２２を作製することができる。また、トランジスタ２２に含まれる導電膜１１５と接し、画素電極として機能する導電膜１２３を形成することができる。また、絶縁膜１０６上に形成された金属酸化物膜１０９ｃ、絶縁膜１２１、及び導電膜１２３を有する容量素子２５を作製することができる。即ち、トランジスタ２２、画素電極として機能する導電膜１２３、及び容量素子２５を有する素子基板を、５枚のフォトマスクで作製することができる。本実施の形態では、金属酸化物膜及びソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜を１枚のフォトマスクを用いて形成するため、素子基板を作製するために必要なフォトマスクを削減することができる。
【０１５５】
また、本実施の形態に示す半導体装置は、トランジスタのチャネル領域を含む金属酸化物膜と同時に、容量素子の一方の電極となる金属酸化物膜を形成する。このため、トランジスタのチャネル領域を含む金属酸化物膜と、容量素子の一方の電極となる金属酸化物膜とは、同じ金属元素で構成される。また、画素電極として機能する導電膜を容量素子の他方の電極として用いる。これらのため、容量素子を形成するために、新たに導電膜を形成する工程が不要であり、表示装置の作製工程を削減できる。また、容量素子は、一対の電極である金属酸化物膜１０９ｃ及び導電膜１２３が共に、透光性を有するため、容量素子２５が透光性を有する。この結果、容量素子の占有面積を大きくしつつ、画素の開口率を高めることができる。さらには、消費電力を低減した表示装置を作製することができる。
【０１５６】
なお、図４（Ｂ）では、開口部１５１を設けたが、本発明の実施形態の一態様は、これに限定されない。図１３（Ａ）に示すように、場合によっては、または、状況に応じて、開口部１５１を設けないことも可能である。

【０１５７】
なお、図４（Ｂ）では、導電膜１２４が隣接する画素の導電膜１１６と接続する構成としたが、本発明の実施形態の一態様は、これに限定されない。図１３（Ｂ）（Ｃ）に示すように、場合によっては、または、状況に応じて、導電膜１１６を延ばして接続することも可能である。
【０１５８】
＜変形例１、下地絶縁膜について＞
本実施の形態に示すトランジスタにおいて、必要に応じて、基板１０１及びゲート電極として機能する導電膜１０３の間に下地絶縁膜を設けることができる。下地絶縁膜としては、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化ガリウム、酸化ハフニウム、酸化イットリウム、酸化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム等を用いて形成することができる。なお、下地絶縁膜として、窒化シリコン、酸化ガリウム、酸化ハフニウム、酸化イットリウム、酸化アルミニウム等を用いて形成することで、基板１０１から不純物、代表的にはアルカリ金属、水、水素等の金属酸化物膜１０９ａへの拡散を抑制することができる。
【０１５９】
下地絶縁膜は、スパッタリング法、ＣＶＤ法等により形成することができる。
【０１６０】
＜変形例２、ゲート絶縁膜について＞
窒化物絶縁膜で形成される絶縁膜１０５を、欠陥の少ない第１の窒化物絶縁膜、及び水素ブロッキング性の高い第２の窒化物絶縁膜の積層構造とすることができる。ゲート絶縁膜として、欠陥の少ない窒化物絶縁膜を設けることで、ゲート絶縁膜の絶縁耐圧を向上させることができる。また、ゲート絶縁膜として、水素ブロッキング性の高い窒化物絶縁膜を設けることで、ゲート電極として機能する導電膜１０３及び絶縁膜１０５からの水素が金属酸化物膜１０９ａに移動することを防ぐことができる。
【０１６１】
または、窒化物絶縁膜で形成される絶縁膜１０５として、不純物のブロッキング性が高い第１の窒化物絶縁膜と、欠陥の少ない第２の窒化物絶縁膜と、水素ブロッキング性の高い第２の窒化物絶縁膜が、ゲート電極として機能する導電膜１０３側から順に積層される積層構造とすることができる。ゲート絶縁膜として、不純物のブロッキング性が高い第１の窒化物絶縁膜を設けることで、ゲート電極として機能する導電膜１０３からの不純物、代表的には、水素、窒素、アルカリ金属、またはアルカリ土類金属等が金属酸化物膜１０９ａに移動することを防ぐことができる。
【０１６２】
＜変形例３、金属酸化物膜について＞
＜金属酸化物膜について＞
酸素欠損が形成された酸化物半導体に水素を添加すると、酸素欠損サイトに水素が入り伝導帯近傍にドナー準位が形成される。この結果、酸化物半導体は、導電性が高くなり、導電体化する。導電体化された酸化物半導体を酸化物導電体ということができる。一般に、酸化物半導体は、エネルギーギャップが大きいため、可視光に対して透光性を有する。一方、酸化物導電体は、伝導帯近傍にドナー準位を有する酸化物半導体である。したがって、該ドナー準位による吸収の影響は小さく、可視光に対して酸化物半導体と同程度の透光性を有する。
【０１６３】
ここで、金属酸化物膜１０９ａに用いられるような、酸化物半導体で形成される膜（以下、酸化物半導体膜（ＯＳ）という。）と、金属酸化物膜１０９ｃに用いられるような、酸化物導電体で形成される膜（以下、酸化物導電体膜（ＯＣ）という。）における、抵抗率の温度依存性について、図１７を用いて説明する。図１７において、横軸に測定温度を示し、縦軸に抵抗率を示す。また、酸化物半導体膜（ＯＳ）の測定結果を丸印で示し、酸化物導電体膜（ＯＣ）の測定結果を四角印で示す。

【０１６４】
なお、酸化物半導体膜（ＯＳ）を含む試料は、ガラス基板上に、原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝１：１：１．２のスパッタリングターゲットを用いたスパッタリング法により厚さ３５ｎｍのＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物膜を形成し、原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝１：４：５のスパッタリングターゲットを用いたスパッタリング法により厚さ２０ｎｍのＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物膜を形成し、４５０℃の窒素雰囲気で加熱処理した後、４５０℃の窒素及び酸素の混合ガス雰囲気で加熱処理し、さらにプラズマＣＶＤ法で酸化窒化シリコン膜を形成して、作製された。

【０１６５】
また、酸化物導電体膜（ＯＣ）を含む試料は、ガラス基板上に、原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝１：１：１のスパッタリングターゲットを用いたスパッタリング法により厚さ１００ｎｍのＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物膜を形成し、４５０℃の窒素雰囲気で加熱処理した後、４５０℃の窒素及び酸素の混合ガス雰囲気で加熱処理し、プラズマＣＶＤ法で窒化シリコン膜を形成して、作製された。

【０１６６】
図１３からわかるように、酸化物導電体膜（ＯＣ）における抵抗率の温度依存性は、酸化物半導体膜（ＯＳ）における抵抗率の温度依存性より小さい。代表的には、８０Ｋ以上２９０Ｋ以下における酸化物導電体膜（ＯＣ）の抵抗率の変化率は、±２０％未満である。または、１５０Ｋ以上２５０Ｋ以下における抵抗率の変化率は、±１０％未満である。即ち、酸化物導電体は、縮退半導体であり、伝導帯端とフェルミ準位とが一致または略一致していると推定される。このため、酸化物導電体膜を、抵抗素子、配線、容量素子の電極、画素電極、コモン電極等に用いることが可能である。

【０１６７】
＜酸化物半導体膜及び金属酸化物膜について＞
次に、半導体特性を有する金属酸化物膜及び酸化物半導体膜に適用可能な一態様について説明する。ここでは、代表例として、酸化物半導体膜を用いて説明するが、適宜酸化物半導体膜の構成を金属酸化物膜に適用することができる。

【０１６８】
酸化物半導体膜は、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜で構成されていることが好ましい。ＣＡＡＣ－ＯＳ膜は、ｃ軸配向性を有し、明確な結晶粒界（グレインバウンダリーともいう。）を確認することができない。この結果、チャネルエッチ型のトランジスタにおいて、一対の電極を形成する際の酸化物半導体膜のオーバーエッチング量が少ない。この結果、酸化物半導体膜をＣＡＡＣ－ＯＳ膜で構成することで、チャネルエッチ型のトランジスタを作製することができる。なお、チャネルエッチ型のトランジスタは、一対の電極の間隔、即ちチャネル長を、チャネル長が０．５μｍ以上６．５μｍ以下、好ましくは１μｍより大きく６μｍ未満と小さくすることが可能である。

【０１６９】
また、酸化物半導体膜は、単結晶構造の酸化物半導体（以下、単結晶酸化物半導体という。）、多結晶構造の酸化物半導体（以下、多結晶酸化物半導体という。）、及び微結晶構造の酸化物半導体（以下、微結晶酸化物半導体という。）の一以上で構成されてもよい。以下に、ＣＡＡＣ－ＯＳ、単結晶酸化物半導体、多結晶酸化物半導体、微結晶酸化物半導体について説明する。

【０１７０】
＜ＣＡＡＣ－ＯＳ＞
ＣＡＡＣ－ＯＳ膜は、複数の結晶部を有する酸化物半導体膜の一つである。また、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜に含まれる結晶部は、ｃ軸配向性を有する。平面ＴＥＭ像において、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜に含まれる結晶部の面積が２５００ｎｍ^{2}以上、さらに好ましくは５μｍ^{2}以上、さらに好ましくは１０００μｍ^{2}以上である。また、断面ＴＥＭ像において、該結晶部を５０％以上、好ましくは８０％以上、さらに好ましくは９５％以上有することで、単結晶に近い物性の薄膜となる。

【０１７１】
ＣＡＡＣ－ＯＳ膜を透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ：Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ）によって観察すると、明確な結晶部同士の明確な境界、即ち結晶粒界（グレインバウンダリーともいう。）を確認することができない。そのため、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜は、結晶粒界に起因する電子移動度の低下が起こりにくいといえる。
【０１７２】
ＣＡＡＣ－ＯＳ膜を、試料面と概略平行な方向からＴＥＭによって観察（断面ＴＥＭ観察）すると、結晶部において、金属原子が層状に配列していることを確認できる。金属原子の各層は、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜の膜を形成する面（被形成面ともいう。）または上面の凹凸を反映した形状であり、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜の被形成面または上面と平行に配列する。なお、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、「垂直」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。
【０１７３】
一方、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜を、試料面と概略垂直な方向からＴＥＭによって観察（平面ＴＥＭ観察）すると、結晶部において、金属原子が三角形状または六角形状に配列していることを確認できる。しかしながら、異なる結晶部間で、金属原子の配列に規則性は見られない。
【０１７４】
なお、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜に対し、電子線回折を行うと、配向性を示すスポット（輝点）が観測される。
【０１７５】
断面ＴＥＭ観察および平面ＴＥＭ観察より、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜の結晶部は配向性を有していることがわかる。
【０１７６】
ＣＡＡＣ－ＯＳ膜に対し、Ｘ線回折（ＸＲＤ：Ｘ－Ｒａｙ Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）装置を用いて構造解析を行うと、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜のｏｕｔ－ｏｆ－ｐｌａｎｅ法による解析では、回折角（２θ）が３１°近傍にピークが現れる場合がある。このピークは、ＩｎＧａＺｎ酸化物の結晶の（００ｘ）面（ｘは整数）に帰属されることから、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜の結晶がｃ軸配向性を有し、ｃ軸が被形成面または上面に概略垂直な方向を向いていることが確認できる。
【０１７７】
一方、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜に対し、ｃ軸に概略垂直な方向からＸ線を入射させるｉｎ－ｐｌａｎｅ法による解析では、２θが５６°近傍にピークが現れる場合がある。このピークは、ＩｎＧａＺｎ酸化物の結晶の（１１０）面に帰属される。ＩｎＧａＺｎ酸化物の単結晶酸化物半導体膜であれば、２θを５６°近傍に固定し、試料面の法線ベクトルを軸（φ軸）として試料を回転させながら分析（φスキャン）を行うと、（１１０）面と等価な結晶面に帰属されるピークが６本観察される。これに対し、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜の場合は、２θを５６°近傍に固定してφスキャンした場合でも、明瞭なピークが現れない。
【０１７８】
以上のことから、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜では、異なる結晶部間ではａ軸およびｂ軸の配向は不規則であるが、ｃ軸配向性を有し、かつｃ軸が被形成面または上面の法線ベクトルに平行な方向を向いていることがわかる。従って、前述の断面ＴＥＭ観察で確認された層状に配列した金属原子の各層は、結晶のａ－ｂ面に平行な面である。
【０１７９】
なお、結晶部は、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜を成膜した際、または加熱処理などの結晶化処理を行った際に形成される。上述したように、結晶部のｃ軸は、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜の被形成面または上面の法線ベクトルに平行な方向に配向する。従って、例えば、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜

の形状をエッチングなどによって変化させた場合、結晶部のｃ軸がＣＡＡＣ－ＯＳ膜の被形成面または上面の法線ベクトルと平行にならないこともある。

【０１８０】

また、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜中の結晶化度が均一でなくてもよい。例えば、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜の結晶部が、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜の上面近傍からの結晶成長によって形成される場合、上面近傍の領域は、被形成面近傍の領域よりも結晶化度が高くなることがある。また、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜に不純物を添加する場合、不純物が添加された領域の結晶化度が変化し、部分的に結晶化度の異なる領域が形成されることもある。

【０１８１】

なお、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜のｏｕｔ－ｏｆ－ｐｌａｎｅ法による解析では、２θが３１°近傍のピークの他に、２θが３６°近傍にもピークが現れる場合がある。２θが３６°近傍のピークは、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜中の一部に、ｃ軸配向性を有さない結晶部が含まれることを示している。ＣＡＡＣ－ＯＳ膜は、２θが３１°近傍にピークを示し、２θが３６°近傍にピークを示さないことが好ましい。

【０１８２】

ＣＡＡＣ－ＯＳ膜は、不純物濃度の低い酸化物半導体膜である。不純物は、水素、炭素、シリコン、遷移金属元素などの酸化物半導体膜の主成分以外の元素である。特に、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、酸化物半導体膜内部に含まれると、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。なお、酸化物半導体膜に含まれる不純物は、キャリアトラップやキャリア発生源となる場合がある。

【０１８３】

また、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜は、欠陥準位密度の低い酸化物半導体膜である。例えば、酸化物半導体膜中の酸素欠損は、キャリアトラップとなることや、水素を捕獲することによってキャリア発生源となることがある。

【０１８４】

不純物濃度が低く、欠陥準位密度が低い（酸素欠損の少ない）ことを、高純度真性または実質的に高純度真性と呼ぶ。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膜は、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。従って、当該酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、しきい値電圧がマイナスとなる電気特性（ノーマリーオンともいう。）になることが少ない。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膜は、キャリアトラップが少ない。そのため、当該酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、電気特性の変動が小さく、信頼性の高いトランジスタとなる。なお、酸化物半導体膜のキャリアトラップに捕獲された電荷は、放出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、不純物濃度が高く、欠陥準位密度が高い酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、電気特性が不安定となる場合がある。

【０１８５】

また、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜を用いたトランジスタは、可視光や紫外光の照射による電気特性の変動が小さい。

【０１８６】

＜単結晶酸化物半導体＞

単結晶酸化物半導体膜は、不純物濃度が低く、欠陥準位密度が低い（酸素欠損が少ない）酸化物半導体膜である。そのため、キャリア密度を低くすることができる。従って、単結晶酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、ノーマリーオンの電気特性になることが少ない。また、単結晶酸化物半導体膜は、不純物濃度が低く、欠陥準位密度が低いため、キャリアトラップが少なくなる場合がある。従って、単結晶酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、電気特性の変動が小さく、信頼性の高いトランジスタとなる。

【０１８７】
なお、酸化物半導体膜は、欠陥が少ないと密度が高くなる。また、酸化物半導体膜は、結晶性が高いと密度が高くなる。また、酸化物半導体膜は、水素などの不純物濃度が低いと密度が高くなる。単結晶酸化物半導体膜は、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜よりも密度が高い。また、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜は、微結晶酸化物半導体膜よりも密度が高い。また、多結晶酸化物半導体膜は、微結晶酸化物半導体膜よりも密度が高い。また、微結晶酸化物半導体膜は、非晶質酸化物半導体膜よりも密度が高い。
【０１８８】
＜多結晶酸化物半導体＞
多結晶酸化物半導体膜は、高分解能ＴＥＭによる観察において、結晶粒を確認することができる。多結晶酸化物半導体膜に含まれる結晶粒は、例えば、高分解能ＴＥＭによる観察像で、２ｎｍ以上３００ｎｍ以下、３ｎｍ以上１００ｎｍ以下または５ｎｍ以上５０ｎｍ以下の粒径であることが多い。また、多結晶酸化物半導体膜は、高分解能ＴＥＭによる観察像で、結晶粒界を確認できる場合がある。
【０１８９】
多結晶酸化物半導体膜は、複数の結晶粒を有し、当該複数の結晶粒間において結晶の方位が異なっている場合がある。また、多結晶酸化物半導体膜に対し、ＸＲＤ装置を用いて構造解析を行うと、例えば$InGaZnO_4$の結晶を有する多結晶酸化物半導体膜のｏｕｔ－ｏｆ－ｐｌａｎｅ法による解析では、２θが３１°近傍のピーク、２θが３６°近傍のピーク、またはそのほかのピークが現れる場合がある。
【０１９０】
多結晶酸化物半導体膜は、高い結晶性を有するため、高い電子移動度を有する場合がある。従って、多結晶酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、高い電界効果移動度を有する。ただし、多結晶酸化物半導体膜は、結晶粒界に不純物が偏析する場合がある。また、多結晶酸化物半導体膜の結晶粒界は欠陥準位となる。多結晶酸化物半導体膜は、結晶粒界がキャリアトラップやキャリア発生源となる場合があるため、多結晶酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜を用いたトランジスタと比べて、電気特性の変動が大きく、信頼性の低いトランジスタとなる場合がある。
【０１９１】
＜微結晶酸化物半導体＞
微結晶酸化物半導体膜は、ＴＥＭによる観察像では、明確に結晶部を確認することができない場合がある。微結晶酸化物半導体膜に含まれる結晶部は、１ｎｍ以上１００ｎｍ以下、または１ｎｍ以上１０ｎｍ以下の大きさであることが多い。特に、１ｎｍ以上１０ｎｍ以下、または１ｎｍ以上３ｎｍ以下の微結晶であるナノ結晶（ｎｃ：ｎａｎｏｃｒｙｓｔａｌ）を有する酸化物半導体膜を、ｎｃ－ＯＳ（ｎａｎｏｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ Ｏｘｉｄｅ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）膜と呼ぶ。また、ｎｃ－ＯＳ膜は、例えば、ＴＥＭによる観察像では、結晶粒界を明確に確認できない場合がある。
【０１９２】
ｎｃ－ＯＳ膜は、微小な領域（例えば、１ｎｍ以上１０ｎｍ以下の領域、特に１ｎｍ以上３ｎｍ以下の領域）において原子配列に周期性を有する。また、ｎｃ－ＯＳ膜は、異なる結晶部間で結晶方位に規則性が見られない。そのため、膜全体で配向性が見られない。従って、ｎｃ－ＯＳ膜は、分析方法によっては、非晶質酸化物半導体膜と区別が付かない場合がある。例えば、ｎｃ－ＯＳ膜に対し、結晶部よりも大きい径のＸ線を用いるＸＲＤ装置を用いて構造解析を行うと、ｏｕｔ－ｏｆ－ｐｌａｎｅ法による解析では、結晶面を示すピークが検出されない。また、ｎｃ－ＯＳ膜に対し、結晶部よりも大きい径（例えば５０ｎｍ以上）の電子線を用いる電子線回折（制限視野電子線回折ともいう。）を行うと、ハローパターンのような回折パターンが観測される。一方、ｎｃ－ＯＳ膜に対し、結晶部の大きさと近いか結晶部より小さいプローブ径（例えば１ｎｍ以上３０ｎｍ以下）の電子線を用いる電子線回折（ナノビーム電子線回折ともいう。）を行うと、スポットが観測される。また、ｎｃ－ＯＳに対しナノビーム電子線回折を行うと、円を描くように（リン

グ状に）輝度の高い領域が観測される場合がある。また、ｎｃ－ＯＳに対しナノビーム電子線回折を行うと、リング状の領域内に複数のスポットが観測される場合がある。

【０１９３】

ｎｃ－ＯＳ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、ｎｃ－ＯＳ膜は、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、ｎｃ－ＯＳ膜は、異なる結晶部間で結晶方位に規則性が見られない。そのため、ｎｃ－ＯＳ膜は、ＣＡＡＣ－ＯＳ膜と比べて欠陥準位密度が高くなる。

【０１９４】

なお、本実施の形態に示す構成及び方法などは、他の実施の形態に示す構成及び方法などと適宜組み合わせて用いることができる。

【０１９５】

（実施の形態２）

本実施の形態では、実施の形態１と異なる表示装置の素子基板の作製方法について、図面を用いて説明する。本実施の形態は、実施の形態１と同様に、チャネル領域を有する金属酸化物膜と、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜を１枚のフォトマスクを用いて形成する。一方、本実施の形態は、容量線として機能する導電膜の構成が実施の形態１と異なる。

【０１９６】

画素１３に液晶素子を用いた液晶表示装置の素子基板の具体的な例について説明する。ここでは、図１（Ｂ）に示す画素１３の上面図を図６に示す。

【０１９７】

図６に示す画素１３は、金属酸化物膜１０９ｃの一部が容量線として機能する。また、隣り合う画素に設けられた、金属酸化物膜１０９ｃが導電膜１７３で接続されている。

【０１９８】

図６に示す画素１３において、絶縁膜１１９（図７（Ａ）参照。）に設けられた開口部１７１、１７２において、金属酸化物膜１０９ｃと、画素電極として機能する導電膜１２３と同時に形成された導電膜１７３が接続する。金属酸化物膜１０９ｃは、開口部１５１（図４（Ｂ）参照。）において窒化物絶縁膜を用いて形成される絶縁膜と接するため、導電性を有する。この結果、金属酸化物膜１０９ｃは、容量線として機能するとともに、容量素子の一方の電極として機能する。

【０１９９】

容量素子２５は、導電性を有する金属酸化物膜１０９ｃ、絶縁膜１２１（図７（Ｂ）参照。）、及び画素電極として機能する導電膜１２３で構成される。すなわち、金属酸化物膜１０９ｃが、導電膜１７３と接続することで、各画素における容量素子の一方の電極（ここでは、導電性を有する金属酸化物膜１０９ｃ）を同電位とすることができる。

【０２００】

本実施の形態に示す画素１３は、容量線として、導電膜１１４、１１５と同時に形成した導電膜を用いていない。導電膜１１４、１１５は遮光性を有するため、画素の開口率を高めることができる。

【０２０１】

次に、図６に示す一点破線Ａ－Ｂの断面図、一点破線Ｃ－Ｄの断面図を用いて、表示装置の素子基板の作製方法について、説明する。

【０２０２】

実施の形態１と同様の工程を経て、第１のフォトマスク乃至第３のフォトマスクを用いた工程により、図７（Ａ）に示すように、基板１０１上にゲート電極として機能する導電膜１０３、絶縁膜１０５、１０６、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｃ、導電膜１１４、１１５、絶縁膜１１９、及び絶縁膜１２０を形成する。なお、本実施の形態においては、導電膜１１６は形成していない。また、第２のフォトマスクにより、金属酸化物膜１０９ａ、１０９ｃ及び導電膜１１４、１１５を形成することができるため、素子基板の作製工程におけるフォトマスク枚数を削減できる。

【０２０３】
次に、第４のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、絶縁膜１２０上にマスクを形成した後、該マスクを用いて、絶縁膜１１９、１２０をエッチングして、導電膜１１５を露出する開口部１５２を形成するとともに、絶縁膜１２０をエッチングして、導電性を有する金属酸化物膜を露出する開口部１７１、１７２を形成する（図７（Ｂ）参照。）。また、当該エッチングにより絶縁膜１２１を形成することができる。
【０２０４】
次に、導電性を有する金属酸化物膜１０９ｃ及び導電膜１１５の露出部、並びに絶縁膜１２１上に、透光性を有する導電膜を形成する。次に、第５のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、透光性を有する導電膜上にマスクを形成し、マスクを用いて透光性を有する導電膜をエッチングすることで、画素電極として機能する導電膜１２３、及び容量線として機能する導電膜１７３を形成する。導電膜１７３は、隣り合う画素に形成された、導電性を有する金属酸化物膜１０９ｃを電気的に接続する機能を有する。こののち、マスクを除去する（図７（Ｃ）を参照。）。
【０２０５】
以上の工程により、トランジスタ２２及び容量素子２５を作製することができる。また、以上の工程により、開口率をより高めた画素を有する素子基板を作製することができる。
【０２０６】
なお、本実施の形態に示す構成及び方法などは、他の実施の形態に示す構成及び方法などと適宜組み合わせて用いることができる。
【０２０７】
（実施の形態３）
本実施の形態は、横電界方式の一例であるＦＦＳ（Ｆｒｉｎｇｅ　Ｆｉｅｌｄ　Ｓｗｉｔｃｈｉｎｇ）モードの液晶表示装置の画素構造を用いて説明する。
【０２０８】
本実施の形態に示すＦＦＳモードの液晶表示装置は、コモン電極が縞状であり、電極の間において画素電極及びコモン電極で生じる電界を液晶に印加することで、液晶の配向を制御する。ＦＦＳモードの液晶表示装置は、高開口率であり、広い視野角を得ることができる。
【０２０９】
ここでは、図１（Ｂ）に示す画素１３の上面図を図８に示す。
【０２１０】
図８に示す画素１３は、各画素に一つの金属酸化物膜１８３を有する。金属酸化物膜１８３上には、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜１８１、１８２を有する。導電膜１８１は、信号線としても機能する。なお、導電膜１８１は、各画素ごとに分離されている。また、隣接する画素に設けられた導電膜１８１を電気的に接続する導電膜１８７が絶縁膜（図示しない。）を介して導電膜１８１上に設けられる。導電膜１８７は、開口部１８４、１８５において、導電膜１８１と接続する。また、複数の画素に渡って、縞状のコモン電極として機能する導電膜１８６が設けられる。導電膜１８７及び導電膜１８６は同時に形成される。
【０２１１】
本実施の形態に示す表示装置において、コモン電極として機能する導電膜１８６は、基板全面に形成されず、縞状であるため、信号線として機能する導電膜１８１、１８７、及び走査線として機能する導電膜１０３と重なる面積が縮小される。この結果、導電膜１０３及び導電膜１８６の間、並びに導電膜１８１、１８７及び導電膜１８６の間で発生する寄生容量を低減することができる。
【０２１２】
次に、図８に示す一点破線Ａ－Ｂの断面図、一点破線Ｅ－Ｆの断面図を用いて、表示装置の素子基板の作製方法について、説明する。

【０２１３】
実施の形態１と同様の工程を経て、第１のフォトマスクを用いた工程により、図９（Ａ）に示すように、基板１０１上にゲート電極として機能する導電膜１０３を形成する。次に、基板１０１及び導電膜１０３上に、実施の形態１と同様に、絶縁膜１０５、１０６、金属酸化物膜１０８、及び導電膜１１０を形成する。
【０２１４】
次に、実施の形態１に示す第２のフォトマスクを用いた工程により、図９（Ｂ）に示すように、金属酸化物膜１８３、導電膜１８１、１８２を形成する。導電膜１８１は、実施の形態１に示す導電膜１１４と同様に、トランジスタのソース電極及びドレイン電極の一方として機能するとともに、信号線として機能する。導電膜１８２は、実施の形態１に示す導電膜１１５と同様に、トランジスタのソース電極及びドレイン電極の他方として機能する。ここでは、第２のフォトマスクにより、金属酸化物膜１８３及び導電膜１８１、１８２を形成することができるため、素子基板の作製工程におけるフォトマスク枚数を削減できる。
【０２１５】
次に、実施の形態１に示す第３のフォトマスクを用いた工程により、開口部１５１を有する絶縁膜１１９を形成した後、金属酸化物膜１８３及び絶縁膜１１９上に絶縁膜１２０を形成する（図９（Ｃ）参照。）。
【０２１６】
金属酸化物膜１８３において、絶縁膜１２０と接する領域１９１は、金属酸化物膜１０９ｃと同様に、導電性が高まる。この結果、画素電極として機能する。一方、絶縁膜１１９は酸化物絶縁膜を用いて形成される。このため、金属酸化物膜１８３において、絶縁膜１１９と接する領域は、絶縁膜１１９との界面準位密度が低い。さらに、絶縁膜１１９が、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を用いて形成されると、絶縁膜１１９に含まれる酸素が金属酸化物膜１８３に移動するため、領域１９２における酸素欠損含有量を低減することが可能となる。この結果、金属酸化物膜１８３において、絶縁膜１１９と接する領域１９２はチャネル領域として機能する。さらに、金属酸化物膜１８３において、導電膜１８１、１８２と接する領域は低抵抗領域となる。
【０２１７】
なお、開口部１５１を有する絶縁膜１１９を形成するとき、開口部１５１の端部と走査線として機能する導電膜との距離、及び開口部１５１の端部と信号線として機能する導電膜１８１との距離を、それぞれ１．５μｍより大きい、さらには２μｍより大きいとすることが好ましい。金属酸化物膜１８３において、絶縁膜１２０と接する領域は、酸素欠損または不純物を含むことにより導電性が高まるが、該領域と隣接する領域においても、導電性が上昇する。これは、不純物が横方向に拡散することで、金属酸化物膜１８３において絶縁膜１２１と接していない領域にも不純物が含まれ、低抵抗化してしまうため、と考えられる。そこで、開口部１５１の端部と走査線として機能する導電膜との距離を１．５μｍより大きい、さらには２μｍより大きいとすることで、トランジスタ２２のチャネル領域の低抵抗化を防ぐことが可能であり、ノーマリーオフ特性を有するトランジスタを作製することができる。また、開口部１５１の端部と信号線として機能する導電膜１８１との距離を１．５μｍより大きい、さらには２μｍより大きいとすることで、信号線として機能する導電膜１８１と、金属酸化物膜１８３において画素電極として機能する領域１９１との電圧が、互いに影響せず、表示不良を防ぐことができる。
【０２１８】
次に、第４のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、絶縁膜１２１上にマスクを形成した後、該マスクを用いて、絶縁膜１１９、１２０をエッチングして、導電膜１８１を露出する開口部１８４、１８５を形成するとともに、絶縁膜１２１を形成する（図１０（Ａ）参照。）
【０２１９】
次に、導電膜１８１の露出部、及び絶縁膜１２１上に、透光性を有する導電膜を形成す

る。次に、第５のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により、透光性を有する導電膜上にマスクを形成し、マスクを用いて透光性を有する導電膜をエッチングすることで、コモン電極として機能する導電膜１８６を形成するとともに、信号線として機能する導電膜１８７を形成する。導電膜１８７は、隣り合う画素に設けられた導電膜１８１を電気的に接続する。こののち、マスクを除去する（図１０（Ｂ）を参照。）。

【０２２０】

以上の工程により、トランジスタ２２及び容量素子２５を作製することができる。また、以上の工程により、開口率をより高めた画素を有する素子基板を作製することができる。また、ＦＦＳモードの液晶表示装置を作製することができる。

【０２２１】

なお、本実施の形態に示す構成及び方法などは、他の実施の形態に示す構成及び方法などと適宜組み合わせて用いることができる。

【０２２２】

（実施の形態４）

本実施の形態では、実施の形態１乃至実施の形態３と比較して、金属酸化物膜の欠陥量をさらに低減することが可能なトランジスタを有する半導体装置について図面を参照して説明する。本実施の形態で説明するトランジスタは、実施の形態１及び実施の形態２と比較して、金属酸化物膜の代わりに、複数の金属酸化物膜を有する多層膜が設けられている点が異なる。

【０２２３】

図１１に、半導体装置が有するトランジスタ図２に示す一点破線Ａ－Ｂ、Ｃ－Ｄの一点鎖線Ａ－Ｂ、Ｃ－Ｄ間の断面図である。

【０２２４】

図１１（Ａ）に示すトランジスタ２２ｂは、絶縁膜１０６上に多層膜２５０ａ、２５０ｂを有する。多層膜２５０ａは、絶縁膜１０６に接する第１の金属酸化物膜２５１ａ、並びに第１の金属酸化物膜２５１ａ及び絶縁膜１１９に接する第２の金属酸化物膜２５２ａを有する。

【０２２５】

図１１（Ａ）に示す、絶縁膜１０６上に設けられた多層膜２５０ｂは容量電極として機能する。多層膜２５０ｂは、絶縁膜１０７ｂに接する第１の金属酸化物膜２５１ｂ、及び第１の金属酸化物膜２５１ｂ及び絶縁膜１１９に接する第２の金属酸化物膜２５２ｂを有する。

【０２２６】

第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂは、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂを構成する元素の一種以上から構成される金属酸化物膜である。このため、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂと第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂとの界面において、界面散乱が起こりにくい。従って、該界面においてはキャリアの動きが阻害されないため、トランジスタの電界効果移動度が高くなる。

【０２２７】

第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂは、代表的には、Ｉｎ－Ｇａ酸化物、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物（ＭはＡｌ、Ｇａ、Ｔｉ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄ）である。

【０２２８】

また、第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂは、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂよりも伝導帯の下端のエネルギーが真空準位に近く、代表的には、第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂの伝導帯の下端のエネルギーと、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂの伝導帯の下端のエネルギーとの差が、０．０５ｅＶ以上、０．０７ｅＶ以上、０．１ｅＶ以上、または０．１５ｅＶ以上、且つ２ｅＶ以下、１ｅＶ以下、０．５ｅＶ以下、または０．４ｅＶ以下である。即ち、第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂの電子親和力と、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂの電子親和力との差が、０．０５ｅＶ以

上、０．０７ｅＶ以上、０．１ｅＶ以上、または０．１５ｅＶ以上、且つ２ｅＶ以下、１ｅＶ以下、０．５ｅＶ以下、または０．４ｅＶ以下である。

【０２２９】

第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂは、Ｉｎを含むことで、キャリア移動度（電子移動度）が高くなるため好ましい。

【０２３０】

第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂとして、Ａｌ、Ｇａ、Ｔｉ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄをＩｎより高い原子数比で有することで、以下の効果を有する場合がある。（１）第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂのエネルギーギャップを大きくする。（２）第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂの電子親和力を小さくする。（３）外部からの不純物の拡散を抑制する。（４）第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂと比較して、絶縁性が高くなる。（５）Ｇａ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄは、酸素との結合力が強い金属元素であるため、酸素欠損が生じにくくなる。

【０２３１】

第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂがＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物であるとき、ＩｎおよびＭの和を１００ａｔｏｍｉｃ％としたとき、ＩｎとＭの原子数比率は、好ましくは、ＩｎとＭの原子数比率は好ましくはＩｎが２５ａｔｏｍｉｃ％より大きく、Ｍが７５ａｔｏｍｉｃ％未満、さらに好ましくはＩｎが３４ａｔｏｍｉｃ％より大きく、Ｍが６６ａｔｏｍｉｃ％未満とする。

【０２３２】

第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂがＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物であるとき、ＩｎおよびＭの和を１００ａｔｏｍｉｃ％としたとき、ＩｎとＭの原子数比率は、好ましくは、Ｉｎが５０ａｔｏｍｉｃ％未満、Ｍが５０ａｔｏｍｉｃ％より大きい、さらに好ましくは、Ｉｎが２５ａｔｏｍｉｃ％未満、Ｍが７５ａｔｏｍｉｃ％より大きいとする。

【０２３３】

また、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂが、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物Ｍ（Ｍは、Ａｌ、Ｇａ、Ｔｉ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄ）の場合、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂと比較して、第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂに含まれるＭ（Ａｌ、Ｇａ、Ｔｉ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄ）の原子数比が大きく、代表的には、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂに含まれる上記原子と比較して、１．５倍以上、好ましくは２倍以上、さらに好ましくは３倍以上高い原子数比である。

【０２３４】

また、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂが、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物（Ｍは、Ａｌ、Ｇａ、Ｔｉ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄ）の場合、第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂを$In:M:Zn=x_1:y_1:z_1$［原子数比］、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂを$In:M:Zn=x_2:y_2:z_2$［原子数比］とすると、y_1/x_1がy_2/x_2よりも大きく、好ましくは、y_1/x_1がy_2/x_2よりも１．５倍以上である。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、より好ましくは、y_1/x_1がy_2/x_2よりも３倍以上大きい。

【０２３５】

第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂがＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物（Ｍは、Ａｌ、Ｇａ、Ｔｉ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄ）の場合、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂを成膜するために用いるターゲットにおいて、金属元素の原子数比を$In:M:Zn=x_1:y_1:z_1$とすると、x_1/y_1は、１／３以上６以下、さらには１以上６以下であって、z_1/y_1は、１／３以上６以下、さらには１以上６以下であることが好ましい。なお、z_1/y_1を１以上６以下とすることで、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂとしてＣＡＡＣ－ＯＳ膜が形成されやすくなる。ターゲットの金属元素の原子数比の代表例としては、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：１：１、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：１：１．２、Ｉｎ

：Ｍ：Ｚｎ＝３：１：２等がある。

【０２３６】

第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂがＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物（Ｍは、Ｇａ、Ｙ、Ｚｒ、Ｌａ、Ｃｅ、またはＮｄ）の場合、第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂを成膜するために用いるターゲットにおいて、金属元素の原子数比をＩｎ：Ｍ：Ｚｎ＝x_2：y_2：z_2とすると、$x_2/y_2 < x_1/y_1$であって、z_2/y_2は、１／３以上６以下、さらには１以上６以下であることが好ましい。なお、z_2/y_2を１以上６以下とすることで、第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂとしてＣＡＡＣ－ＯＳ膜が形成されやすくなる。ターゲットの金属元素の原子数比の代表例としては、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：３：２、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：３：４、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：３：６、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：３：８等がある。

【０２３７】

なお、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂ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４０％の変動を含む。

【０２３８】

第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂは、絶縁膜１１９となる膜を形成する際の、第１の金属酸化物膜２５１ａへのダメージ緩和膜としても機能する。

【０２３９】

第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂの厚さは、３ｎｍ以上２００ｎｍ以下、好ましくは３ｎｍ以上１００ｎｍ以下、さらに好ましくは３ｎｍ以上５０ｎｍ以下とする。第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂの厚さは、３ｎｍ以上１００ｎｍ以下、好ましくは３ｎｍ以上５０ｎｍとする。

【０２４０】

第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂは、例えば非単結晶構造でもよい。非単結晶構造は、例えば、後述するＣＡＡＣ－ＯＳ（Ｃ　Ａｘｉｓ　Ａｌｉｇｎｅｄ－Ｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ　Ｏｘｉｄｅ　Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）、多結晶構造、後述する微結晶構造、または非晶質構造を含む。

【０２４１】

なお、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂにおいて、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、ＣＡＡＣ－ＯＳの領域、単結晶構造の領域の二種以上を有する混合膜を構成してもよい。混合膜は、例えば、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、ＣＡＡＣ－ＯＳの領域、単結晶構造の領域のいずれか二種以上の領域を有する単層構造の場合がある。また、混合膜は、例えば、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、ＣＡＡＣ－ＯＳの領域、単結晶構造の領域のいずれか二種以上の領域の積層構造を有する場合がある。

【０２４２】

ここでは、第１の金属酸化物膜２５１ａ及び絶縁膜１１９の間に、第２の金属酸化物膜２５２ａが設けられている。このため、第２の金属酸化物膜２５２ａと絶縁膜１１９の間において、不純物及び欠陥によりキャリアトラップが形成されても、当該キャリアトラップが形成される領域と第１の金属酸化物膜２５１ａとの間には隔たりがある。この結果、第１の金属酸化物膜２５１ａを流れる電子がキャリアトラップに捕獲されにくく、トランジスタ２２ｂのオン電流を増大させることが可能であると共に、電界効果移動度を高めることができる。また、キャリアトラップに電子が捕獲されると、該電子が負の固定電荷となってしまう。この結果、トランジスタのしきい値電圧が変動してしまう。しかしながら、第１の金属酸化物膜２５１ａとキャリアトラップが形成される領域との間に隔たりがあるため、キャリアトラップにおける電子の捕獲を抑制することが可能であり、しきい値電圧の変動を低減することができる。

【０２４３】

また、第２の金属酸化物膜２５２ａは、外部からの不純物を遮蔽することが可能であるため、外部から第１の金属酸化物膜２５１ａへ移動する不純物量を低減することが可能である。また、第２の金属酸化物膜２５２ａは、酸素欠損を形成しにくい。これらのため、第１の金属酸化物膜２５１ａにおける不純物濃度及び酸素欠損量を低減することが可能である。

【０２４４】

なお、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂは、各膜を単に積層するのではなく連続接合（ここでは特に伝導帯の下端のエネルギーが各膜の間で連続的に変化する構造）が形成されるように作製する。すなわち、各膜の界面において、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂにとってトラップ中心や再結合中心のような欠陥準位、あるいはキャリアの流れを阻害するバリアを形成するような不純物が存在しないような積層構造とする。仮に、積層された第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂ及び第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂの間に不純物が混在していると、エネルギーバンドの連続性が失われ、界面でキャリアがトラップされ、あるいは再結合して、消滅してしまう。

【０２４５】

連続接合を形成するためには、ロードロック室を備えたマルチチャンバー方式の成膜装置（スパッタリング装置）を用いて各膜を大気に触れさせることなく連続して積層することが必要となる。スパッタリング装置における各チャンバーは、金属酸化物膜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排気（５×１０$^{-7}$Ｐａ乃至１×１０$^{-4}$Ｐａ程度まで）することが好ましい。または、ターボ分子ポンプとコールドトラップを組み合わせて排気系からチャンバー内に気体、特に炭素または水素を含む気体が逆流しないようにしておくことが好ましい。

【０２４６】

また、図１１（Ｂ）に示すように、トランジスタ２２ｃは、多層膜２５５ａを有してもよい。または、多層膜２５５ｂを容量電極として設けてもよい。

【０２４７】

多層膜２５５ａは、第３の金属酸化物膜２５３ａ、第１の金属酸化物膜２５１ａ、及び第２の金属酸化物膜２５２ａが順に積層されている。また、第３の金属酸化物膜２５３ａは絶縁膜１０６と接し、第２の金属酸化物膜２５２ａは絶縁膜１１９と接し、第１の金属酸化物膜２５１ａがチャネル領域として機能する。

【０２４８】

多層膜２５５ｂは、第３の金属酸化物膜２５３ｂ、第１の金属酸化物膜２５１ｂ、及び第２の金属酸化物膜２５２ｂが順に積層されている。また、第３の金属酸化物膜２５３ｂは絶縁膜１０６と接し、第２の金属酸化物膜２５２ｂは絶縁膜１１９と接する。

【０２４９】

第３の金属酸化物膜２５３ａ、１５３ｂは、第２の金属酸化物膜２５２ａ、２５２ｂと同様の材料及び形成方法を適宜用いることができる。

【０２５０】

第３の金属酸化物膜２５３ａ、１５３ｂは、第１の金属酸化物膜２５１ａ、２５１ｂより膜厚が小さいと好ましい。第３の金属酸化物膜２５３ａ、１５３ｂの厚さを１ｎｍ以上５ｎｍ以下、好ましくは１ｎｍ以上３ｎｍ以下とすることで、トランジスタのしきい値電圧の変動量を低減することが可能である。

【０２５１】

本実施の形態に示すトランジスタは、絶縁膜１０６及び第１の金属酸化物膜２５１ａの間に、第３の金属酸化物膜２５３ａが設けられている。また、第１の金属酸化物膜２５１ａ及び絶縁膜１１９の間に、第２の金属酸化物膜２５２ａが設けられている。これらのため、絶縁膜１０６及び第１の金属酸化物膜２５１ａの間、並びに第１の金属酸化物膜２５１ａ及び絶縁膜１１９の間において、不純物及び欠陥によりキャリアトラップが形成され

ても、当該キャリアトラップが形成される領域と第１の金属酸化物膜２５１ａとの間には隔たりがある。この結果、第１の金属酸化物膜２５１ａを流れる電子がキャリアトラップに捕獲されにくく、トランジスタ２２ｃのオン電流を増大させることが可能であると共に、電界効果移動度を高めることができる。また、キャリアトラップに電子が捕獲されると、該電子がマイナスの固定電荷となってしまう。この結果、トランジスタのしきい値電圧が変動してしまう。しかしながら、第１の金属酸化物膜２５１ａとキャリアトラップが形成される領域との間に隔たりがあるため、キャリアトラップにおける電子の捕獲を低減することが可能であり、トランジスタ２２ｃのしきい値電圧の変動を低減することができる。

【０２５２】

なお、本実施の形態に示す構成及び方法などは、他の実施の形態に示す構成及び方法などと適宜組み合わせて用いることができる。

【０２５３】

（実施の形態５）

本実施の形態では、オン電流が大きく、電界効果易動度が高く、電気特性のばらつきの少ないトランジスタと、容量素子とを、フォトマスクを削減して作製する方法について、図１４及び図１５を用いて説明する。なお、本実施の形態では、実施の形態２に示すトランジスタ及びその作製方法を用いて説明するが、適宜他の実施の形態に本実施の形態を適用することができる。また、実施の形態２と重複する構成は説明を省略する。

【０２５４】

図１４は画素１３の上面図であり、図１５（Ａ）は、図１４の一点鎖線Ａ－Ｂ、Ｃ－Ｄ間の断面図であり、図１５（Ｂ）は、図１４の一点鎖線Ｅ－Ｆ間の断面図である。

【０２５５】

トランジスタ２２ｄは、走査線及び信号線が交差する領域に設けられている。トランジスタ２２ｄは、ゲート電極として機能する導電膜１０３、ゲート絶縁膜（図１５に図示せず。）、ゲート絶縁膜上に形成されたチャネル領域が形成される金属酸化物膜１０９ａ、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜１１４、１１５、金属酸化物膜１０９ａ、導電膜１１４、１１５を覆う絶縁膜（図１５に図示せず。）、及びゲート電極として機能する導電膜２４３により構成される。トランジスタ２２ｄは、開口部２４１において、ゲート電極として機能する導電膜１０３及び導電膜２４３が接続していることを特徴とする。

【０２５６】

次に、トランジスタ２２ｄの断面構造について、図１５を用いて説明する。図１５（Ａ）はトランジスタ２２ｄのチャネル長方向の断面図であり、図１５（Ｂ）はトランジスタ２２ｄのチャネル方向の断面図である。

【０２５７】

図１５（Ａ）及び図１５（Ｂ）に示すトランジスタ２２ｄは、チャネルエッチ型のトランジスタであり、基板１０１に設けられるゲート電極として機能する導電膜１０３と、基板１０１及び導電膜１０３と接する絶縁膜１０５と、絶縁膜１０５と接する絶縁膜１０６と、絶縁膜１０５、１０６を介して、導電膜１０３と重なる金属酸化物膜１０９ａと、金属酸化物膜１０９ａと接する導電膜１１４、１１５とを有する。また、絶縁膜１０５、絶縁膜１０６、金属酸化物膜１０９ａ、及び導電膜１１４、１１５と接する絶縁膜１１９と、絶縁膜１１９と接する絶縁膜１２１と、絶縁膜１２１と接するゲート電極として機能する導電膜２４３とを有する。絶縁膜１０５及び絶縁膜１０６はゲート絶縁膜として機能する。また、絶縁膜１１９及び絶縁膜１２１はゲート絶縁膜として機能する。

【０２５８】

図１５（Ｂ）に示すように、導電膜１０３及び導電膜２４３は、絶縁膜１０５、絶縁膜１０６、絶縁膜１１９、及び絶縁膜１２１に設けられる開口部２４１において、接続する。また、トランジスタのチャネル幅方向において、導電膜２４３の端部は、金属酸化物膜１０９ａの端部の外側に位置する。また、絶縁膜１１９及び絶縁膜１２１を介して金属酸

化物膜１０９ａの側面が導電膜２４３と対向する。また、導電膜２４３は、開口部２４１において、金属酸化物膜１０９ａの側面と対向する。

【０２５９】

導電膜２４３は、導電膜１２３及び導電膜１２４と同様の材料及び作製方法を用いて形成することができる。また、開口部２４１は、開口部１５２を形成する際に同時に形成することができる。この結果、フォトマスク数を増やすことなく、５枚のフォトマスクを用いてトランジスタ２２ｄを作製することができる。

【０２６０】

図１５（Ｂ）において、トランジスタのチャネル幅方向において、金属酸化物膜１０９ａの側面がゲート電極として機能する導電膜２４３と対向する。このため、導電膜１０３及び導電膜２４３の電界が、金属酸化物膜１０９ａの平面だけでなく、側面へも影響する。この結果、金属酸化物膜１０９ａにおいてキャリアの流れる領域が、絶縁膜１０６と金属酸化物膜１０９ａとの界面、及び金属酸化物膜１０９ａと絶縁膜１１９との界面のみでなく、金属酸化物膜１０９ａの内部を含む広い範囲となるため、トランジスタにおける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共に、電界効果移動度が高くなり、代表的には電界効果移動度が１０ｃｍ^2／Ｖ・ｓ以上、さらには２０ｃｍ^2／Ｖ・ｓ以上となる。なお、トランジスタのＬ長を０．５μｍ以上６．５μｍ以下、好ましくは１μｍより大きく６μｍ未満とすることで、電界効果移動度の増加が顕著である。

【０２６１】

また、エッチング等で加工された金属酸化物膜１０９ａの端部においては、加工におけるダメージにより欠陥が形成される共に、不純物付着などにより汚染される。このため、トランジスタにおいてゲート電極として機能する導電膜１０３または導電膜２４３の一方のみ形成される場合、金属酸化物膜１０９ａが真性または実質的に真性であっても、電界などのストレスが与えられることによって金属酸化物膜１０９ａの端部は活性化され、ｎ型の領域（低抵抗領域）となりやすい。また、当該ｎ型の領域が、導電膜１１４、１１５の間に直線的に設けられると、ｎ型の領域がキャリアのパスとなってしまい、寄生チャネルが形成される。この結果、しきい値電圧におけるドレイン電流の上昇が段階的であり、且つしきい値電圧がマイナスシフトしたトランジスタとなってしまう。しかしながら、図１５（Ｂ）に示すように、同電位である導電膜１０３及び導電膜２４３を有し、チャネル幅方向において、導電膜２４３が、金属酸化物膜１０９ａの側面と対向することで、導電膜２４３の電界が金属酸化物膜１０９ａの側面へも影響する。この結果、金属酸化物膜１０９ａの側面、または側面及びその近傍を含む端部における寄生チャネルの発生が抑制される。この結果、しきい値電圧におけるドレイン電流の上昇が急峻である、電気特性の優れたトランジスタとなる。

【０２６２】

また、導電膜１０３及び導電膜２４３を有することで、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、基板１０１及び導電膜２４３の間、導電膜２４３上に設けられる固定電荷が金属酸化物膜１０９ａに影響しない。この結果、ストレス試験（例えば、ゲート電極にマイナスの電位を印加する－ＧＢＴ（Ｇａｔｅ　Ｂｉａｓ－Ｔｅｍｐｅｒａｔｕｒｅ）ストレス試験）の劣化が抑制されると共に、異なるドレイン電圧におけ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。

【０２６３】

なお、ＢＴ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（即ち、経年変化）を、短時間で評価することができる。特に、ＢＴ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。ＢＴ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。

【０２６４】

また、図１５（Ｂ）において、チャネル幅方向において、金属酸化物膜１０９ａの一方

の側面側に開口部が設けれ、該開口部において導電膜１０３及び導電膜２４３が電気的に接続しているが、他方の側面側にも開口部を設け、該開口部において導電膜１０３及び導電膜２４３を電気的に接続してもよい。この結果、導電膜２４３の抵抗値の増加を防ぐことができるとともに、金属酸化物膜１０９ａの両側面から導電膜２４３の電界を金属酸化物膜１０９ａに影響させることが可能であり、トランジスタのオン電流を増大させるとともに、電界効果移動度を高めることができる。

【０２６５】

なお、本実施の形態に示す構成及び方法などは、他の実施の形態に示す構成及び方法などと適宜組み合わせて用いることができる。

【０２６６】

（実施の形態６）

実施の形態１乃至実施の形態５に示すトランジスタ及び容量素子を用いて、駆動回路を作製することができる。

【０２６７】

また、実施の形態４に示すトランジスタ２２ｄは、オン電流が大きく、且つ移動度が高い。このため、大電流を流す必要のあるトランジスタで構成される回路、例えばバッファにトランジスタ２２ｄを用いることで、チャネル長及びチャネル幅を小さくすることが可能であり、トランジスタの面積を縮小することが可能である。この結果、駆動回路の面積が縮小される。周辺部に駆動回路を有する半導体装置、代表的には表示装置において、駆動回路の面積を縮小することで、表示装置における画素部の面積を増大させることができる。すなわち、表示装置の狭額縁化が可能である。

【０２６８】

なお、本実施の形態に示す構成及び方法などは、他の実施の形態に示す構成及び方法などと適宜組み合わせて用いることができる。

【０２６９】

（実施の形態７）

本実施の形態では、本発明の一態様の半導体装置を適用した表示モジュールについて、図１６を用いて説明を行う。

【０２７０】

図１６に示す表示モジュール８０００は、上部カバー８００１と下部カバー８００２との間に、ＦＰＣ８００３に接続されたタッチパネル８００４、ＦＰＣ８００５に接続された表示パネル８００６、バックライトユニット８００７、フレーム８００９、プリント基板８０１０、バッテリー８０１１を有する。なお、バックライトユニット８００７、バッテリー８０１１、タッチパネル８００４などは、設けられない場合もある。

【０２７１】

本発明の一態様の半導体装置は、例えば、表示パネル８００６に用いることができる。

【０２７２】

上部カバー８００１及び下部カバー８００２は、タッチパネル８００４及び表示パネル８００６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。

【０２７３】

タッチパネル８００４は、抵抗膜方式または静電容量方式のタッチパネルを表示パネル８００６に重畳して用いることができる。また、表示パネル８００６の対向基板（封止基板）に、タッチパネル機能を持たせるようにすることも可能である。または、表示パネル８００６の各画素内に光センサを設け、光学式のタッチパネルとすることも可能である。または、表示パネル８００６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とすることも可能である。

【０２７４】

バックライトユニット８００７は、光源８００８を有する。光源８００８をバックライトユニット８００７の端部に設け、光拡散板を用いる構成としてもよい。

【０２７５】

フレーム８００９は、表示パネル８００６の保護機能の他、プリント基板８０１０の動作により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８００９は、放熱板としての機能を有していてもよい。

【０２７６】

プリント基板８０１０は、電源回路、ビデオ信号及びクロック信号を出力するための信号処理回路を有する。電源回路に電力を供給する電源としては、外部の商用電源であっても良いし、別途設けたバッテリー８０１１による電源であってもよい。バッテリー８０１１は、商用電源を用いる場合には、省略可能である。

【０２７７】

また、表示モジュール８０００には、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。

【０２７８】

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

【０２７９】

（実施の形態８）

本実施の形態では、半導体装置の一例として、上記実施の形態で説明した半導体装置を搭載することのできる電子機器について説明する。

【０２８０】

電子機器として、例えば、テレビジョン装置（テレビ、またはテレビジョン受信機ともいう）、コンピュータ用などのモニタ、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機（携帯電話、携帯電話装置ともいう）、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、パチンコ機などの大型ゲーム機などが挙げられる。これらの電子機器の具体例を図１２に示す。

【０２８１】

図１２（Ａ）は、テレビジョン装置の一例を示している。テレビジョン装置７１００は、筐体７１０１に表示部７１０３が組み込まれている。表示部７１０３により、映像を表示することが可能であり、上記実施の形態で説明した表示装置を表示部７１０３に用いることができる。また、ここでは、スタンド７１０５により筐体７１０１を支持した構成を示している。

【０２８２】

テレビジョン装置７１００の操作は、筐体７１０１が備える操作スイッチや、別体のリモートコントローラ７１１０により行うことができる。リモートコントローラ７１１０が備える操作キー７１０９により、チャンネルや音量の操作を行うことができ、表示部７１０３に表示される映像を操作することができる。また、リモートコントローラ７１１０に、当該リモートコントローラから出力する情報を表示する表示部７１０７を設ける構成としてもよい。

【０２８３】

なお、テレビジョン装置７１００は、受信機やモデムなどを備えた構成とする。受信機により一般のテレビ放送の受信を行うことができ、さらにモデムを介して有線または無線による通信ネットワークに接続することにより、一方向（送信者から受信者）または双方向（送信者と受信者間、あるいは受信者間同士など）の情報通信を行うことも可能である。

【０２８４】

図１２（Ｂ）はコンピュータであり、本体７２０１、筐体７２０２、表示部７２０３、キーボード７２０４、外部接続ポート７２０５、ポインティングデバイス７２０６等を含む。なお、コンピュータは、上記実施の形態で説明した表示装置を表示部７２０３に用いることができる。

【０２８５】

図１２（Ｃ）は携帯型遊技機であり、筐体７３０１と筐体７３０２の２つの筐体で構成

されており、連結部７３０３により、開閉可能に連結されている。筐体７３０１には表示部７３０４が組み込まれ、筐体７３０２には表示部７３０５が組み込まれている。また、図１２（Ｃ）に示す携帯型遊技機は、その他、スピーカ部７３０６、記録媒体挿入部７３０７、ＬＥＤランプ７３０８、入力手段（操作キー７３０９、接続端子７３１０、センサ７３１１（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、においまたは赤外線を測定する機能を含むもの）、マイクロフォン７３１２）等を備えている。もちろん、携帯型遊技機の構成は上述のものに限定されず、少なくとも表示部７３０４および表示部７３０５の両方、または一方に上記実施の形態で説明した表示装置を用いていればよく、その他付属設備が適宜設けられた構成とすることができる。図１２（Ｃ）に示す携帯型遊技機は、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や、他の携帯型遊技機と無線通信を行って情報を共有する機能を有する。なお、図１２（Ｃ）に示す携帯型遊技機が有する機能はこれに限定されず、様々な機能を有することができる。

【０２８６】

図１２（Ｄ）は、携帯電話機の一例を示している。携帯電話機７４００は、筐体７４０１に組み込まれた表示部７４０２の他、操作ボタン７４０３、外部接続ポート７４０４、スピーカ７４０５、マイク７４０６などを備えている。なお、携帯電話機７４００は、上記実施の形態で説明した表示装置を表示部７４０２に用いることにより作製される。

【０２８７】

図１２（Ｄ）に示す携帯電話機７４００は、表示部７４０２を指などで触れることで、情報を入力することができる。また、電話を掛ける、或いはメールを作成するなどの操作は、表示部７４０２を指などで触れることにより行うことができる。

【０２８８】

表示部７４０２の画面は主として３つのモードがある。第１は、画像の表示を主とする表示モードであり、第２は、文字等の情報の入力を主とする入力モードである。第３は表示モードと入力モードの２つのモードが混合した表示＋入力モードである。

【０２８９】

例えば、電話を掛ける、或いはメールを作成する場合は、表示部７４０２を文字の入力を主とする文字入力モードとし、画面に表示させた文字の入力操作を行えばよい。この場合、表示部７４０２の画面のほとんどにキーボードまたは番号ボタンを表示させることが好ましい。

【０２９０】

また、携帯電話機７４００内部に、ジャイロ、加速度センサ等の傾きを検出するセンサを有する検出装置を設けることで、携帯電話機７４００の向き（縦か横か）を判断して、表示部７４０２の画面表示を自動的に切り替えるようにすることができる。

【０２９１】

また、画面モードの切り替えは、表示部７４０２を触れること、または筐体７４０１の操作ボタン７４０３の操作により行われる。また、表示部７４０２に表示される画像の種類によって切り替えるようにすることもできる。例えば、表示部に表示する画像信号が動画のデータであれば表示モード、テキストデータであれば入力モードに切り替える。

【０２９２】

また、入力モードにおいて、表示部７４０２の光センサで検出される信号を検知し、表示部７４０２のタッチ操作による入力が一定期間ない場合には、画面のモードを入力モードから表示モードに切り替えるように制御してもよい。

【０２９３】

表示部７４０２は、イメージセンサとして機能させることもできる。例えば、表示部７４０２に掌や指で触れ、掌紋、指紋等を撮像することで、本人認証を行うことができる。また、表示部に近赤外光を発光するバックライトまたは近赤外光を発光するセンシング用光源を用いれば、指静脈、掌静脈などを撮像することもできる。

【０２９４】
図１２（Ｅ）は、折りたたみ式のコンピュータの一例を示している。折りたたみ式のコンピュータ７４５０は、ヒンジ７４５４で接続された筐体７４５１Ｌと筐体７４５１Ｒを備えている。また、操作ボタン７４５３、左側スピーカ７４５５Ｌおよび右側スピーカ７４５５Ｒの他、コンピュータ７４５０の側面には図示されていない外部接続ポート７４５６を備える。なお、筐体７４５１Ｌに設けられた表示部７４５２Ｌと、筐体７４５１Ｒに設けられた表示部７４５２Ｒが互いに対峙するようにヒンジ７４５４を折り畳むと、表示部を筐体で保護することができる。
【０２９５】
表示部７４５２Ｌと表示部７４５２Ｒは、画像を表示する他、指などで触れると情報を入力できる。例えば、インストール済みのプログラムを示すアイコンを指でふれて選択し、プログラムを起動できる。または、表示された画像の二箇所に触れた指の間隔を変えて、画像を拡大または縮小できる。または、表示された画像の一箇所に触れた指を移動して画像を移動できる。また、キーボードの画像を表示して、表示された文字や記号を指で触れて選択し、情報を入力することもできる。
【０２９６】
また、コンピュータ７４５０に、ジャイロ、加速度センサ、ＧＰＳ（Ｇｌｏｂａｌ Ｐｏｓｉｔｉｏｎｉｎｇ Ｓｙｓｔｅｍ）受信機、指紋センサ、ビデオカメラを搭載することもできる。例えば、ジャイロ、加速度センサ等の傾きを検出するセンサを有する検出装置を設けることで、コンピュータ７４５０の向き（縦か横か）を判断して、表示する画面の向きを自動的に切り替えるようにすることができる。
【０２９７】
また、コンピュータ７４５０はネットワークに接続できる。コンピュータ７４５０はインターネット上の情報を表示できる他、ネットワークに接続された他の電子機器を遠隔から操作する端末として用いることができる。
【０２９８】
なお、本実施の形態に示す構成及び方法などは、他の実施の形態に示す構成及び方法などと適宜組み合わせて用いることができる。
【実施例１】
【０２９９】
本実施例では、金属酸化物膜において、導電性を有する領域の横方向への拡散長を調べた。
【０３００】
はじめに、試料の構造について、説明する。
【０３０１】
図１８（Ａ）に、試料の上面図を示し、図１８（Ａ）のＡ－Ｂに対応する断面図を図１８（Ｂ）に示す。
【０３０２】
試料は、基板３０１と、基板３０１上の絶縁膜３０３と、絶縁膜３０３上の金属酸化物膜３０５と、金属酸化物膜３０５の一部と接する一対の導電膜３０７、３０８と、金属酸化物膜３０５及び一対の導電膜３０７、３０８のそれぞれ一部に接する絶縁膜３０９と、絶縁膜３０３、金属酸化物膜３０５、一対の導電膜３０７、３０８、及び絶縁膜３０９と接する絶縁膜３１１を有する。なお、絶縁膜３０９は、開口部３１０ａ、３１０ｂを有する。また、絶縁膜３１１は、開口部３１０ａ、３１０ｂにおいて、金属酸化物膜３０５に接する。
【０３０３】
ここでは、基板３０１として、ガラス基板を用いた。
【０３０４】
また、絶縁膜３０３として、厚さ５０ｎｍの第１の窒化シリコン膜と、厚さ３００ｎｍの第２の窒化シリコン膜と、厚さ５０ｎｍの第３の窒化シリコン膜と、厚さ５０ｎｍの酸

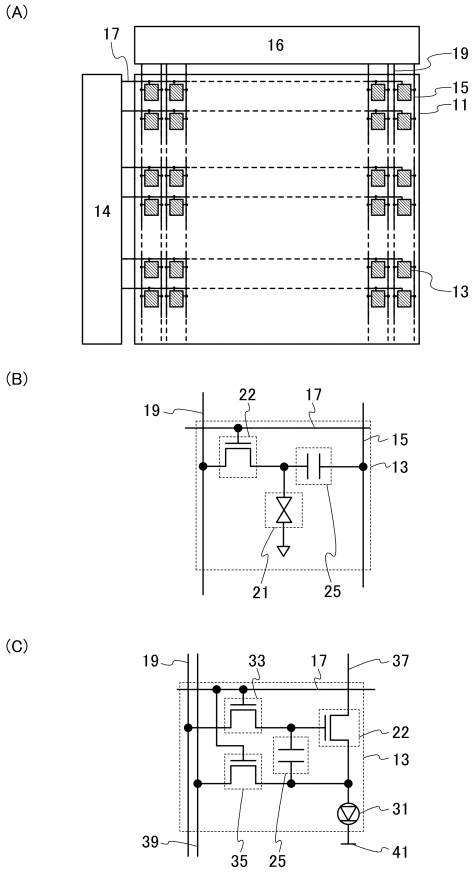
化窒化シリコン膜が順に積層された積層膜を用いた。
【０３０５】
また、金属酸化物膜３０５として、厚さ３５ｎｍのＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物膜を用いた。なお、Ｉｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物膜は、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ＝１：１：１のＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物ターゲットを用いたスパッタリング法により形成した。
【０３０６】
また、一対の導電膜３０７、３０８として、厚さ５０ｎｍの第１のチタン膜と、厚さ４００ｎｍのアルミニウム膜と、厚さ１００ｎｍの第２のチタン膜が順に積層された積層膜を用いた。
【０３０７】
また、絶縁膜３０９として、厚さ４５０ｎｍの酸化窒化シリコン膜を用いた。
【０３０８】
また、絶縁膜３１１として、厚さ１００ｎｍの窒化シリコン膜を用いた。
【０３０９】
金属酸化物膜３０５は、絶縁膜３０９の開口部３１０ａ、３１０ｂにおいて、絶縁膜３１１と接する。このため、金属酸化物膜３０５は、絶縁膜３０９と接する領域３０５ａと、絶縁膜３１１と接する領域３０５ｂ、３０５ｃとを有する。なお、絶縁膜３１１は、窒化シリコン膜で形成されているため、領域３０５ｂ、３０５ｃは、領域３０５ａと比較して、導電性が高い。
【０３１０】
絶縁膜３１１に含まれる水素は、金属酸化物膜３０５において横方向に拡散する。水素が拡散した領域は導電性が高くなる。このため、絶縁膜３０９の幅、即ち開口部３１０ａ、３１０ｂの間隔ｄが狭くなると、領域３０５ａにおいても導電性が高くなってしまい、絶縁膜３０９と接していても、トランジスタのチャネル領域として機能しなくなる。
【０３１１】
そこで、絶縁膜３０９の幅、即ち開口部３１０ａ、３１０ｂの間隔ｄを様々な値とした試料を作製した。次に、一対の導電膜３０７、３０８の電位差が０．９９Ｖとなるように電圧を印加して、金属酸化物膜３０５全体の抵抗値を測定した。
【０３１２】
表１及び図１９に、開口部３１０ａ、３１０ｂの間隔ｄと、金属酸化物膜３０５の抵抗値を示す。なお、比較例として、２つの試料を作製した。比較例１は、絶縁膜３０９に開口部３１０ａ、３１０ｂを有さない試料、即ち、金属酸化物膜３０５全てが酸化窒化シリコン膜で形成される絶縁膜３０９と接する試料である。比較例２は、絶縁膜３０９を有さない試料、即ち、金属酸化物膜３０５全てが窒化シリコン膜で形成される絶縁膜３１１と接する試料である。
【０３１３】

【表１】

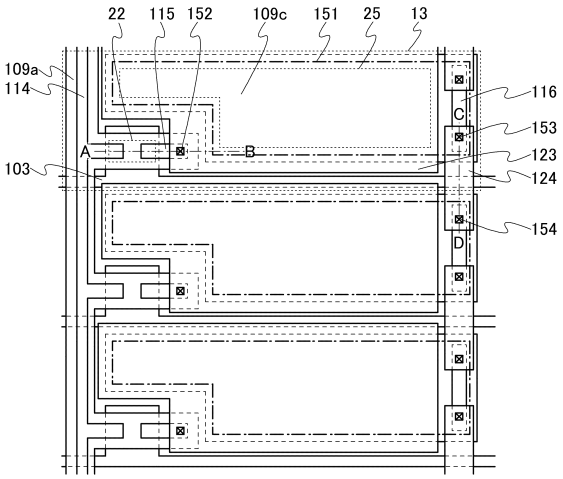
間隔d[μm]	抵抗値[Ω.]
1	5.6E+03
2	5.6E+03
3	7.5E+03
5	4.7E+06
10	1.9E+07
20	5.3E+07
50	2.9E+08
100	9.2E+09
比較例1 開口部無しの試料	1.1E+11
比較例2 絶縁膜309無しの試料	1.1E+04

【０３１４】
表１及び図１９より、開口部３１０ａ、３１０ｂの間隔ｄが３μｍを超えると金属酸化物膜３０５の抵抗値が上昇することから、金属酸化物膜３０５における、導電性の高い領域３０５ｂ、３０５ｃの横方向への拡散長は、片側あたり１．５乃至２ｕｍ程度と推測される。
【０３１５】
よって、トランジスタのチャネル領域と、容量素子の電極を、一つの金属酸化物膜に形成する場合、トランジスタのチャネル領域と、容量素子の電極との間隔を、１．５μｍより大きい、さらには２μｍより大きい、さらには３μｍ以上とすることで、優れたスイッチング特性を有するトランジスタと、導電性の高い容量素子の電極とを、一つの金属酸化物膜で形成することができる。

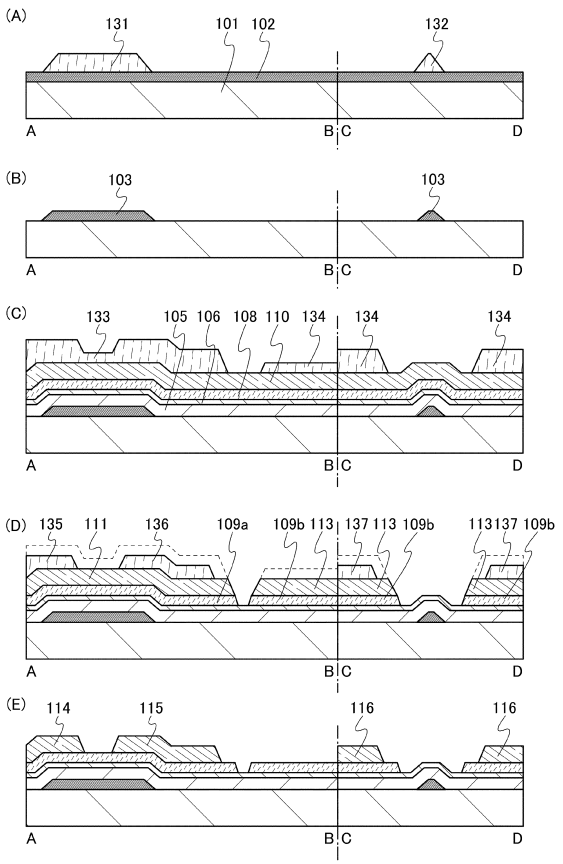
【図１】


(A)
17
16
19
15
11
14
13
(B)
19
22
17
15
13
21
25
(C)
19
33
17
37
22
13
31
39
35
25
41

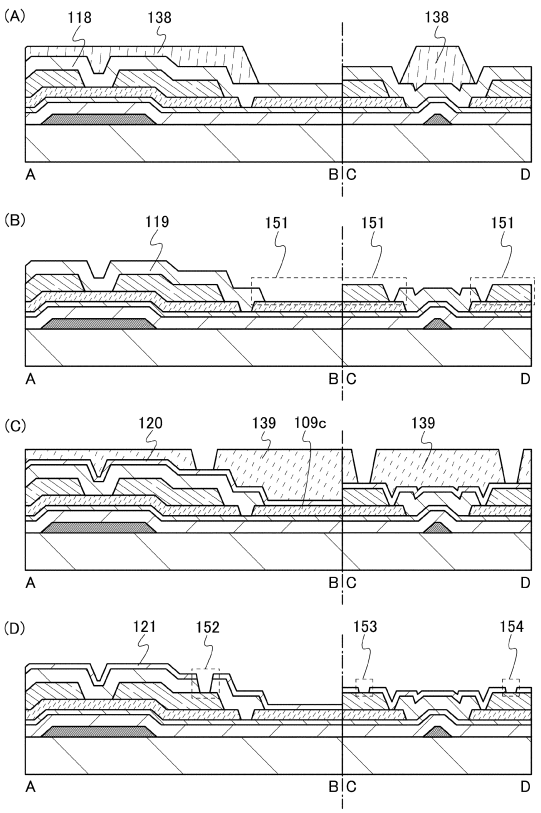
【図２】


22
115
152
109c
151
25
13
109a
114
116
C
153
A
B
123
103
124
154
D

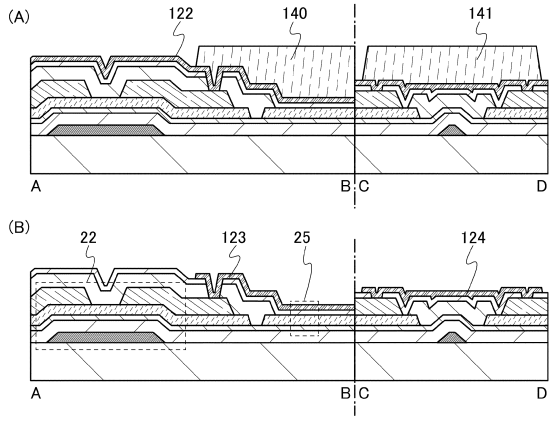
【図３】


(A)
131
101
102
132
A
B
C
D
(B)
103
103
(C)
133
105
106
108
110
134
134
134
(D)
135
111
136
109a
109b
113
137
113
109b
113
137
109b
(E)
114
115
116
116

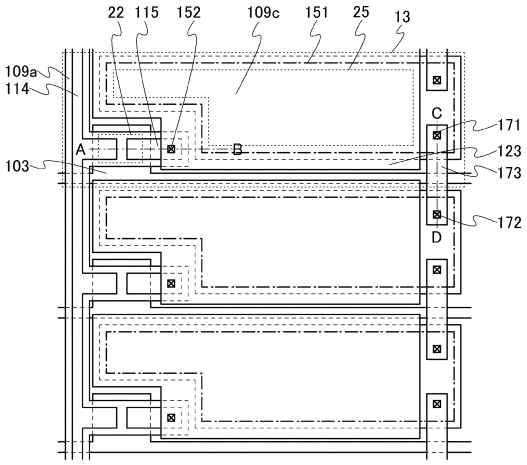
【図４】


(A)
118
138
138
A
B
C
D
(B)
119
151
151
151
(C)
120
139
109c
139
(D)
121
152
153
154

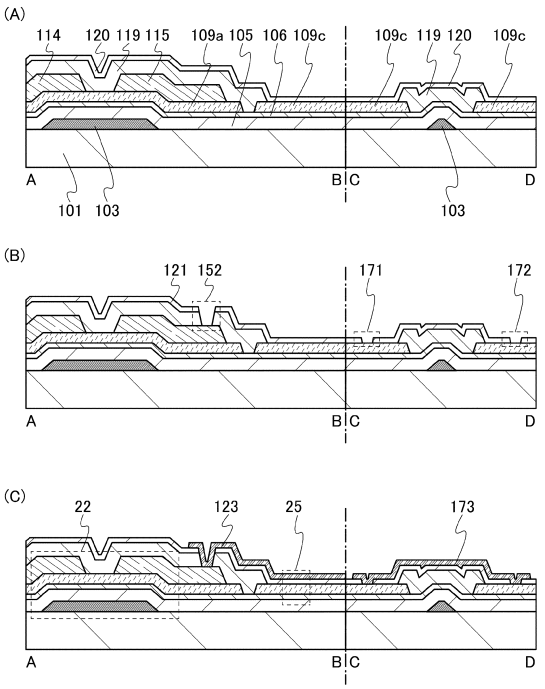
【図５】


(A)
122
140
141
A
B
C
D
(B)
22
123
25
124
A
B
C
D

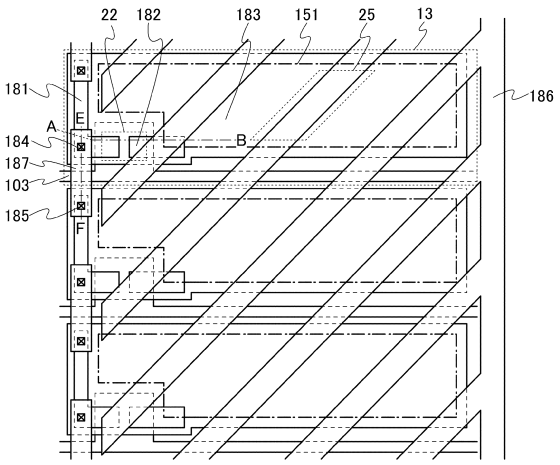
【図６】


22
115
152
109c
151
25
13
109a
114
103
A
B
C
D
171
123
173
172

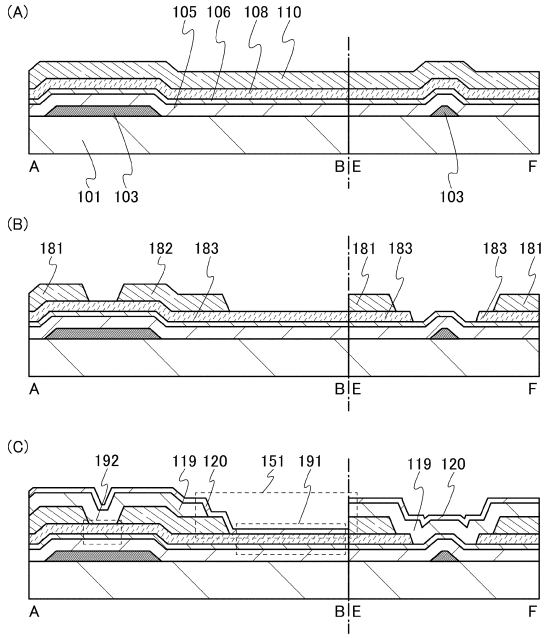
【図７】


(A)
114
120
119
115
109a
105
106
109c
109c
119
120
109c
A
B
C
D
101
103
103
(B)
121
152
171
172
A
B
C
D
(C)
22
123
25
173
A
B
C
D

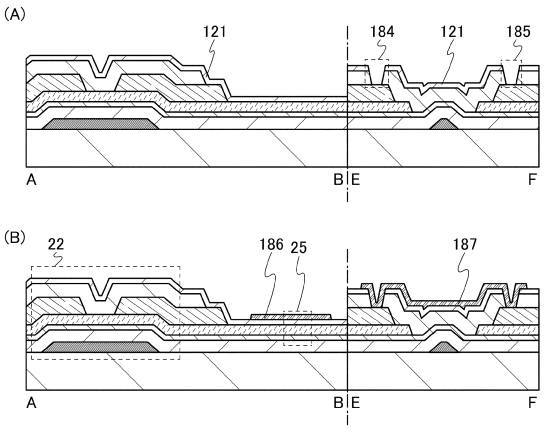
【図８】


22
182
183
151
25
13
181
A
E
184
187
103
185
F
B
186

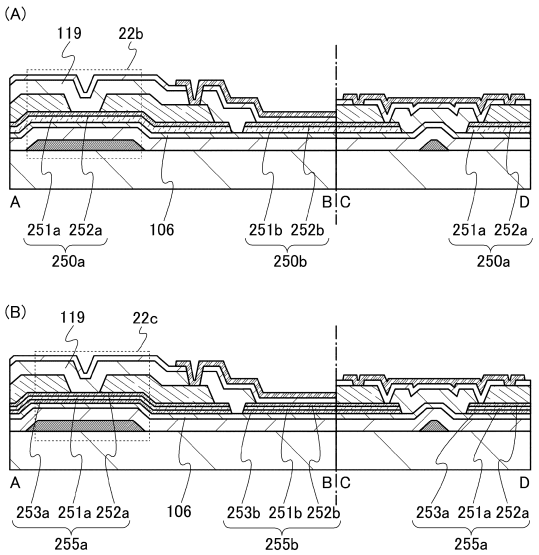
【図９】



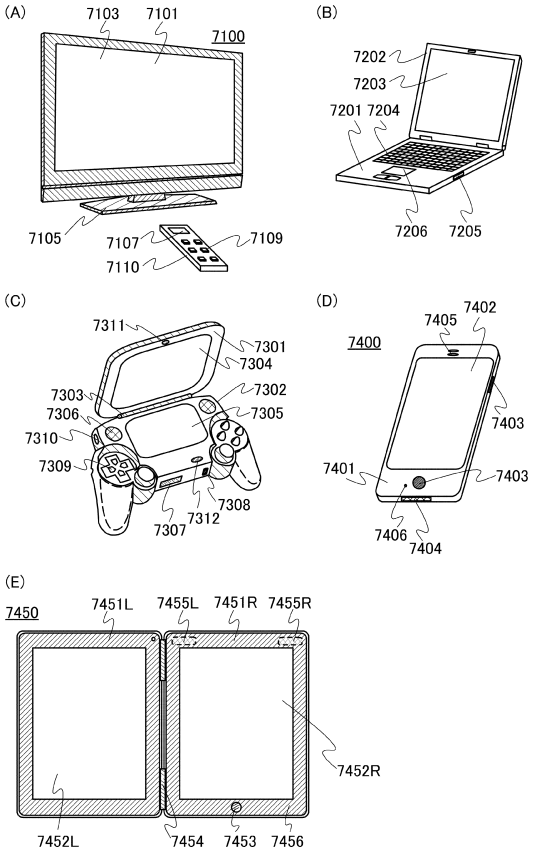
【図１０】



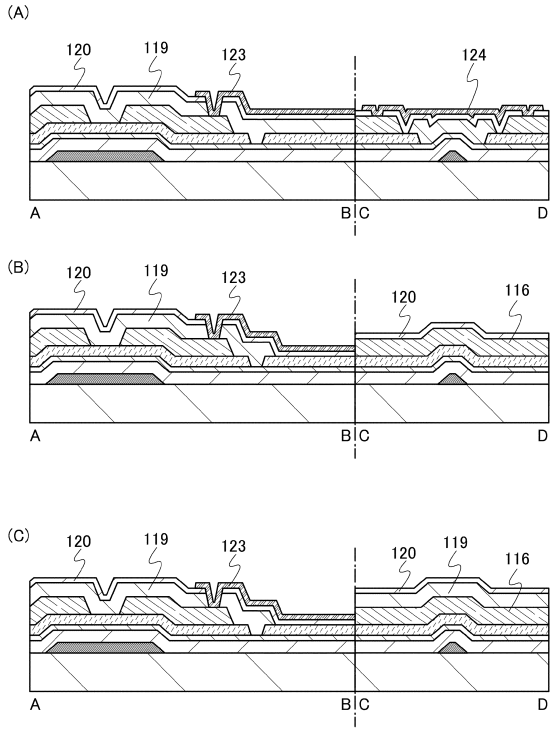
【図１１】



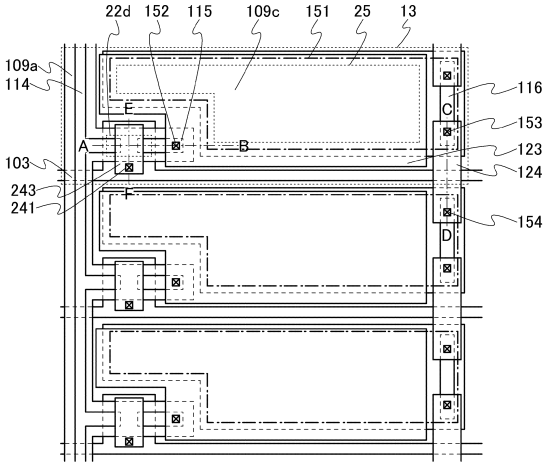
【図１２】



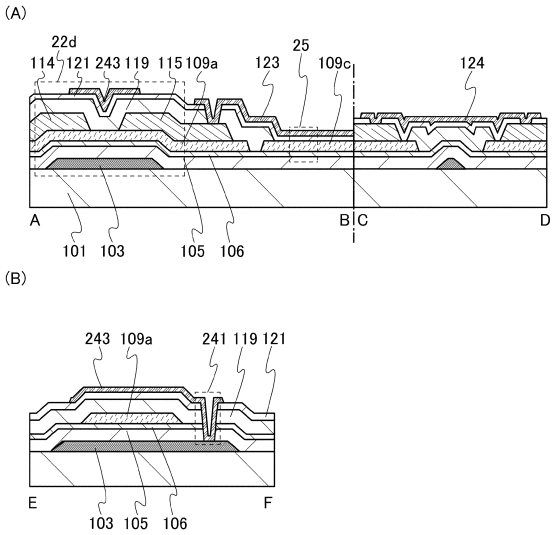
【図１３】



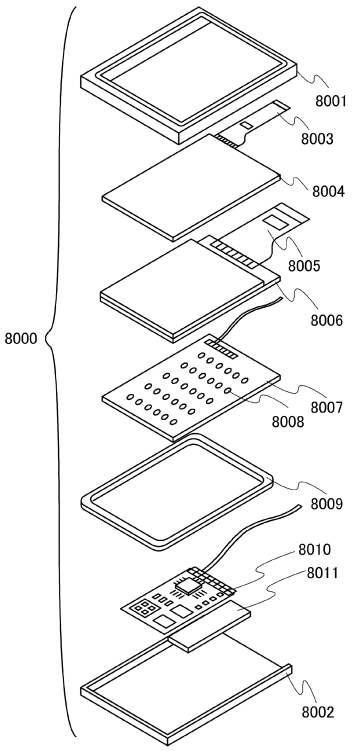
【図１４】



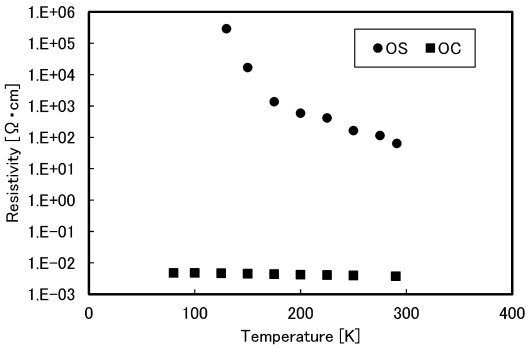
【図１５】



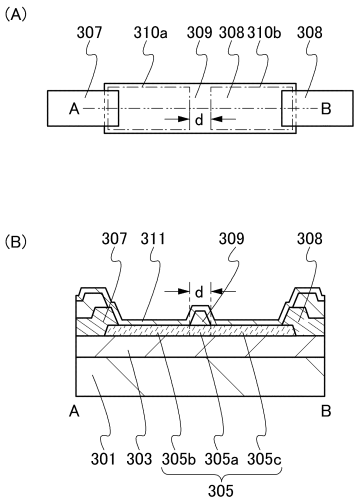
【図１６】



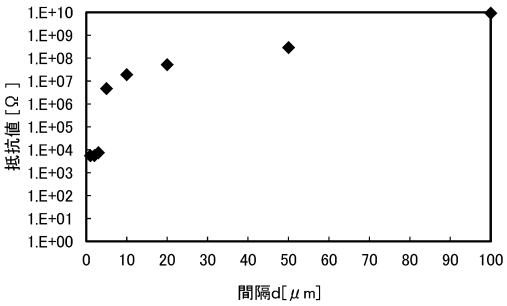
【図１７】


1.E+06
1.E+05
1.E+04
1.E+03
1.E+02
1.E+01
1.E+00
1.E−01
1.E−02
1.E−03
Resistivity [Ω・cm]
●OS ■OC
0
100
200
300
400
Temperature [K]

【図１８】


(A)
307
310a
309
308
310b
308
A
d
B
(B)
307
311
309
308
d
A
B
301
303
305b
305a
305c
305

【図１９】


1.E+10
1.E+09
1.E+08
1.E+07
1.E+06
1.E+05
1.E+04
1.E+03
1.E+02
1.E+01
1.E+00
抵抗値［Ω］
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
間隔d[μm]

フロントページの続き

(72)発明者　神長　正美
栃木県栃木市都賀町升塚１６１－２　アドバンスト　フィルム　ディバイス　インク株式会社内
(72)発明者　井口　貴弘
栃木県栃木市都賀町升塚１６１－２　アドバンスト　フィルム　ディバイス　インク株式会社内

審査官　岩本　勉

(56)参考文献　国際公開第２０１１／１４８５３７（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１５／０２８７７４２（ＵＳ，Ａ１）
特開２０１１－０９１２７９（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００８／１３６５０５（WO，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１１／０２６０１５７（ＵＳ，Ａ１）
特開２０１２－０８３７３８（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－１２２８８７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１３－１６５１０９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－０５４９４９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　２９／７８６
Ｈ０１Ｌ　２１／３３６
Ｇ０２Ｆ　１／１３６８