

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-90716

(P2023-90716A)

(43)公開日 令和5年6月29日(2023.6.29)

(51)国際特許分類

H 0 1 L 29/786(2006.01)

G 0 2 F 1/1368(2006.01)

F I

H 0 1 L 29/78 6 1 8 E

H 0 1 L 29/78 6 1 8 B

H 0 1 L 29/78 6 1 8 F

G 0 2 F 1/1368

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全67頁)

(21)出願番号 特願2023-60634(P2023-60634)
 (22)出願日 令和5年4月4日(2023.4.4)
 (62)分割の表示 特願2021-107583(P2021-107583)
)の分割
 原出願日 平成22年12月1日(2010.12.1)
 (31)優先権主張番号 特願2009-277078(P2009-277078)
 (32)優先日 平成21年12月4日(2009.12.4)
 (33)優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)

(71)出願人 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 山崎 舜平
 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 坂田 淳一郎
 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 大原 宏樹
 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

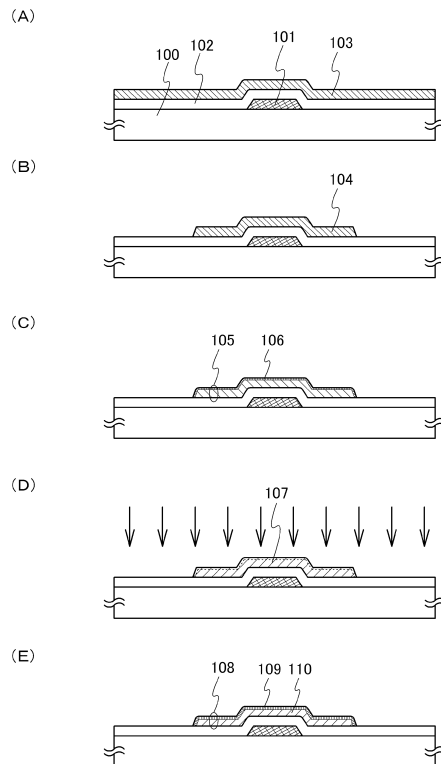
(54)【発明の名称】 半導体装置

(57)【要約】

【課題】量産性の高い新たな半導体材料を用いた大電力向けの半導体装置を提供することを目的の一とする。

【解決手段】酸化物半導体膜中の水分または水素などの不純物を低減するために、酸化物半導体膜を形成した後、酸化物半導体膜が露出した状態で第1の加熱処理を行う。次いで、酸化物半導体膜中の水分、または水素などの不純物をさらに低減するために、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いて、酸化物半導体膜に酸素を添加した後、再び、酸化物半導体膜が露出した状態で第2の加熱処理を行う。

【選択図】図1



10

20

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

トランジスタを有する半導体装置であって、
ゲート電極と、
前記ゲート電極上のゲート絶縁膜と、
前記ゲート絶縁膜上に設けられ、前記ゲート電極と重なりを有する酸化物半導体膜と、
前記酸化物半導体膜と電気的に接続された、ソース電極及びドレイン電極と、
前記ソース電極上及び前記ドレイン電極上に設けられ、且つ、前記酸化物半導体膜と接する領域を有する第 1 の絶縁膜と、
前記酸化物半導体膜は、In、Ga 及び Zn を有し、
前記第 1 の絶縁膜は、珪素及び酸素を有し、
前記酸化物半導体膜は、c 軸が前記酸化物半導体膜の表面に対して略垂直な方向に配向した結晶領域を有し、
前記酸化物半導体膜の膜厚は、5 nm 以上 30 以下未満である、半導体装置。

10

【請求項 2】

トランジスタを有する半導体装置であって、
ゲート電極と、
前記ゲート電極上のゲート絶縁膜と、
前記ゲート絶縁膜上に設けられ、前記ゲート電極と重なりを有する酸化物半導体膜と、
前記酸化物半導体膜と電気的に接続された、ソース電極及びドレイン電極と、
前記ソース電極上及び前記ドレイン電極上に設けられ、且つ、前記酸化物半導体膜と接する領域を有する第 1 の絶縁膜と、
前記酸化物半導体膜は、In、Ga 及び Zn を有し、
前記第 1 の絶縁膜は、珪素及び酸素を有し、
前記酸化物半導体膜は、c 軸が前記酸化物半導体膜の表面に対して略垂直な方向に配向した結晶領域を有し、
前記結晶領域は、前記酸化物半導体膜と前記第 1 の絶縁膜との界面から膜厚方向に少なくとも 5 nm 以上 30 以下の深さで存在する、半導体装置。

20

【請求項 3】

トランジスタを有する半導体装置であって、
ゲート電極と、
前記ゲート電極上のゲート絶縁膜と、
前記ゲート絶縁膜上に設けられ、前記ゲート電極と重なりを有する酸化物半導体膜と、
前記酸化物半導体膜と電気的に接続された、ソース電極及びドレイン電極と、
前記ソース電極上及び前記ドレイン電極上に設けられ、且つ、前記酸化物半導体膜と接する領域を有する第 1 の絶縁膜と、
前記酸化物半導体膜は、In、Ga 及び Zn を有し、
前記第 1 の絶縁膜は、珪素及び酸素を有し、
前記酸化物半導体膜は、c 軸が前記酸化物半導体膜の表面に対して略垂直な方向に配向した結晶領域を有し、
前記結晶領域は、前記酸化物半導体膜と前記第 1 の絶縁膜との界面から膜厚方向に少なくとも 5 nm 以上 30 以下の深さで存在し、
前記酸化物半導体膜は、前記結晶領域の下方に、前記結晶領域よりも結晶性の低い領域を有する、半導体装置。

30

40

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一において、
前記酸化物半導体膜は、Sn を有する、半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

酸化物半導体を用いる半導体装置及びその作製方法に関する。

【背景技術】

【0002】

絶縁表面上に形成される半導体膜を用いたトランジスタは、半導体装置にとって必要不可欠な半導体素子である。トランジスタの製造には基板の耐熱温度という制約があるため、比較的低温での成膜が可能なアモルファスシリコン、レーザ光または触媒元素を用いた結晶化により得られるポリシリコンなどを活性層に有するトランジスタが、半導体表示装置に用いられるトランジスタの主流となっている。

【0003】

近年では、ポリシリコンによって得られる高い移動度と、アモルファスシリコンによって得られる均一な素子特性とを兼ね備えた新たな半導体材料として、酸化物半導体と呼ばれる、半導体特性を示す金属酸化物に注目が集まっている。金属酸化物は様々な用途に用いられており、例えば、よく知られた金属酸化物である酸化インジウムは、液晶表示装置などで透明電極材料として用いられている。半導体特性を示す金属酸化物としては、例えば、酸化タングステン、酸化錫、酸化インジウム、酸化亜鉛などがあり、このような半導体特性を示す金属酸化物をチャンネル形成領域に用いるトランジスタが、既に知られている（特許文献1及び特許文献2）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2007-123861号公報

【特許文献2】特開2007-96055号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

半導体装置に用いられるトランジスタは、経時劣化による閾値電圧のばらつきが小さいこと、また、オフ電流が低いことなどが望まれる。経時劣化による閾値電圧のばらつきが小さいトランジスタを用いることで、半導体装置の信頼性を高めることができる。また、オフ電流が低いトランジスタを用いることで、半導体装置の消費電力を抑えることができる。

30

【0006】

本発明は、信頼性の高い半導体装置の作製方法の提供を目的の一とする。或いは、本発明は、消費電力が低い半導体装置の作製方法の提供を目的の一とする。或いは、本発明は、信頼性の高い半導体装置の提供を目的の一とする。或いは、本発明は、消費電力が低い半導体装置の提供を目的の一とする。

【0007】

また、高耐圧であって、且つ大電流を制御するためのパワーデバイスと呼ばれる半導体装置では、現状、半導体材料として主にシリコンが用いられている。しかし、シリコンを用いた半導体素子では、その物理的な特性が理論値の限界にきていると言われており、さらなる高耐圧と大電流の制御が可能なパワーデバイスを実現するためには、特性の向上が可能な新たな半導体材料が求められている。高耐圧、高変換効率、高速スイッチングなどの諸特性を向上させる可能性がある半導体材料として、例えば、炭化シリコンや窒化ガリウムなどの化合物半導体を挙げることができる。炭化シリコンのバンドギャップは3.26 eV、窒化ガリウムのバンドギャップは3.39 eVと、ともにシリコンの約3倍程度の大きなバンドギャップを有しており、半導体装置の耐圧向上、電力損失の低減などに有利であることが知られている。

40

【0008】

ところが、炭化シリコンや窒化ガリウムなどの化合物半導体は、プロセス温度が高いという問題があった。炭化シリコンのプロセス温度は約1500、窒化ガリウムのプロセス温度は約1100と、いずれも耐熱温度の低いガラス基板上への成膜は不可能である。

50

よって、安価なガラス基板を利用できない上に、基板の大型化には対応できないため、炭化シリコンや窒化ガリウムなどの化合物半導体を用いた半導体装置は量産性が低く、そのことが実用化の足かせとなっている。

【0009】

上述した問題に鑑み、量産性の高い新たな半導体材料を用いた大電力向けの半導体装置を提供することを目的の一とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、酸化物半導体膜中に存在する水素、水などの不純物が、閾値電圧のシフトなどの経時劣化をトランジスタにもたらす要因であることに着目した。スパッタ等で成膜された酸化物半導体膜中には、不純物としての水素または水が多量に含まれていることが判明している。そこで、本発明の一態様では、酸化物半導体膜中の水分または水素などの不純物を低減するために、酸化物半導体膜を形成した後、酸化物半導体膜が露出した状態で、減圧雰囲気下、窒素や希ガスなどの不活性ガス雰囲気下、酸素ガス雰囲気下、又は超乾燥エア（CRDS（キャピ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）雰囲気下で第1の加熱処理を行う。次いで、酸化物半導体膜中の水分、または水素などの不純物をさらに低減するために、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いて、酸化物半導体膜に酸素を添加した後、再び、酸化物半導体膜が露出した状態で、減圧雰囲気下、窒素や希ガスなどの不活性ガス雰囲気下、酸素ガス雰囲気下、又は超乾燥エア（CRDS（キャピ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）雰囲気下で第2の加熱処理を行う。

【0011】

第1の加熱処理により、酸化物半導体膜中の水分または水素などの不純物は低減されるが、完全には取り除かれてはおらず、改善の余地が残されている。これは、酸化物半導体を構成している金属と結合している水素または水酸基が原因であると考えられる。本発明では、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いて、酸化物半導体膜に酸素を添加することで、酸化物半導体を構成している金属と水素の間の結合、或いは該金属と水酸基の間の結合を切断するとともに、これら水素または水酸基を酸素と反応させて、水を生成する。そして、酸素の添加後に第2の加熱処理を行うことで、強固に残存していた水素または水酸基などの不純物を、水として、脱離させやすくすることができる。

【0012】

水分、水素などの不純物の脱離により、i型（真性半導体）又はi型に限りなく近い酸化物半導体を得ることができれば、上記不純物により閾値電圧がシフトするなどのトランジスタの特性の劣化が促進されるのを防ぎ、オフ電流を低減させることができる。具体的に、酸化物半導体に含まれる水素若しくは水などの不純物を除去し、二次イオン質量分析法（SIMS：Secondary Ion Mass Spectroscopy）による酸化物半導体に含まれる水素濃度の測定値が、 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、より好ましくは $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満とする。また、ホール効果測定により測定できる酸化物半導体膜のキャリア密度は、 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 未満、好ましくは $1 \times 10^{12} \text{cm}^{-3}$ 未満、さらに好ましくは測定限界以下の $1 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 未満とする。即ち、酸化物半導体膜のキャリア密度は、限りなくゼロに近い。また、バンドギャップは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。水素濃度が十分に低減されて高純度化された酸化物半導体膜を用いることにより、トランジスタのオフ電流を下げるることができる。

【0013】

上記2回の加熱処理は、500以上850以下（若しくはガラス基板の歪点以下）、

好ましくは550以上750以下の温度範囲で行うのが望ましい。なお、この加熱処理は、用いる基板の耐熱温度を超えないものとする。水または水素の加熱処理による脱離の効果については、TDS (Thermal Desorption Spectroscopy; 昇温脱離ガス分析) により確認済みである。

【0014】

加熱処理は、炉での熱処理、またはラピッドサーマルアニール法 (RTA法) を用いる。RTA法は、ランプ光源を用いる方法と、加熱されたガス中に基板を移動させて短時間の熱処理を行う方法がある。RTA法を用いると熱処理に要する時間を0.1時間よりも短時間とすることもできる。

【0015】

具体的に、上述したように高純度化された酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、例えば、チャンネル幅 W が $1 \times 10^4 \mu\text{m}$ でチャンネル長 L が $3 \mu\text{m}$ の素子であっても、オフ電流が 10^{-13}A 以下、サブスレッショルドスイング値 (S値) が $0.1 \text{V}/\text{dec}$. 程度 (ゲート絶縁膜厚 100nm) の特性が得られる。従って、ゲート電極とソース電極間の電圧が0以下の状態におけるオフ電流、すなわちリーク電流が、結晶性を有するシリコンを用いたトランジスタに比べて著しく低い。

【0016】

また、高純度化された酸化物半導体 (purified OS) を用いたトランジスタは、オフ電流の温度依存性がほとんど現れない。これは、酸化物半導体中で電子供与体 (ドナー) となる不純物を除去して、酸化物半導体が高純度化することによって、導電型が限りなく真性型に近づき、フェルミ準位が禁制帯の中央に位置するためと言える。また、これは、酸化物半導体のエネルギーギャップが 3eV 以上であり、熱励起キャリアが極めて少ないことにも起因する。また、ソース電極及びドレイン電極が縮退した状態にあることも、温度依存性が現れない要因となっている。トランジスタの動作は、縮退したソース電極から酸化物半導体に注入されたキャリアによるものがほとんどであり、キャリア密度の温度依存性がないことから上記特性 (オフ電流の温度依存性無し) を説明することができる。

【0017】

また、第1の加熱処理において、RTA (Rapid Thermal Anneal: ラピッドサーマルアニール) 法等で酸化物半導体膜に高温短時間の脱水または脱水素化処理を行うことで、酸化物半導体膜の表層部は粒子サイズが 1nm 以上 20nm 以下の所謂ナノクリスタル (ナノ結晶とも表記する) を含む結晶領域を有するようになり、その他の部分は非晶質、または、非晶質領域中に微結晶が点在した非晶質と微結晶の混合物となる。なお、ナノ結晶の大きさは一例に過ぎず、発明が上記数値範囲に限定して解釈されるものではない。

【0018】

なお、酸化物半導体膜の表層部に形成された結晶領域は、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いた酸素の添加により損傷を受ける。しかし、酸化物半導体膜では、第1の加熱処理により水または水素が除去されるとともに酸素欠損が生じており、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いた酸素の添加により、この酸素欠損が生じた酸化物半導体膜に十分に酸素を供給させることができる。そして、第1の加熱処理により除去した水素または水は、酸化物半導体の構成元素ではなく、いわゆる不純物であり、後に添加された酸素は、酸化物半導体の構成元素の一つであるので、化学量論的組成比を満たす構成とすることができる。そのため、第1の加熱処理と酸素の添加を行った後において、第2の加熱処理を行うことにより、損傷を受けた結晶領域を修復するとともに、酸化物半導体膜の表層部から半導体膜のさらに内部にまで結晶成長を促進させて、結晶領域を拡大させることができる。そして、この第2の加熱処理では、第1の加熱処理よりも結晶成長がさらに促進されるため、結晶領域内において、結晶粒どうしが隣接し、なおかつ、酸化物半導体を構成している金属元素が、隣接する結晶粒間において連なった状態、すなわち、接続している状態を呈する。従って、上記結晶領域をチャンネル形成領域に有するトラ

10

20

30

40

50

ンジスタでは、結晶粒界におけるポテンシャル障壁が低くなるため、高移動度、高耐圧という良好な特性を得ることができる。

【0019】

酸化物半導体は、四元系金属酸化物である $In-Sn-Ga-Zn-O$ 系酸化物半導体や、三元系金属酸化物である $In-Ga-Zn-O$ 系酸化物半導体、 $In-Sn-Zn-O$ 系酸化物半導体、 $In-Al-Zn-O$ 系酸化物半導体、 $Sn-Ga-Zn-O$ 系酸化物半導体、 $Al-Ga-Zn-O$ 系酸化物半導体、 $Sn-Al-Zn-O$ 系酸化物半導体や、二元系金属酸化物である $In-Zn-O$ 系酸化物半導体、 $Sn-Zn-O$ 系酸化物半導体、 $Al-Zn-O$ 系酸化物半導体、 $Zn-Mg-O$ 系酸化物半導体、 $Sn-Mg-O$ 系酸化物半導体、 $In-Mg-O$ 系酸化物半導体、 $In-Ga-O$ 系酸化物半導体や、 $In-O$ 系酸化物半導体、 $Sn-O$ 系酸化物半導体、 $Zn-O$ 系酸化物半導体などを用いることができる。なお、本明細書においては、例えば、 $In-Sn-Ga-Zn-O$ 系酸化物半導体とは、インジウム (In)、錫 (Sn)、ガリウム (Ga)、亜鉛 (Zn) を有する金属酸化物、という意味であり、その化学量論的組成比は特に問わない。また、上記酸化物半導体は、珪素を含んでいてもよい。

10

【0020】

或いは、酸化物半導体は、化学式 $InMO_3(ZnO)_m$ ($m > 0$) で表記することができる。ここで、 M は、 Ga 、 Al 、 Mn 及び Co から選ばれた一又は複数の金属元素を示す。

【0021】

ここで、酸化物半導体膜中及び導電膜中の、水素濃度の分析について触れておく。酸化物半導体膜中及び導電膜中の水素濃度測定は、二次イオン質量分析法 ($SIMS: Secondary Ion Mass Spectroscopy$) で行う。 $SIMS$ 分析は、その原理上、試料表面近傍や、材質が異なる膜との積層界面近傍のデータを正確に得ることが困難であることが知られている。そこで、膜中における水素濃度の厚さ方向の分布を、 $SIMS$ で分析する場合、対象となる膜が存在する範囲において、値に極端な変動がなく、ほぼ一定の値が得られる領域における平均値を、水素濃度として採用する。また、測定の対象となる膜の厚さが薄い場合、隣接する膜内の水素濃度の影響を受けて、ほぼ一定の値が得られる領域を見いだせない場合がある。この場合、当該膜が存在する領域における、水素濃度の極大値又は極小値を、当該膜中の水素濃度として採用する。更に、当該膜が存在する領域において、極大値を有する山型のピーク、極小値を有する谷型のピークが存在しない場合、変曲点の値を水素濃度として採用する。

20

30

【0022】

トランジスタは、ボトムゲート型であっても良いし、トップゲート型であっても良いし、ボトムコンタクト型であっても良い。ボトムゲート型トランジスタは、絶縁表面上のゲート電極と、ゲート電極上のゲート絶縁膜と、ゲート絶縁膜上においてゲート電極と重なる酸化物半導体膜と、酸化物半導体膜上のソース電極、ドレイン電極と、ソース電極、ドレイン電極及び酸化物半導体膜上の絶縁膜とを有する。トップゲート型トランジスタは、絶縁表面上の酸化物半導体膜と、酸化物半導体膜上のゲート絶縁膜と、ゲート絶縁膜上において酸化物半導体膜と重なり、なおかつ導電膜として機能するゲート電極と、ソース電極と、ドレイン電極と、ソース電極、ドレイン電極及び酸化物半導体膜上の絶縁膜とを有する。ボトムコンタクト型トランジスタは、絶縁表面上のゲート電極と、ゲート電極上のゲート絶縁膜と、ゲート絶縁膜上のソース電極、ドレイン電極と、ソース電極、ドレイン電極上にあり、なおかつゲート絶縁膜上においてゲート電極と重なる酸化物半導体膜と、ソース電極、ドレイン電極及び酸化物半導体膜上の絶縁膜とを有する。

40

【0023】

また、酸化物半導体膜は、スパッタ等による成膜時のみならず、成膜後においても酸化物半導体膜の周囲に存在する水素または水を膜中に取り込みやすい。水または水素はドナー準位を形成しやすいため、酸化物半導体自体にとっては不純物である。よって、本発明の一態様では、ソース電極とドレイン電極を形成した後は、ソース電極、ドレイン電極及び

50

酸化物半導体膜を覆うように、バリア性の高い絶縁材料を用いた絶縁膜を形成しても良い。上記絶縁膜には、バリア性の高い絶縁材料を用いるのが望ましい。例えば、バリア性の高い絶縁膜として、窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などを用いることができる。複数の積層された絶縁膜を用いる場合、上記バリア性の高い絶縁膜よりも、含まれる窒素の比率が低い酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜を、酸化物半導体膜に近い側に形成する。そして、窒素の比率が低い絶縁膜を間に挟んで、ソース電極、ドレイン電極及び酸化物半導体膜と重なるように、バリア性を有する絶縁膜を形成する。バリア性を有する絶縁膜を用いることで、酸化物半導体膜内、ゲート絶縁膜内、或いは、酸化物半導体膜と他の絶縁膜の界面とその近傍に、水分、または水素などの不純物が入り込むのを防ぐことができる。

10

【0024】

また、ゲート電極と酸化物半導体膜の間に、バリア性の高い材料を用いた絶縁膜と、含まれる窒素の比率が低い酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜とを積層させた構造を有するゲート絶縁膜を、形成しておいても良い。酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜は、バリア性を有する絶縁膜と酸化物半導体膜の間に形成する。バリア性を有する絶縁膜を用いることで、水分、または水素などの雰囲気中の不純物、或いは基板内に含まれるアルカリ金属、重金属などの不純物が、酸化物半導体膜内、ゲート絶縁膜内、或いは、酸化物半導体膜と他の絶縁膜の界面とその近傍に入り込むのを防ぐことができる。

【発明の効果】

【0025】

信頼性の高い半導体装置の作製方法を提供することができる。また、消費電力が低い半導体装置の作製方法を提供することができる。また、信頼性の高い半導体装置を提供することができる。また、消費電力が低い半導体装置を提供することができる。

20

【0026】

また、低い成膜温度で高耐圧の半導体素子を作製することができるので、量産性の高い大電力向けの半導体装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】半導体装置の作製方法を示す図。

【図2】半導体装置の作製方法を示す図。

【図3】半導体装置の作製方法を示す図。

【図4】半導体装置の断面図。

【図5】半導体装置の作製方法を示す図。

【図6】半導体装置の作製方法を示す図。

【図7】半導体装置の上面図。

【図8】半導体装置の作製方法を示す図。

【図9】半導体装置の上面図。

【図10】半導体装置の作製方法を示す図。

【図11】トランジスタの断面図。

【図12】トランジスタの断面図。

【図13】電子ペーパーの上面図及び断面図。

【図14】半導体表示装置のブロック図。

【図15】信号線駆動回路の構成を説明する図。

【図16】シフトレジスタの構成を示す回路図。

【図17】シフトレジスタの一態様を示す図、及びその動作を説明するタイミングチャート。

【図18】液晶表示装置の断面図。

【図19】液晶表示装置のモジュールの構成を示す図。

【図20】発光装置の断面図。

【図21】半導体装置を用いた電子機器の図。

30

40

50

【図 2 2】酸化物半導体を用いた逆スタガ型のトランジスタの縦断面図。

【図 2 3】図 2 2 に示す A - A ' 断面におけるエネルギーバンド図（模式図）。

【図 2 4】（ A ）ゲート電極（ G E ）に正の電圧（ $V_G > 0$ ）が印加された状態を示し、（ B ）ゲート電極（ G E ）に負の電圧（ $V_G < 0$ ）が印加された状態を示す図。

【図 2 5】真空準位と金属の仕事関数（ ϕ_M ）、酸化物半導体の電子親和力（ χ ）の関係を示す図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 8 】

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。したがって、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。

10

【 0 0 2 9 】

なお本発明は、マイクロプロセッサ、画像処理回路などの集積回路や、RFタグ、半導体表示装置等、ありとあらゆる半導体装置の作製に用いることができる。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意味し、半導体表示装置、半導体回路および電子機器は全て半導体装置である。半導体表示装置は、液晶表示装置、有機発光素子（OLED）に代表される発光素子を各画素に備えた発光装置、電子ペーパー、DMD（Digital Micromirror Device）、PDP（Plasma Display Panel）、FED（Field Emission Display）等や、半導体膜を用いた回路素子を駆動回路に有しているその他の半導体表示装置がその範疇に含まれる。

20

【 0 0 3 0 】

（実施の形態 1）

チャネルエッチ構造のボトムゲート型のトランジスタを例に挙げ、本発明の一態様に係る半導体装置が有する、トランジスタの構造とその作製方法について説明する。

【 0 0 3 1 】

図 1（A）に示すように、基板 100 上にゲート電極 101 を形成する。

【 0 0 3 2 】

絶縁表面を有する基板 100 として使用することができる基板に大きな制限はないが、少なくとも、後の加熱処理に耐えうる程度の耐熱性を有していることが必要となる。例えば、フュージョン法やフロート法で作製されるガラス基板を用いることができる。ガラス基板としては、後の加熱処理の温度が高い場合には、歪み点が 730 以上のものを用いると良い。また、ガラス基板には、例えば、アルミノシリケートガラス、アルミノホウケイ酸ガラス、バリウムホウケイ酸ガラスなどのガラス材料が用いられている。なお、一般に、酸化ホウ素と比較して酸化バリウム（BaO）を多く含ませることで、より実用的な耐熱ガラスが得られる。このため、 B_2O_3 より BaO を多く含むガラス基板を用いることが好ましい。

30

【 0 0 3 3 】

なお、上記のガラス基板に代えて、セラミック基板、石英基板、サファイア基板などの絶縁体となる基板を用いても良い。他にも、結晶化ガラスなどを用いることができる。ステンレス合金などの金属基板の表面に絶縁膜を設けた基板を適用しても良い。

40

【 0 0 3 4 】

また、プラスチック等の可撓性を有する合成樹脂からなる基板は、耐熱温度が一般的に低い傾向にあるが、後の作製工程における処理温度に耐え得るのであれば、基板 100 として用いることが可能である。プラスチック基板として、ポリエチレンテレフタレート（PET）に代表されるポリエステル、ポリエーテルスルホン（PES）、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリカーボネート（PC）、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）、ポリスルホン（PSF）、ポリエーテルイミド（PEI）、ポリアリレート（PAR）、ポリブチレンテレフタレート（PBT）、ポリイミド、アクリロニトリルブタジエ

50

ンスチレン樹脂、ポリ塩化ビニル、ポリプロピレン、ポリ酢酸ビニル、アクリル樹脂などが挙げられる。

【0035】

基板100とゲート電極101の間に、下地膜となる絶縁膜を形成しておいても良い。下地膜として、例えば、酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜、窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜のいずれか1つを単層で、或いは複数を積層させて用いることができる。特に、下地膜に、バリア性の高い絶縁膜、例えば窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などを用いることで、水分、または水素などの雰囲気中の不純物、或いは基板100内に含まれるアルカリ金属、重金属などの不純物が、酸化物半導体膜内、ゲート絶縁膜内、或いは、酸化物半導体膜と他の絶縁膜の界面とその近傍に入り込むのを防ぐことができる。

10

【0036】

なお、本明細書において酸化窒化物とは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多い物質であり、また、窒化酸化物とは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多い物質をいう。

【0037】

ゲート電極101の材料は、モリブデン、チタン、クロム、タンタル、タングステン、ネオジム、スカンジウム等の金属材料、これら金属材料を主成分とする合金材料を用いた導電膜、或いはこれら金属の窒化物を、単層で又は積層で用いることができる。なお、後の工程において行われる加熱処理の温度に耐えるのであれば、上記金属材料としてアルミニウム、銅を用いることも出来る。アルミニウムまたは銅は、耐熱性や腐食性の問題を回避するために、高融点金属材料と組み合わせて用いると良い。高融点金属材料としては、モリブデン、チタン、クロム、タンタル、タングステン、ネオジム、スカンジウム等を用いることができる。

20

【0038】

例えば、二層の積層構造を有するゲート電極101として、アルミニウム膜上にモリブデン膜が積層された二層の積層構造、または銅膜上にモリブデン膜を積層した二層構造、または銅膜上に窒化チタン膜若しくは窒化タンタル膜を積層した二層構造、窒化チタン膜とモリブデン膜とを積層した二層構造とすることが好ましい。3層の積層構造を有するゲート電極101としては、アルミニウム膜、アルミニウムとシリコンの合金膜、アルミニウムとチタンの合金膜またはアルミニウムとネオジムの合金膜を中間層とし、タングステン膜、窒化タングステン膜、窒化チタン膜またはチタン膜を上下層として積層した構造とすることが好ましい。

30

【0039】

また、ゲート電極101に酸化インジウム、酸化インジウム酸化スズ合金、酸化インジウム酸化亜鉛合金、酸化亜鉛、酸化亜鉛アルミニウム、酸窒化亜鉛アルミニウム、または酸化亜鉛ガリウム等の透光性を有する酸化物導電膜を用いることで、画素部の開口率を向上させることができる。

【0040】

ゲート電極101の膜厚は、10nm～400nm、好ましくは100nm～200nmとする。本実施の形態では、タングステナーゲットを用いたスパッタ法により150nmのゲート電極用の導電膜を形成した後、該導電膜をエッチングにより所望の形状に加工（パターンニング）することで、ゲート電極101を形成する。なお、形成されたゲート電極の端部がテーパ形状であると、上に積層するゲート絶縁膜の被覆性が向上するため好ましい。なお、レジストマスクをインクジェット法で形成してもよい。レジストマスクをインクジェット法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。

40

【0041】

次いで、ゲート電極101上に、ゲート絶縁膜102を形成する。ゲート絶縁膜102は、プラズマCVD法又はスパッタリング法等を用いて、酸化珪素膜、窒化珪素膜、酸化窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、酸化アルミニウム膜、窒化アルミニウム膜、酸化窒化アルミ

50

ニウム膜、窒化酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜または酸化タンタル膜を単層で又は積層させて形成することができる。ゲート絶縁膜 102 は、水分や、水素などの不純物を極力含まないことが望ましい。スパッタリング法により酸化珪素膜を成膜する場合には、ターゲットとしてシリコンターゲット又は石英ターゲットを用い、スパッタガスとして酸素又は、酸素及びアルゴンの混合ガスを用いて行う。

【0042】

不純物を除去することにより i 型化又は実質的に i 型化された酸化物半導体（高純度化された酸化物半導体）は界面準位、界面電荷に対して極めて敏感であるため、ゲート絶縁膜 102 との界面は重要である。そのため高純度化された酸化物半導体に接するゲート絶縁膜（GI）は、高品質化が要求される。

10

【0043】

例えば、 μ 波（2.45 GHz）を用いた高密度プラズマ CVD は、緻密で絶縁耐圧の高い高品質な絶縁膜を形成できるので好ましい。高純度化された酸化物半導体と高品質ゲート絶縁膜とが密接することにより、界面準位を低減して界面特性を良好なものとすることができるからである。

【0044】

もちろん、ゲート絶縁膜として良質な絶縁膜を形成できるものであれば、スパッタリング法やプラズマ CVD 法など他の成膜方法を適用することができる。また、成膜後の熱処理によってゲート絶縁膜の膜質、酸化物半導体との界面特性が改質される絶縁膜であっても良い。いずれにしても、ゲート絶縁膜としての膜質が良好であることは勿論のこと、酸化物半導体との界面準位密度を低減し、良好な界面を形成できるものであれば良い。

20

【0045】

バリア性の高い材料を用いた絶縁膜と、含まれる窒素の比率が低い酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜とを積層させた構造を有するゲート絶縁膜 102 を形成しても良い。この場合、酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜は、バリア性を有する絶縁膜と酸化物半導体膜の間に形成する。バリア性の高い絶縁膜として、例えば窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などが挙げられる。バリア性を有する絶縁膜を用いることで、水分または水素などの雰囲気中の不純物、或いは基板内に含まれるアルカリ金属、重金属などの不純物が、酸化物半導体膜内、ゲート絶縁膜 102 内、或いは、酸化物半導体膜と他の絶縁膜の界面とその近傍に入り込むのを防ぐことができる。また、酸化物半導体膜に接するように窒素の比率が低い酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜を形成することで、バリア性の高い材料を用いた絶縁膜が直接酸化物半導体膜に接するのを防ぐことができる。

30

【0046】

例えば、第 1 のゲート絶縁膜としてスパッタリング法により膜厚 50 nm 以上 200 nm 以下の窒化珪素膜（ SiN_y （ $y > 0$ ））を形成し、第 1 のゲート絶縁膜上に第 2 のゲート絶縁膜として膜厚 5 nm 以上 300 nm 以下の酸化珪素膜（ SiO_x （ $x > 0$ ））を積層して、膜厚 100 nm のゲート絶縁膜 102 としても良い。ゲート絶縁膜 102 の膜厚は、トランジスタに要求される特性によって適宜設定すればよく 350 nm 乃至 400 nm 程度でもよい。

40

【0047】

本実施の形態では、スパッタ法で形成された膜厚 50 nm の窒化珪素膜上に、スパッタ法で形成された膜厚 100 nm の酸化珪素膜を積層させた構造を有する、ゲート絶縁膜 102 を形成する。

【0048】

なお、ゲート絶縁膜 102 に水素、水酸基及び水分がなるべく含まれないようにするために、成膜の前処理として、スパッタリング装置の予備加熱室でゲート電極 101 が形成された基板 100 を予備加熱し、基板 100 に吸着した水素、水分などの不純物を脱離し排気することが好ましい。なお、予備加熱の温度としては、100 以上 400 以下好ましくは 150 以上 300 以下である。なお、予備加熱室に設ける排気手段はクライオ

50

ポンプが好ましい。なお、この予備加熱の処理は省略することもできる。

【0049】

次いで、ゲート絶縁膜102上に膜厚2nm以上200nm以下、好ましくは膜厚3nm以上50nm以下、さらに好ましくは膜厚3nm以上20nm以下の酸化物半導体膜103を形成する。酸化物半導体膜103は、酸化物半導体をターゲットとして用い、スパッタ法により成膜する。また、酸化物半導体膜103は、希ガス（例えばアルゴン）雰囲気下、酸素雰囲気下、又は希ガス（例えばアルゴン）及び酸素雰囲気下においてスパッタ法により形成することができる。

【0050】

なお、酸化物半導体膜103をスパッタ法により成膜する前に、アルゴンガスを導入してプラズマを発生させる逆スパッタを行い、ゲート絶縁膜102の表面に付着している塵埃を除去することが好ましい。逆スパッタとは、ターゲット側に電圧を印加せずに、アルゴン雰囲気下で基板側にRF電源を用いて電圧を印加して基板近傍にプラズマを形成して表面を改質する方法である。なお、アルゴン雰囲気に代えて窒素、ヘリウムなどを用いてもよい。また、アルゴン雰囲気に酸素、亜酸化窒素などを加えた雰囲気で行ってもよい。また、アルゴン雰囲気に塩素、四フッ化炭素などを加えた雰囲気で行ってもよい。

10

【0051】

酸化物半導体膜103は、上述したような酸化物半導体を用いることができる。

【0052】

本実施の形態では、In（インジウム）、Ga（ガリウム）、及びZn（亜鉛）を含む酸化物半導体ターゲットを用いたスパッタ法により得られる膜厚30nmのIn-Ga-Zn-O系非単結晶膜を、酸化物半導体膜103として用いる。上記ターゲットとして、例えば、各金属の原子比がIn:Ga:Zn=1:1:0.5、In:Ga:Zn=1:1:1、またはIn:Ga:Zn=1:1:2の組成比を有する酸化物半導体ターゲットを用いることができる。また、酸化物半導体膜103は、希ガス（代表的にはアルゴン）雰囲気下、酸素雰囲気下、又は希ガス（代表的にはアルゴン）及び酸素雰囲気下においてスパッタリング法により形成することができる。また、スパッタリング法を用いる場合、SiO₂を2重量%以上10重量%以下含むターゲットを用いて成膜を行ってもよい。また、In、Ga、及びZnを含む酸化物半導体ターゲットの充填率は90%以上100%以下、好ましくは95%以上99.9%以下である。充填率の高い酸化物半導体ターゲットを用いることにより、成膜した酸化物半導体膜は緻密な膜となる。

20

30

【0053】

減圧状態に保持された処理室内に基板を保持し、処理室内の残留水分を除去しつつ水素及び水分が除去されたスパッタガスを導入し、金属酸化物をターゲットとして基板100上に酸化物半導体膜103を成膜する。成膜時に、基板温度を100以上600以下好ましくは200以上400以下としても良い。基板を加熱しながら成膜することにより、成膜した酸化物半導体膜に含まれる不純物濃度を低減することができる。また、スパッタリングによる損傷が軽減される。処理室内の残留水分を除去するためには、吸着型の真空ポンプを用いることが好ましい。例えば、クライオポンプ、イオンポンプ、チタンサブリーションポンプを用いることが好ましい。また、排気手段としては、ターボポンプにコールドトラップを加えたものであってもよい。クライオポンプを用いて排気した成膜室は、例えば、水素原子、水（H₂O）など水素原子を含む化合物（より好ましくは炭素原子を含む化合物も）等が排気されるため、当該成膜室で成膜した酸化物半導体膜に含まれる不純物の濃度を低減できる。

40

【0054】

成膜条件の一例としては、基板とターゲットの間との距離を100mm、圧力0.6Pa、直流（DC）電源0.5kW、酸素（酸素流量比率100%）雰囲気下の条件が適用される。なお、パルス直流（DC）電源を用いると、成膜時に発生するパーティクルと呼ばれる塵埃が軽減でき、膜厚分布も均一となるために好ましい。酸化物半導体膜は好ましくは5nm以上30nm以下とする。なお、適用する酸化物半導体材料により適切な厚みは

50

異なり、材料に応じて適宜厚みを選択すればよい。

【0055】

なお、酸化物半導体膜103に水素、水酸基及び水分がなるべく含まれないようにするために、成膜の前処理として、スパッタリング装置の予備加熱室でゲート絶縁膜102までが形成された基板100を予備加熱し、基板100に吸着した水素、水分などの不純物を脱離し排気することが好ましい。なお、予備加熱の温度としては、100 以上400 以下好ましくは150 以上300 以下である。なお、予備加熱室に設ける排気手段はクライオポンプが好ましい。なお、この予備加熱の処理は省略することもできる。またこの予備加熱は、絶縁膜113の成膜前に、ソース電極111及びドレイン電極112まで形成した基板100にも同様に行ってもよい。

10

【0056】

スパッタリング法にはスパッタ用電源に高周波電源を用いるRFスパッタリング法と、DCスパッタリング法があり、さらにパルス的にバイアスを与えるパルスDCスパッタリング法もある。RFスパッタリング法は主に絶縁膜を成膜する場合に用いられ、DCスパッタリング法は主に金属膜を成膜する場合に用いられる。

【0057】

また、材料の異なるターゲットを複数設置できる多元スパッタ装置もある。多元スパッタ装置は、同一チャンバーで異なる材料膜を積層成膜することも、同一チャンバーで複数種類の材料を同時に放電させて成膜することもできる。

【0058】

また、チャンバー内部に磁石機構を備えたマグネトロンスパッタリング法を用いるスパッタ装置や、グロー放電を使わずマイクロ波を用いて発生させたプラズマを用いるECRスパッタリング法を用いるスパッタ装置がある。

20

【0059】

また、スパッタリング法を用いる成膜方法として、成膜中にターゲット物質とスパッタガス成分とを化学反応させてそれらの化合物薄膜を形成するリアクティブスパッタリング法や、成膜中に基板にも電圧をかけるバイアスパッタリング法もある。

【0060】

ゲート絶縁膜102、及び酸化物半導体膜103を大気に触れさせることなく連続的に形成してもよい。大気に触れさせることなく連続成膜することで、界面が、水やヒドロカーボンなどの、大気成分や大気中に浮遊する不純物元素に汚染されることなく各積層界面を形成することができるので、トランジスタ特性のばらつきを低減することができる。

30

【0061】

次いで、図1(B)に示すように、酸化物半導体膜103をエッチングなどにより所望の形状に加工(パターニング)し、ゲート電極101と重なる位置において、ゲート絶縁膜102上に島状の酸化物半導体膜104を形成する。

【0062】

島状の酸化物半導体膜104を形成するためのレジストマスクをインクジェット法で形成してもよい。レジストマスクをインクジェット法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。

40

【0063】

また、ゲート絶縁膜102にコンタクトホールを形成する場合、その工程は島状の酸化物半導体膜104の形成時に行うことができる。

【0064】

なお、島状の酸化物半導体膜104を形成するためのエッチングは、ドライエッチングでもウェットエッチングでもよく、両方を用いてもよい。ドライエッチングに用いるエッチングガスとしては、塩素を含むガス(塩素系ガス、例えば塩素(Cl_2)、三塩化硼素(BCl_3)、四塩化珪素(SiCl_4)、四塩化炭素(CCl_4)など)が好ましい。また、フッ素を含むガス(フッ素系ガス、例えば四弗化炭素(CF_4)、六弗化硫黄(SF_6)、三弗化窒素(NF_3)、トリフルオロメタン(CHF_3)など)、臭化水素(HBr

50

r)、酸素(O₂)、これらのガスにヘリウム(He)やアルゴン(Ar)などの希ガスを添加したガス、などを用いることができる。

【0065】

ドライエッチング法としては、平行平板型RIE(Reactive Ion Etching)法や、ICP(Inductively Coupled Plasma:誘導結合型プラズマ)エッチング法を用いることができる。所望の加工形状にエッチングできるように、エッチング条件(コイル型の電極に印加される電力量、基板側の電極に印加される電力量、基板側の電極温度等)を適宜調節する。

【0066】

ウェットエッチングに用いるエッチング液としては、燐酸と酢酸と硝酸を混ぜた溶液、クエン酸やシュウ酸などの有機酸などを用いることができる。また、ITO-07N(関東化学社製)を用いてもよい。また、ウェットエッチング後のエッチング液はエッチングされた材料とともに洗浄によって除去される。その除去された材料を含むエッチング液の廃液を精製し、含まれる材料を再利用してもよい。当該エッチング後の廃液から酸化物半導体膜に含まれるインジウム等の材料を回収して再利用することにより、資源を有効活用し低コスト化することができる。

【0067】

なお、次工程の導電膜を形成する前に逆スパッタを行い、島状の酸化物半導体膜104及びゲート絶縁膜102の表面に付着しているレジスト残渣などを除去することが好ましい。

【0068】

次いで、減圧雰囲気下、窒素や希ガスなどの不活性ガス雰囲気下、酸素ガス雰囲気下、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、さらに好ましくは10ppb以下の空気)雰囲気下において、酸化物半導体膜104に第1の加熱処理を施す。酸化物半導体膜104に加熱処理を施すことで、図1(C)に示すように、水分、水素が脱離した酸化物半導体膜105が形成される。具体的には、500以上850以下(若しくはガラス基板の歪点以下の温度)、好ましくは550以上750以下で加熱処理を行えば良い。例えば、600、3分間以上6分間以下で行えばよい。RTA法を用いれば、短時間に脱水化または脱水素化が行えるため、ガラス基板の歪点を超える温度でも処理することができる。本実施の形態では、加熱処理装置の一つである電気炉を用い、酸化物半導体膜104に対して、窒素雰囲気下において、基板温度が600に達した状態で6分間、加熱処理を行った後、大気に触れることなく、水や水素の再混入を防ぎ、酸化物半導体膜105を得る。

【0069】

なお、加熱処理装置は電気炉に限られず、抵抗発熱体などの発熱体からの熱伝導または熱輻射によって、被処理物を加熱する装置を備えていてもよい。例えば、GRTA(Gas Rapid Thermal Anneal)装置、LRTA(Lamp Rapid Thermal Anneal)装置等のRTA(Rapid Thermal Anneal)装置を用いることができる。LRTA装置は、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ、キセノンアークランプ、カーボンアークランプ、高圧ナトリウムランプ、高圧水銀ランプなどのランプから発する光(電磁波)の輻射により、被処理物を加熱する装置である。GRTA装置は、高温のガスを用いて加熱処理を行う装置である。気体には、アルゴンなどの希ガス、または窒素のような、加熱処理によって被処理物と反応しない不活性気体を用いられる。

【0070】

例えば、第1の加熱処理として、650~700の高温に加熱した不活性ガス中に基板を移動させて入れ、数分間加熱した後、基板を移動させて高温に加熱した不活性ガス中から出すGRTAを行ってもよい。GRTAを用いると短時間での高温加熱処理が可能となる。

10

20

30

40

50

【0071】

なお、加熱処理においては、窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスに、水分、水素などが含まれないことが好ましい。または、加熱処理装置に導入する窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスの純度を、6N(99.9999%)以上、好ましくは7N(99.99999%)以上、(即ち不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下)とすることが好ましい。

【0072】

そして、図1(C)に示すように、第1の加熱処理により、島状の酸化物半導体膜105は、その表層部に結晶領域106が形成される。結晶領域106は、粒子サイズが1nm以上20nm以下の所謂ナノクリスタル(ナノ結晶とも表記する)を含んでいる。そして、島状の酸化物半導体膜105は、結晶領域106以外の領域において、非晶質、または、非晶質領域中に微結晶が点在した非晶質と微結晶の混合物を含む。なお、ナノ結晶の大きさは一例に過ぎず、発明が上記数値範囲に限定して解釈されるものではない。各金属の原子比がIn:Ga:Zn=1:1:1であるターゲットを用いてスパッタリング法で形成されたIn-Ga-Zn-O系の酸化物半導体膜の場合、他の原子比を有するターゲットを用いた場合に比べて、酸化物半導体膜の表層部における結晶化がより進みやすいため、結晶領域106がより深い領域にまで形成されやすい。

【0073】

次いで、図1(D)に示すように、表層部に結晶領域を有する酸化物半導体膜に、イオン注入法またはイオンドーピング法を用いて、酸素を添加する。イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いて、酸化物半導体膜105に酸素を添加することで、酸素が過剰に添加された酸化物半導体膜107が形成される。酸素の添加により、酸化物半導体を構成している金属と水素の間の結合、或いは該金属と水酸基の間の結合を切断するとともに、これら水素、または水酸基が、酸素と反応することで水を生成する。よって、後に行われる第2の加熱処理により、不純物である水素、または水酸基を、水として、脱離させやすくすることができる。

【0074】

イオン注入法は、ソースガスをプラズマ化し、このプラズマに含まれるイオン種を引き出し、質量分離して、所定の質量を有するイオン種を加速して、イオンビームとして、被処理物に注入する方法である。また、イオンドーピング法は、ソースガスをプラズマ化し、所定の電界の作用によりプラズマからイオン種を引き出し、引き出したイオン種を質量分離せずに加速して、イオンビームとして被処理物に注入する方法である。質量分離を伴うイオン注入法を用いて酸素の添加を行うことで、金属元素等の不純物が酸素と共に酸化物半導体膜に添加されてしまうのを防ぐことができる。また、イオンドーピング法はイオン注入法に比べてイオンビームの照射される面積を大きくすることができるので、イオンドーピング法を用いて酸素の添加を行うことで、タクトタイムを短縮することができる。

【0075】

酸素ガスを用いて、イオン注入法で酸素の添加を行う場合、加速電圧を5kV以上100kV以下、ドーズ量を 1×10^{13} ions/cm²以上 1×10^{16} ions/cm²以下とすれば良い。

【0076】

なお、イオン注入法で酸化物半導体膜105への酸素の添加を行うのと並行して、酸化物半導体膜105が形成された基板に対して、500以上850以下(若しくはガラス基板の歪点以下の温度)、好ましくは550以上750以下の範囲で、加熱処理を行うようにしても良い。

【0077】

なお、酸化物半導体膜105の表層部に形成されていた結晶領域106に含まれる結晶は、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いた酸素の添加により損傷を受ける。よって、酸化物半導体膜107の表層部は、酸素の添加前の酸化物半導体膜105が有する結晶領域106よりも、結晶性が低下する。酸素のドーズ量によっては、上述した、酸

10

20

30

40

50

化物半導体膜 105 が有する非晶質領域と同様の構成となる。

【0078】

次いで、第2の加熱処理を行う。第2の加熱処理は、第1の加熱処理と同様の条件で行うことができる。具体的には、減圧雰囲気下、窒素や希ガスなどの不活性ガス雰囲気下、酸素ガス雰囲気下、又は超乾燥エア（CRDS（キャピ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、さらに好ましくは10ppb以下の空気）雰囲気下において、500以上850以下（若しくはガラス基板の歪点以下の温度）、好ましくは550以上750以下で加熱処理を行えばよい。RTA（Rapid Thermal Anneal）処理で加熱処理を行う場合は、例えば、600、3分間以上6分間以下で行えばよい。RTA法を用いれば、短時間に脱水化または脱水素化が行えるため、ガラス基板の歪点を超える温度でも処理することができる。本実施の形態では、加熱処理装置の一つである電気炉を用い、窒素雰囲気下において、基板温度が600に達した状態で6分間、加熱処理を行った後、大気に触れることなく、水や水素の再混入を防ぐことで、図1（E）に示すように酸化物半導体膜108を得る。なお、上記加熱処理は、島状の酸化物半導体膜108形成後に複数回行ってよい。

【0079】

本発明の一態様では、酸化物半導体膜105への酸素の添加により、酸化物半導体を構成している金属と水素の間の結合、或いは該金属と水酸基の間の結合を切断するとともに、これら水素または水酸基を酸素と反応させて、水を生成する。そのため、酸素の添加後に第2の加熱処理を行うことで、強固に残存していた水素または水酸基などの不純物を、水として、脱離させやすくすることができる。よって、上記加熱処理によって形成された島状の酸化物半導体膜108は、第1の加熱処理によってもなお取り除かれなかった水分または水素などの不純物が、除去されるので、第1の加熱処理後の酸化物半導体膜105よりも、さらに、i型（真性半導体）又はi型に限りなく近くなる。水分、水素などの不純物が脱離し、i型（真性半導体）又はi型に限りなく近くなるため、上記不純物により閾値電圧がシフトするなどのトランジスタの特性の劣化が促進されるのを防ぎ、オフ電流を低減させることができる。

【0080】

また、85、 2×10^6 V/cm、12時間のゲートバイアス・熱ストレス試験（BT試験）においては、不純物が酸化物半導体に添加されていると、不純物と酸化物半導体の主成分との結合手が、強電界（B：バイアス）と高温（T：温度）により切断され、生成された不對結合手がしきい値電圧（ V_{th} ）のドリフトを誘発することとなる。しかし、上述したように、ゲート絶縁膜と酸化物半導体膜との界面特性を良好にし、なおかつ、酸化物半導体膜中の不純物、特に水素や水等を極力除去することにより、BT試験に対しても安定なトランジスタが得られる。

【0081】

なお、加熱処理装置は電気炉に限られず、抵抗発熱体などの発熱体からの熱伝導または熱輻射によって、被処理物を加熱する装置を備えていてもよい。例えば、GRTA（Gas Rapid Thermal Anneal）装置、LRTA（Lamp Rapid Thermal Anneal）装置等のRTA（Rapid Thermal Anneal）装置を用いることができる。LRTA装置は、ハロゲンランプ、メタルハライドランプ、キセノンアークランプ、カーボンアークランプ、高圧ナトリウムランプ、高圧水銀ランプなどのランプから発する光（電磁波）の輻射により、被処理物を加熱する装置である。GRTA装置は、高温のガスを用いて加熱処理を行う装置である。気体には、アルゴンなどの希ガス、または窒素のような、加熱処理によって被処理物と反応しない不活性気体が用いられる。

【0082】

例えば、第2の加熱処理として、650～700の高温に加熱した不活性ガス中に基板を移動させて入れ、数分間加熱した後、基板を移動させて高温に加熱した不活性ガス中

から出すGRTAを行ってもよい。GRTAを用いると短時間での高温加熱処理が可能となる。

【0083】

なお、加熱処理においては、窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスに、水分、水素などが含まれないことが好ましい。または、加熱処理装置に導入する窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスの純度を、6N(99.9999%)以上、好ましくは7N(99.99999%)以上、(即ち不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下)とすることが好ましい。

【0084】

酸化物半導体膜105では、第1の加熱処理により水または水素が除去されるとともに酸素欠損が生じているが、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いた酸素の添加により、この酸素欠損が生じた酸化物半導体膜に十分に酸素を供給させることができる。そして、第1の加熱処理により除去した水素または水は、酸化物半導体の構成元素ではなく、いわゆる不純物であり、後に添加された酸素は、酸化物半導体の構成元素の一つであるので、化学量論的組成比を満たす構成とすることができ、そのため、第1の加熱処理と酸素の添加を行った後において、上記の第2の加熱処理を行うことにより、損傷を受けた結晶領域106を修復するとともに、酸化物半導体膜108の表層部から半導体膜のさらに内部にまで結晶成長を促進させ、図1(E)に示すように酸化物半導体膜108のより深部にまで拡大した結晶領域109を形成することができる。そして、この第2の加熱処理では、第1の加熱処理よりも結晶成長がさらに促進されるため、結晶領域109内において、結晶粒どうしが隣接し、なおかつ、酸化物半導体を構成している金属元素が、隣接する結晶粒間において連なった状態、すなわち、接続している状態を呈する。

【0085】

以下、結晶領域109について、より詳細に説明する。表層部の結晶領域109の結晶は、酸化物半導体膜108の表面に対して略垂直な方向にc軸(c-axis)が配向した結晶であり、当該結晶が隣接している。例えば、In-Ga-Zn-O系の酸化物半導体材料を用いる場合には、結晶領域109の結晶は、InGaZnO₄結晶のc軸が酸化物半導体膜108の表面に対して略垂直な方向に配向したものとなる。

【0086】

上記InGaZnO₄の結晶は、In、Ga、Znのいずれかを含有し、a軸(a-axis)およびb軸(b-axis)に平行なレイヤーの積層構造として捉えることができる。すなわち、InGaZnO₄の結晶は、Inを含有する第1のレイヤーと、Inを含有する第2のレイヤーと、Inを含有する第3のレイヤーとがc軸方向に積層された構造を備える。

【0087】

InGaZnO₄結晶の電気伝導は、主としてInによって制御されるため、Inを含有する第1のレイヤー乃至第3のレイヤーの、a軸およびb軸に平行な方向に関する電気特性は良好である。これは、Inを含有する第1のレイヤー乃至第3のレイヤーのいずれか一以上では、一のInの5s軌道が、隣接するInの5s軌道と重なりを有することにより、キャリアパスが形成されるためである。

【0088】

このような結晶が配向することで、酸化物半導体膜108の電気的特性にも影響が現れる。具体的には、例えば、酸化物半導体膜108の表面と平行な方向の電気特性が向上する。これは、InGaZnO₄結晶のc軸が酸化物半導体膜108の表面に対して略垂直な方向に配向しており、InGaZnO₄結晶において、a軸およびb軸に平行な方向に電流が流れるためである。

【0089】

また、本発明の一態様では、結晶領域内において、結晶粒どうしが隣接し、なおかつ、酸化物半導体を構成している金属元素が、隣接する結晶粒間において連なった状態、すなわち、接続している状態を呈する。よって、図4に示すように、矢印で示した、a軸および

10

20

30

40

50

b 軸に平行な方向に電流が流れやすくなり、酸化物半導体膜 108 の表面と平行な方向の電気特性がさらに向上する。なお、図 1 (E) に示す酸化物半導体膜 108 は、非晶質を主たる構成とする非晶質領域 110 と、酸化物半導体膜 108 の表層部に形成される結晶領域 109 とを有する。

【0090】

なお、結晶領域 109 の結晶構造は上記に限定されず、他の結晶構造の結晶を含んでも良い。例えば、In - Ga - Zn - O 系の酸化物半導体材料を用いる場合には、InGaZnO₄ の結晶に加え、In₂Ga₂ZnO₇、InGaZn₅O₈ 等の結晶などを含んでも良い。もちろん、結晶領域 109 全体に渡って InGaZnO₄ の結晶が存在する場合には、より効果的であり、好適である。

10

【0091】

以上において説明したように、酸化物半導体膜 108 では、表層部に結晶領域 109 を有することで、良好な電気特性を実現できる。特に、結晶領域 109 が、InGaZnO₄ 結晶の c 軸が酸化物半導体膜 108 の表面に対して略垂直な方向に配向したものを含んで構成される場合には、InGaZnO₄ 結晶の電気特性によって、酸化物半導体膜 108 表層部におけるキャリア移動度が上昇する。このため、当該酸化物半導体膜 108 を有するトランジスタの電界効果移動度が上昇し、良好な電気特性を実現できる。

【0092】

また、結晶領域 109 は、結晶領域 109 以外の非晶質領域 110 と比較して安定であるため、これを酸化物半導体膜 108 の表層部に有することで、非晶質領域 110 に不純物（例えば水素、水、水酸基または水素化物など）が取り込まれることを低減することが可能である。このため、酸化物半導体膜 108 の信頼性を向上させることができる。

20

【0093】

以上の工程により酸化物半導体膜中の水素の濃度を低減し、高純度化することができる。それにより酸化物半導体膜の安定化を図ることができる。また、ガラス転移温度以下の加熱処理で、キャリア密度が極端に少なく、バンドギャップの広い酸化物半導体膜を形成することができる。このため、大面積基板を用いてトランジスタを作製することができるため、量産性を高めることができる。また、当該水素濃度が低減され高純度化された酸化物半導体膜を用いることで、耐圧性が高く、ショートチャネル効果が低く、オンオフ比の高いトランジスタを作製することができる。

30

【0094】

なお、非晶質領域 110 は、非晶質酸化物半導体膜を主たる構成としている。なお、「主たる」とは、例えば、50% 以上を占める状態をいい、この場合には、非晶質酸化物半導体膜が体積%（または重量%）で 50% 以上を占める状態をいうものとする。つまり、非晶質酸化物半導体膜以外にも、酸化物半導体膜の結晶などを含むことがあるが、その含有率は体積%（または重量%）で 50% 未満であることが望ましいがこれらの範囲に限定される必要はない。

【0095】

酸化物半導体膜の材料として In - Ga - Zn - O 系の酸化物半導体膜を用いる場合には、上記の非晶質領域 110 の組成は、Zn の含有量（原子%）が、In または Ga の含有量（原子%）以上となるようにするのが好適である。このような組成とすることにより、所定の組成の結晶領域 109 を形成することが容易になるためである。

40

【0096】

なお、本実施の形態では、酸化物半導体膜 103 を所望の形状に加工して島状の酸化物半導体膜 104 を形成した後に、第 1 の加熱処理、酸素の添加、第 2 の加熱処理を行う作製方法について説明したが、本発明はこの構成に限定されない。島状の酸化物半導体膜 104 を形成する前の酸化物半導体膜 103 に対して、第 1 の加熱処理、酸素の添加、第 2 の加熱処理を行った後、酸化物半導体膜の形状を加工して島状の酸化物半導体膜を形成しても良い。或いは、酸化物半導体膜 103 に対して、第 1 の加熱処理を行った後に酸化物半導体膜の形状を加工して島状の酸化物半導体膜を形成し、次いで当該島状の酸化物半導体

50

膜に対して酸素の添加、第2の加熱処理を行うようにしても良い。或いは、酸化物半導体膜103に対して、第1の加熱処理、酸素の添加を行った後に、酸化物半導体膜の形状を加工して島状の酸化物半導体膜を形成し、次いで当該島状の酸化物半導体膜に対して第2の加熱処理を行うようにしても良い。

【0097】

次いで、図2(A)に示すように、ゲート絶縁膜102、及び酸化物半導体膜108上に、ソース電極及びドレイン電極(これと同じ層で形成される配線を含む)となる導電膜を形成した後、該導電膜をパターニングすることで、ソース電極111、ドレイン電極112を形成する。導電膜をスパッタ法や真空蒸着法で形成すればよい。ソース電極及びドレイン電極(これと同じ層で形成される配線を含む)となる導電膜の材料としては、Al、Cr、Cu、Ta、Ti、Mo、Wから選ばれた元素、または上述した元素を成分とする合金か、上述した元素を組み合わせた合金膜等が挙げられる。また、Al、Cuなどの金属膜の下側もしくは上側にCr、Ta、Ti、Mo、Wなどの高融点金属膜を積層させた構成としても良い。また、Si、Ti、Ta、W、Mo、Cr、Nd、Sc、YなどAl膜に生ずるヒロックやウィスカの発生を防止する元素が添加されているAl材料を用いることで耐熱性を向上させることが可能となる。

10

【0098】

また、導電膜は、単層構造でも、2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、アルミニウム膜上にチタン膜を積層する2層構造、Ti膜と、そのTi膜上に重ねてアルミニウム膜を積層し、さらにその上にTi膜を成膜する3層構造などが挙げられる。

20

【0099】

また、ソース電極及びドレイン電極(これと同じ層で形成される配線を含む)となる導電膜としては導電性の金属酸化物で形成しても良い。導電性の金属酸化物としては酸化インジウム(In_2O_3)、酸化スズ(SnO_2)、酸化亜鉛(ZnO)、酸化インジウム酸化スズ合金(In_2O_3 SnO_2 、ITOと略記する)、酸化インジウム酸化亜鉛合金(In_2O_3 ZnO)または前記金属酸化物材料にシリコン若しくは酸化シリコンを含ませたものを用いることができる。

【0100】

導電膜形成後に加熱処理を行う場合には、この加熱処理に耐える耐熱性を導電膜に持たせることが好ましい。

30

【0101】

そして、導電膜上にレジストマスクを形成し、選択的にエッチングを行ってソース電極111、ドレイン電極112を形成した後、レジストマスクを除去する。

【0102】

フォトリソグラフィ工程でのレジストマスク形成時の露光には、紫外線やKrFレーザ光やArFレーザ光を用いる。酸化物半導体膜108上で隣り合うソース電極の下端部とドレイン電極の下端部との間隔幅によって後に形成されるトランジスタのチャンネル長Lが決定される。なお、チャンネル長 $L = 25\text{ nm}$ 未満の露光を行う場合には、数nm~数10nmと極めて波長が短い超紫外線(Extreme Ultraviolet)を用いてフォトリソグラフィ工程でのレジストマスク形成時の露光を行う。超紫外線による露光は、解像度が高く焦点深度も大きい。従って、後に形成されるトランジスタのチャンネル長Lを10nm以上1000nm以下とすることも可能であり、回路の動作速度を高速化でき、さらにオフ電流値が極めて小さいため、低消費電力化も図ることができる。

40

【0103】

なお、導電膜のエッチングの際に、酸化物半導体膜108がなるべく除去されないようにそれぞれの材料及びエッチング条件を適宜調節する。

【0104】

本実施の形態では、導電膜にチタン膜を用い、アンモニアと過酸化水素水を含む溶液(アンモニア過水)を用いて、導電膜をウェットエッチングすることで、ソース電極111、

50

ドレイン電極 112 を形成する。アンモニア過水を含む溶液は、具体的には、31重量%の過酸化水素水と、28重量%のアンモニア水と水とを、体積比5:2:2で混合した水溶液を用いる。或いは、塩素(Cl_2)、塩化硼素(BCl_3)などを含むガスを用いて、導電膜をドライエッチングしても良い。

【0105】

上記パターンングによりソース電極 111 とドレイン電極 112 を形成する際に、島状の酸化物半導体膜 108 の露出した部分が一部エッチングされることで、島状の酸化物半導体膜 108 に溝部(凹部)が形成されることもある。また、ソース電極 111、ドレイン電極 112 を形成するためのレジストマスクをインクジェット法で形成してもよい。レジストマスクをインクジェット法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

10

【0106】

また、フォトリソグラフィ工程で用いるフォトマスク数及び工程数を削減するため、透過した光に多段階の強度をもたせる多階調マスクによって形成されたレジストマスクを用いてエッチング工程を行ってもよい。多階調マスクを用いて形成したレジストマスクは複数の膜厚を有する形状となり、エッチングを行うことでさらに形状を変形することができるため、異なるパターンに加工する複数のエッチング工程に用いることができる。よって、一枚の多階調マスクによって、少なくとも二種類以上の異なるパターンに対応するレジストマスクを形成することができる。よって露光マスク数を削減することができ、対応するフォトリソグラフィ工程も削減できるため、工程の簡略化が可能となる。

20

【0107】

ソース電極 111、ドレイン電極 112 は、酸化物半導体膜 108 が有する結晶領域 109 と接している。導電性の高い結晶領域 109 と、ソース電極 111、ドレイン電極 112 が接することで、ソース電極 111 及びドレイン電極 112 と、酸化物半導体膜 108 との間の接触抵抗を低減させることができるので、最終的に形成されるトランジスタのオン電流を高めることができる。

【0108】

次いで、 N_2O 、 N_2 、またはArなどのガスを用いたプラズマ処理を行う。このプラズマ処理によって露出している酸化物半導体膜の表面に付着した吸着水などを除去する。また、酸素とアルゴンの混合ガスを用いてプラズマ処理を行ってもよい。

30

【0109】

なお、プラズマ処理を行った後、図2(B)に示すように、ソース電極 111、ドレイン電極 112 及び酸化物半導体膜 108 を覆うように絶縁膜 113 を形成する。絶縁膜 113 は、水分や、水素などの不純物を極力含まないことが望ましく、単層の絶縁膜であっても良いし、積層された複数の絶縁膜で構成されていても良い。絶縁膜 113 に水素が含まれると、その水素の酸化物半導体膜への侵入、又は水素が酸化物半導体膜中の酸素の引き抜きが生じ、酸化物半導体膜のバックチャネル部が低抵抗化(n型化)してしまい、寄生チャネルが形成されるおそれがある。よって、絶縁膜 113 はできるだけ水素を含まない膜になるように、成膜方法に水素を用いないことが重要である。上記絶縁膜 113 には、バリア性の高い材料を用いるのが望ましい。例えば、バリア性の高い絶縁膜として、窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などを用いることができる。複数の積層された絶縁膜を用いる場合、上記バリア性の高い絶縁膜よりも、窒素の比率が低い酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜を、酸化物半導体膜 108 に近い側に形成する。そして、窒素の比率が低い絶縁膜を間に挟んで、ソース電極 111、ドレイン電極 112 及び酸化物半導体膜 108 と重なるように、バリア性を有する絶縁膜を形成する。バリア性を有する絶縁膜を用いることで、酸化物半導体膜 108 内、ゲート絶縁膜 102 内、或いは、酸化物半導体膜 108 と他の絶縁膜の界面とその近傍に、水分または水素などの不純物が入り込むのを防ぐことができる。また、酸化物半導体膜 108 に接するように窒素の比率が低い酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜を形成することで、バリア性の高い材料を用いた絶縁膜が直接酸化物半導体膜 108 に接するの

40

50

を防ぐことができる。

【0110】

本実施の形態では、スパッタ法で形成された膜厚200nmの酸化珪素膜上に、スパッタ法で形成された膜厚100nmの窒化珪素膜を積層させた構造を有する、絶縁膜113を形成する。成膜時の基板温度は、室温以上300以下とすればよく、本実施の形態では100とする。

【0111】

なお、絶縁膜113を形成した後に、加熱処理を施しても良い。加熱処理は、不活性ガス雰囲気（窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等）下において、好ましくは200以上400以下、例えば250以上350以下で行う。本実施の形態では、例えば、窒素雰囲気下で250、1時間の加熱処理を行う。または、ソース電極111、ドレイン電極112を形成する前に、酸化物半導体膜に対して行った先の加熱処理と同様に、高温短時間のRTA処理を行っても良い。ソース電極111又はドレイン電極112の間に設けられた酸化物半導体膜108の露出領域と、酸素を含む絶縁膜113とが接して設けられた後に、加熱処理が施されることによって、酸化物半導体膜108に酸素が供与されるため、酸化物半導体膜108の絶縁膜113と接する領域を選択的に酸素過剰な状態とすることができる。その結果、化学量論的組成比を満たす構成とすることが可能であり、ゲート電極101と重なるチャネル形成領域はI型となり、トランジスタの電気特性の向上および、電気特性のばらつきを軽減することができる。この加熱処理を行うタイミングは、絶縁膜113の形成後であれば特に限定されず、他の工程、例えば樹脂膜形成時の加熱処理や、透明導電膜を低抵抗化させるための加熱処理と兼ねることで、工程数を増やすことなく行うことができる。

【0112】

以上の工程でトランジスタ114が形成される。

【0113】

図2(C)に、図2(B)に示すトランジスタ114の上面図を示す。なお、図2(C)の破線A1-A2における断面図が、図2(B)に相当する。

【0114】

トランジスタ114は、絶縁表面を有する基板100上に形成されたゲート電極101と、ゲート電極101上のゲート絶縁膜102と、ゲート絶縁膜102上においてゲート電極101と重なっている酸化物半導体膜108と、酸化物半導体膜108上に形成された一対のソース電極111またはドレイン電極112とを有する。さらに、トランジスタ114は、酸化物半導体膜108上に形成された絶縁膜113を、その構成要素に含めても良い。図2(C)に示すトランジスタ114は、ソース電極111とドレイン電極112の間において、酸化物半導体膜108の一部がエッチングされたチャネルエッチ構造である。

【0115】

また、トランジスタ114はシングルゲート構造のトランジスタを用いて説明したが、必要に応じて、チャネル形成領域を複数有するマルチゲート構造のトランジスタも形成することができる。

【0116】

なお、図1及び図2に示した作製方法を用いて形成されたトランジスタ114は、ソース電極111とドレイン電極112の間に位置する結晶領域109がエッチングにより除去されることで、非晶質領域110が露出している構成を示している。しかし、非晶質領域110が露出するか否かは、結晶領域109の存在する表層部が、酸化物半導体膜108の表面からどれぐらいの深さまで占めているのかということと、ソース電極111とドレイン電極112を形成する際に、酸化物半導体膜108の表面がどの程度エッチングされるかということに依存する。

【0117】

図11(A)に、酸化物半導体膜108が結晶領域109と非晶質領域110とを有して

10

20

30

40

50

おり、なおかつ、結晶領域 109 の存在する表層部は、表面からの距離（深さ）が酸化物半導体膜 108 の厚さの半分以上である場合の、酸化物半導体膜 108 の断面図を示す。そして、図 11 (B) に、図 11 (A) に示した酸化物半導体膜 108 を用いて作製された、チャンネルエッチ型のトランジスタの断面図の一例を示す。図 11 (B) では、結晶領域 109 の存在する表層部が、図 1 及び図 2 に示したトランジスタ 114 よりも、表面からより深い領域にまで及んでいるので、ソース電極 111 とドレイン電極 112 の間に位置する結晶領域 109 が残存している。

【0118】

本発明は、図 2 (B) に示すように、ソース電極 111 とドレイン電極 112 の間において非晶質領域 110 が露出している構成であっても良いし、図 11 (B) に示すように結晶領域 109 が残存している構成であっても良い。ただし、ボトムゲート構造を有するチャンネルエッチ型のトランジスタの場合、酸化物半導体膜 108 のうち、ゲート電極 101 から遠いバックチャンネル部に寄生チャンネルが形成されるのを防ぐためには、バックチャンネル部は抵抗の高い非晶質領域 110 で形成されることが望ましい。従って、図 2 (B) に示すように、ソース電極 111 とドレイン電極 112 の間において非晶質領域 110 が露出している構成の方が、よりトランジスタのオンオフ比を高くすることができる。

10

【0119】

また、酸化物半導体膜 108 の結晶化がさらに深部にまで及ぶと、酸化物半導体膜 108 の殆ど全てが結晶領域 109 で占められる場合もあり得る。図 12 (A) に、酸化物半導体膜 108 の殆ど全てが結晶領域 109 で占められている場合の、酸化物半導体膜 108 の断面図を示す。そして、図 12 (B) に、図 12 (A) に示した酸化物半導体膜 108 を用いて作製された、チャンネルエッチ型のトランジスタの断面図の一例を示す。図 12 (B) では、酸化物半導体膜 108 のうちゲート電極 101 と重なる領域、すなわちチャンネル形成領域が、全て結晶領域 109 で構成されている。上記構成により、チャンネル形成領域におけるキャリア移動度が高まるため、トランジスタの電界効果移動度が上昇し、良好な電気特性を実現できる。

20

【0120】

次いで、絶縁膜 113 上に導電膜を形成した後、該導電膜をパターニングすることで、図 3 (A) に示すように、酸化物半導体膜 108 と重なる位置にバックゲート電極 115 を形成しても良い。バックゲート電極 115 は、ゲート電極 101、或いはソース電極 111 及びドレイン電極 112 と同様の材料、構造を用いて形成することが可能である。

30

【0121】

バックゲート電極 115 の膜厚は、10 nm ~ 400 nm、好ましくは 100 nm ~ 200 nm とする。本実施の形態では、チタン膜、アルミニウム膜、チタン膜が積層された構造を有する導電膜を形成する。そして、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成し、エッチングにより不要な部分を除去して、該導電膜を所望の形状に加工（パターニング）することで、バックゲート電極 115 を形成する。

【0122】

次いで、図 3 (B) に示すように、バックゲート電極 115 を覆うように絶縁膜 116 を形成する。絶縁膜 116 は、雰囲気中の水分、水素、酸素などがトランジスタ 114 の特性に影響を与えるのを防ぐことができる、バリア性の高い材料を用いるのが望ましい。例えば、バリア性の高い絶縁膜として、窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などを、プラズマ CVD 法又はスパッタリング法等により単層で又は積層させて形成することができる。バリア性の効果を得るには、絶縁膜 116 は、例えば厚さ 15 nm ~ 400 nm の膜厚で形成することが好ましい。

40

【0123】

本実施の形態では、プラズマ CVD 法により 300 nm の絶縁膜を形成する。成膜条件は、シランガスの流量 4 s c c m とし、一酸化二窒素 (N₂O) の流量 800 s c c m とし、基板温度 400 とする。

【0124】

50

図 3 (C) に、図 3 (B) に示す半導体装置の上面図を示す。図 3 (B) は、図 3 (C) の破線 A 1 - A 2 における断面図に相当する。

【 0 1 2 5 】

なお、図 3 (B) では、バックゲート電極 1 1 5 が酸化物半導体膜 1 0 8 全体を覆っている場合を例示しているが、本発明はこの構成に限定されない。バックゲート電極 1 1 5 は、酸化物半導体膜 1 0 8 が有するチャンネル形成領域の一部と少なくとも重なっていれば良い。

【 0 1 2 6 】

バックゲート電極 1 1 5 は、電氣的に絶縁しているフローティングの状態であっても良いし、電位が与えられる状態であっても良い。後者の場合、バックゲート電極 1 1 5 には、ゲート電極 1 0 1 と同じ高さの電位が与えられていても良いし、グラウンドなどの固定電位が与えられていても良い。バックゲート電極 1 1 5 に与える電位の高さを制御することで、トランジスタ 1 1 4 の閾値電圧を制御することができる。

10

【 0 1 2 7 】

本実施の形態のように酸化物半導体膜中に含まれる水素、水などの不純物を極力除去し、酸化物半導体膜を高純度化することが、トランジスタの特性にどのように影響を与えるかを以下に説明する。

【 0 1 2 8 】

図 2 2 は、酸化物半導体を用いた逆スタガ型のトランジスタの縦断面図を示す。ゲート電極 (G E) 上にゲート絶縁膜 (G I) を介して酸化物半導体膜 (O S) が設けられ、その上にソース電極 (S) 及びドレイン電極 (D) が設けられている。

20

【 0 1 2 9 】

図 2 3 は、図 2 2 に示す A - A ' 断面におけるエネルギーバンド図 (模式図) を示す。図 2 3 中の黒丸 () は電子を示し、白丸 () は正孔を示し、それぞれは電荷 (- q 、 + q) を有している。ドレイン電極に正の電圧 ($V_D > 0$) を印加した上で、破線はゲート電極に電圧を印加しない場合 ($V_G = 0$) 、実線はゲート電極に正の電圧 ($V_G > 0$) を印加する場合を示す。ゲート電極に電圧を印加しない場合は高いポテンシャル障壁のために電極から酸化物半導体側へキャリア (電子) が注入されず、電流を流さないオフ状態を示す。一方、ゲート電極に正の電圧を印加すると、ポテンシャル障壁が低下し、電流を流すオン状態を示す。

30

【 0 1 3 0 】

図 2 4 は、図 2 2 における B - B ' の断面におけるエネルギーバンド図 (模式図) である。図 2 4 (A) はゲート電極 (G E) に正の電位 ($V_G > 0$) が印加された状態であり、ソース電極とドレイン電極間にキャリア (電子) が流れるオン状態を示している。また、図 2 4 (B) は、ゲート電極 (G E) に負の電位 ($V_G < 0$) が印加された状態であり、オフ状態 (少数キャリアは流れない) である場合を示す。

【 0 1 3 1 】

図 2 5 は、真空準位と金属の仕事関数 (ϕ_M) 、酸化物半導体の電子親和力 (χ) の関係を示す。

【 0 1 3 2 】

常温において、金属中の電子は縮退しており、フェルミ準位は伝導帯内に位置する。一方、従来の酸化物半導体は一般に n 型であり、その場合のフェルミ準位 (E_f) は、バンドギャップ中央に位置する真性フェルミ準位 (E_i) から離れて、伝導帯 (E_c) 寄りに位置している。なお、酸化物半導体において水素の一部はドナーとなり、酸化物半導体が n 型化する一つの要因であることが知られている。また、酸素欠損も n 型化する一つの要因であることが知られている。

40

【 0 1 3 3 】

これに対して、本発明に係る酸化物半導体は、n 型不純物である水素を酸化物半導体から除去して酸化物半導体の主成分以外の不純物が極力含まれないように高純度化し、かつ、酸素欠損を除去することにより、酸化物半導体を真性 (i 型) 又は真性型とせんとしたも

50

のである。すなわち、不純物を添加して酸化物半導体を i 型化するのでなく、水素や水等の不純物や酸素欠損を極力除去して高純度化することにより、 i 型（真性半導体）又は i 型（真性半導体）に限りなく近い酸化物半導体を得ることを特徴としている。上記構成により、矢印で示すように、フェルミ準位（ E_f ）は真性フェルミ準位（ E_i ）と同じレベルに限りなく近づけることができる。

【0134】

酸化物半導体のバンドギャップ（ E_g ）は 3.15 eV で、電子親和力（ χ ）は 4.3 V と言われている。ソース電極及びドレイン電極を構成するチタン（ Ti ）の仕事関数は、酸化物半導体の電子親和力（ χ ）とほぼ等しい。この場合、金属-酸化物半導体界面において、電子に対してショットキー型の障壁は形成されない。

10

【0135】

このとき電子は、図24（A）で示すようにゲート絶縁膜と高純度化された酸化物半導体との界面における、酸化物半導体側のエネルギー的に安定な最低部を移動する。

【0136】

また、図24（B）において、ゲート電極（ GE ）に負の電位（逆バイアス）が印加されると、少数キャリアであるホールは実質的にゼロであるため、電流は限りなくゼロに近い値となる。

【0137】

このように、酸化物半導体の主成分以外の元素（不純物元素）が極力含まれないように高純度化することにより、真性（ i 型）とし、または実質的に真性となるため、ゲート絶縁膜との界面特性が顕在化する。そのため、ゲート絶縁膜には、酸化物半導体と良好な界面を形成できるものが要求される。具体的には、例えば、 VHF 帯～マイクロ波帯の電源周波数で生成される高密度プラズマを用いた CVD 法で作製される絶縁膜や、スパッタリング法で作製される絶縁膜などを用いることが好ましい。

20

【0138】

例えば、トランジスタのチャネル幅 W が $1 \times 10^4 \mu\text{m}$ でチャネル長 L が $3 \mu\text{m}$ の素子であっても、オフ電流が 10^{-13} A 以下であり、サブスレッショルドスイング値（ S 値）が 0.1 V/dec （ゲート絶縁膜厚 100 nm ）が得られる。

【0139】

このように、酸化物半導体の主成分以外の水、水素などの不純物が極力含まれないように、酸化物半導体膜を高純度化することにより、トランジスタの動作を良好なものとすることができる。

30

【0140】

（実施の形態2）

本実施の形態では、さらに高電圧または大電流の制御が可能な、パワーデバイス向きであるトランジスタの構造及び作製方法について、説明する。なお、実施の形態1と同一部分又は同様な機能を有する部分、及び工程は、実施の形態1と同様に行うことができるため、繰り返しの説明は省略する。

【0141】

図5（A）に示すように、基板200上に下地膜となる絶縁膜201を形成した後、第1の電極202を形成する。

40

【0142】

基板200に用いられる基板については、実施の形態1に示した基板100についての記載を参照すれば良い。また、絶縁膜201の材料、構造及び膜厚については、実施の形態1に示した下地膜についての記載を参照すれば良い。

【0143】

第1の電極202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、イットリウム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、上述した金属元素を組み合わせた合金などで形成する。また、マンガン、マグネシウム、ジルコニウム、ベリリウム、トリウムのうち一または複数から選択された金属元

50

素を用いることができる。また、第1の電極202は、単層構造、または二層以上の積層構造とすることができる。例えば、シリコンを含むアルミニウム膜の単層構造、アルミニウム膜上にチタン膜を積層する二層構造、タングステン膜上にチタン膜を積層する二層構造、チタン膜と、そのチタン膜上に重ねて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などが挙げられる。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、ネオジウム、スカンジウムから選ばれた元素を単数、または複数組み合わせさせた膜、合金膜、もしくは窒化膜を用いてもよい。

【0144】

また、第1の電極202として、インジウム錫酸化物、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、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と、上記金属元素の積層構造とすることもできる。

10

【0145】

第1の電極202は、基板200上に導電膜をスパッタリング法、CVD法、または真空蒸着法で形成し、当該導電膜上にフォトリソグラフィ工程によりレジストマスクを形成し、当該レジストマスクを用いて導電膜をエッチングして、形成することができる。または、フォトリソグラフィ工程を用いず、印刷法、インクジェット法で第1の電極202を形成することで、工程数を削減することができる。なお、第1の電極202の端部をテーパ形状とすると、後に形成されるゲート絶縁膜の被覆性が向上するため好ましい。第1の電極202の端部と絶縁膜201のなす角の角度を30°以上60°以下、好ましくは40°以上50°以下とすることで、後に形成されるゲート絶縁膜の被覆性を向上させることができる。

20

【0146】

本実施の形態では、第1の電極202となる導電膜として、スパッタリング法により膜厚50nmのチタン膜を形成し、厚さ100nmのアルミニウム膜を形成し、厚さ50nmのチタン膜を形成する。次に、フォトリソグラフィ工程により形成したレジストマスクを用いてエッチングして、第1の電極202を形成する。なお、フォトリソグラフィ工程により形成したレジストマスクの代わりに、インクジェット法を用いてレジストマスクを製作することで、工程数を削減することができる。

30

【0147】

次いで、第1の電極202上に島状の酸化物半導体膜203を形成する。酸化物半導体膜203は、スパッタリング法、塗布法、印刷法等により形成することができる。本実施の形態では、スパッタリング法により第1の電極202上に酸化物半導体膜を形成した後、エッチング等により当該酸化物半導体膜を所望の形状に加工することで、島状の酸化物半導体膜203を形成する。また、酸化物半導体膜は、希ガス（例えばアルゴン）雰囲気下、酸素雰囲気下、又は希ガス（例えばアルゴン）及び酸素雰囲気下においてスパッタ法により形成することができる。

【0148】

なお、島状の酸化物半導体膜203を形成するためのエッチングは、実施の形態1に示した島状の酸化物半導体膜203を形成するためのエッチングについての記載を参照して実施すれば良い。ただし、エッチングにより形成される島状の酸化物半導体膜203の端部と、第1の電極202のなす角の角度を30°以上60°以下、好ましくは40°以上50°以下とすることで、後に形成されるゲート絶縁膜の被覆性を向上させることができるため好ましい。

40

【0149】

なお、酸化物半導体膜をスパッタ法により成膜する前に、アルゴンガスを導入してプラズマを発生させる逆スパッタを行い、第1の電極202の表面に付着している塵埃を除去することが好ましい。逆スパッタとは、ターゲット側に電圧を印加せずに、アルゴン雰囲気下で基板側にRF電源を用いて電圧を印加して基板近傍にプラズマを形成して表面を改質

50

する方法である。なお、アルゴン雰囲気にて窒素、ヘリウムなどを用いてもよい。また、アルゴン雰囲気にて酸素、亜酸化窒素などを加えた雰囲気で行ってもよい。また、アルゴン雰囲気にて塩素、四フッ化炭素などを加えた雰囲気で行ってもよい。

【0150】

酸化物半導体膜203は、上述したような酸化物半導体を用いることができる。

【0151】

本実施の形態では、In（インジウム）、Ga（ガリウム）、及びZn（亜鉛）を含む酸化物半導体ターゲットを用いたスパッタ法により得られる膜厚30nmのIn-Ga-Zn-O系非単結晶膜を、酸化物半導体膜203として用いる。上記ターゲットとして、例えば、各金属の原子比がIn:Ga:Zn=1:1:0.5、In:Ga:Zn=1:1:1、またはIn:Ga:Zn=1:1:2の組成比を有する酸化物半導体ターゲットを用いることができる。また、酸化物半導体膜は、希ガス（代表的にはアルゴン）雰囲気下、酸素雰囲気下、又は希ガス（代表的にはアルゴン）及び酸素雰囲気下においてスパッタリング法により形成することができる。また、スパッタリング法を用いる場合、SiO₂を2重量%以上10重量%以下含むターゲットを用いて成膜を行ってもよい。また、In、Ga、及びZnを含む酸化物半導体ターゲットの充填率は90%以上100%以下、好ましくは95%以上99.9%以下である。充填率の高い酸化物半導体ターゲットを用いることにより、成膜した酸化物半導体膜は緻密な膜となる。

10

【0152】

減圧状態に保持された処理室内に基板を保持し、処理室内の残留水分を除去しつつ水素及び水分が除去されたスパッタガスを導入し、金属酸化物をターゲットとして基板200上に酸化物半導体膜203を成膜する。成膜時に、基板温度を100以上600以下好ましくは200以上400以下としても良い。基板を加熱しながら成膜することにより、成膜した酸化物半導体膜に含まれる不純物濃度を低減することができる。また、スパッタリングによる損傷が軽減される。処理室内の残留水分を除去するためには、吸着型の真空ポンプを用いることが好ましい。例えば、クライオポンプ、イオンポンプ、チタンサブリーションポンプを用いることが好ましい。また、排気手段としては、ターボポンプにコールドトラップを加えたものであってもよい。クライオポンプを用いて排気した成膜室は、例えば、水素原子、水（H₂O）など水素原子を含む化合物（より好ましくは炭素原子を含む化合物も）等が排気されるため、当該成膜室で成膜した酸化物半導体膜に含まれる不純物の濃度を低減できる。

20

30

【0153】

本実施の形態では、酸化物半導体膜の成膜条件の一例として、基板温度室温、基板とターゲットの間との距離を110mm、圧力0.4Pa、直流（DC）電源0.5kW、酸素及びアルゴン（酸素流量15sccm：アルゴン流量30sccm）雰囲気下の条件が適用される。なお、パルス直流（DC）電源を用いると、成膜時に発生するパーティクルと呼ばれる塵埃が軽減でき、膜厚分布も均一となるために好ましい。酸化物半導体膜の厚さは、1μm以上、好ましくは3μm以上、さらに好ましくは10μm以上とする。なお、適用する酸化物半導体膜材料により適切な厚みは異なり、材料に応じて適宜厚みを選択すればよい。

40

【0154】

なお、酸化物半導体膜203に水素、水酸基及び水分がなるべく含まれないようにするために、成膜の前処理として、スパッタリング装置の予備加熱室で第1の電極202までが形成された基板200を予備加熱し、基板200に吸着した水素、水分などの不純物を脱離し排気することが好ましい。なお、予備加熱の温度としては、100以上400以下好ましくは150以上300以下である。なお、予備加熱室に設ける排気手段はクライオポンプが好ましい。なお、この予備加熱の処理は省略することもできる。またこの予備加熱は、ゲート絶縁膜の成膜前に、ゲート電極まで形成した基板200にも同様に行ってもよい。

【0155】

50

スパッタリング法にはスパッタ用電源に高周波電源を用いるRFスパッタリング法と、DCスパッタリング法があり、さらにパルスのバイアスを与えるパルスDCスパッタリング法もある。RFスパッタリング法は主に絶縁膜を成膜する場合に用いられ、DCスパッタリング法は主に金属膜を成膜する場合に用いられる。

【0156】

また、材料の異なるターゲットを複数設置できる多元スパッタ装置もある。多元スパッタ装置は、同一チャンバーで異なる材料膜を積層成膜することも、同一チャンバーで複数種類の材料を同時に放電させて成膜することもできる。

【0157】

また、チャンバー内部に磁石機構を備えたマグネトロンスパッタリング法を用いるスパッタ装置や、グロー放電を使わずマイクロ波を用いて発生させたプラズマを用いるECRスパッタリング法を用いるスパッタ装置がある。

10

【0158】

また、スパッタリング法を用いる成膜方法として、成膜中にターゲット物質とスパッタガス成分とを化学反応させてそれらの化合物薄膜を形成するリアクティブスパッタリング法や、成膜中に基板にも電圧をかけるバイアスパッタリング法もある。

【0159】

次いで、減圧雰囲気下、窒素や希ガスなどの不活性ガス雰囲気下、酸素ガス雰囲気下、又は超乾燥エア(CRDS(キャピ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)雰囲気下において、酸化半導体膜203に第1の加熱処理を施す。酸化半導体膜203に加熱処理を施すことで、図5(B)に示すように、水分、水素が脱離した酸化半導体膜205が形成される。具体的には、500以上850以下(若しくはガラス基板の歪点以下の温度)、好ましくは550以上750以下で加熱処理を行えば良い。例えば、600、3分間以上6分間以下程度で行えばよい。RTA法を用いれば、短時間に脱水化または脱水素化が行えるため、ガラス基板の歪点を超える温度でも処理することができる。本実施の形態では、加熱処理装置の一つである電気炉を用い、酸化半導体膜203に対して、窒素雰囲気下において、基板温度が600に達した状態で6分間、加熱処理を行った後、大気に触れることなく、水や水素の再混入を防ぎ、酸化半導体膜205を得る。

20

30

【0160】

なお、第1の加熱処理に用いられる加熱処理装置についての詳しい説明については、実施の形態1に既に述べたので、ここでは省略する。

【0161】

また、加熱処理においては、窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスに、水分、水素などが含まれないことが好ましい。または、加熱処理装置に導入する窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスの純度を、6N(99.9999%)以上、好ましくは7N(99.99999%)以上、(即ち不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下)とすることが好ましい。

【0162】

そして、図5(B)に示すように、第1の加熱処理により、島状の酸化半導体膜205は、その表層部に結晶領域206が形成される。結晶領域206は、粒子サイズが1nm以上20nm以下の所謂ナノクリスタル(ナノ結晶とも表記する)を含んでいる。そして、島状の酸化半導体膜205は、結晶領域206以外の領域において、非晶質、または、非晶質領域中に微結晶が点在した非晶質と微結晶の混合物を含む。なお、ナノ結晶の大きさは一例に過ぎず、発明が上記数値範囲に限定して解釈されるものではない。各金属の原子比がIn:Ga:Zn=1:1:1であるターゲットを用いてスパッタリング法で形成されたIn-Ga-Zn-O系の酸化半導体膜の場合、他の原子比を有するターゲットを用いた場合に比べて、酸化半導体膜の表層部における結晶化がより進みやすいため、結晶領域206がより深い領域にまで形成されやすい。

40

50

【0163】

次いで、図5(C)に示すように、表層部に結晶領域206を有する酸化物半導体膜205に、イオン注入法またはイオンドーピング法を用いて、酸素を添加する。イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いて、酸化物半導体膜205に酸素を添加することで、酸素が過剰に添加された酸化物半導体膜207が形成される。酸素の添加により、酸化物半導体を構成している金属と水素の間の結合、或いは該金属と水酸基の間の結合を切断するとともに、これら水素または水酸基が、酸素と反応することで水を生成する。よって、後に行われる第2の加熱処理により、不純物である水素、または水酸基を、水として脱離させやすくすることができる。

【0164】

酸素ガスを用いて、イオン注入法で酸素の添加を行う場合、加速電圧を5kV以上100kV以下、ドーズ量を 1×10^{13} ions/cm²以上 1×10^{16} ions/cm²以下とすれば良い。

【0165】

なお、イオン注入法で酸化物半導体膜205への酸素の添加を行うのと並行して、酸化物半導体膜205が形成された基板に対して、500以上850以下(若しくはガラス基板の歪点以下の温度)、好ましくは550以上750以下の範囲で、加熱処理を行うようにしても良い。

【0166】

また、酸化物半導体膜205の表層部に形成されていた結晶領域206に含まれる結晶は、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いた酸素の添加により損傷を受ける。よって、酸化物半導体膜207の表層部は、酸素の添加前の酸化物半導体膜205が有する結晶領域206よりも、結晶性が低下する。酸素のドーズ量によっては、上述した、酸化物半導体膜205が有する非晶質領域と同様の構成となる。

【0167】

次いで、第2の加熱処理を行う。第2の加熱処理は、第1の加熱処理と同様の条件で行うことができる。具体的には、減圧雰囲気下、窒素や希ガスなどの不活性ガス雰囲気下、酸素ガス雰囲気下、又は超乾燥エア(CRDS(キャピ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)雰囲気下において、500以上850以下(若しくはガラス基板の歪点以下の温度)、好ましくは550以上750以下で加熱処理を行えばよい。RTA(Rapid Thermal Anneal)処理で加熱処理を行う場合は、例えば、600、3分間以上6分間以下程度で行えばよい。RTA法を用いれば、短時間に脱水化または脱水素化が行えるため、ガラス基板の歪点を超える温度でも処理することができる。本実施の形態では、加熱処理装置の一つである電気炉を用い、窒素雰囲気下において、基板温度が600に達した状態で6分間、加熱処理を行った後、大気に触れることなく、水や水素の再混入を防ぎ、酸化物半導体膜208を得る。なお、上記加熱処理は、島状の酸化物半導体膜208形成後に複数回行っても良い。

【0168】

本発明の一態様では、酸化物半導体膜205への酸素の添加により、酸化物半導体を構成している金属と水素の間の結合、或いは該金属と水酸基の間の結合を切断するとともに、これら水素または水酸基を酸素と反応させて、水を生成する。そのため、酸素の添加後に第2の加熱処理を行うことで、強固に残存していた水素または水酸基などの不純物を、水として、脱離させやすくすることができる。よって、上記加熱処理によって形成された島状の酸化物半導体膜208は、第1の加熱処理によってもなお取り除かれなかった水分または水素などの不純物が、除去されるので、第1の加熱処理後の酸化物半導体膜205よりも、さらに、i型(真性半導体)又はi型に限りなく近くなる。水分、水素などの不純物が脱離し、i型(真性半導体)又はi型に限りなく近くなるため、上記不純物により閾値電圧がシフトするなどのトランジスタの特性の劣化が促進されるのを防ぎ、オフ電流を

10

20

30

40

50

低減させることができる。

【0169】

また、 85 、 2×10^6 V/cm、12時間のゲートバイアス・熱ストレス試験（BT試験）においては、不純物が酸化物半導体に添加されていると、不純物と酸化物半導体の主成分との結合手が、強電界（B：バイアス）と高温（T：温度）により切断され、生成された不対結合手がしきい値電圧（ V_{th} ）のドリフトを誘発することとなる。しかし、上述したように、ゲート絶縁膜と酸化物半導体膜との界面特性を良好にし、なおかつ、酸化物半導体膜中の不純物、特に水素や水等を極力除去することにより、BT試験に対しても安定なトランジスタが得られる。

【0170】

なお、第2の加熱処理に用いられる加熱処理装置についての詳しい説明については、実施の形態1に既に述べたので、ここでは省略する。

【0171】

なお、加熱処理においては、窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスに、水分、水素などが含まれないことが好ましい。または、加熱処理装置に導入する窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスの純度を、6N（99.9999%）以上、好ましくは7N（99.99999%）以上、（即ち不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下）とすることが好ましい。

【0172】

酸化物半導体膜205では、第1の加熱処理により水または水素が除去されるとともに酸素欠損が生じているが、イオン注入法またはイオンドーピング法などを用いた酸素の添加により、この酸素欠損が生じた酸化物半導体膜に十分に酸素を供給させることができる。そして、第1の加熱処理により除去した水素または水は、酸化物半導体の構成元素ではなく、いわゆる不純物であり、後に添加された酸素は、酸化物半導体の構成元素の一つであるので、化学量論的組成比を満たす構成とすることができ。そのため、第1の加熱処理と酸素の添加を行った後において、上記の第2の加熱処理を行うことにより、損傷を受けた結晶領域206を修復するとともに、酸化物半導体膜208の表層部から半導体膜のさらに内部にまで結晶成長を促進させ、酸化物半導体膜のより深部にまで拡大した結晶領域209を形成することができる。そして、この第2の加熱処理では、第1の加熱処理よりも結晶成長がさらに促進されるため、結晶領域209内において、結晶粒どうしが隣接し、なおかつ、酸化物半導体を構成している金属元素が、隣接する結晶粒間において連なった状態、すなわち、接続している状態を呈する。従って、上記結晶領域をチャネル形成領域に有するトランジスタでは、結晶粒界におけるポテンシャル障壁が低くなるため、高移動度、高耐圧という良好な特性を得ることができる。

【0173】

なお、図5（D）に示す酸化物半導体膜208は、非晶質を主たる構成とする非晶質領域210と、酸化物半導体膜208の表層部に形成される結晶領域209とを有する。

【0174】

また、結晶領域209は、結晶領域209以外の非晶質領域210と比較して安定であるため、これを酸化物半導体膜208の表層部に有することで、非晶質領域210に不純物（例えば水素、水、水酸基または水素化物など）が取り込まれることを低減することが可能である。このため、酸化物半導体膜208の信頼性を向上させることができる。

【0175】

なお、本実施の形態では、酸化物半導体膜208が結晶領域209と非晶質領域210とを有しているが、酸化物半導体膜208の殆ど全てが結晶領域209で占められていても良い。また、酸化物半導体膜208が結晶領域209と非晶質領域210とを有している場合でも、結晶領域209が酸化物半導体膜208の表面からどれぐらいの深さまで占めているのかということは、図5及び図6に示した構成に限定されない。

【0176】

以上の工程により酸化物半導体膜中の水素の濃度を低減し、高純度化することができる。

10

20

30

40

50

それにより酸化物半導体膜の安定化を図ることができる。また、ガラス転移温度以下の加熱処理で、キャリア密度が極端に少なく、バンドギャップの広い酸化物半導体膜を形成することができる。このため、大面積基板を用いてトランジスタを作製することができるため、量産性を高めることができる。また、当該水素濃度が低減され高純度化された酸化物半導体膜を用いることで、耐圧性が高く、ショートチャネル効果が低く、オンオフ比の高いトランジスタを作製することができる。

【0177】

なお、非晶質領域210は、非晶質酸化物半導体膜を主たる構成としている。なお、「主たる」とは、例えば、50%以上を占める状態をいい、この場合には、非晶質酸化物半導体膜が体積%（または重量%）で50%以上を占める状態をいうものとする。つまり、非晶質酸化物半導体膜以外にも、酸化物半導体膜の結晶などを含むことがあるが、その含有率は体積%（または重量%）で50%未満であることが望ましいがこれらの範囲に限定される必要はない。

10

【0178】

酸化物半導体膜の材料としてIn-Ga-Zn-O系の酸化物半導体膜を用いる場合には、上記の非晶質領域210の組成は、Znの含有量（原子%）が、InまたはGaの含有量（原子%）以上となるようにするのが好適である。このような組成とすることにより、所定の組成の結晶領域209を形成することが容易になるためである。

【0179】

次いで、図5(E)に示すように、酸化物半導体膜208上に、第2の電極211を形成する。第2の電極211に用いられる導電膜の材料、構造については、第1の電極202と同様の形態を採用することができる。また、第2の電極211の作製方法については、第1の電極202と同様に実施することができる。

20

【0180】

本実施の形態では、フォトリソグラフィ工程により第2の電極211となる導電膜上にレジストマスクを形成し、当該レジストマスクを用いて導電膜をエッチングして、第2の電極211を形成する。ここでは、第2の電極211となる導電膜として、厚さ50nmのチタン膜、厚さ100nmのアルミニウム膜、及び厚さ50nmのチタン膜を順に積層する。第2の電極211の端部と、酸化物半導体膜208のなす角の角度を30°以上60°以下、好ましくは40°以上50°以下とすることで、後に形成されるゲート絶縁膜の被覆性を向上させることができるため好ましい。そして、第2の電極211は、第1の電極202から離隔した位置において、第1の電極202と接することなく形成される。

30

【0181】

第1の電極202と第2の電極211は、いずれか一方がトランジスタのソース電極、他方がドレイン電極として機能する。

【0182】

第2の電極211を形成した後、加熱処理を施しても良い。加熱処理の温度は、400以上850以下、好ましくは400以上基板の歪み点未満とする。本実施の形態では、加熱処理装置の一つである電気炉に基板を導入し、酸化物半導体膜208に対して窒素、希ガスなどの不活性ガス雰囲気下において450において1時間の加熱処理を行った後、大気に触れさせないことで、酸化物半導体膜への水素、水、水酸基または水素化物などの再侵入を防ぐことで、水素濃度がさらに低減され高純度化され、i型化または実質的にi型化された酸化物半導体膜を得ることができる。

40

【0183】

なお、上記加熱処理においては、窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴンなどの希ガスに、水素、水、水酸基または水素化物などが含まれないことが好ましい。または、加熱処理装置に導入する窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴンなどの希ガスの純度を、6N（99.9999%）以上、好ましくは7N（99.99999%）以上、（即ち不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下）とすることが好ましい。

【0184】

50

図7(A)に、図5(E)の第1の電極202、酸化物半導体膜208、第2の電極211の上面図を示す。なお、図7(A)の破線B1-B2における断面図が、図5(E)に相当する。

【0185】

次いで、図6(A)に示すように、第1の電極202、酸化物半導体膜208、第2の電極211を覆うように、ゲート絶縁膜212を形成し、ゲート絶縁膜212上にゲート電極213を形成する。ゲート絶縁膜212は、プラズマCVD法又はスパッタリング法を用いて、酸化珪素膜、窒化珪素膜、酸化窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、酸化アルミニウム膜、窒化アルミニウム膜、酸化窒化アルミニウム膜、窒化酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜または酸化タンタル膜を単層で又は積層させて形成することができる。

10

【0186】

また、ゲート絶縁膜212として、ハフニウムシリケート($HfSiO_x$)、Nが添加された $HfSi_xO_y$ 、窒素が添加されたハフニウムアルミネート($HfAlO_x$)、酸化ハフニウム、酸化イットリウムなどのhigh-k材料を用いることでゲートリークを低減できる。さらには、high-k材料と、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、または酸化アルミニウム膜のいずれか一以上との積層構造とすることができる。ゲート絶縁膜212の厚さは、50nm以上500nm以下とするとよい。ゲート絶縁膜212の厚さを厚くすることで、ゲートリーク電流を低減することができる。

【0187】

ゲート絶縁膜212は、水分や、水素などの不純物を極力含まないことが望ましい。スパッタリング法により酸化珪素膜を成膜する場合には、ターゲットとしてシリコンターゲット又は石英ターゲットを用い、スパッタガスとして酸素又は、酸素及びアルゴンの混合ガスを用いて行う。

20

【0188】

不純物を除去することによりi型化又は実質的にi型化された酸化物半導体(高純度化された酸化物半導体)は界面準位、界面電荷に対して極めて敏感であるため、ゲート絶縁膜212との界面は重要である。そのため高純度化された酸化物半導体に接するゲート絶縁膜(GI)は、高品質化が要求される。

【0189】

例えば、 μ 波(2.45GHz)を用いた高密度プラズマCVDは、緻密で絶縁耐圧の高い高品質な絶縁膜を形成できるので好ましい。高純度化された酸化物半導体と高品質ゲート絶縁膜とが密接することにより、界面準位を低減して界面特性を良好なものとすることができるからである。

30

【0190】

もちろん、ゲート絶縁膜212として良質な絶縁膜を形成できるものであれば、スパッタリング法やプラズマCVD法など他の成膜方法を適用することができる。また、成膜後の熱処理によってゲート絶縁膜212の膜質、酸化物半導体との界面特性が改質される絶縁膜であっても良い。いずれにしても、ゲート絶縁膜としての膜質が良好であることは勿論のこと、酸化物半導体との界面準位密度を低減し、良好な界面を形成できるものであれば良い。

40

【0191】

バリア性の高い材料を用いた絶縁膜と、含まれる窒素の比率が低い酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜とを積層させた構造を有するゲート絶縁膜212を形成しても良い。この場合、酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜は、バリア性を有する絶縁膜と酸化物半導体膜の間に形成する。バリア性の高い絶縁膜として、例えば窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などが挙げられる。バリア性を有する絶縁膜を用いることで、水分または水素などの雰囲気中の不純物、或いは基板内に含まれるアルカリ金属、重金属などの不純物が、酸化物半導体膜内、ゲート絶縁膜212内、或いは、酸化物半導体膜と他の絶縁膜の界面とその近傍に入り込むのを防ぐこと

50

ができる。また、酸化物半導体膜に接するように窒素の比率が低い酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜などの絶縁膜を形成することで、バリア性の高い材料を用いた絶縁膜が直接酸化物半導体膜に接するのを防ぐことができる。

【0192】

例えば、第1のゲート絶縁膜として膜厚5nm以上300nm以下の酸化シリコン膜(SiO_x ($x > 0$))を形成し、第1のゲート絶縁膜上に第2のゲート絶縁膜としてスパッタリング法により膜厚50nm以上200nm以下の窒化シリコン膜(SiN_y ($y > 0$))を積層して、膜厚100nmのゲート絶縁膜としてもよい。本実施の形態では、圧力0.4Pa、高周波電源1.5kW、酸素及びアルゴン(酸素流量25sccm:アルゴン流量25sccm=1:1)雰囲気下でRFスパッタリング法により膜厚100nmの酸化シリコン膜を形成する。

10

【0193】

なお、ゲート絶縁膜212に水素、水酸基及び水分がなるべく含まれないようにするために、成膜の前処理として、スパッタリング装置の予備加熱室で第1の電極202、酸化物半導体膜208及び第2の電極211が形成された基板200を予備加熱し、基板200に吸着した水素、水分などの不純物を脱離し排気することが好ましい。なお、予備加熱の温度としては、100以上400以下好ましくは150以上300以下である。なお、予備加熱室に設ける排気手段はクライオポンプが好ましい。なお、この予備加熱の処理は省略することもできる。

【0194】

なお、ゲート絶縁膜212を形成した後に、加熱処理を施しても良い。加熱処理は、不活性ガス雰囲気(窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等)下において、好ましくは200以上400以下、例えば250以上350以下で行う。本実施の形態では、例えば、窒素雰囲気下で250、1時間の加熱処理を行う。上記加熱処理を行うと、酸化物半導体膜208がゲート絶縁膜212を構成する酸化珪素と接した状態で加熱されることになり、第2の加熱処理で酸素欠損が発生していたとしても、酸化珪素から酸素が供給されることで、ドナーとなる酸素欠損を低減し、化学量論的組成比を満たす構成とすることが可能であり、酸化物半導体膜208をi型化または実質的にi型化にすることができる。この加熱処理を行うタイミングは、ゲート絶縁膜212の形成後であれば特に限定されず、他の工程、例えば後に形成されるゲート電極213、絶縁膜214、または配線215、配線216、配線217のいずれかを形成した後に行ってもよい。また、透明導電膜を低抵抗化させるための加熱処理などの、他の加熱処理と兼ねることで、工程数を増やすことなく行うことができる。

20

30

【0195】

ゲート電極213の材料は、モリブデン、チタン、クロム、タンタル、タングステン、ネオジム、スカンジウム等の金属材料、これら金属材料を主成分とする合金材料を用いた導電膜、或いはこれら金属の窒化物を、単層で又は積層で用いることができる。なお、後の工程において行われる加熱処理の温度に耐えるのであれば、上記金属材料としてアルミニウム、銅を用いることも出来る。アルミニウムまたは銅は、耐熱性や腐食性の問題を回避するために、高融点金属材料と組み合わせて用いると良い。高融点金属材料としては、モリブデン、チタン、クロム、タンタル、タングステン、ネオジム、スカンジウム等を用いることができる。

40

【0196】

例えば、二層の積層構造を有するゲート電極213として、アルミニウム膜上にモリブデン膜が積層された二層の積層構造、または銅膜上にモリブデン膜を積層した二層構造、または銅膜上に窒化チタン膜若しくは窒化タンタル膜を積層した二層構造、窒化チタン膜とモリブデン膜とを積層した二層構造とすることが好ましい。3層の積層構造を有するゲート電極213としては、アルミニウム膜、アルミニウムとシリコンの合金膜、アルミニウムとチタンの合金膜またはアルミニウムとネオジムの合金膜を中間層とし、タングステン膜、窒化タングステン膜、窒化チタン膜またはチタン膜を上下層として積層した構造とす

50

ることが好ましい。

【0197】

また、ゲート電極213に酸化インジウム、酸化インジウム酸化スズ合金、酸化インジウム酸化亜鉛合金、酸化亜鉛、酸化亜鉛アルミニウム、酸化窒化亜鉛アルミニウム、または酸化亜鉛ガリウム等の透光性を有する酸化物導電膜をゲート電極213に用いることで、画素部の開口率を向上させることができる。

【0198】

ゲート電極213の膜厚は、10nm~400nm、好ましくは100nm~200nmとする。本実施の形態では、タングステナーゲットを用いたスパッタ法により150nmのゲート電極用の導電膜を形成した後、該導電膜をエッチングにより所望の形状に加工（パターンング）することで、ゲート電極213を形成する。ゲート電極213は、少なくとも、ゲート絶縁膜212を間に挟んで、酸化物半導体膜208の端部と重なる位置に形成されていれば良い。酸化物半導体膜208の端部では、このゲート絶縁膜212を間に挟んでゲート電極213と重なる部分218において、チャンネル形成領域が形成される。なお、形成されたゲート電極213の端部がテーパ形状であると、上に積層する絶縁膜214の被覆性が向上するため好ましい。なお、レジストマスクをインクジェット法で形成してもよい。レジストマスクをインクジェット法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。

10

【0199】

次いで、図6(B)に示すように、第1の電極202、酸化物半導体膜208、第2の電極211、ゲート絶縁膜212及びゲート電極213を覆うように、絶縁膜214を形成した後、コンタクトホール221、コンタクトホール222、コンタクトホール223を形成する。絶縁膜214は、水分や、水素などの不純物を極力含まないことが望ましく、単層の絶縁膜であっても良いし、積層された複数の絶縁膜で構成されていても良い。絶縁膜214は、例えば、酸化珪素膜、酸化窒化珪素膜、酸化アルミニウム膜、または酸化窒化アルミニウム膜などの酸化物絶縁膜、窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などの窒化物絶縁膜を用いる。または、酸化物絶縁膜及び窒化物絶縁膜の積層とすることもできる。上記絶縁膜214に、バリア性の高い絶縁膜、例えば、窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などを用いることで、酸化物半導体膜208内、ゲート絶縁膜212内、或いは、酸化物半導体膜208と他の絶縁膜の界面とその近傍に、水分または水素などの不純物が入り込むのを防ぐことができる。

20

30

【0200】

本実施の形態では、スパッタ法で形成された膜厚200nmの酸化珪素膜上に、スパッタ法で形成された膜厚100nmの窒化珪素膜を積層させた構造を有する、絶縁膜214を形成する。なお、スパッタリング法で絶縁膜214を形成する場合、基板200を100~400の温度に加熱し、水素、水、水酸基または水素化物などが除去された高純度窒素を含むスパッタガスを導入しシリコン半導体のターゲットを用いて絶縁膜214を形成してもよい。この場合においても、処理室内に残留する水素、水、水酸基または水素化物などを除去しつつ絶縁膜を形成することが好ましい。

40

【0201】

なお、絶縁膜214を形成した後に、加熱処理を施しても良い。加熱処理は、不活性ガス雰囲気（窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等）下において、好ましくは200以上400以下、例えば250以上350以下)で行う。

【0202】

コンタクトホール221、コンタクトホール222、コンタクトホール223は、フォトリソグラフィ工程によりレジストマスクを形成し、ゲート絶縁膜212及び絶縁膜214の一部をエッチングにより選択的に除去することで形成できる。コンタクトホール221により、ゲート電極213の一部が露出される。コンタクトホール222により、第2の電極211の一部が露出される。コンタクトホール223により、ゲート電極213の一

50

部が露出される。また、これらコンタクトホール形成時に、第1の電極202のゲート電極213に覆われていない領域において、第1の電極202が露出するようなコンタクトホールを形成しても良い。

【0203】

次に、図6(C)に示すように、コンタクトホール221、コンタクトホール222、コンタクトホール223を覆うように、絶縁膜214上に導電膜を形成した後、エッチング等により、当該導電膜を所望の形状に加工して、配線215、配線216、配線217を形成する。なお、エッチングに用いるレジストマスクをインクジェット法で形成してもよい。レジストマスクをインクジェット法で形成するとフォトマスクを使用しないため、製造コストを削減できる。

10

【0204】

配線215は、コンタクトホール221を介してゲート電極213に接続されている。配線216は、コンタクトホール222を介して第2の電極211に接続されている。配線217は、コンタクトホール223を介してゲート電極213に接続されている。なお、これら配線の形成時に、コンタクトホールを介して第1の電極202に接続される配線を形成しても良い。

【0205】

配線215、配線216、配線217は、第1の電極202と同様の構造、材料を有する導電膜を用いて、同様の作製方法にて形成することができる。

【0206】

以上の工程でトランジスタ220が形成される。

20

【0207】

図7(B)に、図6(C)に示すトランジスタ220の上面図を示す。なお、図7(B)の破線B1-B2における断面図が、図6(C)に相当する。図7(B)において、配線230は、配線215、配線216、配線217と同時に形成される配線であり、コンタクトホール231を介して第1の電極202に接続されている。

【0208】

上記のように酸化物半導体膜中の水素の濃度を低減し、高純度化することができる。それにより酸化物半導体膜の安定化を図ることができる。また、ガラス転移温度以下の加熱処理で、キャリア密度が極端に少なく、バンドギャップの広い酸化物半導体膜を形成することができる。このため、大面積基板を用いてトランジスタを作製することができるため、量産性を高めることができる。また、当該水素濃度が低減され高純度化された酸化物半導体膜を用いることで、耐圧性が高く、ショートチャネル効果が低く、オンオフ比の高いトランジスタを作製することができる。

30

【0209】

なお、本実施の形態では、酸化物半導体膜208のうち、第2の電極211とは異なる領域に形成されている部分全てが、ゲート電極213に覆われているが、本発明はこの構成に限定されない。酸化物半導体膜208のうち、第2の電極211とは異なる領域に形成されている部分の少なくとも一部が、ゲート電極213により覆われていれば良い。また、第1の電極202と第2の電極211のうち、ドレイン電極として機能する電極が、ゲート電極213に接続されていても良い。ドレイン電極として機能する電極がゲート電極213に接続されていることで、当該トランジスタをダイオードとして機能させることができる。

40

【0210】

なお、トランジスタが有するソース電極とドレイン電極は、トランジスタの極性及び各電極に与えられる電位の高低差によって、その呼び方が入れ替わる。一般的に、nチャネル型トランジスタでは、低い電位の与えられる電極がソース電極と呼ばれ、高い電位の与えられる電極がドレイン電極と呼ばれる。また、pチャネル型トランジスタでは、低い電位の与えられる電極がドレイン電極と呼ばれ、高い電位の与えられる電極がソース電極と呼ばれる。本明細書では、便宜上、ソース電極とドレイン電極とが固定されているものと仮

50

定して、トランジスタの接続関係を説明しているが、実際には上記電位の関係に従ってソース電極とドレイン電極の呼び方が入れ替わる。

【0211】

また、本明細書において接続とは電氣的な接続を意味しており、電流または電圧が伝送可能な状態に相当する。

【0212】

ここで、本実施の形態で示したトランジスタのドレイン耐圧について説明する。

【0213】

半導体中の電界があるしきい値に達すると、衝突イオン化が生じ、空乏層内で高電界により加速されたキャリアが結晶格子に衝突し、電子と正孔の対を生成する。さらに電界が高くなると、衝突イオン化により発生した電子と正孔の対もさらに電界によって加速され、衝突イオン化を繰り返し、電流が指数関数的に増加するアバランシェ降伏が生じる。衝突イオン化は、キャリア（電子、正孔）が半導体のバンドギャップ以上の運動エネルギーを有することにより発生する。このため、バンドギャップが大きいほど、衝突イオン化を発生させる電界が高くなる。

【0214】

酸化物半導体のバンドギャップは、 3.15 eV であり、シリコンのバンドギャップの 1.74 eV とくらべて大きいため、アバランシェ降伏が起こりにくい。このため、酸化物半導体を用いたトランジスタはドレイン耐圧が高くなり、高電界が印加されてもオン電流の指数関数的急上昇が生じにくい。

【0215】

次に、酸化物半導体を用いたトランジスタのホットキャリア劣化について説明する。

【0216】

ホットキャリア劣化とは、高速に加速された電子がチャネル中のドレイン近傍でゲート絶縁膜中に注入されて固定電荷となる、或いは、ゲート絶縁膜界面にトラップ準位を形成することにより、閾値電圧の変動やゲートリーク等のトランジスタ特性の劣化が生じることであり、ホットキャリア劣化の要因としては、チャネルホットエレクトロン注入（CHE注入）とドレインアバランシェホットキャリア注入（DAHC注入）がある。

【0217】

シリコンはバンドギャップが狭いため、アバランシェ降伏によって雪崩的に電子が発生しやすく、ゲート絶縁膜へのポテンシャル障壁を越えられるほど高速に加速される電子数が増加する。しかしながら、本実施の形態で示す酸化物半導体は、バンドギャップが広いいため、アバランシェ降伏が生じにくく、シリコンと比べてホットキャリア劣化の耐性が高い。なお、高耐圧材料の一つであるシリコンカーバイドのバンドギャップと酸化物半導体のバンドギャップは同等であるが、酸化物半導体の方が、移動度が2桁程小さいため、電子が加速されにくく、シリコンカーバイドよりホットキャリア劣化が生じにくく、ドレイン耐圧が高いといえる。

【0218】

以上のことから、酸化物半導体を用いたトランジスタはドレイン耐圧が高く、具体的には 100 V 以上、好ましくは 500 V 、より好ましくは 1 kV 以上のドレイン耐圧を有することが可能である。

【0219】

ここで、トランジスタの代表例であるシリコンカーバイドと酸化物半導体の比較について以下に示す。ここでは、シリコンカーバイドとして、 4H-SiC を用いる。

【0220】

酸化物半導体と 4H-SiC はいくつかの共通点を有している。真性キャリア密度はその一例である。フェルミ・ディラック分布に従えば、酸化物半導体の真性キャリア密度は 10^{-7} cm^{-3} 程度と見積もられるが、これは、 4H-SiC における $6.7 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-3}$ と同様、極めて低い値である。

【0221】

10

20

30

40

50

また、酸化物半導体のエネルギーバンドギャップは $3.0 \text{ eV} \sim 3.5 \text{ eV}$ であり、 4H-SiC のエネルギーバンドギャップは 3.26 eV であるから、ワイドギャップ半導体という点においても、酸化物半導体とシリコンカーバイドとは共通している。

【0222】

しかしながら、酸化物半導体及びシリコンカーバイドにおいて、製造温度が大きく異なる。シリコンカーバイドは一般に $1500 \sim 2000$ の熱処理を必要とする。一方、酸化物半導体は、 $300 \sim 500$ （ガラス転移温度以下、最大でも 700 程度）の熱処理で作製することが可能であり、大面積基板上にトランジスタを作製することができる。また、スループットを高めることができる。

【0223】

また、シリコンカーバイドを用いたトランジスタはPN接合を用いるため、ドナーまたはアクセプターとなりうる不純物（リン、ボロン等）のドーピング工程が必要であるため、製造工程数が増大する。一方、酸化物半導体を用いたトランジスタは、PN接合を設けずともよいから、製造工程の削減、スループットの向上が可能であり、更には大面積基板を用いることが可能である。

【0224】

なお、酸化物半導体において、バンドギャップ内のDOS (density of state) 等の物性研究は多くなされているが、これらの研究は、DOSそのものを十分に減らすという思想を含まない。本実施の形態では、DOSの原因たり得る水や水素を酸化物半導体中より除去することで、高純度化した酸化物半導体を作製する。これは、DOS

【0225】

さらに、酸素欠乏により発生する金属の不對結合手に対して酸素を供給し、酸素欠陥によるDOSを減少させることにより、いっそう高純度化された(i型の)酸化物半導体とすることも可能である。たとえば、チャンネル形成領域に密接して酸素過剰の酸化膜を形成し、当該酸化膜から酸素を供給して、酸素欠陥によるDOSを減少させることが可能である。

【0226】

酸化物半導体の欠陥は、過剰な水素による伝導帯下 $0.1 \sim 0.2 \text{ eV}$ の浅い準位や、酸素の不足による深い準位、などに起因するものとされている。これらの欠陥を無くすために、水素を徹底的に除去し、酸素を十分に供給する、という技術思想は正しいものであろう。

【0227】

また、酸化物半導体は一般にn型とされているが、本実施の形態では、不純物、特に水や水素を除去することによりi型化を実現する。この点、シリコンなどのように不純物を添加してのi型化ではなく、従来にない技術思想を含むものといえる。

【0228】

また、酸化物半導体をi型化することにより、トランジスタの温度特性が良好であり、代表的には、 -25 から 150 までの温度範囲において、トランジスタの電流電圧特性において、オン電流、オフ電流、電界効果移動度、S値、及びしきい値電圧の変動がほとんどなく、温度による電流電圧特性の劣化がほとんどない。

【0229】

なお、本実施の形態で示す酸化物半導体を用いたトランジスタは、シリコンカーバイドを用いたトランジスタと比較して、移動度が2桁ほど低い、ドレイン電圧を高くする、チャンネル幅(W)を大きくすることで、トランジスタの電流値を高め、デバイス特性を向上させることができる。

【0230】

本実施の形態の技術思想は、酸化物半導体中に、不純物をさらに加えることをせずに、逆に不本意に存在する水、水素という不純物を意図的に除去することにより、酸化物半導体

10

20

30

40

50

自体を高純度化することである。すなわち、ドナー準位を構成する水または水素を除去し、さらに酸素欠損を低減し、酸化物半導体を構成する主成分材料の酸素を十分に供給することにより、酸化物半導体を高純度化することである。

【0231】

酸化物半導体を成膜することで 10^{20} cm^{-3} のレベルの水素がSIMS（二次イオン質量分析）で測定される。このドナー準位の原因となる水または水素を意図的に除去し、さらに水または水素の除去に伴い同時に減少してしまう酸素（酸化物半導体の成分の一つ）を酸化物半導体に加えることにより、酸化物半導体を高純度化し、電氣的にi型（真性）半導体とする。

【0232】

また、本実施の形態においては、酸化物半導体中の水、水素の量は少なければ少ないほど好ましく、キャリアも少なければ少ないほど良い。すなわち、キャリア密度は $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 未満、好ましくは $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 未満、さらに好ましくは測定限界以下の $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 未満が求められる。更には本実施の形態の技術思想的には、ゼロに近いまたはゼロが理想である。酸化物半導体のキャリアを低減し、好ましくは無くしてしまうことで、トランジスタにおいて酸化物半導体はキャリアを通過させる通路（パス）として機能させる。その結果、酸化物半導体は高純度化したi型（真性）半導体であり、キャリアがない、または極めて少なくせしめることにより、トランジスタのオフ状態ではIoffを極めて低くできるというのが本実施の形態の技術思想である。

【0233】

また、酸化物半導体は通路（パス）として機能し、酸化物半導体自体がキャリアを有さない、または極めて少ないように高純度化したi型（真性）とすると、キャリアはソース電極、ドレイン電極により供給される。

【0234】

なお、本実施の形態で示した構造を有するトランジスタは、実施の形態1に示したような、チャンネルが基板と概略平行に形成される横型のトランジスタに比べて基板表面における占有面積を低減することができる。この結果、トランジスタの微細化が可能である。

【0235】

このように、酸化物半導体膜の主成分以外の不純物、代表的には水素、水、水酸基または水素化物などが極力含まれないように高純度化することにより、トランジスタの動作を良好なものとすることができる。特に、耐圧性を高め、ショートチャンネル効果を低減し、オンオフ比を高めることができる。

【0236】

また、実施の形態1の結晶領域109と同様に、表層部の結晶領域209の結晶は、酸化物半導体膜208の表面に対して略垂直な方向にc軸（c-axis）が配向した結晶であり、当該結晶が隣接している。よって、実施の形態1にて説明したように、結晶領域209を有することで、酸化物半導体膜208は、その表面と平行な方向の電気特性が向上する。また、本発明の一態様では、結晶領域内において、結晶粒どうしが隣接し、なおかつ、酸化物半導体を構成している金属元素が、隣接する結晶粒間において連なった状態、すなわち、接続している状態を呈する。よって、酸化物半導体膜208の表面と平行な方向の電気特性が、さらに向上する。従って、酸化物半導体膜208表層部におけるキャリア移動度が上昇するため、当該酸化物半導体膜208を有するトランジスタの電界効果移動度が上昇し、良好な電気特性を実現できる。

【0237】

なお、結晶領域209の結晶構造は上記に限定されず、他の結晶構造の結晶を含んでも良い。例えば、In-Ga-Zn-O系の酸化物半導体材料を用いる場合には、InGaZnO₄の結晶に加え、In₂Ga₂ZnO₇、InGaZn₅O₈等の結晶などを含んでも良い。もちろん、結晶領域209全体に渡ってInGaZnO₄の結晶が存在する場合には、より効果的であり、好適である。

【0238】

10

20

30

40

50

また、結晶領域 209 は、結晶領域 209 以外の非晶質領域 210 と比較して安定であるため、これを酸化物半導体膜 208 の表層部に有することで、非晶質領域 210 に不純物（例えば水素、水、水酸基または水素化物など）が取り込まれることを低減することが可能である。このため、酸化物半導体膜 208 の信頼性を向上させることができる。

【0239】

本実施の形態は、上記実施の形態と適宜組み合わせる実施することが可能である。

【0240】

（実施の形態 3）

本実施の形態では、チャネル保護構造のボトムゲート型のトランジスタを例に挙げ、半導体装置の構造及び作製方法について説明する。なお、実施の形態 1 と同一部分又は同様な機能を有する部分、及び工程は、実施の形態 1 と同様に行うことができるため、繰り返しの説明は省略する。

【0241】

実施の形態 1 の図 1（E）に示すように、第 2 の加熱処理の工程まで、同様に行う。次いで、図 8（A）に示すように、酸化物半導体膜 108 内のゲート電極 101 と重なる領域、すなわちチャネル形成領域と重なるように、酸化物半導体膜 108 上にチャネル保護膜 130 を形成する。チャネル保護膜 130 を設けることによって、酸化物半導体膜 108 のチャネル形成領域となる部分に対する、後の工程時におけるダメージ（エッチング時のプラズマやエッチング剤による膜減りなど）を防ぐことができる。従ってトランジスタの信頼性を向上させることができる。

【0242】

チャネル保護膜 130 には、酸素を含む無機材料（酸化珪素、酸化窒化珪素、窒化酸化珪素など）を用いることができる。チャネル保護膜 130 は、プラズマ CVD 法や熱 CVD 法などの気相成長法やスパッタリング法を用いて形成することができる。チャネル保護膜 130 は成膜後にエッチングにより形状を加工する。ここでは、スパッタ法により酸化珪素膜を形成し、フォトリソグラフィによるマスクを用いてエッチング加工することでチャネル保護膜 130 を形成する。

【0243】

なお、チャネル保護膜 130 を形成した後に、加熱処理を施しても良い。加熱処理は、不活性ガス雰囲気（窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等）下において、好ましくは 200 以上 400 以下、例えば 250 以上 350 以下）で行う。本実施の形態では、例えば、窒素雰囲気下で 250、1 時間の加熱処理を行う。酸化物半導体膜 108 のチャネル形成領域となる部分と、酸素を含む絶縁膜であるチャネル保護膜 130 とが接して設けられた後に、加熱処理が施されることによって、酸化物半導体膜 108 に酸素が供与されるため、酸化物半導体膜 108 のチャネル保護膜 130 と接する領域を選択的に酸素過剰な状態とすることができる。その結果、酸化物半導体膜 108 の少なくともチャネル保護膜 130 と接する領域において、第 2 の加熱処理により酸素欠損が発生していたとしても、ドナーとなる酸素欠損を低減して化学量論的組成比を満たす構成とすることが可能であり、ゲート電極 101 と重なるチャネル形成領域は i 型化または実質的に i 型化となり、トランジスタの電気特性の向上および、電気特性のばらつきを軽減することができる。この加熱処理を行うタイミングは、チャネル保護膜 130 の形成後であれば特に限定されず、他の工程、例えば樹脂膜形成時の加熱処理や、透明導電膜を低抵抗化させるための加熱処理と兼ねることで、工程数を増やすことなく行うことができる。

【0244】

次いで、図 8（B）に示すように、酸化物半導体膜 108 上に、ソース電極及びドレイン電極（これと同じ層で形成される配線を含む）となる導電膜を形成した後、該導電膜をエッチング等により所望の形状に加工することで、ソース電極 131、ドレイン電極 132 を形成する。ソース電極 131、ドレイン電極 132 の材料、膜厚及び構造と、作製方法については、実施の形態 1 に示したソース電極 111、ドレイン電極 112 についての記載を参照すれば良い。

10

20

30

40

50

【 0 2 4 5 】

ソース電極 1 3 1、ドレイン電極 1 3 2 は、酸化物半導体膜 1 0 8 が有する結晶領域 1 0 9 と接している。導電性の高い結晶領域 1 0 9 と、ソース電極 1 3 1、ドレイン電極 1 3 2 が接することで、ソース電極 1 3 1 及びドレイン電極 1 3 2 と、酸化物半導体膜 1 0 8 との間の接触抵抗を低減させることができるので、最終的に形成されるトランジスタのオン電流を高めることができる。

【 0 2 4 6 】

次いで、 N_2O 、 N_2 、または Ar などのガスを用いたプラズマ処理を行う。このプラズマ処理によって露出している酸化物半導体膜の表面に付着した吸着水などを除去する。また、酸素とアルゴンの混合ガスを用いてプラズマ処理を行ってもよい。

10

【 0 2 4 7 】

なお、プラズマ処理を行った後、図 8 (C) に示すように、ソース電極 1 3 1、ドレイン電極 1 3 2、チャンネル保護膜 1 3 0 及び酸化物半導体膜 1 0 8 を覆うように、絶縁膜 1 3 3 を形成する。絶縁膜 1 3 3 の材料、膜厚及び構造と、作製方法については、実施の形態 1 に示した絶縁膜 1 1 3 についての記載を参照すれば良い。

【 0 2 4 8 】

なお、絶縁膜 1 3 3 を形成した後に、加熱処理を施しても良い。加熱処理は、不活性ガス雰囲気（窒素、またはヘリウム、ネオン、アルゴン等）下において、好ましくは 2 0 0 以上 4 0 0 以下、例えば 2 5 0 以上 3 5 0 以下）で行う。本実施の形態では、例えば、窒素雰囲気下で 2 5 0 、 1 時間の加熱処理を行う。

20

【 0 2 4 9 】

以上の工程でトランジスタ 1 4 0 が形成される。

【 0 2 5 0 】

なお、本実施の形態では、酸化物半導体膜 1 0 8 が結晶領域 1 0 9 と非晶質領域 1 1 0 とを有しているが、酸化物半導体膜 1 0 8 の殆ど全てが結晶領域 1 0 9 で占められていても良い。また、酸化物半導体膜 1 0 8 が結晶領域 1 0 9 と非晶質領域 1 1 0 とを有している場合でも、結晶領域 1 0 9 が酸化物半導体膜 1 0 8 の表面からどれぐらいの深さまで占めているのかということは、図 8 に示した構成に限定されない。

【 0 2 5 1 】

図 9 に、図 8 (C) に示すトランジスタ 1 4 0 の上面図を示す。なお、図 9 の破線 C 1 - C 2 における断面図が、図 8 (C) に相当する。

30

【 0 2 5 2 】

上記作製方法に従って形成されたトランジスタ 1 4 0 は、ゲート電極 1 0 1 と、ゲート電極 1 0 1 上のゲート絶縁膜 1 0 2 と、ゲート絶縁膜 1 0 2 上の酸化物半導体膜 1 0 8 と、酸化物半導体膜 1 0 8 上のチャンネル保護膜 1 3 0 と、酸化物半導体膜 1 0 8 上のソース電極 1 3 1 及びドレイン電極 1 3 2 とを有する。トランジスタ 1 4 0 は、さらに、酸化物半導体膜 1 0 8、ソース電極 1 3 1、ドレイン電極 1 3 2 及びチャンネル保護膜 1 3 0 上の絶縁膜 1 3 3 を有していても良い。

【 0 2 5 3 】

また、トランジスタ 1 4 0 はシングルゲート構造のトランジスタを用いて説明したが、必要に応じて、チャンネル形成領域を複数有するマルチゲート構造のトランジスタも形成することができる。

40

【 0 2 5 4 】

次いで、絶縁膜 1 3 3 上に導電膜を形成した後、該導電膜をパターニングすることで、図 1 0 (A) に示すように、酸化物半導体膜 1 0 8 と重なる位置にバックゲート電極 1 4 5 を形成しても良い。バックゲート電極 1 4 5 は、ゲート電極 1 0 1、或いはソース電極 1 3 1 及びドレイン電極 1 3 2 と同様の材料、構造を用いて形成することが可能である。

【 0 2 5 5 】

バックゲート電極 1 4 5 の膜厚は、1 0 n m ~ 4 0 0 n m、好ましくは 1 0 0 n m ~ 2 0 0 n m とする。本実施の形態では、チタン膜、アルミニウム膜、チタン膜が積層された構

50

造を有する導電膜を形成する。そして、フォトリソグラフィ法によりレジストマスクを形成し、エッチングにより不要な部分を除去して、該導電膜を所望の形状に加工（パターンニング）することで、バックゲート電極 145 を形成する。

【0256】

次いで、図 10 (B) に示すように、バックゲート電極 145 を覆うように絶縁膜 146 を形成する。絶縁膜 146 は、雰囲気中の水分、水素、酸素などがトランジスタ 140 の特性に影響を与えるのを防ぐことができる、バリア性の高い材料を用いるのが望ましい。例えば、バリア性の高い絶縁膜として、窒化珪素膜、窒化酸化珪素膜、窒化アルミニウム膜、または窒化酸化アルミニウム膜などを、プラズマ CVD 法又はスパッタリング法等により単層で又は積層させて形成することができる。バリア性の効果を得るには、絶縁膜 146 は、例えば厚さ 15 nm ~ 400 nm の膜厚で形成することが好ましい。

10

【0257】

本実施の形態では、プラズマ CVD 法により 300 nm の絶縁膜を形成する。成膜条件は、シランガスの流量 4 sccm とし、亜酸化窒素の流量 800 sccm とし、基板温度 400 とする。

【0258】

図 10 (C) に、図 10 (B) に示す半導体装置の上面図を示す。図 10 (B) は、図 10 (C) の破線 C1 - C2 における断面図に相当する。

【0259】

なお、図 10 (B) では、バックゲート電極 145 が酸化物半導体膜 108 全体を覆っている場合を例示しているが、本発明はこの構成に限定されない。バックゲート電極 145 は、酸化物半導体膜 108 が有するチャンネル形成領域の一部と少なくとも重なっていれば良い。

20

【0260】

バックゲート電極 145 は、電氣的に絶縁しているフローティングの状態であっても良いし、電位が与えられる状態であっても良い。後者の場合、バックゲート電極 145 には、ゲート電極 101 と同じ高さの電位が与えられていても良いし、グラウンドなどの固定電位が与えられていても良い。バックゲート電極 145 に与える電位の高さを制御することで、トランジスタ 140 の閾値電圧を制御することができる。

【0261】

本実施の形態は、上記実施の形態と適宜組み合わせることで実施することが可能である。

30

【0262】

(実施の形態 4)

本実施の形態では、本発明の作製方法を用いて形成される半導体表示装置の一つである、電子ペーパー或いはデジタルペーパーと呼ばれる半導体表示装置の構成について説明する。

【0263】

電子ペーパーは、電圧の印加により階調を制御することができ、なおかつメモリ性を有する表示素子を用いる。具体的に、電子ペーパーに用いられる表示素子には、非水系電気泳動型の表示素子、2つの電極間の高分子材料中に液晶のドロップレットを分散させた PDL C (polymer dispersed liquid crystal) 方式の表示素子、2つの電極間にカイラルネマチック液晶またはコレステリック液晶を有する表示素子、2つの電極間に帯電した微粒子を有し、該微粒子を電界により粉体中で移動させる粉体移動方式の表示素子などを用いることができる。また非水系電気泳動型の表示素子には、2つの電極間に帯電した微粒子を分散させた分散液を挟み込んだ表示素子、帯電した微粒子を分散させた分散液を、絶縁膜を間に挟んだ2つの電極上に有する表示素子、それぞれ異なる電荷に帯電する二色の半球を有するツイスティングボールを、2つの電極間において溶媒中に分散させた表示素子、溶液中に帯電した微粒子が複数分散されているマイクログラブルセルを2つの電極間に有する表示素子などが含まれる。

40

【0264】

50

図 13 (A) に、電子ペーパーの画素部 700 と、信号線駆動回路 701 と、走査線駆動回路 702 の上面図を示す。

【0265】

画素部 700 は複数の画素 703 を有している。また、信号線駆動回路 701 から複数の信号線 707 が、画素部 700 内まで引き回されている。走査線駆動回路 702 から複数の走査線 708 が、画素部 700 内まで引き回されている。

【0266】

各画素 703 はトランジスタ 704 と、表示素子 705 と、保持容量 706 とを有している。トランジスタ 704 のゲート電極は、走査線 708 の一つに接続されている。またトランジスタ 704 のソース電極とドレイン電極は、一方が信号線 707 の一つに、他方が表示素子 705 の画素電極に接続されている。

【0267】

なお図 13 (A) では、表示素子 705 の画素電極と対向電極の間に印加された電圧を保持するために、表示素子 705 と並列に保持容量 706 が接続されているが、表示素子 705 のメモリ性の高さが表示を維持するのに十分な程度に高いのであれば、保持容量 706 を必ずしも設ける必要はない。

【0268】

なお、図 13 (A) では、各画素にスイッチング素子として機能するトランジスタを一つ設けたアクティブマトリクス型の画素部の構成について説明したが、本発明の一態様に係る電子ペーパーは、この構成に限定されない。画素に設けるトランジスタの数は複数であっても良いし、トランジスタ以外に容量、抵抗、コイルなどの素子が接続されていても良い。

【0269】

図 13 (B) に、マイクロカプセルを有する電気泳動型の電子ペーパーを例に挙げ、各画素 703 に設けられた表示素子 705 の断面図を示す。

【0270】

表示素子 705 は、画素電極 710 と、対向電極 711 と、画素電極 710 及び対向電極 711 によって電圧が印加されるマイクロカプセル 712 とを有する。トランジスタ 704 のソース電極またはドレイン電極 713 の一方は、画素電極 710 に接続されている。

【0271】

マイクロカプセル 712 内には、酸化チタンなどのプラスに帯電した白色顔料と、カーボンブラックなどのマイナスに帯電した黒色顔料とが、オイルなどの分散媒と共に封入されている。画素電極 710 に印加されるビデオ信号の電圧に従って、画素電極と対向電極の間に電圧を印加し、正の電極側に黒色顔料を、負の電極側に白色顔料を引き寄せることで、階調の表示を行うことができる。

【0272】

また、図 13 (B) では、マイクロカプセル 712 が、画素電極 710 と対向電極 711 の間において透光性を有する樹脂 714 により固定されている。しかし、本発明はこの構成に限定されず、マイクロカプセル 712、画素電極 710、対向電極 711 によって形成される空間には、空気、不活性ガスなどの気体が充填されていても良い。ただし、この場合、マイクロカプセル 712 は、接着剤などにより画素電極 710 と対向電極 711 の両方、或いはいずれか一方に、固定しておくことが望ましい。

【0273】

また、表示素子 705 が有するマイクロカプセル 712 の数は、図 13 (B) に示すように複数であるとは限らない。1つの表示素子 705 が複数のマイクロカプセル 712 を有していても良いし、複数の表示素子 705 が1つのマイクロカプセル 712 を有していても良い。例えば2つの表示素子 705 が1つのマイクロカプセル 712 を共有し、一方の表示素子 705 が有する画素電極 710 にプラスの電圧が、他方の表示素子 705 が有する画素電極 710 にマイナスの電圧が印加されていたとする。この場合、プラスの電圧が印加された画素電極 710 と重なる領域において、マイクロカプセル 712 内では黒色顔

10

20

30

40

50

料が画素電極 7 1 0 側に引き寄せられ、白色顔料が対向電極 7 1 1 側に引き寄せられる。逆に、マイナスの電圧が印加された画素電極 7 1 0 と重なる領域において、マイクロカプセル 7 1 2 内では白色顔料が画素電極 7 1 0 側に引き寄せられ、黒色顔料が対向電極 7 1 1 側に引き寄せられる。

【 0 2 7 4 】

次に、電子ペーパーの具体的な駆動方法について、上述した電気泳動型の電子ペーパーを例に挙げて説明する。

【 0 2 7 5 】

電子ペーパーの動作は、初期化期間と、書込期間と、保持期間とに分けて説明することが出来る。

【 0 2 7 6 】

表示する画像を切り替える前に、まず初期化期間において画素部内の各画素の階調を一旦統一することで、表示素子を初期化する。表示素子を初期化することで、残像が残るのを防ぐことが出来る。具体的に、電気泳動型では、各画素の表示が白または黒となるように、表示素子 7 0 5 が有するマイクロカプセル 7 1 2 によって表示される階調を調整する。

【 0 2 7 7 】

本実施の形態では、黒を表示するような初期化用ビデオ信号を画素に入力した後、白を表示するような初期化用ビデオ信号を画素に入力する場合の、初期化の動作について説明する。例えば、画像の表示を対向電極 7 1 1 側に向かって行う電気泳動型の電子ペーパーの場合、まず、マイクロカプセル 7 1 2 内の黒色顔料が対向電極 7 1 1 側に、白色顔料が画素電極 7 1 0 側に向くように、表示素子 7 0 5 に電圧を印加する。次いで、マイクロカプセル 7 1 2 内の白色顔料が対向電極 7 1 1 側に、黒色顔料が画素電極 7 1 0 側に向くように、表示素子 7 0 5 に電圧を印加する。

【 0 2 7 8 】

また、画素への初期化用ビデオ信号の入力が 1 回のみだと、初期化期間の前に表示されていた階調によっては、マイクロカプセル 7 1 2 内の白色顔料と黒色顔料の移動が中途半端に終わってしまい、初期化期間が終了した後においても画素間において表示される階調に差が生じてしまう可能性もある。そのため、共通電圧 V_{com} に対してマイナスの電圧 $-V_p$ を、複数回、画素電極 7 1 0 に印加することで黒を表示し、共通電圧 V_{com} に対してプラスの電圧 V_p を、複数回、画素電極 7 1 0 に印加することで白を表示することが望ましい。

【 0 2 7 9 】

なお、初期化期間前に各画素の表示素子によって表示されていた階調が異なると、初期化用ビデオ信号を入力する必要最低限の回数も異なってくる。よって、初期化期間前に表示されていた階調に合わせて、画素間で、初期化用ビデオ信号を入力する回数を変えるようにしても良い。この場合、初期化用ビデオ信号を入力する必要がなくなった画素には、共通電圧 V_{com} を入力しておくが良い。

【 0 2 8 0 】

なお、画素電極 7 1 0 に初期化用ビデオ信号の電圧 V_p または電圧 $-V_p$ を複数回印加するためには、選択信号のパルスが各走査線に与えられている期間において、当該走査線を有するラインの画素に、初期化用ビデオ信号を入力するという一連の動作を、複数回行う。初期化用ビデオ信号の電圧 V_p または電圧 $-V_p$ を画素電極 7 1 0 に複数回印加することで、マイクロカプセル 7 1 2 内における白色顔料と黒色顔料の移動を収束させて画素間に階調の差が生じるのを防ぎ、画素部の画素を初期化することができる。

【 0 2 8 1 】

なお、初期化期間では、各画素において黒を表示した後に白を表示するのではなく、白を表示した後に黒を表示するようにしても良い。或いは、初期化期間では、各画素において白を表示した後に黒を表示し、更にその後、白を表示するようにしても良い。

【 0 2 8 2 】

また、初期化期間の開始されるタイミングは、画素部内の全ての画素において同じである

10

20

30

40

50

必要はない。例えば、画素ごと、或いは同じラインに属する画素ごと、といったように、初期化期間の開始されるタイミングを異ならせるようにしても良い。

【0283】

次に、書込期間では、画素に画像情報を有するビデオ信号を入力する。

【0284】

画素部全体で画像の表示を行う場合は、1フレーム期間において、全ての走査線に順に電圧のパルスがシフトしている選択信号が入力される。そして、選択信号にパルスが出現している1ライン期間内において、全ての信号線に画像情報を有するビデオ信号が入力される。

【0285】

画素電極710に印加されるビデオ信号の電圧に従って、マイクロカプセル712内の白色顔料と黒色顔料が画素電極710側または対向電極711側に移動することで、表示素子705は階調を表示する。

【0286】

なお、書込期間でも、初期化期間と同様に、画素電極710にビデオ信号の電圧を複数回印加することが望ましい。よって、選択信号のパルスが各走査線に与えられている期間内において、当該走査線を有するラインの画素にビデオ信号を入力するという一連の動作を、複数回行う。

【0287】

次に、保持期間では、全ての画素に信号線を介して共通電圧Vcomを入力した後、走査線への選択信号の入力または信号線へのビデオ信号の入力は行わない。よって、表示素子705が有するマイクロカプセル712内の白色顔料と黒色顔料は、画素電極710と対向電極711の間にプラスまたはマイナスの電圧が印加されない限りその配置は保持されるので、表示素子705の表示する階調は保たれる。よって、書込期間において書き込まれた画像は、保持期間においても表示が維持される。

【0288】

なお、電子ペーパーに用いられる表示素子は、階調を変化させるのに必要な電圧が、液晶表示装置に用いられる液晶素子や、発光装置に用いられる有機発光素子などの発光素子に比べて高い傾向にある。そのため、スイッチング素子として用いられる画素のトランジスタ704は、書込期間において、そのソース電極とドレイン電極間の電位差が大きくなるため、オフ電流が高くなり、そのために画素電極710の電位が変動して表示に乱れが生じやすい。トランジスタ704のオフ電流により画素電極710の電位が変動するのを防ぐためには、保持容量706の容量を大きくすることが有効である。また、画素電極710と対向電極711の間の電圧だけでなく、信号線707と対向電極711の間に生じる電圧が、マイクロカプセル712に印加されることで、表示素子705の表示にノイズが生じることがある。このノイズの発生を防ぐためには、画素電極710の面積を広く確保し、信号線707と対向電極711の間に生じる電圧がマイクロカプセル712に印加されるのを防ぐことが有効である。しかし、上述したように、画素電極710の電位が変動するのを防ぐために保持容量706の容量を大きくする、または表示にノイズが生じるのを防ぐために画素電極710の面積を広くすると、書込期間において画素に供給すべき電流値が高くなってしまい、ビデオ信号の入力に時間がかかってしまう。本発明の一態様に係る電子ペーパーでは、スイッチング素子として画素に用いられているトランジスタ704において、酸化物半導体膜の有する結晶領域とソース電極またはドレイン電極が接しているため、酸化物半導体膜とソース電極またはドレイン電極間の接触抵抗が低減され、オン電流及び電界効果移動度を高めることができる。よって、保持容量706の容量を大きくしても、または画素電極710の面積を広くとっても、画素へのビデオ信号の入力を迅速に行うことができる。したがって、書込期間の長さを抑えることができ、表示する画像に切り替えをスムーズに行うことができる。

【0289】

また、本発明の一態様では、不純物濃度が極めて低い酸化物半導体膜を、トランジスタ7

10

20

30

40

50

04の活性層に用いている。よって、トランジスタ704は、ゲート電極とソース電極間の電圧がほぼ0の状態におけるオフ電流、すなわちリーク電流が著しく低い。そのため、書込期間において、トランジスタ704のソース電極とドレイン電極間の電位差が大きくなっても、オフ電流を抑え、画素電極710の電位の変動に起因する表示の乱れが発生するのを防ぐことができる。また、スイッチング素子として用いられる画素のトランジスタ704は、書込期間において、そのソース電極とドレイン電極間の電位差が大きくなるため、劣化しやすい。しかし、本発明の一態様では、トランジスタ704の経時劣化による閾値電圧のばらつきを小さく抑えることができるので、電子ペーパーの信頼性を高めることができる。

【0290】

本実施の形態は、上記実施の形態と組み合わせる実施することが可能である。

【0291】

(実施の形態5)

アクティブマトリクス型の半導体表示装置のブロック図の一例を図14(A)に示す。表示装置の基板5300上には、画素部5301、第1の走査線駆動回路5302、第2の走査線駆動回路5303、信号線駆動回路5304を有する。画素部5301には、複数の信号線が信号線駆動回路5304から延伸して配置され、複数の走査線が第1の走査線駆動回路5302、及び第2の走査線駆動回路5303から延伸して配置されている。なお走査線と信号線との交差領域には、各々、表示素子を有する画素がマトリクス状に配置されている。また、表示装置の基板5300はFPC(Flexible Printed Circuit)等の接続部を介して、タイミング制御回路5305(コントローラ、制御ICともいう)に接続されている。

【0292】

図14(A)では、第1の走査線駆動回路5302、第2の走査線駆動回路5303、信号線駆動回路5304は、画素部5301と共に一つの基板5300上に形成される。そのため、外部に設ける駆動回路等の部品の数が減るので、表示装置の小型化のみならず、組立工程や検査工程の削減によるコストダウンを図ることができる。また、基板5300外部に駆動回路を設けた場合、配線を延伸させる必要が生じ、配線間の接続数が増える。同じ基板5300上に駆動回路を設けた場合、その配線間の接続数を減らすことができる。よって、駆動回路と画素部の接続不良に起因する歩留まり低下を防ぎ、接続箇所における機械的強度の低さにより信頼性が低下するのを防ぐことができる。

【0293】

なお、タイミング制御回路5305は、第1の走査線駆動回路5302に対し、一例として、第1の走査線駆動回路用スタート信号(GSP1)、走査線駆動回路用クロック信号(GCK1)を供給する。また、タイミング制御回路5305は、第2の走査線駆動回路5303に対し、一例として、第2の走査線駆動回路用スタート信号(GSP2)(スタートパルスともいう)、走査線駆動回路用クロック信号(GCK2)を供給する。信号線駆動回路5304に、信号線駆動回路用スタート信号(SSP)、信号線駆動回路用クロック信号(SCK)、ビデオ信号用データ(DATA)(単にビデオ信号ともいう)、ラッチ信号(LAT)を供給するものとする。なお、第1の走査線駆動回路5302と第2の走査線駆動回路5303との一方を省略することが可能である。

【0294】

図14(B)では、駆動周波数が低い回路(例えば、第1の走査線駆動回路5302、第2の走査線駆動回路5303)を、画素部5301と共に一つの基板5300上に形成し、信号線駆動回路5304を画素部5301とは別の基板上に形成する構成について示している。また、信号線駆動回路5304のうち、サンプリング回路に用いられているアナログスイッチなどの駆動周波数の低い回路を、部分的に、画素部5301と共に一つの基板5300上に形成することも可能である。このように、部分的にシステムオンパネルを採用することで、上述した接続不良に起因する歩留まり低下、接続箇所における機械的強度の低さなどを回避する、組立工程や検査工程の削減によるコストダウン、といったシス

10

20

30

40

50

テムオンパネルのメリットをある程度享受できる。さらに、画素部 5 3 0 1、走査線駆動回路 5 3 0 2、走査線駆動回路 5 3 0 3 及び信号線駆動回路 5 3 0 4 を全て一基板上に形成するシステムオンパネルに比べて、駆動周波数が高い回路の性能をより高めることができ、なおかつ、単結晶半導体を用いた場合は実現することが難しい、面積の広い画素部を形成することができる。

【 0 2 9 5 】

次に、 n チャンネル型トランジスタを用いた信号線駆動回路の構成について説明する。

【 0 2 9 6 】

図 1 5 (A) に示す信号線駆動回路は、シフトレジスタ 5 6 0 1、及びサンプリング回路 5 6 0 2 を有する。サンプリング回路 5 6 0 2 は、複数のスイッチング回路 5 6 0 2 __ 1 ~ 5 6 0 2 __ N (N は自然数) を有する。スイッチング回路 5 6 0 2 __ 1 ~ 5 6 0 2 __ N は、各々、複数の n チャンネル型トランジスタ 5 6 0 3 __ 1 ~ 5 6 0 3 __ k (k は自然数) を有する。

【 0 2 9 7 】

信号線駆動回路の接続関係について、スイッチング回路 5 6 0 2 __ 1 を例に挙げて説明する。なお、トランジスタが有するソース電極とドレイン電極のうち、いずれか一方を第 1 端子、他方を第 2 端子として、以下、記述する。

【 0 2 9 8 】

トランジスタ 5 6 0 3 __ 1 ~ 5 6 0 3 __ k の第 1 端子は、各々、配線 5 6 0 4 __ 1 ~ 5 6 0 4 __ k と接続されている。配線 5 6 0 4 __ 1 ~ 5 6 0 4 __ k には、各々、ビデオ信号が入力される。トランジスタ 5 6 0 3 __ 1 ~ 5 6 0 3 __ k の第 2 端子は、各々、信号線 $S 1$ ~ $S k$ と接続されている。トランジスタ 5 6 0 3 __ 1 ~ 5 6 0 3 __ k のゲート電極は、シフトレジスタ 5 6 0 1 と接続される。

【 0 2 9 9 】

シフトレジスタ 5 6 0 1 は、配線 5 6 0 5 __ 1 ~ 5 6 0 5 __ N の順番に高いレベルの電圧 (H レベル) を有するタイミング信号を出力し、スイッチング回路 5 6 0 2 __ 1 ~ 5 6 0 2 __ N を順番に選択する機能を有する。

【 0 3 0 0 】

スイッチング回路 5 6 0 2 __ 1 は、トランジスタ 5 6 0 3 __ 1 ~ 5 6 0 3 __ k のスイッチングにより、配線 5 6 0 4 __ 1 ~ 5 6 0 4 __ k と信号線 $S 1$ ~ $S k$ との導通状態 (第 1 端子と第 2 端子との間の導通) を制御する機能、即ち配線 5 6 0 4 __ 1 ~ 5 6 0 4 __ k の電位を信号線 $S 1$ ~ $S k$ に供給するか否かを制御する機能を有する。

【 0 3 0 1 】

次に、図 1 5 (A) の信号線駆動回路の動作について、図 1 5 (B) のタイミングチャートを参照して説明する。図 1 5 (B) には、シフトレジスタ 5 6 0 1 から配線 5 6 0 5 __ 1 ~ 5 6 0 5 __ N にそれぞれ入力されるタイミング信号 $S o u t _ 1$ ~ $S o u t _ N$ と、配線 5 6 0 4 __ 1 ~ 5 6 0 4 __ k にそれぞれ入力されるビデオ信号 $V d a t a _ 1$ ~ $V d a t a _ k$ のタイミングチャートを一例として示す。

【 0 3 0 2 】

なお、信号線駆動回路の 1 動作期間は、表示装置における 1 ライン期間に相当する。図 1 5 (B) では、1 ライン期間を期間 $T 1$ ~ 期間 $T N$ に分割する場合を例示している。期間 $T 1$ ~ $T N$ は、各々、選択された行に属する一画素に、ビデオ信号を書き込むための期間である。

【 0 3 0 3 】

期間 $T 1$ ~ 期間 $T N$ において、シフトレジスタ 5 6 0 1 は、 H レベルのタイミング信号を配線 5 6 0 5 __ 1 ~ 5 6 0 5 __ N に順番に出力する。例えば、期間 $T 1$ において、シフトレジスタ 5 6 0 1 は、 H レベルの信号を配線 5 6 0 5 __ 1 に出力する。すると、スイッチング回路 5 6 0 2 __ 1 が有するトランジスタ 5 6 0 3 __ 1 ~ 5 6 0 3 __ k はオンになるので、配線 5 6 0 4 __ 1 ~ 5 6 0 4 __ k と、信号線 $S 1$ ~ $S k$ とが導通状態になる。このとき、配線 5 6 0 4 __ 1 ~ 5 6 0 4 __ k には、 $D a t a (S 1)$ ~ $D a t a (S k)$ が入力

される。Data (S1) ~ Data (Sk) は、各々、トランジスタ 5603__1 ~ 5603__k を介して、選択される行に属する画素のうち、1列目 ~ k列目の画素に書き込まれる。こうして、期間 T1 ~ TN において、選択された行に属する画素に、k列ずつ順番にビデオ信号が書き込まれる。

【0304】

以上のように、ビデオ信号が複数の列ずつ画素に書き込まれることによって、ビデオ信号の数、又は配線の数減らすことができる。よって、コントローラなどの外部回路との接続数を減らすことができる。また、ビデオ信号が複数の列ずつ画素に書き込まれることによって、書き込み時間を長くことができ、ビデオ信号の書き込み不足を防止することができる。

10

【0305】

次に、信号線駆動回路または走査線駆動回路に用いるシフトレジスタの一形態について図16及び図17を用いて説明する。

【0306】

シフトレジスタは、第1のパルス出力回路 10__1 乃至第Nのパルス出力回路 10__N (Nは3以上の自然数) を有している (図16 (A) 参照)。第1のパルス出力回路 10__1 乃至第Nのパルス出力回路 10__N には、第1の配線 11 より第1のクロック信号 CK1、第2の配線 12 より第2のクロック信号 CK2、第3の配線 13 より第3のクロック信号 CK3、第4の配線 14 より第4のクロック信号 CK4 が供給される。また第1のパルス出力回路 10__1 では、第5の配線 15 からのスタートパルス SP1 (第1のスタートパルス) が入力される。また2段目以降の第nのパルス出力回路 10__n (nは、2以上N以下の自然数) では、一段前段のパルス出力回路 10__n-1 からの信号 (前段信号 OUT (n-1) という) が入力される。また第1のパルス出力回路 10__1 では、2段後段の第3のパルス出力回路 10__3 からの信号が入力される。同様に、2段目以降の第nのパルス出力回路 10__n では、2段後段の第 (n+2) のパルス出力回路 10__ (n+2) からの信号 (後段信号 OUT (n+2) という) が入力される。従って、各段のパルス出力回路からは、後段及び/または二つ前段のパルス出力回路に入力するための第1の出力信号 (OUT (1) (SR) ~ OUT (N) (SR))、及び別の回路等に入力される第2の出力信号 (OUT (1) ~ OUT (N)) が出力される。なお、図16 (A) に示すように、シフトレジスタの最終段の2つの段には、後段信号 OUT (n+2) が入力されないため、一例としては、別途第2のスタートパルス SP2、第3のスタートパルス SP3 をそれぞれ入力する構成とすればよい。

20

30

【0307】

なお、クロック信号 (CK) は、一定の間隔でHレベルとLレベル (低いレベルの電圧) を繰り返す信号である。ここで、第1のクロック信号 (CK1) ~ 第4のクロック信号 (CK4) は、順に 1/4 周期分遅延している。本実施の形態では、第1のクロック信号 (CK1) ~ 第4のクロック信号 (CK4) を利用して、パルス出力回路の駆動の制御等を行う。

【0308】

第1の入力端子 21、第2の入力端子 22 及び第3の入力端子 23 は、第1の配線 11 ~ 第4の配線 14 のいずれかと電氣的に接続されている。例えば、図16 (A) において、第1のパルス出力回路 10__1 は、第1の入力端子 21 が第1の配線 11 と電氣的に接続され、第2の入力端子 22 が第2の配線 12 と電氣的に接続され、第3の入力端子 23 が第3の配線 13 と電氣的に接続されている。また、第2のパルス出力回路 10__2 は、第1の入力端子 21 が第2の配線 12 と電氣的に接続され、第2の入力端子 22 が第3の配線 13 と電氣的に接続され、第3の入力端子 23 が第4の配線 14 と電氣的に接続されている。

40

【0309】

第1のパルス出力回路 10__1 ~ 第Nのパルス出力回路 10__N の各々は、第1の入力端子 21、第2の入力端子 22、第3の入力端子 23、第4の入力端子 24、第5の入力端

50

子 2 5、第 1 の出力端子 2 6、第 2 の出力端子 2 7 を有しているとする（図 1 6（B）参照）。第 1 のパルス出力回路 1 0 _ 1 において、第 1 の入力端子 2 1 に第 1 のクロック信号 C K 1 が入力され、第 2 の入力端子 2 2 に第 2 のクロック信号 C K 2 が入力され、第 3 の入力端子 2 3 に第 3 のクロック信号 C K 3 が入力され、第 4 の入力端子 2 4 にスタートパルスが入力され、第 5 の入力端子 2 5 に後段信号 O U T（3）が入力され、第 1 の出力端子 2 6 より第 1 の出力信号 O U T（1）（S R）が出力され、第 2 の出力端子 2 7 より第 2 の出力信号 O U T（1）が出力されていることとなる。

【 0 3 1 0 】

次に、パルス出力回路の具体的な回路構成の一例を、図 1 7（A）に示す。

【 0 3 1 1 】

各パルス出力回路は、第 1 のトランジスタ 3 1 ~ 第 1 3 のトランジスタ 4 3 を有している（図 1 7（A）参照）。また、上述した第 1 の入力端子 2 1 ~ 第 5 の入力端子 2 5、及び第 1 の出力端子 2 6、第 2 の出力端子 2 7 に加え、第 1 の高電源電位 V D D が供給される電源線 5 1、第 2 の高電源電位 V C C が供給される電源線 5 2、低電源電位 V S S が供給される電源線 5 3 から、第 1 のトランジスタ 3 1 ~ 第 1 3 のトランジスタ 4 3 に信号、または電源電位が供給される。ここで図 1 7（A）の各電源線の電源電位の高さの関係は、第 1 の電源電位 V D D は第 2 の電源電位 V C C 以上の電位とし、第 2 の電源電位 V C C は第 3 の電源電位 V S S より大きい電位とする。なお、第 1 のクロック信号（C K 1）~ 第 4 のクロック信号（C K 4）は、一定の間隔で H レベルと L レベルを繰り返す信号であるが、H レベルのとき V D D、L レベルのとき V S S であるとする。なお電源線 5 1 の電位 V D D を、電源線 5 2 の電位 V C C より高くすることにより、動作に影響を与えることなく、トランジスタのゲート電極に印加される電位を低く抑えることができ、トランジスタのしきい値電圧のシフトを低減し、劣化を抑制することができる。

【 0 3 1 2 】

図 1 7（A）において第 1 のトランジスタ 3 1 は、第 1 端子が電源線 5 1 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 9 のトランジスタ 3 9 の第 1 端子に電氣的に接続され、ゲート電極が第 4 の入力端子 2 4 に電氣的に接続されている。第 2 のトランジスタ 3 2 は、第 1 端子が電源線 5 3 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 9 のトランジスタ 3 9 の第 1 端子に電氣的に接続され、ゲート電極が第 4 のトランジスタ 3 4 のゲート電極に電氣的に接続されている。第 3 のトランジスタ 3 3 は、第 1 端子が第 1 の入力端子 2 1 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 1 の出力端子 2 6 に電氣的に接続されている。第 4 のトランジスタ 3 4 は、第 1 端子が電源線 5 3 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 1 の出力端子 2 6 に電氣的に接続されている。第 5 のトランジスタ 3 5 は、第 1 端子が電源線 5 3 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 2 のトランジスタ 3 2 のゲート電極及び第 4 のトランジスタ 3 4 のゲート電極に電氣的に接続され、ゲート電極が第 4 の入力端子 2 4 に電氣的に接続されている。第 6 のトランジスタ 3 6 は、第 1 端子が電源線 5 2 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 2 のトランジスタ 3 2 のゲート電極及び第 4 のトランジスタ 3 4 のゲート電極に電氣的に接続され、ゲート電極が第 5 の入力端子 2 5 に電氣的に接続されている。第 7 のトランジスタ 3 7 は、第 1 端子が電源線 5 2 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 8 のトランジスタ 3 8 の第 2 端子に電氣的に接続され、ゲート電極が第 3 の入力端子 2 3 に電氣的に接続されている。第 8 のトランジスタ 3 8 は、第 1 端子が第 2 のトランジスタ 3 2 のゲート電極及び第 4 のトランジスタ 3 4 のゲート電極に電氣的に接続され、ゲート電極が第 2 の入力端子 2 2 に電氣的に接続されている。第 9 のトランジスタ 3 9 は、第 1 端子が第 1 のトランジスタ 3 1 の第 2 端子及び第 2 のトランジスタ 3 2 の第 2 端子に電氣的に接続され、第 2 端子が第 3 のトランジスタ 3 3 のゲート電極及び第 1 0 のトランジスタ 4 0 のゲート電極に電氣的に接続され、ゲート電極が電源線 5 2 に電氣的に接続されている。第 1 0 のトランジスタ 4 0 は、第 1 端子が第 1 の入力端子 2 1 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 2 の出力端子 2 7 に電氣的に接続され、ゲート電極が第 9 のトランジスタ 3 9 の第 2 端子に電氣的に接続されている。第 1 1 のトランジスタ 4 1 は、第 1 端子が電源線 5 3 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 2 の出力端子 2 7 に電氣的に接続され、ゲート電極が第 2 のトランジ

10

20

30

40

50

スタ 3 2 のゲート電極及び第 4 のトランジスタ 3 4 のゲート電極に電氣的に接続されている。第 1 2 のトランジスタ 4 2 は、第 1 端子が電源線 5 3 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 2 の出力端子 2 7 に電氣的に接続され、ゲート電極が第 7 のトランジスタ 3 7 のゲート電極に電氣的に接続されている。第 1 3 のトランジスタ 4 3 は、第 1 端子が電源線 5 3 に電氣的に接続され、第 2 端子が第 1 の出力端子 2 6 に電氣的に接続され、ゲート電極が第 7 のトランジスタ 3 7 のゲート電極に電氣的に接続されている。

【 0 3 1 3 】

図 1 7 (A) において、第 3 のトランジスタ 3 3 のゲート電極、第 1 0 のトランジスタ 4 0 のゲート電極、及び第 9 のトランジスタ 3 9 の第 2 端子の接続箇所をノード A とする。また、第 2 のトランジスタ 3 2 のゲート電極、第 4 のトランジスタ 3 4 のゲート電極、第 5 のトランジスタ 3 5 の第 2 端子、第 6 のトランジスタ 3 6 の第 2 端子、第 8 のトランジスタ 3 8 の第 1 端子、及び第 1 1 のトランジスタ 4 1 のゲート電極の接続箇所をノード B とする (図 1 7 (A) 参照) 。

10

【 0 3 1 4 】

図 1 7 (A) に示したパルス出力回路を複数具備するシフトレジスタのタイミングチャートについて、図 1 7 (B) に示す。

【 0 3 1 5 】

なお、図 1 7 (A) に示すように、ゲート電極に第 2 の電源電位 V C C が印加される第 9 のトランジスタ 3 9 を設けておくことにより、ブートストラップ動作の前後において、以下のような利点がある。

20

【 0 3 1 6 】

ゲート電極に第 2 の電位 V C C が印加される第 9 のトランジスタ 3 9 がない場合、ブートストラップ動作によりノード A の電位が上昇すると、第 1 のトランジスタ 3 1 の第 2 端子であるソース電極の電位が上昇していき、第 1 の電源電位 V D D より高くなる。そして、第 1 のトランジスタ 3 1 のソース電極が第 1 端子側、即ち電源線 5 1 側に切り替わる。そのため、第 1 のトランジスタ 3 1 においては、ゲート電極とソース電極の間、ゲート電極とドレイン電極の間ともに、大きなバイアス電圧が印加されるために大きなストレスがかかり、トランジスタの劣化の要因となりうる。そこで、ゲート電極に第 2 の電源電位 V C C が印加される第 9 のトランジスタ 3 9 を設けておくことにより、ブートストラップ動作によりノード A の電位は上昇するものの、第 1 のトランジスタ 3 1 の第 2 端子の電位の上昇を生じないようにすることができる。つまり、第 9 のトランジスタ 3 9 を設けることにより、第 1 のトランジスタ 3 1 のゲート電極とソース電極の間に印加される負のバイアス電圧の値を小さくすることができる。よって、本実施の形態の回路構成とすることにより、第 1 のトランジスタ 3 1 のゲート電極とソース電極の間に印加される負のバイアス電圧も小さくできるため、ストレスによる第 1 のトランジスタ 3 1 の劣化を抑制することができる。

30

【 0 3 1 7 】

なお、第 9 のトランジスタ 3 9 を設ける箇所については、第 1 のトランジスタ 3 1 の第 2 端子と第 3 のトランジスタ 3 3 のゲート電極との間に第 1 端子と第 2 端子を介して接続されるように設ける構成であればよい。なお、本実施形態でのパルス出力回路を複数具備するシフトレジスタの場合、走査線駆動回路より段数の多い信号線駆動回路では、第 9 のトランジスタ 3 9 を省略してもよく、トランジスタ数を削減できるという利点がある。

40

【 0 3 1 8 】

なお第 1 のトランジスタ 3 1 乃至第 1 3 のトランジスタ 4 3 の活性層として、酸化物半導体を用いることにより、トランジスタのオフ電流を低減すると共に、オン電流及び電界効果移動度を高めることができ、さらに劣化の度合いを低減することが出来るため、回路内の誤動作を低減することができる。また酸化物半導体を用いたトランジスタは、アモルファスシリコンを用いたトランジスタに比べ、ゲート電極に高電位が印加されることによるトランジスタの劣化の程度が小さい。そのため、第 2 の電源電位 V C C を供給する電源線に、第 1 の電源電位 V D D を供給しても同様の動作が得られ、且つ回路間を引き回す電源

50

線の数 を 低減 する こと が でき る た め、回 路 の 小 型 化 を 図 る こと が 出 来 る。

【 0 3 1 9 】

な お、第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 の ゲ ー ト 電 極 に 第 3 の 入 力 端 子 2 3 に よ っ て 供 給 さ れ る ク ロ ッ ク 信 号、第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 の ゲ ー ト 電 極 に 第 2 の 入 力 端 子 2 2 に よ っ て 供 給 さ れ る ク ロ ッ ク 信 号 は、第 7 の ト ラ ン ジ ス タ の ゲ ー ト 電 極 に 第 2 の 入 力 端 子 2 2 に よ っ て 供 給 さ れ る ク ロ ッ ク 信 号、第 8 の ゲ ー ト 電 極 に 第 3 の 入 力 端 子 2 3 に よ っ て 供 給 さ れ る ク ロ ッ ク 信 号 と な る よ う に、結 線 関 係 を 入 れ 替 え て も 同 様 の 作 用 を 奏 す る。こ の と き、図 1 7 (A) に 示 す シ フ ト レ ジ ス タ に お い て、第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 及 び 第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 が 共 に オ ン の 状 態 か ら、第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 が オ フ、第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 が オ ン の 状 態、次 い で 第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 が オ フ、第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 が オ フ の 状 態 と す る こと に よ っ て、第 2 の 入 力 端 子 2 2 及 び 第 3 の 入 力 端 子 2 3 の 電 位 が 低 下 す る こと で 生 じ る、ノ ー ド B の 電 位 の 低 下 が 第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 の ゲ ー ト 電 極 の 電 位 の 低 下、及 び 第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 の ゲ ー ト 電 極 の 電 位 の 低 下 に 起 因 し て 2 回 生 じ る こと と な る。一 方、図 1 7 (A) に 示 す シ フ ト レ ジ ス タ に お い て、第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 及 び 第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 が 共 に オ ン の 状 態 か ら、第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 が オ ン、第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 が オ フ の 状 態、次 い で、第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 が オ フ、第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 が オ フ の 状 態 と す る こと に よ っ て、第 2 の 入 力 端 子 2 2 及 び 第 3 の 入 力 端 子 2 3 の 電 位 が 低 下 す る こと で 生 じ る ノ ー ド B の 電 位 の 低 下 を、第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 の ゲ ー ト 電 極 の 電 位 の 低 下 に よ る 一 回 に 低 減 す る こと が でき る。そ の た め、第 7 の ト ラ ン ジ ス タ 3 7 の ゲ ー ト 電 極 に 第 3 の 入 力 端 子 2 3 か ら ク ロ ッ ク 信 号 C K 3 が 供 給 さ れ、第 8 の ト ラ ン ジ ス タ 3 8 の ゲ ー ト 電 極 に 第 2 の 入 力 端 子 2 2 か ら ク ロ ッ ク 信 号 C K 2 が 供 給 さ れ る 結 線 関 係 と す る こと が 好 適 で あ る。な ぜ な ら、ノ ー ド B の 電 位 の 変 動 回 数 が 低 減 さ れ、ま た ノ イ ズ を 低 減 す る こと が 出 来 る か ら で あ る。

10

20

【 0 3 2 0 】

こ の よ う に、第 1 の 出 力 端 子 2 6 及 び 第 2 の 出 力 端 子 2 7 の 電 位 を L レ ベ ル に 保 持 す る 期 間 に、ノ ー ド B に 定 期 的 に H レ ベ ル の 信 号 が 供 給 さ れ る 構 成 と す る こと に よ り、パ ル ス 出 力 回 路 の 誤 動 作 を 抑 制 す る こと が でき る。

【 0 3 2 1 】

本 実 施 の 形 態 は、上 記 実 施 の 形 態 と 組 み 合 わ せ て 実 施 す る こと が 可 能 で あ る。

【 0 3 2 2 】

(実 施 の 形 態 6)

本 発 明 の 一 態 様 に 係 る 液 晶 表 示 装 置 は、オ フ 電 流 が 低 く、な お か つ 信 頼 性 の 高 い ト ラ ン ジ ス タ を 用 い て い る た め、視 認 性 が 高 く、信 頼 性 も 高 い。本 実 施 の 形 態 で は、本 発 明 の 一 態 様 に 係 る 液 晶 表 示 装 置 の 構 成 に つ い て 説 明 す る。

30

【 0 3 2 3 】

図 1 8 に、本 発 明 の 一 態 様 に 係 る 液 晶 表 示 装 置 の、画 素 の 断 面 図 を 一 例 と し て 示 す。図 1 8 に 示 す ト ラ ン ジ ス タ 1 4 0 1 は、絶 縁 表 面 上 に 形 成 さ れ た ゲ ー ト 電 極 1 4 0 2 と、ゲ ー ト 電 極 1 4 0 2 上 の ゲ ー ト 絶 縁 膜 1 4 0 3 と、ゲ ー ト 絶 縁 膜 1 4 0 3 上 に お い て ゲ ー ト 電 極 1 4 0 2 と 重 な っ て い る 酸 化 物 半 導 体 膜 1 4 0 4 と、酸 化 物 半 導 体 膜 1 4 0 4 上 に 順 に 積 層 す る よ う に 形 成 さ れ、ソ ー ス 電 極 ま た は ド レ イ ン 電 極 と し て 機 能 す る 導 電 膜 1 4 0 6 a 及 び 導 電 膜 1 4 0 6 b と を 有 す る。さ ら に、ト ラ ン ジ ス タ 1 4 0 1 は、酸 化 物 半 導 体 膜 1 4 0 4 上 に 形 成 さ れ た 絶 縁 膜 1 4 0 7 を、そ の 構 成 要 素 に 含 め て も 良 い。絶 縁 膜 1 4 0 7 は、ゲ ー ト 電 極 1 4 0 2 と、ゲ ー ト 絶 縁 膜 1 4 0 3 と、酸 化 物 半 導 体 膜 1 4 0 4 と、導 電 膜 1 4 0 6 a 及 び 導 電 膜 1 4 0 6 b と を 覆 う よ う に 形 成 さ れ て い る。ま た、酸 化 物 半 導 体 膜 1 4 0 4 は、非 晶 質 領 域 1 4 3 0 と、非 晶 質 領 域 1 4 3 0 上 の 結 晶 領 域 1 4 3 1 と を 有 し て お り、結 晶 領 域 1 4 3 1 は 導 電 膜 1 4 0 6 a 及 び 導 電 膜 1 4 0 6 b に 接 し て い る。

40

【 0 3 2 4 】

絶 縁 膜 1 4 0 7 上 に は 絶 縁 膜 1 4 0 8 が 形 成 さ れ て い る。絶 縁 膜 1 4 0 7、絶 縁 膜 1 4 0 8 の 一 部 に は 開 口 部 が 設 け ら れ て お り、該 開 口 部 に お い て 導 電 膜 1 4 0 6 b と 接 す る よ う に、画 素 電 極 1 4 1 0 が 形 成 さ れ て い る。

50

【0325】

また、絶縁膜1408上には、液晶素子のセルギャップを制御するためのスペーサ1417が形成されている。スペーサ1417は絶縁膜を所望の形状にエッチングすることで形成することが可能であるが、フィラーを絶縁膜1408上に分散させることでセルギャップを制御するようにしても良い。

【0326】

そして、画素電極1410上には、配向膜1411が形成されている。また画素電極1410と対峙する位置には、対向電極1413が設けられており、対向電極1413の画素電極1410に近い側には配向膜1414が形成されている。配向膜1411、配向膜1414は、ポリイミド、ポリビニルアルコールなどの有機樹脂を用いて形成することができ、その表面には、ラビングなどの、液晶分子を一定方向に配列させるための配向処理が施されている。ラビングは、配向膜に圧力をかけながら、ナイロンなどの布を巻いたローラーを回転させて、上記配向膜の表面を一定方向に擦ることで、行うことができる。なお、酸化珪素などの無機材料を用い、配向処理を施すことなく、蒸着法で配向特性を有する配向膜1411、配向膜1414を直接形成することも可能である。

10

【0327】

そして、画素電極1410と、対向電極1413の間においてシール材1416に囲まれた領域には、液晶1415が設けられている。液晶1415の注入は、ディスペンサ式（滴下式）を用いても良いし、ディップ式（汲み上げ式）を用いても良い。なお、シール材1416にはフィラーが混入されていても良い。

20

【0328】

また、画素電極1410と、対向電極1413と、液晶1415とで形成される液晶素子は、特定の波長領域の光を通すことができるカラーフィルタと重なっていても良い。カラーフィルタは、対向電極1413が形成されている基板（対向基板）1420上に形成すれば良い。カラーフィルタは、顔料を分散させたアクリル系樹脂などの有機樹脂を基板1420上に塗布した後、フォトリソグラフィを用いて選択的に形成することができる。また、顔料を分散させたポリイミド系樹脂を基板1420上に塗布した後、エッチングを用いて選択的に形成することもできる。或いは、インクジェットなどの液滴吐出法を用いることで、選択的にカラーフィルタを形成することもできる。

【0329】

また、画素間における液晶1415の配向の乱れに起因するディスクリネーションが視認されるのを防ぐために、画素間に、光を遮蔽することが出来る遮蔽膜を形成しても良い。遮蔽膜には、カーボンブラック、低次酸化チタンなどの黒色顔料を含む有機樹脂を用いることができる。または、クロムを用いた膜で、遮蔽膜を形成することも可能である。

30

【0330】

画素電極1410と対向電極1413は、例えば酸化珪素が含有された酸化インジウムスズ（ITO）、酸化インジウムスズ（ITO）、酸化亜鉛（ZnO）、酸化インジウム亜鉛（IZO）、ガリウムを添加した酸化亜鉛（GZO）などの透明導電材料を用いることができる。なお、本実施の形態では、画素電極1410及び対向電極1413に光を透過する導電膜を用い、透過型の液晶素子を作製する例を示すが、本発明はこの構成に限定

40

【0331】

なお、本実施の形態では、液晶表示装置として、TN（Twisted Nematic）型を示したが、VA（Vertical Alignment）型、OCB（Optically Compensated Birefringence）型、IPS（In-Plane Switching）型等の、その他の液晶表示装置にも、本発明のトランジスタを用いることができる。

【0332】

また、配向膜を用いないブルー相を示す液晶を用いてもよい。ブルー相は液晶相の一つで

50

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用いて液晶1415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 $10\mu\text{sec}$ 以上 $100\mu\text{sec}$ 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、視野角依存性が小さい。

【0333】

図19は、本発明の液晶表示装置の構造を示す斜視図の一例である。図19に示す液晶表示装置は、一对の基板間に液晶素子が形成された液晶パネル1601と、第1の拡散板1602と、プリズムシート1603と、第2の拡散板1604と、導光板1605と、反射板1606と、光源1607と、回路基板1608とを有している。

10

【0334】

液晶パネル1601と、第1の拡散板1602と、プリズムシート1603と、第2の拡散板1604と、導光板1605と、反射板1606とは、順に積層されている。光源1607は導光板1605の端部に設けられており、導光板1605内部に拡散された光源1607からの光は、第1の拡散板1602、プリズムシート1603及び第2の拡散板1604によって、均一に液晶パネル1601に照射される。

【0335】

なお、本実施の形態では、第1の拡散板1602と第2の拡散板1604とを用いているが、拡散板の数はこれに限定されず、単数であっても3以上であっても良い。そして、拡散板は導光板1605と液晶パネル1601の間に設けられていれば良い。よって、プリズムシート1603よりも液晶パネル1601に近い側にのみ拡散板が設けられていても良いし、プリズムシート1603よりも導光板1605に近い側にのみ拡散板が設けられていても良い。

20

【0336】

またプリズムシート1603は、図19に示した断面が鋸歯状の形状に限定されず、導光板1605からの光を液晶パネル1601側に集光できる形状を有していれば良い。

【0337】

回路基板1608には、液晶パネル1601に入力される各種信号を生成する回路、またはこれら信号に処理を施す回路などが設けられている。そして図19では、回路基板1608と液晶パネル1601とが、FPC(Flexible Printed Circuit)1609を介して接続されている。なお、上記回路は、COG(Chip ON Glass)法を用いて液晶パネル1601に接続されていても良いし、上記回路の一部がFPC1609にCOF(Chip ON Film)法を用いて接続されていても良い。

30

【0338】

図19では、光源1607の駆動を制御する制御系の回路が回路基板1608に設けられており、該制御系の回路と光源1607とがFPC1610を介して接続されている例を示している。ただし、上記制御系の回路は液晶パネル1601に形成されていても良く、この場合は液晶パネル1601と光源1607とがFPCなどにより接続されるようになる。

40

【0339】

なお、図19は、液晶パネル1601の端に光源1607を配置するエッジライト型の光源を例示しているが、本発明の液晶表示装置は光源1607が液晶パネル1601の直下に配置される直下型であっても良い。

【0340】

本実施の形態は、上記実施の形態と適宜組み合わせる実施することができる。

【0341】

(実施の形態7)

本実施の形態では、本発明の一態様に係るトランジスタを画素に用いた、発光装置の構成

50

について説明する。本実施の形態では、発光素子を駆動させるためのトランジスタがn型の場合における、画素の断面構造について、図20を用いて説明する。なお図20では、第1の電極が陰極、第2の電極が陽極の場合について説明するが、第1の電極が陽極、第2の電極が陰極であっても良い。

【0342】

図20(A)に、トランジスタ6031がn型で、発光素子6033から発せられる光を第1の電極6034側から取り出す場合の、画素の断面図を示す。トランジスタ6031は絶縁膜6037で覆われており、絶縁膜6037上には開口部を有する隔壁6038が形成されている。隔壁6038の開口部において第1の電極6034が一部露出しており、該開口部において第1の電極6034、電界発光層6035、第2の電極6036が順に積層されている。

10

【0343】

第1の電極6034は、光を透過する材料または膜厚で形成し、なおかつ仕事関数の小さい金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などで形成することができる。具体的には、LiやCs等のアルカリ金属、およびMg、Ca、Sr等のアルカリ土類金属、これらを含む合金(Mg:Ag、Al:Li、Mg:Inなど)、およびこれらの化合物(フッ化カルシウム、窒化カルシウム)の他、YbやEr等の希土類金属を用いることができる。また電子注入層を設ける場合、アルミニウムなどの他の導電膜を用いることも可能である。そして第1の電極6034を、光が透過する程度の膜厚(好ましくは、5nm~30nm程度)で形成する。さらに、光が透過する程度の膜厚を有する上記導電膜の上または下に接するように、透光性酸化導電材料を用いて透光性を有する導電膜を形成し、第1の電極6034のシート抵抗を抑えるようにしても良い。なお、インジウム錫酸化物(ITO)、酸化亜鉛(ZnO)、酸化インジウム亜鉛(IZO)、ガリウムを添加した酸化亜鉛(GZO)などその他の透光性酸化導電材料を用いた導電膜だけを用いることも可能である。またITOや、酸化珪素を含んだ酸化インジウムに、さらに2~20%の酸化亜鉛(ZnO)を混合したものを用いても良い。透光性酸化導電材料を用いる場合、電界発光層6035に電子注入層を設けるのが望ましい。

20

【0344】

また第2の電極6036は、光を反射もしくは遮蔽する材料及び膜厚で形成し、なおかつ陽極として用いるのに適する材料で形成する。例えば、窒化チタン、窒化ジルコニウム、チタン、タンゲステン、ニッケル、白金、クロム、銀、アルミニウム等の1つまたは複数からなる単層膜の他、窒化チタンとアルミニウムを主成分とする膜との積層、窒化チタン膜とアルミニウムを主成分とする膜と窒化チタン膜との三層構造等を第2の電極6036に用いることができる。

30

【0345】

電界発光層6035は、単数または複数の層で構成されている。複数の層で構成されている場合、これらの層は、キャリア輸送特性の観点から正孔注入層、正孔輸送層、発光層、電子輸送層、電子注入層などに分類することができる。電界発光層6035が発光層の他に、正孔注入層、正孔輸送層、電子輸送層、電子注入層のいずれかを有している場合、第1の電極6034から、電子注入層、電子輸送層、発光層、正孔輸送層、正孔注入層の順に積層する。なお各層の境目は必ずしも明確である必要はなく、互いの層を構成している材料が一部混合し、界面が不明瞭になっている場合もある。各層には、有機系の材料、無機系の材料を用いることが可能である。有機系の材料として、高分子系、中分子系、低分子系のいずれの材料も用いることが可能である。なお中分子系の材料とは、構造単位の繰返しの数(重合度)が2から20程度の低重合体に相当する。正孔注入層と正孔輸送層との区別は必ずしも厳密なものではなく、これらは正孔輸送性(正孔移動度)が特に重要な特性である意味において同じである。便宜上正孔注入層は陽極に接する側の層であり、正孔注入層に接する層を正孔輸送層と呼んで区別する。電子輸送層、電子注入層についても同様であり、陰極に接する層を電子注入層と呼び、電子注入層に接する層を電子輸送層と呼んでいる。発光層は電子輸送層を兼ねる場合もあり、発光性電子輸送層とも呼ばれる。

40

50

【 0 3 4 6 】

図 2 0 (A) に示した画素の場合、発光素子 6 0 3 3 から発せられる光を、白抜きの矢印で示すように第 1 の電極 6 0 3 4 側から取り出すことができる。

【 0 3 4 7 】

次に図 2 0 (B) に、トランジスタ 6 0 4 1 が n 型で、発光素子 6 0 4 3 から発せられる光を第 2 の電極 6 0 4 6 側から取り出す場合の、画素の断面図を示す。トランジスタ 6 0 4 1 は絶縁膜 6 0 4 7 で覆われており、絶縁膜 6 0 4 7 上には開口部を有する隔壁 6 0 4 8 が形成されている。隔壁 6 0 4 8 の開口部において第 1 の電極 6 0 4 4 が一部露出しており、該開口部において第 1 の電極 6 0 4 4、電界発光層 6 0 4 5、第 2 の電極 6 0 4 6 が順に積層されている。

10

【 0 3 4 8 】

第 1 の電極 6 0 4 4 は、光を反射もしくは遮蔽する材料及び膜厚で形成し、なおかつ仕事関数の小さい金属、合金、電気伝導性化合物、およびこれらの混合物などで形成することができる。具体的には、Li や Cs 等のアルカリ金属、および Mg、Ca、Sr 等のアルカリ土類金属、これらを含む合金 (Mg : Ag、Al : Li、Mg : In など)、およびこれらの化合物 (フッ化カルシウム、窒化カルシウム) の他、Yb や Er 等の希土類金属を用いることができる。また電子注入層を設ける場合、アルミニウムなどの他の導電膜を用いることも可能である。

【 0 3 4 9 】

また第 2 の電極 6 0 4 6 は、光を透過する材料または膜厚で形成し、なおかつ陽極として用いるのに適する材料で形成する。例えば、インジウム錫酸化物 (I T O)、酸化亜鉛 (ZnO)、酸化インジウム亜鉛 (I Z O)、ガリウムを添加した酸化亜鉛 (G Z O) などその他の透光性酸化物導電材料を第 2 の電極 6 0 4 6 に用いることが可能である。また I T S O や、酸化珪素を含んだ酸化インジウムに、さらに 2 ~ 2 0 % の酸化亜鉛 (ZnO) を混合したものを第 2 の電極 6 0 4 6 に用いても良い。また上記透光性酸化物導電材料の他に、例えば窒化チタン、窒化ジルコニウム、チタン、タンゲステン、ニッケル、白金、クロム、銀、アルミニウム等の 1 つまたは複数からなる単層膜の他、窒化チタンとアルミニウムを主成分とする膜との積層、窒化チタン膜とアルミニウムを主成分とする膜と窒化チタン膜との三層構造等を第 2 の電極 6 0 4 6 に用いることもできる。ただし透光性酸化物導電材料以外の材料を用いる場合、光が透過する程度の膜厚 (好ましくは、5 nm ~ 3 0 nm 程度) で第 2 の電極 6 0 4 6 を形成する。

20

30

【 0 3 5 0 】

電界発光層 6 0 4 5 は、図 2 0 (A) の電界発光層 6 0 3 5 と同様に形成することができる。

【 0 3 5 1 】

図 2 0 (B) に示した画素の場合、発光素子 6 0 4 3 から発せられる光を、白抜きの矢印で示すように第 2 の電極 6 0 4 6 側から取り出すことができる。

【 0 3 5 2 】

次に図 2 0 (C) に、トランジスタ 6 0 5 1 が n 型で、発光素子 6 0 5 3 から発せられる光を第 1 の電極 6 0 5 4 側及び第 2 の電極 6 0 5 6 側から取り出す場合の、画素の断面図を示す。トランジスタ 6 0 5 1 は絶縁膜 6 0 5 7 で覆われており、絶縁膜 6 0 5 7 上には開口部を有する隔壁 6 0 5 8 が形成されている。隔壁 6 0 5 8 の開口部において第 1 の電極 6 0 5 4 が一部露出しており、該開口部において第 1 の電極 6 0 5 4、電界発光層 6 0 5 5、第 2 の電極 6 0 5 6 が順に積層されている。

40

【 0 3 5 3 】

第 1 の電極 6 0 5 4 は、図 2 0 (A) の第 1 の電極 6 0 3 4 と同様に形成することができる。また第 2 の電極 6 0 5 6 は、図 2 0 (B) の第 2 の電極 6 0 4 6 と同様に形成することができる。電界発光層 6 0 5 5 は、図 2 0 (A) の電界発光層 6 0 3 5 と同様に形成することができる。

【 0 3 5 4 】

50

図 20 (C) に示した画素の場合、発光素子 6053 から発せられる光を、白抜きの矢印で示すように第 1 の電極 6054 側及び第 2 の電極 6056 側から取り出すことができる。

【0355】

本実施の形態は、他の実施の形態と適宜組み合わせることで実施することができる。

【実施例 1】

【0356】

本発明の一態様に係る半導体装置を用いることで、信頼性が高い電子機器、消費電力の低い電子機器、高速駆動の電子機器を提供することが可能である。また、本発明の一態様に係る半導体表示装置を用いることで、信頼性が高い電子機器、視認性が高い電子機器、消費電力の低い電子機器を提供することが可能である。特に電力の供給を常時受けることが困難な携帯用の電子機器の場合、本発明の一態様に係る消費電力の低い半導体装置または半導体表示装置をその構成要素に追加することにより、連続使用時間が長くなるといったメリットが得られる。また、オフ電流が低いトランジスタを用いることで、オフ電流の高さをカバーするための冗長な回路設計が不要となるため、半導体装置に用いられている集積回路の集積度を高めることができ、半導体装置を高機能化させることができる。

10

【0357】

また、本発明の半導体装置では、作製工程における加熱処理の温度を抑えることができるので、ガラスよりも耐熱性の劣る、プラスチック等の可撓性を有する合成樹脂からなる基板上においても、特性が優れており、信頼性が高いトランジスタを作製することが可能である。従って、本発明の一態様に係る作製方法を用いることで、信頼性が高く、軽量かつフレキシブルな半導体装置を提供することが可能である。プラスチック基板として、ポリエチレンテレフタレート (PET) に代表されるポリエステル、ポリエーテルスルホン (PEES)、ポリエチレンナフタレート (PEN)、ポリカーボネート (PC)、ポリエーテルエーテルケトン (PEEK)、ポリスルホン (PSF)、ポリエーテルイミド (PEI)、ポリアリレート (PAR)、ポリブチレンテレフタレート (PBT)、ポリイミド、アクリロニトリルブタジエンスチレン樹脂、ポリ塩化ビニル、ポリプロピレン、ポリ酢酸ビニル、アクリル樹脂などが挙げられる。

20

【0358】

本発明の一態様に係る半導体装置は、表示装置、ノート型パーソナルコンピュータ、記録媒体を備えた画像再生装置 (代表的には DVD: Digital Versatile Disc 等の記録媒体を再生し、その画像を表示しうるディスプレイを有する装置) に用いることができる。その他に、本発明の一態様に係る半導体装置を用いることができる電子機器として、携帯電話、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、電子書籍、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、ゴーグル型ディスプレイ (ヘッドマウントディスプレイ)、ナビゲーションシステム、音響再生装置 (カーオーディオ、デジタルオーディオプレイヤー等)、複写機、ファクシミリ、プリンター、プリンター複合機、現金自動預け入れ払い機 (ATM)、自動販売機などが挙げられる。これら電子機器の具体例を図 21 に示す。

30

【0359】

図 21 (A) は電子書籍であり、筐体 7001、表示部 7002 等を有する。本発明の一態様に係る半導体表示装置は、表示部 7002 に用いることができる。表示部 7002 に本発明の一態様に係る半導体表示装置を用いることで、信頼性が高い電子書籍、視認性が高い表示が可能な電子書籍、消費電力の低い電子書籍を提供することができる。また、本発明の一態様に係る半導体装置は、電子書籍の駆動を制御するための集積回路に用いることができる。電子書籍の駆動を制御するための集積回路に本発明の一態様に係る半導体装置を用いることで、信頼性が高い電子書籍、消費電力の低い電子書籍、高速駆動の電子書籍、高機能の電子書籍を提供することができる。また、可撓性を有する基板を用いることで、半導体装置、半導体表示装置に可撓性を持たせることができるので、フレキシブルかつ軽く使い勝手の良い電子書籍を提供することができる。

40

【0360】

50

図 2 1 (B) は表示装置であり、筐体 7 0 1 1、表示部 7 0 1 2、支持台 7 0 1 3 等を有する。本発明の一態様に係る半導体表示装置は、表示部 7 0 1 2 に用いることができる。表示部 7 0 1 2 に本発明の一態様に係る半導体表示装置を用いることで、信頼性が高い表示装置、視認性が高い表示が可能な表示装置、消費電力の低い表示装置を提供することができる。また、本発明の一態様に係る半導体装置は、表示装置の駆動を制御するための集積回路に用いることができる。表示装置の駆動を制御するための集積回路に本発明の一態様に係る半導体装置を用いることで、信頼性が高い表示装置、消費電力の低い表示装置、高速駆動の表示装置、高機能の表示装置を提供することができる。なお、表示装置には、パーソナルコンピュータ用、TV 放送受信用、広告表示用などの全ての情報表示用表示装置が含まれる。

10

【 0 3 6 1 】

図 2 1 (C) は表示装置であり、筐体 7 0 2 1、表示部 7 0 2 2 等を有する。本発明の一態様に係る半導体表示装置は、表示部 7 0 2 2 に用いることができる。表示部 7 0 2 2 に本発明の一態様に係る半導体表示装置を用いることで、信頼性が高い表示装置、視認性が高い表示が可能な表示装置、消費電力の低い表示装置を提供することができる。また、本発明の一態様に係る半導体装置は、表示装置の駆動を制御するための集積回路に用いることができる。表示装置の駆動を制御するための集積回路に本発明の一態様に係る半導体装置を用いることで、信頼性が高い表示装置、消費電力の低い表示装置、高速駆動の表示装置、高機能の表示装置を提供することができる。また、可撓性を有する基板を用いることで、半導体装置、半導体表示装置に可撓性を持たせることができるので、フレキシブルかつ軽くて使い勝手の良い表示装置を提供することができる。よって、図 2 1 (C) に示すように、布地などに固定させて表示装置を使用することができ、表示装置の応用の幅が格段に広がる。

20

【 0 3 6 2 】

図 2 1 (D) は携帯型ゲーム機であり、筐体 7 0 3 1、筐体 7 0 3 2、表示部 7 0 3 3、表示部 7 0 3 4、マイクロホン 7 0 3 5、スピーカー 7 0 3 6、操作キー 7 0 3 7、スタイラス 7 0 3 8 等を有する。本発明の一態様に係る半導体表示装置は、表示部 7 0 3 3、表示部 7 0 3 4 に用いることができる。表示部 7 0 3 3、表示部 7 0 3 4 に本発明の一態様に係る半導体表示装置を用いることで、信頼性が高い携帯型ゲーム機、視認性が高い表示が可能な携帯型ゲーム機、消費電力の低い携帯型ゲーム機を提供することができる。また、本発明の一態様に係る半導体装置は、携帯型ゲーム機の駆動を制御するための集積回路に用いることができる。携帯型ゲーム機の駆動を制御するための集積回路に本発明の一態様に係る半導体装置を用いることで、信頼性が高い携帯型ゲーム機、消費電力の低い携帯型ゲーム機、高速駆動の携帯型ゲーム機、高機能の携帯型ゲーム機を提供することができる。なお、図 2 1 (D) に示した携帯型ゲーム機は、2つの表示部 7 0 3 3 と表示部 7 0 3 4 とを有しているが、携帯型ゲーム機が有する表示部の数は、これに限定されない。

30

【 0 3 6 3 】

図 2 1 (E) は携帯電話であり、筐体 7 0 4 1、表示部 7 0 4 2、音声入力部 7 0 4 3、音声出力部 7 0 4 4、操作キー 7 0 4 5、受光部 7 0 4 6 等を有する。受光部 7 0 4 6 において受信した光を電気信号に変換することで、外部の画像を取り込むことができる。本発明の一態様に係る半導体表示装置は、表示部 7 0 4 2 に用いることができる。表示部 7 0 4 2 に本発明の一態様に係る半導体表示装置を用いることで、信頼性が高い携帯電話、視認性が高い表示が可能な携帯電話、消費電力の低い携帯電話を提供することができる。また、本発明の一態様に係る半導体装置は、携帯電話の駆動を制御するための集積回路に用いることができる。携帯電話の駆動を制御するための集積回路に本発明の一態様に係る半導体装置を用いることで、信頼性が高い携帯電話、消費電力の低い携帯電話、高速駆動の携帯電話、高機能の携帯電話を提供することができる。

40

【 0 3 6 4 】

図 2 1 (F) は携帯情報端末であり、筐体 7 0 5 1、表示部 7 0 5 2、操作キー 7 0 5 3 等を有する。図 2 1 (F) に示す携帯情報端末は、モデムが筐体 7 0 5 1 に内蔵されてい

50

ても良い。本発明の一態様に係る半導体表示装置は、表示部 7052 に用いることができる。表示部 7052 に本発明の一態様に係る半導体表示装置を用いることで、信頼性が高い携帯情報端末、視認性が高い表示が可能な携帯情報端末、消費電力の低い携帯情報端末を提供することができる。また、本発明の一態様に係る半導体装置は、携帯情報端末の駆動を制御するための集積回路に用いることができる。携帯情報端末の駆動を制御するための集積回路に本発明の一態様に係る半導体装置を用いることで、信頼性が高い携帯情報端末、消費電力の低い携帯情報端末、高速駆動の携帯情報端末、高機能の携帯情報端末を提供することができる。

【0365】

本実施例は、上記実施の形態と適宜組み合わせることで実施することが可能である。

10

【符号の説明】

【0366】

10	パルス出力回路	
11	配線	
12	配線	
13	配線	
14	配線	
15	配線	
21	入力端子	
22	入力端子	
23	入力端子	
24	入力端子	
25	入力端子	
26	出力端子	
27	出力端子	
31	トランジスタ	
32	トランジスタ	
33	トランジスタ	
34	トランジスタ	
35	トランジスタ	
36	トランジスタ	
37	トランジスタ	
38	トランジスタ	
39	トランジスタ	
40	トランジスタ	
41	トランジスタ	
42	トランジスタ	
43	トランジスタ	
51	電源線	
52	電源線	
53	電源線	
100	基板	
101	ゲート電極	
102	ゲート絶縁膜	
103	酸化物半導体膜	
104	酸化物半導体膜	
105	酸化物半導体膜	
106	結晶領域	
107	酸化物半導体膜	
108	酸化物半導体膜	

50

1 0 9	結晶領域	
1 1 0	非晶質領域	
1 1 1	ソース電極	
1 1 2	ドレイン電極	
1 1 3	絶縁膜	
1 1 4	トランジスタ	
1 1 5	バックゲート電極	
1 1 6	絶縁膜	
1 3 0	チャネル保護膜	
1 3 1	ソース電極	10
1 3 2	ドレイン電極	
1 3 3	絶縁膜	
1 4 0	トランジスタ	
1 4 5	バックゲート電極	
1 4 6	絶縁膜	
2 0 0	基板	
2 0 1	絶縁膜	
2 0 2	電極	
2 0 3	酸化物半導体膜	
2 0 5	酸化物半導体膜	20
2 0 6	結晶領域	
2 0 7	酸化物半導体膜	
2 0 8	酸化物半導体膜	
2 0 9	結晶領域	
2 1 0	非晶質領域	
2 1 1	電極	
2 1 2	ゲート絶縁膜	
2 1 3	ゲート電極	
2 1 4	絶縁膜	
2 1 5	配線	30
2 1 6	配線	
2 1 7	配線	
2 1 8	部分	
2 2 0	トランジスタ	
2 2 1	コンタクトホール	
2 2 2	コンタクトホール	
2 2 3	コンタクトホール	
2 3 0	配線	
2 3 1	コンタクトホール	
7 0 0	画素部	40
7 0 1	信号線駆動回路	
7 0 2	走査線駆動回路	
7 0 3	画素	
7 0 4	トランジスタ	
7 0 5	表示素子	
7 0 6	保持容量	
7 0 7	信号線	
7 0 8	走査線	
7 1 0	画素電極	
7 1 1	対向電極	50

7 1 2	マイクロカプセル	
7 1 3	ソース電極またはドレイン電極	
7 1 4	樹脂	
1 4 0 1	トランジスタ	
1 4 0 2	ゲート電極	
1 4 0 3	ゲート絶縁膜	
1 4 0 4	酸化物半導体膜	
1 4 0 6 a	導電膜	
1 4 0 6 b	導電膜	
1 4 0 7	絶縁膜	10
1 4 0 8	絶縁膜	
1 4 1 0	画素電極	
1 4 1 1	配向膜	
1 4 1 3	対向電極	
1 4 1 4	配向膜	
1 4 1 5	液晶	
1 4 1 6	シール材	
1 4 1 7	スペーサ	
1 4 2 0	基板	
1 4 3 0	非晶質領域	20
1 4 3 1	結晶領域	
1 6 0 1	液晶パネル	
1 6 0 2	拡散板	
1 6 0 3	プリズムシート	
1 6 0 4	拡散板	
1 6 0 5	導光板	
1 6 0 6	反射板	
1 6 0 7	光源	
1 6 0 8	回路基板	
1 6 0 9	F P C	30
1 6 1 0	F P C	
5 3 0 0	基板	
5 3 0 1	画素部	
5 3 0 2	走査線駆動回路	
5 3 0 3	走査線駆動回路	
5 3 0 4	信号線駆動回路	
5 3 0 5	タイミング制御回路	
5 6 0 1	シフトレジスタ	
5 6 0 2	サンプリング回路	
5 6 0 3	トランジスタ	40
5 6 0 4	配線	
5 6 0 5	配線	
6 0 3 1	トランジスタ	
6 0 3 3	発光素子	
6 0 3 4	電極	
6 0 3 5	電界発光層	
6 0 3 6	電極	
6 0 3 7	絶縁膜	
6 0 3 8	隔壁	
6 0 4 1	トランジスタ	50

6 0 4 3	発光素子	
6 0 4 4	電極	
6 0 4 5	電界発光層	
6 0 4 6	電極	
6 0 4 7	絶縁膜	
6 0 4 8	隔壁	
6 0 5 1	トランジスタ	
6 0 5 3	発光素子	
6 0 5 4	電極	
6 0 5 5	電界発光層	10
6 0 5 6	電極	
6 0 5 7	絶縁膜	
6 0 5 8	隔壁	
7 0 0 1	筐体	
7 0 0 2	表示部	
7 0 1 1	筐体	
7 0 1 2	表示部	
7 0 1 3	支持台	
7 0 2 1	筐体	
7 0 2 2	表示部	20
7 0 3 1	筐体	
7 0 3 2	筐体	
7 0 3 3	表示部	
7 0 3 4	表示部	
7 0 3 5	マイクロホン	
7 0 3 6	スピーカー	
7 0 3 7	操作キー	
7 0 3 8	スタイラス	
7 0 4 1	筐体	
7 0 4 2	表示部	30
7 0 4 3	音声入力部	
7 0 4 4	音声出力部	
7 0 4 5	操作キー	
7 0 4 6	受光部	
7 0 5 1	筐体	
7 0 5 2	表示部	
7 0 5 3	操作キー	

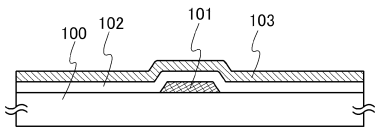
40

50

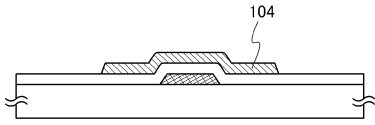
【 図面 】

【 図 1 】

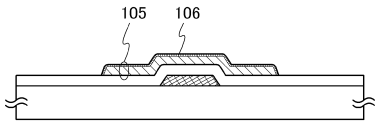
(A)



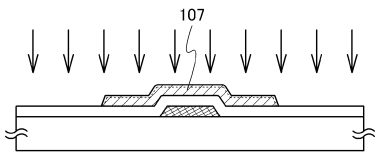
(B)



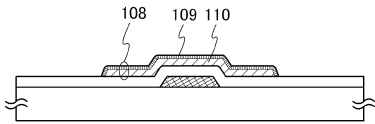
(C)



(D)

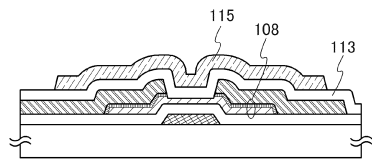


(E)

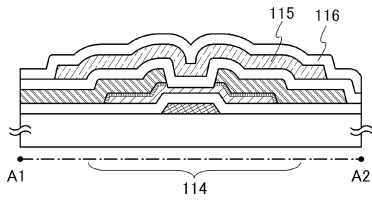


【 図 3 】

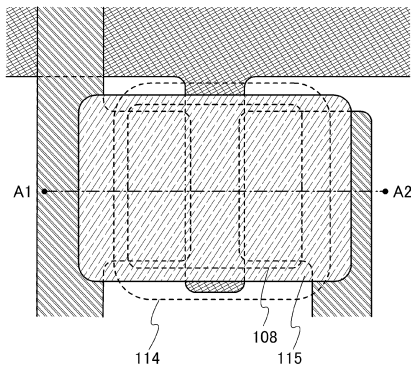
(A)



(B)

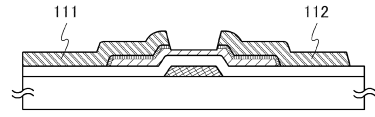


(C)

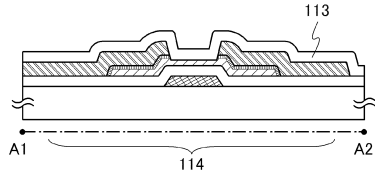


【 図 2 】

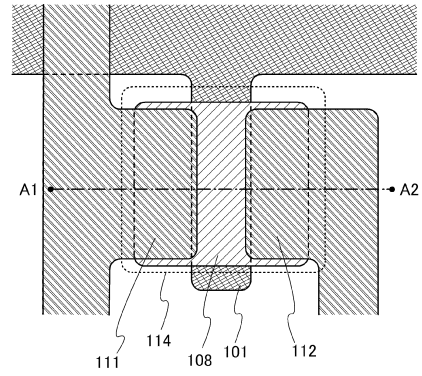
(A)



(B)



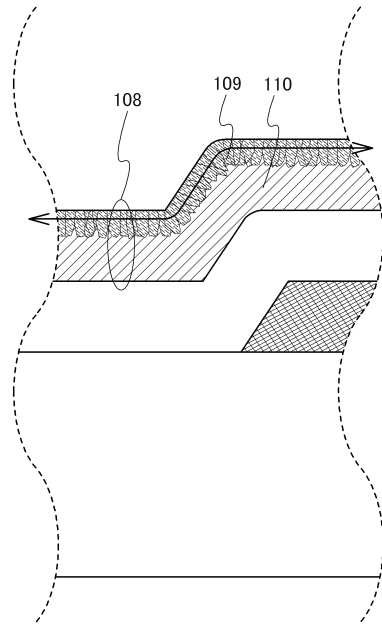
(C)



10

20

【 図 4 】

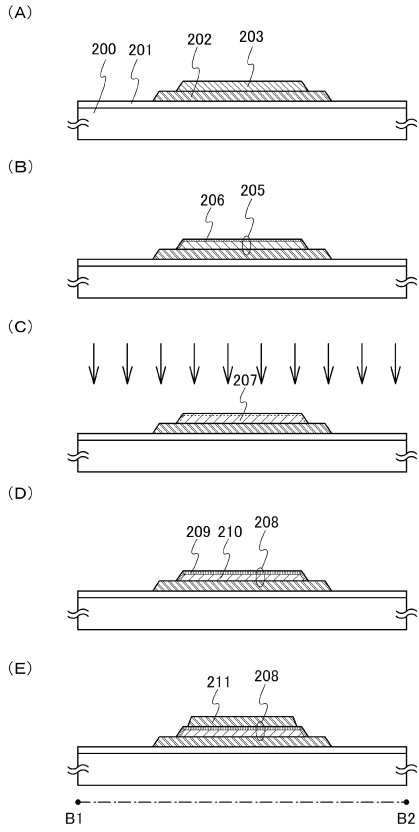


30

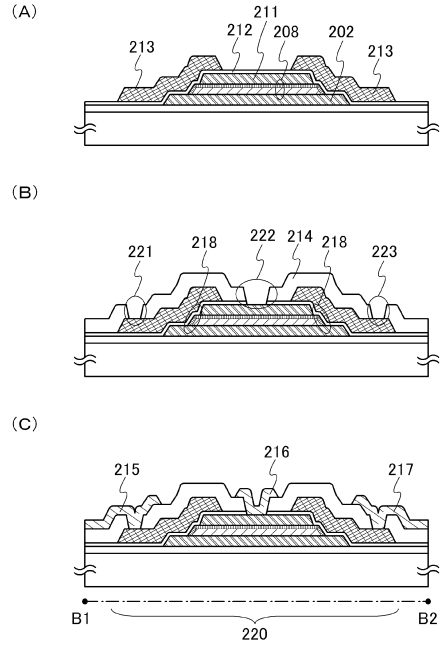
40

50

【 図 5 】



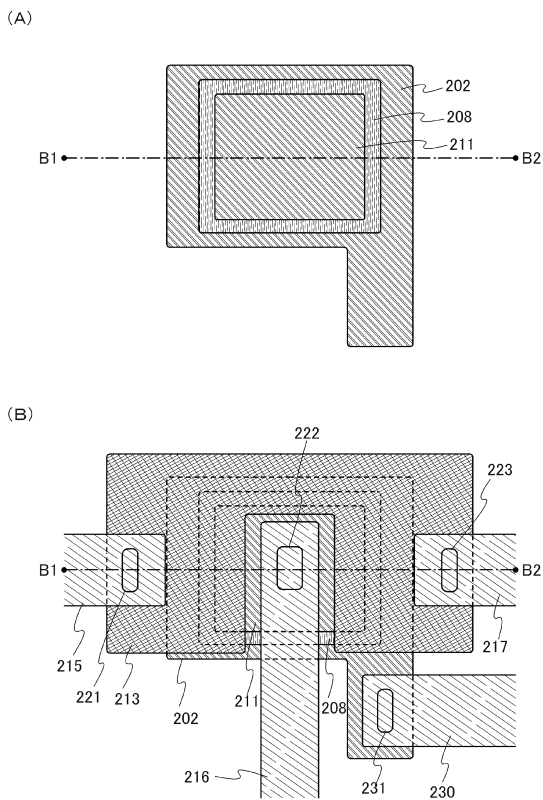
【 図 6 】



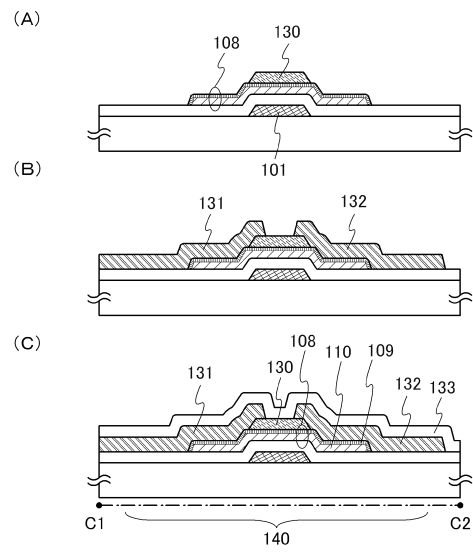
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

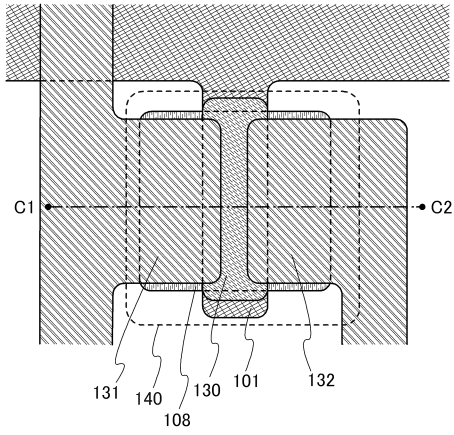


30

40

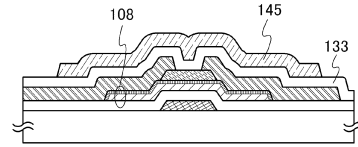
50

【 図 9 】

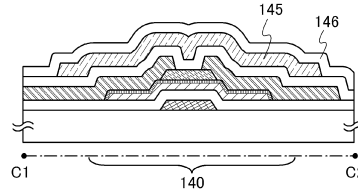


【 図 10 】

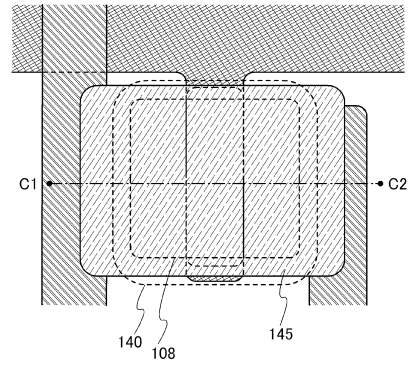
(A)



(B)



(C)

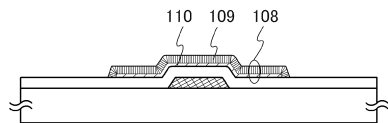


10

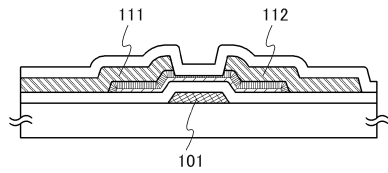
20

【 図 11 】

(A)

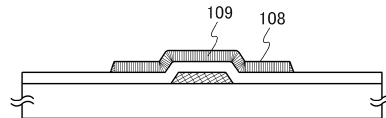


(B)

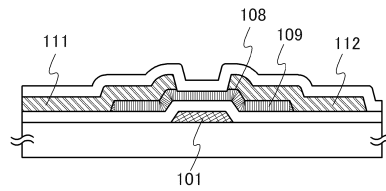


【 図 12 】

(A)



(B)

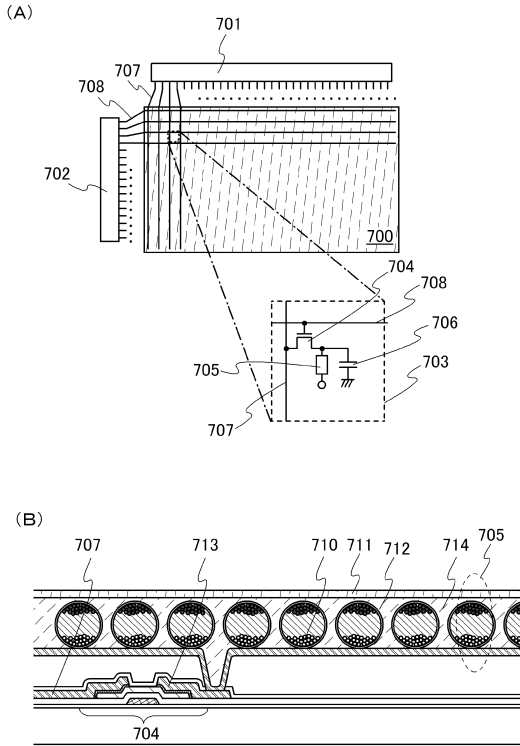


30

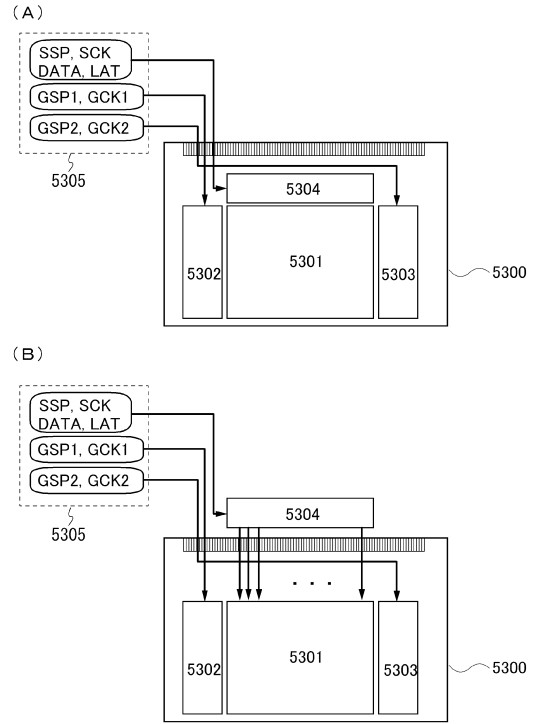
40

50

【 図 1 3 】



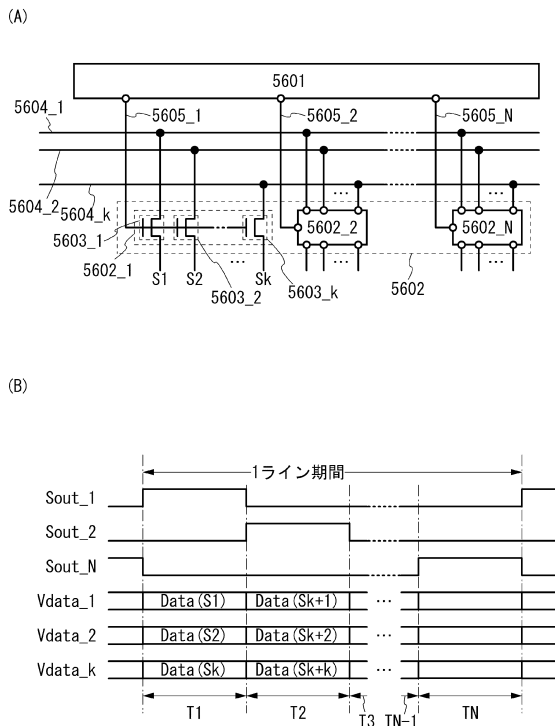
【 図 1 4 】



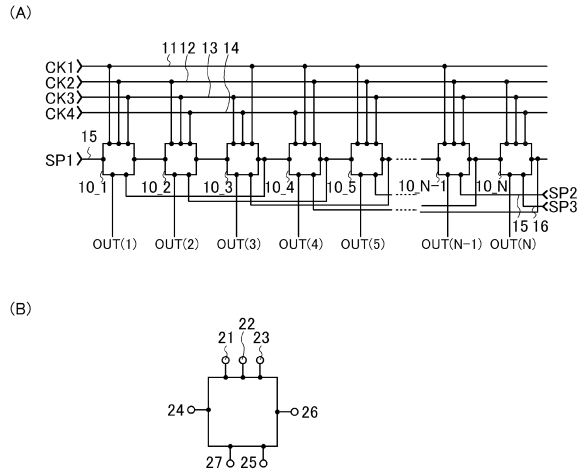
10

20

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

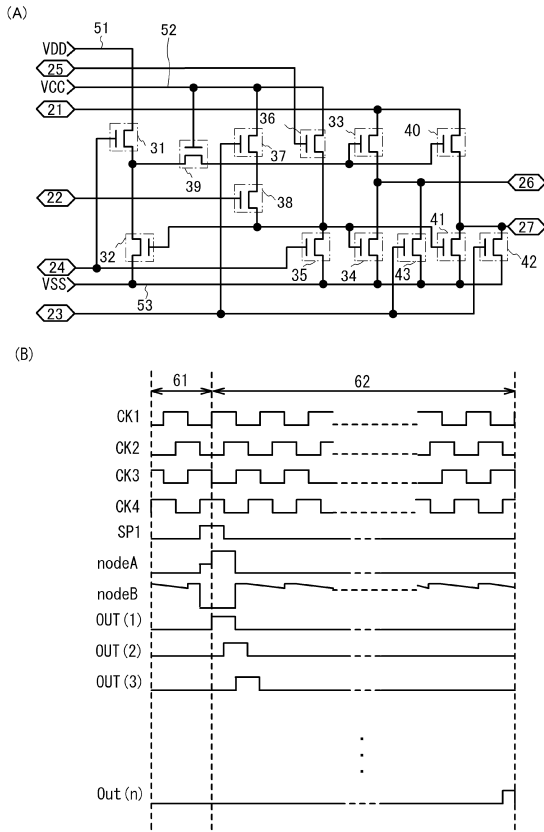


30

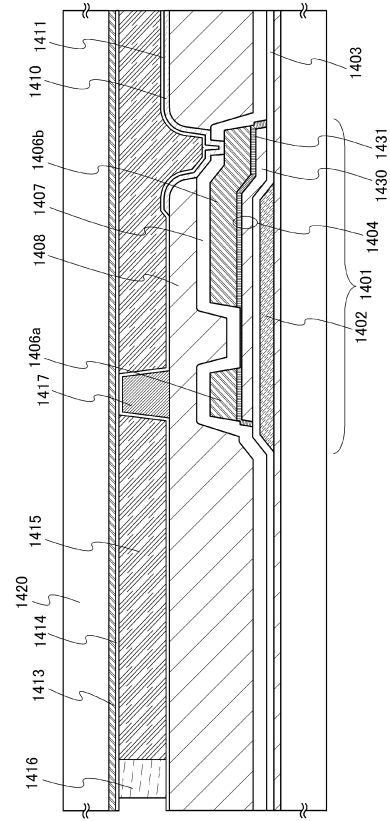
40

50

【 図 1 7 】

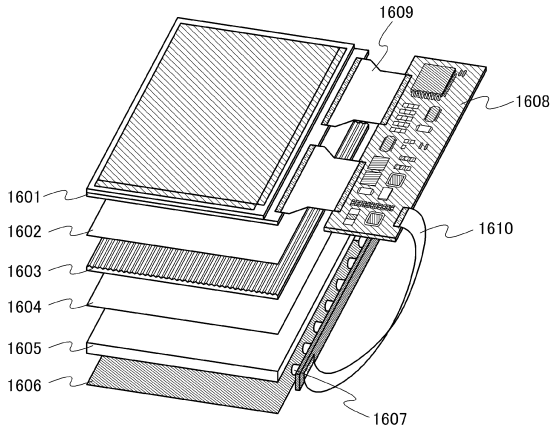


【 図 1 8 】

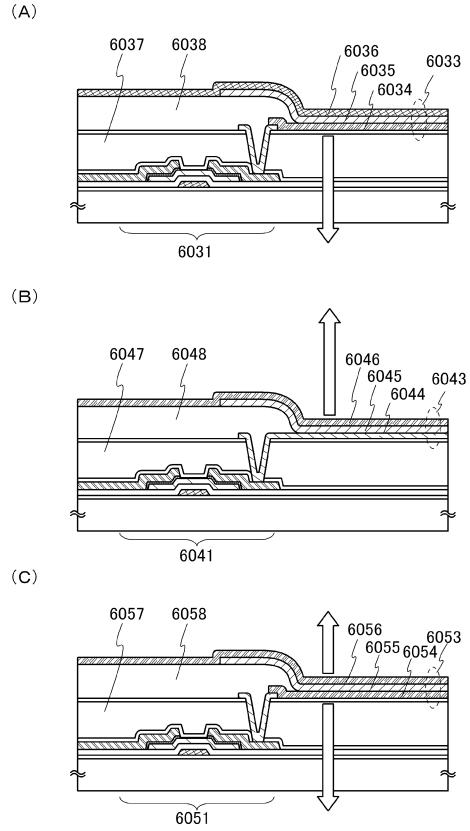


10
20

【 図 1 9 】

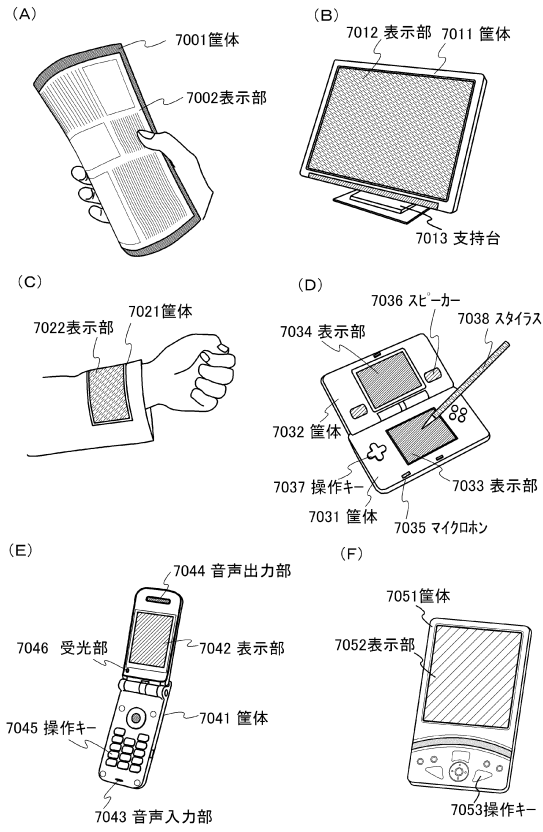


【 図 2 0 】

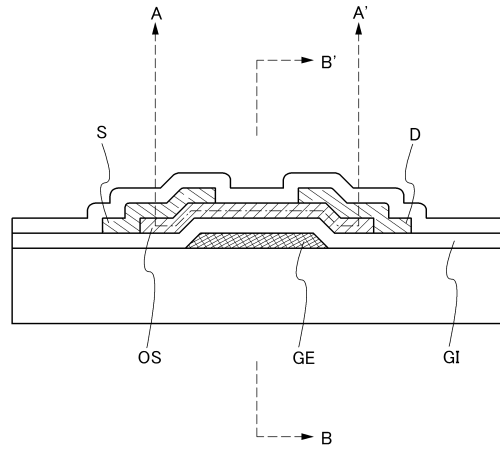


30
40

【図 2 1】



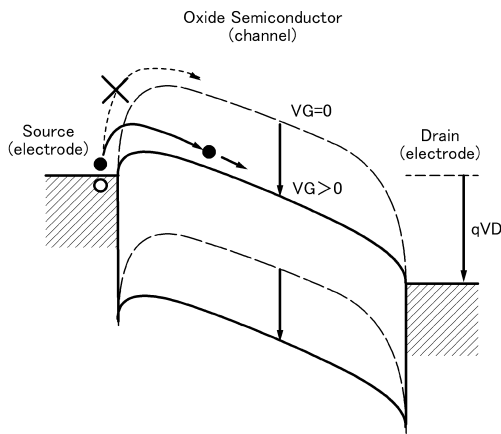
【図 2 2】



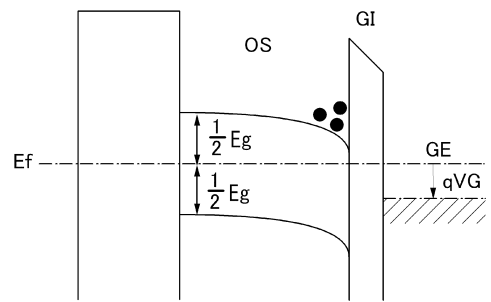
10

20

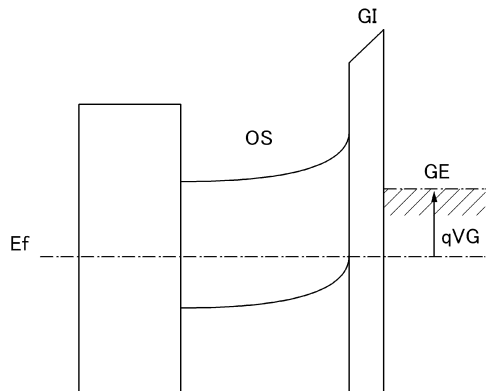
【図 2 3】



【図 2 4】



(A) B-B'断面エネルギーバンド図(VG>0)



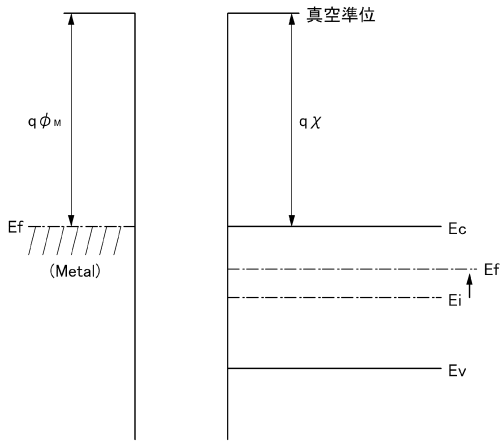
(B) B-B'断面エネルギーバンド図(VG<0)

30

40

50

【 図 2 5 】



10

20

30

40

50

【手続補正書】

【提出日】令和5年5月2日(2023.5.2)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

トランジスタを有する半導体装置であって、
前記トランジスタは、

10

ゲート電極と、

前記ゲート電極上のゲート絶縁膜と、

前記ゲート絶縁膜上に設けられ、前記ゲート電極と重なりを有する酸化物半導体膜と、

前記酸化物半導体膜の上面に接する領域を有する、ソース電極及びドレイン電極と、

前記ソース電極上及び前記ドレイン電極上に設けられ、且つ、前記酸化物半導体膜と接する領域を有する第1の絶縁膜と、を有し、

前記酸化物半導体膜は、In、Ga及びZnを有し、

前記第1の絶縁膜は、珪素及び酸素を有し、

前記酸化物半導体膜は、c軸が前記酸化物半導体膜の表面に対して略垂直な方向に配向した結晶領域を有し、

20

前記結晶領域は、前記酸化物半導体膜と前記第1の絶縁膜との界面から膜厚方向に少なくとも5nm以上30nm以下の深さで存在し、

前記酸化物半導体膜は、前記結晶領域の下方に、前記結晶領域よりも結晶性の低い領域を有する、半導体装置。

【請求項2】

トランジスタを有する半導体装置であって、

前記トランジスタは、

ゲート電極と、

前記ゲート電極上のゲート絶縁膜と、

30

前記ゲート絶縁膜上に設けられ、前記ゲート電極と重なりを有する酸化物半導体膜と、

前記酸化物半導体膜の上面に接する領域を有する、ソース電極及びドレイン電極と、

前記ソース電極上及び前記ドレイン電極上に設けられ、且つ、前記酸化物半導体膜と接する領域を有する第1の絶縁膜と、を有し、

前記酸化物半導体膜は、In、Ga及びZnを有し、

前記ゲート絶縁膜及び前記第1の絶縁膜の各々は、珪素及び酸素を有し、

前記酸化物半導体膜は、c軸が前記酸化物半導体膜の表面に対して略垂直な方向に配向した結晶領域を有し、

前記結晶領域は、前記酸化物半導体膜と前記第1の絶縁膜との界面から膜厚方向に少なくとも5nm以上30nm以下の深さで存在し、

40

前記酸化物半導体膜は、前記結晶領域の下方に、前記結晶領域よりも結晶性の低い領域を有する、半導体装置。

【請求項3】

トランジスタを有する半導体装置であって、

前記トランジスタは、

ゲート電極と、

前記ゲート電極上のゲート絶縁膜と、

前記ゲート絶縁膜上に設けられ、前記ゲート電極と重なりを有する酸化物半導体膜と、

前記酸化物半導体膜の上面に接する領域を有する、ソース電極及びドレイン電極と、

前記ソース電極上及び前記ドレイン電極上に設けられ、且つ、前記酸化物半導体膜と接す

50

る領域を有する第 1 の絶縁膜と、を有し、

前記酸化物半導体膜は、I n、G a 及び Z n を有し、

前記ゲート絶縁膜及び前記第 1 の絶縁膜の各々は、珪素及び酸素を有し、

前記酸化物半導体膜は、c 軸が前記酸化物半導体膜の表面に対して略垂直な方向に配向した結晶領域を有し、

前記結晶領域は、前記酸化物半導体膜と前記第 1 の絶縁膜との界面から膜厚方向に少なくとも 5 n m 以上 3 0 n m 以下の深さで存在し、

前記酸化物半導体膜は、前記結晶領域の下方に、前記結晶領域よりも結晶性の低い領域を有し、

前記トランジスタのチャネル長方向における断面視において、前記酸化物半導体膜は、前記ゲート電極の両端と重なりを有する、半導体装置。 10

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一において、

前記酸化物半導体膜は、S n を有する、半導体装置。

20

30

40

50