

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7592579号
(P7592579)

(45)発行日 令和6年12月2日(2024.12.2)

(24)登録日 令和6年11月22日(2024.11.22)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 L 29/786(2006.01)	H 0 1 L 29/78	6 1 8 B		
G 0 9 F 9/30 (2006.01)	G 0 9 F 9/30	3 3 8		
H 0 1 L 21/336(2006.01)	H 0 1 L 29/78	6 1 6 V		
H 1 0 K 50/10 (2023.01)	H 0 1 L 29/78	6 1 7 T		
G 0 2 F 1/1368(2006.01)	H 0 1 L 29/78	6 1 9 A		
請求項の数 5 (全104頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号	特願2021-503229(P2021-503229)	(73)特許権者	000153878
(86)(22)出願日	令和2年2月19日(2020.2.19)		株式会社半導体エネルギー研究所
(86)国際出願番号	PCT/IB2020/051350		神奈川県厚木市長谷398番地
(87)国際公開番号	WO2020/178654	(72)発明者	山崎 舜平
(87)国際公開日	令和2年9月10日(2020.9.10)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会
審査請求日	令和5年2月16日(2023.2.16)		社半導体エネルギー研究所内
(31)優先権主張番号	特願2019-37916(P2019-37916)	(72)発明者	生内 俊光
(32)優先日	平成31年3月1日(2019.3.1)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会
(33)優先権主張国・地域又は機関			社半導体エネルギー研究所内
	日本国(JP)	(72)発明者	肥塚 純一
(31)優先権主張番号	特願2019-81285(P2019-81285)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会
(32)優先日	平成31年4月22日(2019.4.22)		社半導体エネルギー研究所内
(33)優先権主張国・地域又は機関		(72)発明者	岡崎 健一
	日本国(JP)		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
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、第1の導電層と、第3の絶縁層と、第2の導電層と、第3の導電層と、を有し、

前記半導体層、前記第2の絶縁層及び前記第1の導電層は、前記第1の絶縁層上にこの順に積層され、

前記半導体層は、インジウムと、亜鉛と、酸素と、を有し、

前記半導体層は、インジウム、元素M及び亜鉛の原子数比を示す三角図において、第1の座標（44：11：10）と、第2の座標（4：1：4）と、第3の座標（1：0：1）と、第4の座標（11：0：2）と、前記第1の座標と、をこの順に直線で結ぶ範囲内の組成を有し、

前記元素Mは、ガリウム、アルミニウム、イットリウムまたはスズのいずれか一以上であり、

前記第3の絶縁層は、前記第1の導電層の上面及び側面、前記第2の絶縁層の上面と接し、

前記第2の絶縁層は、前記半導体層の上面及び側面と接し、

前記第2の導電層は、前記半導体層の上面と接し、

前記第3の導電層は、前記半導体層の上面と接し、

前記第2の導電層は、前記第3の絶縁層の上面と接し、

前記第3の導電層は、前記第3の絶縁層の上面と接し、

前記第2の絶縁層は、酸素を含み、

前記第3の絶縁層は、窒素を含む半導体装置。

【請求項2】

半導体層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、第1の導電層と、金属酸化物層と、第3の絶縁層と、第2の導電層と、第3の導電層と、を有し、

前記半導体層、前記第2の絶縁層、前記金属酸化物層及び前記第1の導電層は、前記第1の絶縁層上にこの順に積層され、

前記半導体層は、インジウムと、亜鉛と、酸素と、を有し、

前記半導体層は、インジウム、元素M及び亜鉛の原子数比を示す三角図において、第1の座標(44:11:10)と、第2の座標(4:1:4)と、第3の座標(1:0:1)と、第4の座標(11:0:2)と、前記第1の座標と、をこの順に直線で結ぶ範囲内の組成を有し、

前記元素Mは、ガリウム、アルミニウム、イットリウムまたはスズのいずれか一以上であり、

前記第3の絶縁層は、前記第1の導電層の上面及び側面、前記第2の絶縁層の上面と接し、

前記第2の絶縁層は、前記半導体層の上面及び側面と接し、

前記第2の導電層は、前記半導体層の上面と接し、

前記第3の導電層は、前記半導体層の上面と接し、

前記第2の導電層は、前記第3の絶縁層の上面と接し、

前記第3の導電層は、前記第3の絶縁層の上面と接し、

前記第2の絶縁層は、酸素を含み、

前記第3の絶縁層は、窒素を含む半導体装置。

【請求項3】

請求項1または請求項2において、

前記半導体層は、前記第1の導電層と重ならない領域を有し、

前記領域は、リン、ホウ素、マグネシウム、アルミニウム、またはシリコンのいずれか一以上を有する半導体装置。

【請求項4】

請求項3において、

前記第2の絶縁層は、前記領域と接する半導体装置。

【請求項5】

請求項1乃至3において、

前記第2の絶縁層は、酸化シリコンを含み、

前記第3の絶縁層は、窒化シリコンを含む半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の一態様は、半導体装置、及びその作製方法に関する。本発明の一態様は、表示装置に関する。

【0002】

なお、本発明の一態様は、上記の技術分野に限定されない。本明細書等で開示する本発明の一態様の技術分野として、半導体装置、表示装置、発光装置、蓄電装置、記憶装置、電子機器、照明装置、入力装置、入出力装置、それらの駆動方法、又はそれらの製造方法を一例として挙げることができる。半導体装置は、半導体特性を利用することで機能する装置全般を指す。

【背景技術】

【0003】

トランジスタに適用可能な半導体材料として、金属酸化物を用いた酸化物半導体が注目されている。例えば、特許文献1では、複数の酸化物半導体層を積層し、当該複数の酸化物半導体層の中で、チャンネルとなる酸化物半導体層がインジウム及びガリウムを含み、且

10

20

30

40

50

つインジウムの割合をガリウムの割合よりも大きくすることで、電界効果移動度（単に移
動度、または $\mu F E$ という場合がある）を高めた半導体装置が開示されている。

【0004】

非特許文献1及び非特許文献2では、 $InGaO_3(ZnO)_m$ (m : 自然数) の酸化
物半導体材料が開示されている。

【0005】

半導体層に用いることのできる金属酸化物は、スパッタリング法などを用いて形成で
きるため、大型の表示装置を構成するトランジスタの半導体層に用いることができる。また
、多結晶シリコンや非晶質シリコンを用いたトランジスタの生産設備の一部を改良して利
用することが可能なため、設備投資を抑えられる。また、金属酸化物を用いたトランジスタ
は、非晶質シリコンを用いた場合に比べて高い電界効果移動度を有するため、駆動回路
を設けた高性能の表示装置を実現できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2014-7399号公報

【非特許文献】

【0007】

【文献】M. Nakamura, N. Kimizuka, and T. Mohri, 「T
he Phase Relations in the $In_{\Delta 2}O_{\Delta 3}-Ga_{\Delta 2}$
 $ZnO_{\Delta 4}-ZnO$ System at 1350°C」、J. Solid State
Chem.、1991、Vol. 93, p. 298-315

【文献】N. Kimizuka, M. Isobe, and M. Nakamura, 「S
yntheses and Single-Crystal Data of Homol
ogous Compounds, $In_{\Delta 2}O_{\Delta 3}(ZnO)_{\Delta m}$ ($m=3, 4,$
and 5), $InGaO_{\Delta 3}(ZnO)_{\Delta 3}$, and $Ga_{\Delta 2}O_{\Delta 3}(ZnO)_{\Delta m}$ ($m=7, 8, 9,$ and 16) in the $In_{\Delta 2}O_{\Delta 3}-ZnGa_{\Delta 2}O_{\Delta 4}-ZnO$ System」、J. Solid State Chem.、1
995、Vol. 116, p. 170-178

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の一態様は、電気特性の良好な半導体装置を提供することを課題の一とする。本
発明の一態様は、信頼性の高い半導体装置を提供することを課題の一とする。本発明の一
態様は、電気特性の安定した半導体装置を提供することを課題の一とする。本発明の一態
様は、信頼性の高い表示装置を提供することを課題の一とする。

【0009】

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

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一態様は、半導体層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、導電層と、を有す
る半導体装置である。半導体層、第2の絶縁層及び導電層は、第1の絶縁層上にこの順に
積層される。半導体層は、インジウムと、酸素と、を有し、インジウム、元素M及び亜鉛
の原子数比を示す三角図において、第1の座標(1:0:0)と、第2の座標(2:1:
0)と、第3の座標(14:7:1)と、第4の座標(7:2:2)と、第5の座標(1
4:4:21)と、第6の座標(2:0:3)と、第1の座標と、をこの順に直線で結ぶ
範囲内の組成を有することが好ましい。また、元素Mは、ガリウム、アルミニウム、イッ
トリウムまたはスズのいずれか一以上である。

【0011】

本発明の一態様は、半導体層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、導電層と、を有する半導体装置である。半導体層、第2の絶縁層及び導電層は、第1の絶縁層上にこの順に積層される。半導体層は、インジウムと、酸素と、を有し、半導体層は、インジウム、元素M及び亜鉛の原子数比を示す三角図において、第1の座標（7：1：0）と、第2の座標（2：1：0）と、第3の座標（14：7：1）と、第4の座標（7：2：2）と、第5の座標（14：4：21）と、第6の座標（2：0：3）と、第7の座標（7：0：1）と、第1の座標と、をこの順に直線で結ぶ範囲内の組成を有することが好ましい。また、元素Mは、ガリウム、アルミニウム、イットリウムまたはスズのいずれか一以上である。

【0012】

本発明の一態様は、半導体層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、導電層と、を有する半導体装置である。半導体層、第2の絶縁層及び導電層は、第1の絶縁層上にこの順に積層される。半導体層は、インジウムと、亜鉛と、酸素と、を有し、インジウム、元素M及び亜鉛の原子数比を示す三角図において、第1の座標（44：11：10）と、第2の座標（4：1：6）と、第3の座標（2：0：3）と、第4の座標（11：0：2）と、第1の座標と、をこの順に直線で結ぶ範囲内の組成を有することが好ましい。また、元素Mは、ガリウム、アルミニウム、イットリウムまたはスズのいずれか一以上である。

【0013】

本発明の一態様は、半導体層と、第1の絶縁層と、第2の絶縁層と、導電層と、を有する半導体装置である。半導体層、第2の絶縁層及び導電層は、第1の絶縁層上にこの順に積層される。半導体層は、インジウムと、亜鉛と、酸素と、を有し、インジウム、元素M及び亜鉛の原子数比を示す三角図において、第1の座標（44：11：10）と、第2の座標（4：1：4）と、第3の座標（1：0：1）と、第4の座標（11：0：2）と、第1の座標と、をこの順に直線で結ぶ範囲内の組成を有することが好ましい。また、元素Mは、ガリウム、アルミニウム、イットリウムまたはスズのいずれか一以上である。

【0014】

前述の半導体装置において、半導体層は、導電層と重ならない領域を有し、領域は、リン、ホウ素、マグネシウム、アルミニウム、またはシリコンのいずれか一以上を有することが好ましい。

【0015】

前述の半導体装置において、第2の絶縁層は、領域と接することが好ましい。

【0016】

前述の半導体装置において、さらに第3の絶縁層を有し、第3の絶縁層は、導電層の上面及び側面、第2の絶縁層の側面、並びに半導体層の上面及び側面と接することが好ましい。また、第2の絶縁層は、酸素を含み、第3の絶縁層は、窒素を含むことが好ましい。

【0017】

前述の半導体装置において、第2の絶縁層は、酸化シリコンを含み、第3の絶縁層は、窒化シリコンを含むことが好ましい。

【発明の効果】

【0018】

本発明の一態様によれば、電気特性の良好な半導体装置を提供できる。または、信頼性の高い半導体装置を提供できる。または、電気特性の安定した半導体装置を提供できる。または、信頼性の高い表示装置を提供できる。

【0019】

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

【図面の簡単な説明】

【0020】

図1A及び図1Bは、金属酸化物の組成を説明する図である。

10

20

30

40

50

図 2 A 及び図 2 B は、金属酸化物の組成を説明する図である。

図 3 A 及び図 3 B は、金属酸化物の組成を説明する図である。

図 4 は、金属酸化物の組成を説明する図である。

図 5 A は、I G Z O の結晶構造の分類を説明する図である。図 5 B は、石英ガラスの X R D スペクトルを説明する図である。図 5 C は、結晶性 I G Z O の X R D スペクトルを説明する図である。

図 6 A 及び図 6 B は、トランジスタの構成例である。

図 7 A 及び図 7 B は、トランジスタの構成例である。

図 8 A は、トランジスタの上面図である。図 8 B 及び図 8 C は、トランジスタの断面図である。

図 9 A は、トランジスタの上面図である。図 9 B 及び図 9 C は、トランジスタの断面図である。

図 10 A は、トランジスタの上面図である。図 10 B 及び図 10 C は、トランジスタの断面図である。

図 11 A は、トランジスタの上面図である。図 11 B 及び図 11 C は、トランジスタの断面図である。

図 12 A、図 12 B、図 12 C 及び図 12 D は、トランジスタの断面図である。

図 13 A、図 13 B、図 13 C 及び図 13 D は、トランジスタの断面図である。

図 14 A、図 14 B、図 14 C、図 14 D 及び図 14 E は、トランジスタの作製方法を説明する図である。

図 15 A、図 15 B、図 15 C 及び図 15 D は、トランジスタの作製方法を説明する図である。

図 16 A 及び図 16 B は、トランジスタの作製方法を説明する図である。

図 17 A、図 17 B、図 17 C 及び図 17 D は、トランジスタの作製方法を説明する図である。

図 18 A、図 18 B 及び図 18 C は、表示装置の上面図である。

図 19 は、表示装置の断面図である。

図 20 は、表示装置の断面図である。

図 21 は、表示装置の断面図である。

図 22 は、表示装置の断面図である。

図 23 A は、表示装置のブロック図である。図 23 B 及び図 23 C は、表示装置の回路図である。

図 24 A、図 24 C 及び図 24 D は、表示装置の回路図である。図 24 B は、表示装置のタイミングチャートである。

図 25 A 及び図 25 B は、表示モジュールの構成例である。

図 26 A 及び図 26 B は、電子機器の構成例である。

図 27 A、図 27 B、図 27 C、図 27 D 及び図 27 E は、電子機器の構成例である。

図 28 A、図 28 B、図 28 C、図 28 D、図 28 E、図 28 F 及び図 28 G は、電子機器の構成例である。

図 29 A、図 29 B、図 29 C 及び図 29 D は、電子機器の構成例である。

図 30 は、X R D 分析結果を示す図である。

図 31 は、トランジスタの I D - V G 特性を示す図である。

図 32 は、トランジスタの移動度を示す図である。

図 33 は、T D S 分析結果を示す図である。

図 34 は、トランジスタの I D - V G 特性を示す図である。

図 35 は、トランジスタの I D - V G 特性を示す図である。

[図 36] 図 36 は、トランジスタの信頼性を示す図である。

[図 37] 図 37 は、トランジスタの I D - V G 特性を示す図である。

図 38 は、トランジスタの I D - V G 特性を示す図である。

図 39 は、トランジスタの I D - V G 特性を示す図である。

10

20

30

40

50

図 4 0 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 4 1 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

〔図 4 2〕 図 4 2 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 4 3 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 4 4 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 4 5 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 4 6 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

〔図 4 7〕 図 4 7 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 4 8 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 4 9 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 5 0 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

図 5 1 は、トランジスタの $I_D - V_G$ 特性を示す図である。

〔図 5 2〕 図 5 2 は、トランジスタの信頼性を示す図である。

図 5 3 は、金属酸化物の XRD 分析結果を示す図である。

図 5 4 は、金属酸化物の XRD 分析結果を示す図である。

図 5 5 は、金属酸化物のバンドギャップを示す図である。

図 5 6 A は、金属酸化物のキャリア濃度を示す図である。図 5 6 B は、金属酸化物の Hall 移動度を示す図である。

図 5 7 A は、金属酸化物のキャリア濃度を示す図である。図 5 7 B は、金属酸化物の Hall 移動度を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、実施の形態について図面を参照しながら説明する。ただし、実施の形態は多くの異なる態様で実施することが可能であり、趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は、以下の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。

【0022】

本明細書で説明する各図において、各構成の大きさ、層の厚さ、または領域は、明瞭化のために誇張されている場合がある。

【0023】

本明細書等にて用いる「第 1」、「第 2」、「第 3」という序数詞は、構成要素の混同を避けるために付したものであり、数的に限定するものではない。

【0024】

本明細書等において、「上に」、「下に」などの配置を示す語句は、構成要素同士の位置関係を、図面を参照して説明するために、便宜上用いている。また、構成要素同士の位置関係は、各構成を描写する方向に応じて適宜変化するものである。従って、明細書で説明した語句に限定されず、状況に応じて適切に言い換えることができる。

【0025】

本明細書等において、トランジスタが有するソースとドレインの機能は、異なる極性のトランジスタを採用する場合や、回路動作において電流の方向が変化する場合には入れ替わることがある。このため、ソースやドレインの用語は、入れ替えて用いることができるものとする。

【0026】

本明細書等において、トランジスタのチャネル長方向とは、ソース領域とドレイン領域間を最短距離で結ぶ直線に平行な方向のうちの 1 つをいう。すなわち、チャネル長方向は、トランジスタがオン状態のときに半導体層を流れる電流の方向のうちの 1 つに相当する。また、チャネル幅方向とは、当該チャネル長方向に直交する方向をいう。なお、トランジスタの構造や形状によっては、チャネル長方向及びチャネル幅方向は 1 つに定まらない場合がある。

【0027】

本明細書等において、「電氣的に接続」には、「何らかの電氣的作用を有するもの」を介して接続されている場合が含まれる。ここで、「何らかの電氣的作用を有するもの」は、接続対象間での電氣信号の授受を可能とするものであれば、特に制限を受けない。例えば、「何らかの電氣的作用を有するもの」には、電極や配線をはじめ、トランジスタなどのスイッチング素子、抵抗素子、インダクタ、キャパシタ、その他の各種機能を有する素子などが含まれる。

【0028】

本明細書等において、「膜」という用語と、「層」という用語とは、互いに入れ替えることが可能である。例えば、「導電層」や「絶縁層」という用語は、「導電膜」や「絶縁膜」という用語に相互に交換することが可能な場合がある。

10

【0029】

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

【0030】

本明細書等において、表示装置の一態様である表示パネルは表示面に画像等を表示（出力）する機能を有するものである。したがって表示パネルは出力装置の一態様である。

【0031】

本明細書等では、表示パネルの基板に、例えばFPC（Flexible Printed Circuit）もしくはTCP（Tape Carrier Package）などのコネクタが取り付けられたもの、または基板にCOG（Chip On Glass）方式等によりICが実装されたものを、表示パネルモジュール、表示モジュール、または単に表示パネルなどと呼ぶ場合がある。

20

【0032】

なお、本明細書等において、表示装置の一態様であるタッチパネルは表示面に画像等を表示する機能と、表示面に指やスタイラスなどの被検知体が触れる、押圧する、または近づくことなどを検出するタッチセンサとしての機能と、を有する。したがってタッチパネルは入出力装置の一態様である。

30

【0033】

タッチパネルは、例えばタッチセンサ付き表示パネル（または表示装置）、タッチセンサ機能付き表示パネル（または表示装置）とも呼ぶことができる。タッチパネルは、表示パネルとタッチセンサパネルとを有する構成とすることもできる。または、表示パネルの内部または表面にタッチセンサとしての機能を有する構成とすることもできる。

【0034】

本明細書等では、タッチパネルの基板に、コネクタやICが実装されたものを、タッチパネルモジュール、表示モジュール、または単にタッチパネルなどと呼ぶ場合がある。

【0035】

（実施の形態1）

本実施の形態では、本発明の一態様である半導体装置に好適に用いることができる金属酸化物について、説明する。

40

【0036】

本発明の一態様である半導体装置は、チャネル形成領域に半導体として機能する金属酸化物（以下、酸化物半導体ともいう）を有する。金属酸化物を用いると、シリコンなどからなる半導体と比較して、トランジスタのスイッチング特性が良好で、かつオフ電流が極めて低いため好ましい。

【0037】

ここで、金属酸化物の組成は、トランジスタの電氣的特性や、信頼性に大きく影響する。金属酸化物は、インジウムを有することが好ましい。さらに、金属酸化物はインジウム

50

含有率が高いことが好ましい。金属酸化物のインジウム含有率を高くすることで、金属酸化物のキャリア移動度（電子移動度）を高くすることができる。したがって、インジウム含有率の高い金属酸化物をチャネル形成領域に用いたトランジスタは、電界効果移動度が高く、大きな電流を流すことができる。また、当該トランジスタを用いた半導体装置は、高速駆動が可能となる。したがって、このような半導体装置を有する表示装置は、画素部のトランジスタと、駆動回路部に使用するトランジスタを同一基板上に形成することができる。また、このようなトランジスタを画素部に用いることで、高画質な画像を提供することができる。

【0038】

金属酸化物は、インジウムに加えて元素Mを有することが好ましい。元素Mは、酸素との結合エネルギーが高いことが好ましい。特に、元素Mは酸素との結合エネルギーがインジウムよりも高いことが好ましい。金属酸化物は、インジウムよりも酸素との結合エネルギーが高い元素Mを有することにより、該金属酸化物中に酸素欠損が形成されにくくなる。元素Mとして、ガリウム、アルミニウム、シリコン、ホウ素、イットリウム、スズ、銅、バナジウム、ベリリウム、チタン、鉄、ニッケル、ゲルマニウム、ジルコニウム、モリブデン、ランタン、セリウム、ネオジム、ハフニウム、タンタル、タングステン、またはマグネシウムの一以上を用いることができる。特に、元素Mとして、ガリウム、アルミニウム、イットリウム、またはスズの一以上を用いることができる。また、元素Mは、金属酸化物のエネルギーギャップを大きくする機能を有する。

【0039】

元素Mとして、特にガリウムを好適に用いることができる。金属酸化物は、インジウムよりも酸素との結合エネルギーが高いガリウムを有することにより、該金属酸化物中に酸素欠損が形成されにくくなる。チャネル形成領域に用いられる金属酸化物中に酸素欠損が多く存在すると、トランジスタの電気特性や信頼性の低下に繋がる。したがって、インジウム及びガリウムを有する金属酸化物を用いることで、電界効果移動度が高く、かつ信頼性の高いトランジスタを実現できる。

【0040】

金属酸化物は、インジウムに加えて亜鉛を有することが好ましい。または、金属酸化物は、インジウム、元素M及び亜鉛を有することが好ましい。亜鉛は、金属酸化物の結晶性を高める機能を有する。結晶性を有する金属酸化物は、チャネル形成領域に好適に用いることができる。例えば、後述するCAAC (c-axis aligned crystal) 構造、多結晶構造、微結晶 (nc: nanocrystal) 構造等を有する金属酸化物を、チャネル形成領域に用いることができる。結晶性を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、チャネル形成領域中の欠陥準位密度を低減でき、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

【0041】

金属酸化物の結晶性が高いほど、膜中の欠陥準位密度を低減できる。一方、結晶性の低い金属酸化物をチャネル形成領域に用いることで、大きな電流を流すことのできるトランジスタを実現することができる。

【0042】

<金属酸化物の組成>

金属酸化物の組成について、具体的に説明する。以下では、組成として、金属酸化物におけるインジウム、元素M及び亜鉛の原子数比を示す。

【0043】

金属酸化物が有するインジウム、元素M及び亜鉛の原子数比の好ましい範囲を、図1A、図1B、図2A及び図2Bに示す。図1A、図1B、図2A及び図2Bはインジウム、元素M及び亜鉛を頂点とする正三角形を用いてインジウム、元素M及び亜鉛の原子数比を示しており、三角図、三角座標図、三角ダイアグラムともよばれる。なお、図1A、図1B、図2A及び図2Bでは、酸素の原子数比を記載していない。

【0044】

まず、各元素の原子数比について、図3A、図3B及び図4を用いて説明する。図3A、図3B及び図4はそれぞれ、元素X、元素Y及び元素Zを有する金属酸化物の例を示している。図3A、図3B及び図4に示す三角図には、点X、点Y及び点Zを頂点とする正三角形と、金属酸化物の組成の例として座標点W ($\alpha : \beta : \gamma$) を示している。

【0045】

座標点W ($\alpha : \beta : \gamma$) は、元素X、元素Y及び元素Zの原子数比が $X : Y : Z = \alpha : \beta : \gamma$ であることを示している。それぞれの元素の原子数比は、各頂点に近いほど高く、遠いほど低いことを示す。ここで、点Xは座標が $(1 : 0 : 0)$ であり、元素X、元素Y及び元素Zの原子数比が $X : Y : Z = 1 : 0 : 0$ 、つまり、金属酸化物が元素Xを有し、かつ元素Y及び元素Zのいずれも有さないことを示している。点Yは座標が $(0 : 1 : 0)$ であり、元素X、元素Y及び元素Zの原子数比が $X : Y : Z = 0 : 1 : 0$ 、つまり、金属酸化物が元素Yを有し、かつ元素X及び元素Zのいずれも有さないことを示している。点Zは座標が $(0 : 0 : 1)$ であり、元素X、元素Y及び元素Zの原子数比が $X : Y : Z = 0 : 0 : 1$ 、つまり、金属酸化物が元素Zを有し、かつ元素X及び元素Yのいずれも有さないことを示している。

【0046】

なお、本明細書等において、元素X、元素Y及び元素Zの原子数比を $X : Y : Z$ と記す場合がある。また、元素X及び元素Yの合計の原子数と、元素Zの原子数の比を $(X + Y) : Z$ と記す場合がある。各元素の他の組み合わせについても同様に記す場合がある。

【0047】

図3Aには、線 LN_x 、線 LN_y 及び線 LN_z を示している。線 LN_x は、辺YZの長さを $\gamma : \beta$ で分ける点 $D_x (0 : \beta : \gamma)$ と、点Xを結ぶ直線である。線 LN_x は、元素Yと元素Zの原子数比が $Y : Z = \beta : \gamma$ を満たす点の集合ともいえる。線 LN_y は、辺XZの長さを $\gamma : \alpha$ で分ける点 $D_y (\alpha : 0 : \gamma)$ と、点Yを結ぶ直線である。線 LN_y は、元素Xと元素Zの原子数比が $X : Z = \alpha : \gamma$ を満たす点の集合ともいえる。線 LN_z は、辺XYの長さを $\beta : \alpha$ で分ける点 $D_z (\alpha : \beta : 0)$ と、点Zを結ぶ直線である。線 LN_z は、元素Xと元素Yの原子数比が $X : Y = \alpha : \beta$ を満たす点の集合ともいえる。また、線 LN_x 、線 LN_y 及び線 LN_z は、いずれも座標点W ($\alpha : \beta : \gamma$) と交わる。

【0048】

なお、本明細書等において、「点Aと点Bを結ぶ直線」は「点Aと点Bを結ぶ線分」と置き換えることができる。

【0049】

ここで、座標点W ($\alpha : \beta : \gamma$) は、線 LN_x と線 LN_y の交点であるとも言える。また、座標点W ($\alpha : \beta : \gamma$) は、線 LN_y と線 LN_z の交点であるとも言える。また、座標点W ($\alpha : \beta : \gamma$) は、線 LN_x と線 LN_z の交点であるとも言える。

【0050】

なお、辺XYは、元素X及び元素Yの合計の原子数と、元素Zの原子数の比が $(X + Y) : Z = 1 : 0$ を満たす点の集合である。つまり、辺XYは、金属酸化物が元素Xまたは元素Yのいずれか一以上を有し、かつ元素Zを有さないことを示している。辺YZは、元素Xと、元素Y及び元素Zの合計の原子数比が $X : (Y + Z) = 0 : 1$ を満たす点の集合である。つまり、辺YZは、金属酸化物が元素Yまたは元素Zのいずれか一以上を有し、かつ元素Xを有さないことを示している。辺XZは、元素X及び元素Zの合計と、元素Yの原子数比が $(X + Z) : Y = 1 : 0$ を満たす点の集合である。つまり、辺XZは、金属酸化物が元素Xまたは元素Zのいずれか一以上を有し、かつ元素Yを有さないことを示している。

【0051】

具体的な例として、座標点Wが $(5 : 1 : 3)$ の場合で説明する。座標点W ($5 : 1 : 3$) の場合、線分 XD_z の長さとの線分 $D_z Y$ の長さの比は $1 : 5$ となる。線分 YD_x の長さとの線分 $D_x Z$ の長さの比は $3 : 1$ となる。線分 XD_y の長さとの線分 $D_y Z$ の長さの比は $3 : 5$ となる。また、線 LN_x は、元素Yと元素Zの原子数比が $Y : Z = 1 : 3$ を満たす

10

20

30

40

50

点である。線 LN_y は、元素 X と元素 Z の原子数比が $X : Z = 5 : 3$ を満たす点の集合である。線 LN_z は、元素 X と元素 Y の原子数比が $X : Y = 5 : 1$ を満たす点の集合である。

【0052】

図3Bには、線 PE_x 、線 PE_y 及び線 PE_z を示している。線 PE_x は、座標点 $W(\alpha : \beta : \gamma)$ から辺 YZ に下ろした垂線である。線 PE_y は、座標点 $W(\alpha : \beta : \gamma)$ から辺 XZ に下ろした垂線である。線 PE_z は、座標点 $W(\alpha : \beta : \gamma)$ から辺 XY に下ろした垂線である。ここで、線 PE_x の長さ、線 PE_y の長さ、線 PE_z の長さの比は、 $\alpha : \beta : \gamma$ となる。

【0053】

具体的な例として、座標点 W が $(5 : 1 : 3)$ の場合で説明する。座標点 $W(5 : 1 : 3)$ の場合、線 PE_x の長さ、線 PE_y の長さ、線 PE_z の長さの比は、 $5 : 1 : 3$ となる。

【0054】

図4Aには、線 PA_x 、線 PA_y 及び線 PA_z を示している。線 PA_x は、辺 YZ と平行な直線であり、かつ座標点 $W(\alpha : \beta : \gamma)$ と交わる。線 PA_y は、辺 XZ と平行な直線であり、かつ座標点 $W(\alpha : \beta : \gamma)$ と交わる。線 PA_z は、辺 XY と平行な直線であり、かつ座標点 $W(\alpha : \beta : \gamma)$ と交わる。また、線 PA_x は、元素 X と、元素 Y 及び元素 Z の合計の原子数の比が $X : (Y + Z) = \alpha : (\beta + \gamma)$ を満たす点の集合ともいえる。線 PA_y は、元素 X 及び元素 Z の合計の原子数と、元素 Y の原子数の比が $(X + Z) : Y = (\alpha + \gamma) : \beta$ を満たす点の集合ともいえる。線 PA_z は、元素 X 及び元素 Y の合計の原子数と、元素 Z の原子数の比が $(X + Y) : Z = (\alpha + \beta) : \gamma$ を満たす点の集合ともいえる。

【0055】

具体的な例として、座標点 W が $(5 : 1 : 3)$ の場合で説明する。座標点 $W(5 : 1 : 3)$ の場合、線 PA_x は、元素 X の原子数と、元素 Y 及び元素 Z の合計の原子数の比が $X : (Y + Z) = 5 : 4$ を満たす点の集合である。線 PA_y は、元素 X 及び元素 Z の合計の原子数と、元素 Y の原子数の比が $(X + Z) : Y = 8 : 1$ を満たす点の集合である。線 PA_z は、元素 X 及び元素 Y の合計の原子数と、元素 Z の原子数の比が $(X + Y) : Z = 2 : 1$ を満たす点の集合である。

【0056】

以下では、トランジスタのチャネル形成領域に好適に用いることができる金属酸化物の組成について、具体的に説明する。

【0057】

〔金属酸化物の組成1〕

金属酸化物は、インジウムと、酸素とを有することが好ましい。金属酸化物は、さらに元素 M または亜鉛のいずれか一以上を有してもよい。トランジスタのチャネル形成領域に好適に用いることができる金属酸化物の組成を、図1Aに示す。金属酸化物のインジウム、元素 M 及び亜鉛の原子数比は、図1Aに示す三角図において、範囲11に含まれることが好ましい。範囲11は、座標点 $A(1 : 0 : 0)$ と、座標点 $B(2 : 1 : 0)$ と、座標点 $C(14 : 7 : 1)$ と、座標点 $D(7 : 2 : 2)$ と、座標点 $E(14 : 4 : 21)$ と、座標点 $F(2 : 0 : 3)$ と、前記座標点 A と、をこの順に直線で結ぶ多角形の内部である。なお、範囲11には、各座標点及び各辺も含む。範囲11に含まれる組成を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

【0058】

なお、元素 M として複数の元素を有する場合は、それらの元素の合計の原子数の比を、元素 M の原子数比として用いる。例えば、元素 M として、ガリウム及びスズを有する場合は、ガリウム及びスズの合計の原子数の比を、元素 M の原子数比として用いる。

【0059】

ここで、座標点 $B(2 : 1 : 0)$ は、 $(In + M) : Zn = 1 : 0$ を満たす点の集合で

10

20

30

40

50

ある線 L_1 と、 $I_n : M = 2 : 1$ を満たす点の集合である線 L_2 の交点である。座標点 C ($14 : 7 : 1$) は、前述の線 L_2 と、 $I_n : (M + Z_n) = 7 : 4$ を満たす点の集合である線 L_3 の交点である。また、座標点 C は、前述の線 L_2 と、 $I_n : Z_n = 14 : 1$ を満たす点の集合である線 L_4 の交点でもある。座標点 D ($7 : 2 : 2$) は、前述の線 L_3 と、 $I_n : Z_n = 7 : 2$ を満たす点の集合である線 L_5 の交点である。また、座標点 D は、前述の線 L_3 と、 $I_n : M = 7 : 2$ を満たす点の集合である線 L_6 の交点でもある。座標点 E ($14 : 4 : 21$) は、前述の線 L_6 と、 $I_n : Z_n = 2 : 3$ を満たす点の集合である線 L_7 の交点である。座標点 F ($2 : 0 : 3$) は、前述の線 L_7 と、 $(I_n + Z_n) : M = 1 : 0$ を満たす点の集合である線 L_8 の交点である。

【0060】

なお、本明細書等において、インジウム、元素 M 及び亜鉛の原子数の比を $I_n : M : Z_n$ と記す場合がある。また、インジウム及び元素 M の合計の原子数と、亜鉛の原子数の比を $(I_n + M) : Z_n$ と記す場合がある。各元素の他の組み合わせについても同様である。

【0061】

辺 AB は前述の線 L_1 上にあり、辺 BC は前述の線 L_2 上にあり、辺 CD は前述の線 L_3 上にあり、辺 DE は前述の線 L_6 上にあり、辺 EF は前述の線 L_7 上にあり、辺 FA は前述の線 L_8 上にある。つまり、範囲 11 は、線 L_1 、線 L_2 、線 L_3 、線 L_6 、線 L_7 、及び線 L_8 に囲われた多角形の内部であるともいえる。

【0062】

金属酸化物の組成は、範囲 11 に示すように、線 L_2 である $I_n : M = 2 : 1$ を満たす、または $I_n : M = 2 : 1$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、元素 M の原子数に対するインジウム原子数の比 I_n / M が、2 以上であることが好ましい。インジウム含有率が高い金属酸化物はキャリア移動度（電子移動度）が高く、インジウム含有率の高い金属酸化物をチャネル形成領域に用いたトランジスタは、電界効果移動度が高く、大きな電流を流すことができる。

【0063】

ただし、元素 M の含有率が高いと欠陥準位が増加し、信頼性試験でのしきい値電圧の変動量が大きくなってしまう場合がある。トランジスタの信頼性を評価する指標の 1 つとして、ゲートに電界を印加した状態で保持する、GBT (Gate Bias Temperature) ストレス試験がある。その中でも、ソース電位及びドレイン電位に対して、ゲートに正の電位を与えた状態で、高温下で保持する試験を PBTS (Positive Bias Temperature Stress) 試験、ゲートに負の電位を与えた状態で、高温下で保持する試験を NBTS (Negative Bias Temperature Stress) 試験と呼ぶ。また、白色 LED 光などの光を照射した状態で行う PBTS 試験及び NBTS 試験を、それぞれ PBTIS (Positive Bias Temperature Illumination Stress) 試験、NBTTIS (Negative Bias Temperature Illumination Stress) 試験と呼ぶ。

【0064】

特に、金属酸化物を用いた n 型のトランジスタにおいては、トランジスタがオン状態（電流が流れている状態）ではゲートに正の電位が与えられる。したがって、PBTS 試験でのしきい値電圧の変動量が、トランジスタの信頼性の指標として着目すべき重要な項目の 1 つとなる。

【0065】

ここで、元素 M を含まない、または元素 M の含有率の低い金属酸化物を用いることで、PBTS 試験でのしきい値電圧の変動量を小さくすることができる。また、元素 M を含む場合には、金属酸化物の組成として、インジウム含有率よりも、元素 M の含有率を小さくすることが好ましい。さらに、元素 M の原子数に対するインジウム原子数の比 I_n / M が、2 以上であることが好ましい。これにより、信頼性の高いトランジスタを実現することができる。

10

20

30

40

50

【0066】

P B T S 試験でのしきい値電圧の変動の1つの要因として、半導体層とゲート絶縁層の界面、または界面近傍における欠陥準位が挙げられる。欠陥準位密度が大きいほど、P B T S 試験での劣化が顕著になる。しかしながら、半導体層のゲート絶縁層と接する部分における元素Mの含有率を小さくすることで、当該欠陥準位の生成を抑制することができる。

【0067】

元素Mを含まない、または元素Mの含有率を小さくすることでP B T S 劣化を抑制できる理由として、例えば以下のようなことが考えられる。半導体層に含まれる元素Mは、他の金属元素（例えばインジウムや亜鉛）と比較して、酸素を誘引しやすい性質を有する。そのため、元素Mを多く含む金属酸化物膜と、酸化物を含む絶縁層との界面において、元素Mが絶縁層中の余剰酸素と結合することで、キャリア（ここでは電子）トラップサイトを生じさせやすくなることが推察される。そのため、ゲートに正の電位が与えられた状態において、半導体層とゲート絶縁層との界面にキャリアがトラップされることで、しきい値電圧が変動することが考えられる。

【0068】

したがって、元素Mの原子数に対するインジウム原子数の比 $I n / M$ が2以上の金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより欠陥準位の生成を抑制でき、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

【0069】

金属酸化物の組成は、範囲11に示すように、線L3である $I n : (M + Z n) = 7 : 4$ を満たす、または $I n : (M + Z n) = 7 : 4$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、元素Mと亜鉛の合計の原子数に対するインジウム原子数の比 $I n / (M + Z n)$ が、 $7 / 4$ 以上であることが好ましい。インジウム含有率が高い金属酸化物はキャリア移動度（電子移動度）が高く、インジウム含有率の高い金属酸化物をチャネル形成領域に用いたトランジスタは、電界効果移動度が高く、大きな電流を流すことができる。したがって、前述の範囲の原子数比を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

【0070】

金属酸化物の組成は、範囲11に示すように、線L6である $I n : M = 7 : 2$ を満たす、または $I n : M = 7 : 2$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、元素Mの原子数に対するインジウムの原子数の比 $I n / M$ が、 $7 / 2$ 以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより欠陥準位の生成を抑制でき、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

【0071】

金属酸化物の組成は、範囲11に示すように、線L7である $I n : Z n = 2 : 3$ を満たす、または $I n : Z n = 2 : 3$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、亜鉛原子数に対するインジウム原子数の比 $I n / Z n$ が、 $2 / 3$ 以上であることが好ましい。亜鉛含有率が高いと、金属酸化物が多結晶になる場合がある。多結晶が有する結晶粒界は欠陥準位となり、キャリアトラップやキャリア発生源となることから、多結晶の金属酸化物を用いたトランジスタは電気特性の変動が大きく、信頼性が低くなってしまう場合がある。したがって、前述の範囲の原子数比とすることで金属酸化物が多結晶になることを抑制できる。また、当該金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高いトランジスタとすることができる。

【0072】

金属酸化物として、範囲11に含まれる組成を有する $I n - M - Z n$ 酸化物を用いることができる。 $I n - M - Z n$ 酸化物として、例えば、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 1$ 、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 2$ 、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 3$ 、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 4$ 、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 5$ 、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 6$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 1$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 2$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 3$ 、 $I n : M : Z n$

10

20

30

40

50

$=10:1:4$ 、 $In:M:Zn=10:1:5$ 、 $In:M:Zn=10:1:6$ 、 $In:M:Zn=10:1:7$ 、 $In:M:Zn=10:1:8$ 、 $In:M:Zn=10:1:10$ 、 $In:M:Zn=10:1:12$ 、 $In:M:Zn=10:1:15$ 、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。また、金属酸化物として、酸化インジウムを用いることができる。また、金属酸化物として、 $In-M$ 酸化物を用いることができる。 $In-M$ 酸化物として、例えば、 $In:M=2:1$ 、 $In:M=7:2$ 、 $In:M=5:1$ 、 $In:M=7:1$ 、 $In:M=10:1$ 、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。また、金属酸化物として、 $In-Zn$ 酸化物を用いることができる。 $In-Zn$ 酸化物として、例えば、 $In:Zn=2:3$ 、 $In:Zn=3:2$ 、 $In:Zn=7:2$ 、 $In:Zn=4:1$ 、 $In:Zn=11:2$ 、 $In:Zn=7:1$ 、 $In:Zn=14:1$ 、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。

10

【0073】

金属酸化物の組成の分析手法として、例えば、エネルギー分散型X線分光法（EDX：Energy Dispersive X-ray spectroscopy）、X線光電子分光法（XPS：X-ray Photoelectron Spectroscopy）、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS：Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry）、誘導結合プラズマ発光分光法（ICP-AES：Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy）などを用いることができる。なお、含有率が低い元素は、分析精度の影響により、実際の含有率と分析によって得られた含有率が異なる場合がある。例えば、元素Mの含有率が低い場合、分析によって得られた元素Mの含有率が、実際の含有率より低くなる場合がある。

20

【0074】

なお、金属酸化物をスパッタリング法で形成する場合、ターゲットの原子数比と、当該金属酸化物の原子数比が異なる場合がある。特に、亜鉛は、ターゲットの原子数比よりも金属酸化物の原子数比が小さくなる場合がある。具体的には、ターゲットに含まれる亜鉛の原子数比の40%以上90%以下程度となる場合がある。ここで、用いるターゲットは多結晶であることが好ましい。

【0075】

〔金属酸化物の組成2〕

金属酸化物は、元素Mまたは亜鉛のいずれか一以上と、インジウムと、酸素とを有することが好ましい。トランジスタのチャネル形成領域に好適に用いることができる金属酸化物の組成を、図1Bに示す。金属酸化物のインジウム、元素M及び亜鉛の原子数比は、図1Bに示す三角図において、範囲13に含まれることが好ましい。範囲13は、座標点G（7：1：0）と、座標点B（2：1：0）と、座標点C（14：7：1）と、座標点D（7：2：2）と、座標点E（14：4：21）と、座標点F（2：0：3）と、座標点H（7：0：1）と、前記座標点Gと、をこの順に直線で結ぶ多角形の内部である。なお、範囲13には、各座標点及び各辺も含む。範囲13に含まれる組成を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

30

40

【0076】

ここで、座標点G（7：1：0）は、 $(In+M):Zn=1:0$ を満たす点の集合である線L1と、 $In:(M+Zn)=7:1$ を満たす点の集合である線L9の交点である。座標点H（7：0：1）は、前述の線L9と、 $(In+Zn):M=1:0$ を満たす点の集合である線L8の交点である。座標点B乃至座標点Fについては、前述の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

【0077】

辺GBは前述の線L1上にあり、辺BCは前述の線L2上にあり、辺CDは前述の線L3上にあり、辺DEは前述の線L6上にあり、辺EFは前述の線L7上にあり、辺FHは前述の線L8上にあり、辺HGは前述の線L9上にある。つまり、範囲13は、線L1、

50

線 L 2、線 L 3、線 L 6、線 L 7、線 L 8 及び線 L 9 に囲われた多角形の内部であるともいえる。

【0078】

金属酸化物の組成は、範囲 13 に示すように、線 L 9 である $I_n : (M + Z_n) = 7 : 1$ を満たす、または $I_n : (M + Z_n) = 7 : 1$ より I_n 含有率が低いことが好ましい。つまり、元素 M と亜鉛の合計の原子数に対するインジウム原子数の比 $I_n / (M + Z_n)$ が、7 以下であることが好ましい。インジウム含有率が高いと、金属酸化物がビックスバイト型の結晶構造となる場合がある。または、金属酸化物がビックスバイト型の結晶構造と層状の結晶構造が共存する結晶構造となる場合がある。複数の結晶構造が共存する場合、異なる結晶構造の間において結晶粒界が形成される場合がある。結晶粒界は欠陥準位となり、キャリアトラップやキャリア発生源となることから、結晶粒界を有する金属酸化物を用いたトランジスタは電気特性の変動が大きく、信頼性が低くなってしまう場合がある。したがって、前述の範囲の原子数比とすることで金属酸化物がビックスバイト型の結晶構造を有することが抑制され、層状の結晶構造を有しやすくなる。また、当該金属酸化物をチャンネル形成領域に用いることにより、信頼性が高いトランジスタとすることができる。

10

【0079】

金属酸化物の組成は、範囲 13 に示すように、線 L 2 である $I_n : M = 2 : 1$ を満たす、または $I_n : M = 2 : 1$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、元素 M の原子数に対するインジウム原子数の比 I_n / M が、2 以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比を有する金属酸化物をチャンネル形成領域に用いることにより欠陥準位の生成を抑制でき、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

20

【0080】

金属酸化物の組成は、範囲 13 に示すように、線 L 3 である $I_n : (M + Z_n) = 7 : 4$ を満たす、または $I_n : (M + Z_n) = 7 : 4$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、元素 M と亜鉛の合計の原子数に対するインジウム原子数の比 $I_n / (M + Z_n)$ が、 $7/4$ 以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比を有する金属酸化物をチャンネル形成領域に用いることにより電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

【0081】

金属酸化物の組成は、範囲 13 に示すように、線 L 6 である $I_n : M = 7 : 2$ を満たす、または $I_n : M = 7 : 2$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、元素 M の原子数に対するインジウムの原子数の比 I_n / M が、 $7/2$ 以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比を有する金属酸化物をチャンネル形成領域に用いることにより欠陥準位の生成を抑制でき、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

30

【0082】

金属酸化物の組成は、範囲 13 に示すように、線 L 7 である $I_n : Z_n = 2 : 3$ を満たす、または $I_n : Z_n = 2 : 3$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、亜鉛原子数に対するインジウム原子数の比 I_n / Z_n が、 $2/3$ 以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比とすることで金属酸化物が多結晶になることを抑制できる。また、当該金属酸化物をチャンネル形成領域に用いることにより、信頼性が高いトランジスタとすることができる。

40

【0083】

金属酸化物として、範囲 13 に含まれる組成を有する $I_n - M - Z_n$ 酸化物を用いることができる。 $I_n - M - Z_n$ 酸化物として、例えば、 $I_n : M : Z_n = 5 : 1 : 1$ 、 $I_n : M : Z_n = 5 : 1 : 2$ 、 $I_n : M : Z_n = 5 : 1 : 3$ 、 $I_n : M : Z_n = 5 : 1 : 4$ 、 $I_n : M : Z_n = 5 : 1 : 5$ 、 $I_n : M : Z_n = 5 : 1 : 6$ 、 $I_n : M : Z_n = 10 : 1 : 1$ 、 $I_n : M : Z_n = 10 : 1 : 2$ 、 $I_n : M : Z_n = 10 : 1 : 3$ 、 $I_n : M : Z_n = 10 : 1 : 4$ 、 $I_n : M : Z_n = 10 : 1 : 5$ 、 $I_n : M : Z_n = 10 : 1 : 6$ 、 I_n

50

： $M : Zn = 10 : 1 : 7$ 、 $In : M : Zn = 10 : 1 : 8$ 、 $In : M : Zn = 10 : 1 : 10$ 、 $In : M : Zn = 10 : 1 : 12$ 、 $In : M : Zn = 10 : 1 : 15$ 、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。また、金属酸化物として、 $In-M$ 酸化物を用いることができる。 $In-M$ 酸化物として、例えば、 $In : M = 2 : 1$ 、 $In : M = 7 : 2$ 、 $In : M = 5 : 1$ 、 $In : M = 7 : 1$ 、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。また、金属酸化物として、 $In-Zn$ 酸化物を用いることができる。 $In-Zn$ 酸化物として、例えば、 $In : Zn = 2 : 3$ 、 $In : Zn = 3 : 2$ 、 $In : Zn = 7 : 2$ 、 $In : Zn = 4 : 1$ 、 $In : Zn = 11 : 2$ 、 $In : Zn = 7 : 1$ 、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。

【0084】

〔金属酸化物の組成3〕

金属酸化物は、インジウムと、亜鉛と、酸素とを有することが好ましい。金属酸化物は、さらに元素Mを有してもよい。トランジスタのチャネル形成領域に好適に用いることができる金属酸化物の組成を、図2Aに示す。金属酸化物のインジウム、元素M及び亜鉛の原子数比は、図2Aに示す三角図において、範囲15に含まれることが好ましい。範囲15は、座標点I（44：11：10）と、座標点J（4：1：6）と、座標点F（2：0：3）と、座標点K（11：0：2）と、前記座標点Iと、をこの順に直線で結ぶ多角形の内部である。なお、範囲15には、各座標点及び各辺も含む。範囲15に含まれる組成を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

【0085】

ここで、座標点I（44：11：10）は、 $In : M = 4 : 1$ を満たす点の集合である線L10と、 $(In + M) : Zn = 11 : 2$ を満たす点の集合である線L11の交点である。座標点J（4：1：6）は、前述の線L7と、前述の線L10の交点である。座標点K（11：0：2）は、前述の線L11と、前述の線L8の交点である。座標点Fについては、前述の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

【0086】

辺IJは前述の線L10上にあり、辺JFは前述の線L7上にあり、辺FKは前述の線L8上にあり、辺KIは前述の線L11上にある。つまり、範囲15は、線L10、線L7、線L8及び線L11に囲われた多角形の内部であるともいえる。

【0087】

金属酸化物の組成は、範囲15に示すように、線L10である $In : M = 4 : 1$ を満たす、または $In : M = 4 : 1$ よりIn含有率が高いことが好ましい。つまり、元素Mの原子数に対するインジウム原子数の比 In / M が、4以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより欠陥準位の生成を抑制でき、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

【0088】

金属酸化物の組成は、範囲15に示すように、線L7である $In : Zn = 2 : 3$ を満たす、または $In : Zn = 2 : 3$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、亜鉛原子数に対するインジウム原子数の比 In / Zn が、 $2 / 3$ 以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比とすることで金属酸化物が多結晶になることを抑制できる。また、当該金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高いトランジスタとすることができる。

【0089】

金属酸化物の組成は、範囲15に示すように、線L11である $(In + M) : Zn = 11 : 2$ を満たす、または $(In + M) : Zn = 11 : 2$ より亜鉛含有率が高いことが好ましい。つまり、亜鉛原子数に対するインジウムと元素Mの合計の原子数の比 $(In + M) / Zn$ が、 $11 / 2$ 以下であることが好ましい。金属酸化物は亜鉛を有することにより、層状の結晶構造を有する傾向がある。また、亜鉛含有率が高いほど、結晶性の高い金属酸化物となる。

10

20

30

40

50

【0090】

金属酸化物として、範囲15に含まれる組成を有するIn-M-Zn酸化物を用いることができる。In-M-Zn酸化物として、例えば、In:M:Zn=5:1:2、In:M:Zn=5:1:3、In:M:Zn=5:1:4、In:M:Zn=5:1:5、In:M:Zn=5:1:6、In:M:Zn=10:1:2、In:M:Zn=10:1:3、In:M:Zn=10:1:4、In:M:Zn=10:1:5、In:M:Zn=10:1:6、In:M:Zn=10:1:7、In:M:Zn=10:1:8、In:M:Zn=10:1:10、In:M:Zn=10:1:12、In:M:Zn=10:1:15、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。また、金属酸化物として、In-Zn酸化物を用いることができる。In-Zn酸化物として、例えば、In:Zn=2:3、In:Zn=3:2、In:Zn=7:2、In:Zn=4:1、In:Zn=11:2、In:Zn=7:1、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。

10

【0091】

金属酸化物は前述の範囲の組成を有し、かつCAAC-OS (c-axis Aligned Crystalline Oxide Semiconductor)、nc-OS (nanocrystalline oxide semiconductor)、またはCAC-OS (Cloud-Aligned Composite Oxide Semiconductor)であることが好ましい。

【0092】

ここで、トランジスタに用いることができる金属酸化物であるCAC-OS、及びCAAC-OSについて説明する。

20

【0093】

〔金属酸化物の構成〕

CAC-OSとは、材料の一部では導電性の機能と、材料の一部では絶縁性の機能とを有し、材料の全体では半導体としての機能を有する。なお、CAC-OS又はCAC-metal oxideを、トランジスタの活性層に用いる場合、導電性の機能は、キャリアとなる電子（又はホール）を流す機能であり、絶縁性の機能は、キャリアとなる電子を流さない機能である。導電性の機能と、絶縁性の機能とを、それぞれ相補的に作用させることで、スイッチングさせる機能（On/Offさせる機能）をCAC-OS又はCAC-metal oxideに付与することができる。CAC-OS又はCAC-metal oxideにおいて、それぞれの機能を分離させることで、双方の機能を最大限に高めることができる。

30

【0094】

CAC-OS又はCAC-metal oxideは、導電性領域、及び絶縁性領域を有する。導電性領域は、上述の導電性の機能を有し、絶縁性領域は、上述の絶縁性の機能を有する。また、材料中において、導電性領域と、絶縁性領域とは、ナノ粒子レベルで分離している場合がある。また、導電性領域と、絶縁性領域とは、それぞれ材料中に偏在する場合がある。また、導電性領域は、周辺がぼけてクラウド状に連結して観察される場合がある。

【0095】

CAC-OS又はCAC-metal oxideにおいて、導電性領域と、絶縁性領域とは、それぞれ0.5nm以上10nm以下、好ましくは0.5nm以上3nm以下のサイズで材料中に分散している場合がある。

40

【0096】

CAC-OS又はCAC-metal oxideは、異なるバンドギャップを有する成分により構成される。例えば、CAC-OS又はCAC-metal oxideは、絶縁性領域に起因するワイドギャップを有する成分と、導電性領域に起因するナローギャップを有する成分と、により構成される。当該構成の場合、キャリアを流す際に、ナローギャップを有する成分において、主にキャリアが流れる。また、ナローギャップを有する成分が、ワイドギャップを有する成分に相補的に作用し、ナローギャップを有する成分に

50

連動してワイドギャップを有する成分にもキャリアが流れる。このため、上記CAC-O-S又はCAC-metal oxideをトランジスタのチャネル形成領域に用いる場合、トランジスタのオン状態において高い電流駆動力、つまり大きなオン電流、及び高い電界効果移動度を得ることができる。

【0097】

すなわち、CAC-O-S又はCAC-metal oxideは、マトリックス複合材(matrix composite)、又は金属マトリックス複合材(metal matrix composite)と呼称することもできる。

【0098】

〔金属酸化物の構造〕

酸化物半導体は、単結晶酸化物半導体と、それ以外の非単結晶酸化物半導体と、に分けられる。非単結晶酸化物半導体として、例えば、CAAC-O-S、多結晶酸化物半導体、nc-O-S、擬似非晶質酸化物半導体(a-like OS: amorphous-like oxide semiconductor)及び非晶質酸化物半導体などがある。

【0099】

酸化物半導体は、結晶構造に着目した場合、上記とは異なる分類となる場合がある。ここで、酸化物半導体における、結晶構造の分類について、図5Aを用いて説明を行う。図5Aは、酸化物半導体、代表的にはIGZO(Inと、Gaと、Znと、を含む金属酸化物)の結晶構造の分類を説明する図である。

【0100】

図5Aに示すように、IGZOは、大きく分けてAmorphousと、Crystallineと、Crystalと、に分類される。また、Amorphousの中には、completely amorphousが含まれる。また、Crystallineの中には、CAAC(c-axis aligned crystalline)、nc(nanocrystalline)、及びCAC(Cloud-Aligned Composite)が含まれる。なお、Crystallineの分類には、後述するsingle crystal、及びpoly crystalは除かれる。また、Crystalの中には、single crystal、及びpoly crystalが含まれる。

【0101】

なお、図5Aに示す太枠内の構造は、New crystalline phaseに属する構造である。当該構造は、Amorphousと、Crystalとの間の境界領域にある。すなわち、エネルギー的に不安定なAmorphousと、Crystallineとは全く異なる構造と言い換えることができる。

【0102】

なお、膜または基板の結晶構造は、X線回折(XRD:X-Ray Diffraction)パターンを用いて評価することができる。ここで、石英ガラス、及びCrystallineに分類される結晶構造を有するIGZO(結晶性IGZOともいう。)のXRDスペクトルを図5B、及び図5Cに示す。また、図5Bが石英ガラス、図5Cが結晶性IGZOのXRDスペクトルである。なお、図5Cに示す結晶性IGZOの組成は、In:Ga:Zn=4:2:3[原子数比]である。また、図5Cに示す結晶性IGZOの厚さは、500nmである。

【0103】

図5Bの矢印に示すように、石英ガラスは、XRDスペクトルのピークがほぼ左右対称である。一方で、図5Cの矢印に示すように、結晶性IGZOは、XRDスペクトルのピークが左右非対称である。XRDスペクトルのピークが左右非対称であることは、結晶の存在を明示している。別言すると、XRDスペクトルのピークで左右対称でないと、Amorphousであるとは言えない。なお、図5Cには、 $2\theta=31^\circ$ 、またはその近傍に微結晶(nanocrystal)を明記してある。XRDスペクトルのピークにおいて、左右非対称となる由来は当該微結晶に起因すると推定される。

【0104】

10

20

30

40

50

具体的には、図5Cに示すように、結晶性IGZOはXRDスペクトルにおいて、 $2\theta = 34^\circ$ またはその近傍にピークを有する。また、微結晶は、 $2\theta = 31^\circ$ またはその近傍にピークを有する。X線回折パターンを用いて酸化物半導体膜を評価する場合、図5Cに示すように、 $2\theta = 34^\circ$ またはその近傍のピークよりも低角度側のスペクトルの幅が広がる。これは、酸化物半導体膜中に、 $2\theta = 31^\circ$ またはその近傍にピークを有する微結晶が内在することを示唆している。

【0105】

CAAC-OSは、c軸配向性を有し、かつa-b面方向において複数のナノ結晶が連結し、歪みを有した結晶構造となっている。なお、歪みとは、複数のナノ結晶が連結する領域において、格子配列の揃った領域と、別の格子配列の揃った領域と、の間で格子配列の向きが変化している箇所を指す。

【0106】

ナノ結晶は、六角形を基本とするが、正六角形状とは限らず、非正六角形状である場合がある。また、歪みにおいて、五角形、及び七角形などの格子配列を有する場合がある。なお、CAAC-OSにおいて、歪み近傍においても、明確な結晶粒界（グレインバウンダリーともいう）を確認することはできない。即ち、格子配列の歪みによって、結晶粒界の形成が抑制されていることがわかる。これは、CAAC-OSが、a-b面方向において酸素原子の配列が稠密でないことや、金属元素が置換することで原子間の結合距離が変化することなどによって、歪みを許容することができるためと考えられる。

【0107】

なお、明確な結晶粒界（グレインバウンダリー）が確認される結晶構造は、いわゆる多結晶（polycrystal）と呼ばれる。結晶粒界は、再結合中心となり、キャリアが捕獲されトランジスタのオン電流の低下、または電界効果移動度の低下を引き起こす可能性が高い。よって、明確な結晶粒界が確認されないCAAC-OSは、トランジスタの半導体層に好適な結晶構造を有する結晶性の酸化物の一つである。なお、CAAC-OSを構成するには、Znを有する構成が好ましい。例えば、In-Zn酸化物、及びIn-Ga-Zn酸化物は、In酸化物よりも結晶粒界の発生を抑制できるため好適である。

【0108】

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

【0109】

CAAC-OSは結晶性の高い酸化物半導体である。一方、CAAC-OSは、明確な結晶粒界を確認することはできないため、結晶粒界に起因する電子移動度の低下が起こりにくいといえる。また、酸化物半導体の結晶性は不純物の混入や欠陥の生成などによって低下する場合があるため、CAAC-OSは不純物や欠陥（酸素欠損など）の少ない酸化物半導体ともいえる。従って、CAAC-OSを有する酸化物半導体は、物理的性質が安定する。そのため、CAAC-OSを有する酸化物半導体は熱に強く、信頼性が高い。また、CAAC-OSは、製造工程における高い温度（所謂サーマルバジェット）に対しても安定である。したがって、OSTランジスタにCAAC-OSを用いると、製造工程の自由度を広げることが可能となる。

【0110】

nc-OSは、微小な領域（例えば、1nm以上10nm以下の領域、特に1nm以上3nm以下の領域）において原子配列に周期性を有する。また、nc-OSは、異なるナノ結晶間で結晶方位に規則性が見られない。そのため、膜全体で配向性が見られない。したがって、nc-OSは、分析方法によっては、a-like OSや非晶質酸化物半導体と区別が付かない場合がある。

10

20

30

40

50

【0111】

a-like OSは、nc-OSと非晶質酸化物半導体との間の構造を有する酸化物半導体である。a-like OSは、鬆又は低密度領域を有する。即ち、a-like OSは、nc-OS及びCAAC-OSと比べて、結晶性が低い。

【0112】

酸化物半導体は、多様な構造をとり、それぞれが異なる特性を有する。本発明の一態様の酸化物半導体は、非晶質酸化物半導体、多結晶酸化物半導体、a-like OS、nc-OS、CAAC-OSのうち、二種以上を有していてもよい。

【0113】

〔酸化物半導体を有するトランジスタ〕

続いて、上記酸化物半導体をトランジスタに用いる場合について説明する。

【0114】

上記酸化物半導体をトランジスタに用いることで、高い電界効果移動度のトランジスタを実現することができる。また、信頼性の高いトランジスタを実現することができる。

【0115】

トランジスタには、キャリア濃度の低い酸化物半導体を用いることが好ましい。酸化物半導体膜のキャリア濃度を低くする場合においては、酸化物半導体膜中の不純物濃度を低くし、欠陥準位密度を低くすればよい。本明細書等において、不純物濃度が低く、欠陥準位密度の低いことを高純度真性又は実質的に高純度真性と言う。

【0116】

高純度真性又は実質的に高純度真性である酸化物半導体膜は、欠陥準位密度が低いため、トラップ準位密度も低くなる場合がある。

【0117】

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

【0118】

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

【0119】

〔不純物〕

ここで、酸化物半導体中における各不純物の影響について説明する。

【0120】

酸化物半導体において、第14族元素の一つであるシリコンや炭素が含まれると、酸化物半導体において欠陥準位が形成される。このため、酸化物半導体におけるシリコンや炭素の濃度と、酸化物半導体との界面近傍のシリコンや炭素の濃度（二次イオン質量分析法（SIMS：Secondary Ion Mass Spectrometry）により得られる濃度）を、 $2 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とする。

【0121】

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

10

20

30

40

50

【0122】

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

【0123】

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

10

【0124】

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

20

【0125】

〔金属酸化物の組成4〕

金属酸化物は、インジウムと、亜鉛と、酸素とを有することが好ましい。金属酸化物は、さらに元素Mを有してもよい。トランジスタのチャネル形成領域に好適に用いることができる金属酸化物の組成を、図2Bに示す。金属酸化物のインジウム、元素M及び亜鉛の原子数比は、図2Bに示す三角図において、範囲17に含まれることが好ましい。範囲17は、座標点I(44:11:10)と、座標点L(4:1:4)と、座標点M(1:0:1)と、座標点K(11:0:2)と、前記座標点Iと、をこの順に直線で結ぶ多角形の内部である。なお、範囲17には、各座標点及び各辺も含む。範囲17に含まれる組成を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

30

【0126】

ここで、座標点L(4:1:4)は、前述の線L10と、 $I n : Z n = 1 : 1$ を満たす点の集合である線L12の交点である。座標点M(1:0:1)は、前述の線L12と、前述の線L8の交点である。座標点I及び座標点Kについては、前述の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

【0127】

辺ILは前述の線L10上にあり、辺LMは前述の線L12上にあり、辺MKは前述の線L8上にあり、辺KIは前述の線L11にある。つまり、範囲17は、線L10、線L12、線L8及び線L11に囲われた多角形の内部であるともいえる。

40

【0128】

金属酸化物の組成は、範囲17に示すように、線L10である $I n : M = 4 : 1$ を満たす、または $I n : M = 4 : 1$ より $I n$ 含有率が高いことが好ましい。つまり、元素Mの原子数に対するインジウム原子数の比 $I n / M$ が、4以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比を有する金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより欠陥準位の生成を抑制でき、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

【0129】

金属酸化物の組成は、範囲17に示すように、線L12である $I n : Z n = 1 : 1$ を満たす、または $I n : Z n = 1 : 1$ よりインジウム含有率が高いことが好ましい。つまり、

50

亜鉛原子数に対するインジウム原子数の比 $I n / Z n$ が、1 以上であることが好ましい。前述の範囲の原子数比とすることで金属酸化物が多結晶になることを抑制できる。金属酸化物が多結晶になりづらいことから、金属酸化物の形成条件のマージンを広げることができる。また、当該金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高いトランジスタとすることができる。

【0130】

金属酸化物の組成は、範囲 17 に示すように、線 L 11 である $(I n + M) : Z n = 11 : 2$ を満たす、または $(I n + M) : Z n = 11 : 2$ より亜鉛含有率が高いことが好ましい。つまり、亜鉛原子数に対するインジウムと元素 M の合計の原子数の比 $(I n + M) / Z n$ が、 $11 / 2$ 以下であることが好ましい。前述の範囲の原子数を有する金属酸化物は高い結晶性を有する。また、当該金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高いトランジスタとすることができる。

【0131】

金属酸化物として、範囲 17 に含まれる組成を有する $I n - M - Z n$ 酸化物を用いることができる。 $I n - M - Z n$ 酸化物として、例えば、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 2$ 、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 3$ 、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 4$ 、 $I n : M : Z n = 5 : 1 : 5$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 2$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 3$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 4$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 5$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 6$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 7$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 8$ 、 $I n : M : Z n = 10 : 1 : 10$ 、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。また、金属酸化物として、 $I n - Z n$ 酸化物を用いることができる。 $I n - Z n$ 酸化物として、例えば、 $I n : Z n = 2 : 3$ 、 $I n : Z n = 3 : 2$ 、 $I n : Z n = 7 : 2$ 、 $I n : Z n = 4 : 1$ 、 $I n : Z n = 11 : 2$ 、 $I n : Z n = 7 : 1$ 、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。

【0132】

本実施の形態で例示した構成例、及びそれらに対応する図面等は、少なくともその一部を他の構成例、または図面等と適宜組み合わせて実施することができる。

【0133】

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する他の実施の形態と適宜組み合わせて実施することができる。

【0134】

(実施の形態 2)

本実施の形態では、実施の形態 1 に示した金属酸化物を適用した半導体装置の構成例について、説明する。本実施の形態では、半導体装置の一例としてチャネルが形成される半導体層に金属酸化物を用いたトランジスタについて説明する。以下では、トランジスタを例に挙げて説明する。

【0135】

<構成例 1>

〔構成例 1-1〕

図 6A に、トランジスタ 10 のチャネル長方向の断面概略図を示している。

【0136】

トランジスタ 10 は、絶縁層 103 と、半導体層 108 と、絶縁層 110 と、金属酸化物層 114 と、導電層 112 を有する。絶縁層 110 は、ゲート絶縁層として機能する。導電層 112 は、ゲート電極として機能する。

【0137】

導電層 112 として、金属または合金を含む導電膜を用いると、電気抵抗を低くすることができるため好ましい。なお、導電層 112 に、酸化物を含む導電膜を用いてもよい。

【0138】

金属酸化物層 114 は、絶縁層 110 中に酸素を供給する機能を有する。また、導電層 112 として酸化されやすい金属または合金を含む導電膜を用いた場合には、金属酸化物層 114 は、絶縁層 110 中の酸素により導電層 112 が酸化されることを防ぐバリア層

として機能させることもできる。なお、金属酸化物層 114 を導電層 112 の形成前に除去することで、導電層 112 と絶縁層 110 とが接する構成としてもよい。

【0139】

絶縁層 103 は、酸化物を含む絶縁膜により形成されていることが好ましい。特に半導体層 108 と接する部分には、酸化物膜を用いることが好ましい。

【0140】

半導体層 108 は、半導体特性を示す金属酸化物（以下、酸化物半導体ともいう）を含む。半導体層 108 は、実施の形態 1 に示す組成を有する金属酸化物を用いることが好ましい。当該金属酸化物をチャネル形成領域に用いることにより、信頼性が高く、かつ電界効果移動度が高いトランジスタとすることができる。

10

【0141】

半導体層 108 の、導電層 112 と重なる領域が、チャネル形成領域として機能する。また半導体層 108 は、チャネル形成領域を挟んで、一对の低抵抗領域 108n を有することが好ましい。低抵抗領域 108n は、チャネル形成領域よりもキャリア濃度の高い領域であり、ソース領域、及びドレイン領域として機能する。

【0142】

低抵抗領域 108n は、チャネル形成領域よりも、低抵抗な領域、キャリア濃度の高い領域、酸素欠損量の多い領域、水素濃度の高い領域、または、不純物濃度の高い領域とも言うことができる。

【0143】

絶縁層 110 は、絶縁層 103 側から絶縁膜 110a、絶縁膜 110b、及び絶縁膜 110c がこの順に積層された積層構造を有する。絶縁膜 110a は、半導体層 108 のチャネル形成領域と接する領域を有する。絶縁膜 110c は、金属酸化物層 114 と接する領域を有する。絶縁膜 110b は、絶縁膜 110a と絶縁膜 110c の間に位置する。

20

【0144】

絶縁膜 110a、絶縁膜 110b、及び絶縁膜 110c は、それぞれ酸化物を含む絶縁膜であることが好ましい。このとき、絶縁膜 110a、絶縁膜 110b 及び絶縁膜 110c は、それぞれ同じ成膜装置で連続して成膜されることが好ましい。

【0145】

例えば、絶縁膜 110a、絶縁膜 110b、及び絶縁膜 110c として、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜、酸化イットリウム膜、酸化ジルコニウム膜、酸化ガリウム膜、酸化タンタル膜、酸化マグネシウム膜、酸化ランタン膜、酸化セリウム膜および酸化ネオジム膜を一種以上含む絶縁層を用いることができる。

30

【0146】

半導体層 108 と接する絶縁層 110 は、酸化物絶縁膜の積層構造を有することが好ましく、化学量論的組成よりも過剰に酸素を含有する領域を有することがより好ましい。別言すると、絶縁層 110 は、酸素を放出することが可能な絶縁膜を有する。例えば、酸素雰囲気にて絶縁層 110 を形成すること、成膜後の絶縁層 110 に対して酸素雰囲気での熱処理、プラズマ処理等を行うこと、または、絶縁層 110 上に酸素雰囲気で酸化物膜を成膜することなどにより、絶縁層 110 中に酸素を供給することもできる。

40

【0147】

例えば、絶縁膜 110a、絶縁膜 110b 及び絶縁膜 110c は、スパッタリング法、化学気相堆積（CVD: Chemical Vapor Deposition）法、真空蒸着法、パルスレーザー堆積（PLD: Pulsed Laser Deposition）法、原子層堆積（ALD: Atomic Layer Deposition）法等を用いて形成することができる。また、CVD 法として、プラズマ化学気相堆積（PECVD: Plasma Enhanced CVD）法や、熱 CVD 法などがある。

【0148】

特に、絶縁膜 110a、絶縁膜 110b 及び絶縁膜 110c は、プラズマ CVD 法によ

50

り形成することが好ましい。

【0149】

絶縁膜110aは、半導体層108上に成膜されるため、出来るだけ半導体層108にダメージを与えない条件で成膜された膜であることが好ましい。例えば、成膜速度（成膜レートともいう）が十分に低い条件で成膜することができる。

【0150】

例えば、絶縁膜110aとして、プラズマCVD法により酸化窒化シリコン膜を形成する場合、低電力の条件で形成することにより、半導体層108に与えるダメージを極めて小さくすることができる。

【0151】

酸化窒化シリコン膜の成膜に用いる成膜ガスには、例えばシラン、ジシランなどのシリコンを含む堆積性ガスと、酸素、オゾン、一酸化二窒素、二酸化窒素などの酸化性ガスと、を含む原料ガスを用いることができる。また原料ガスに加えて、アルゴンやヘリウム、窒素などの希釈ガスを含んでもよい。

【0152】

例えば、成膜ガスの全流量に対する堆積性ガスの流量の割合（以下、単に流量比ともいう）を小さくすることで、成膜速度を低くでき、緻密で欠陥の少ない膜を成膜することができる。

【0153】

絶縁膜110bは、絶縁膜110aよりも成膜速度の高い条件で成膜された膜であることが好ましい。これにより、生産性を向上させることができる。

【0154】

例えば絶縁膜110bは、絶縁膜110aよりも堆積性ガスの流量比を増やした条件とすることで、成膜速度を高めた条件で成膜することができる。

【0155】

絶縁膜110cは、その表面の欠陥が低減され、水などの大気中に含まれる不純物が吸着しにくい、極めて緻密な膜であることが好ましい。例えば、絶縁膜110aと同様に、成膜速度が十分に低い条件で成膜することができる。

【0156】

絶縁膜110cは絶縁膜110b上に成膜するため、絶縁膜110aと比較して絶縁膜110cの成膜時に半導体層108へ与える影響は小さい。そのため、絶縁膜110cは、絶縁膜110aよりも高い電力の条件で成膜することができる。堆積性ガスの流量比を減らし、比較的高い電力で成膜することで、緻密で表面の欠陥が低減された膜とすることができる。

【0157】

すなわち、成膜速度が高い方から、絶縁膜110b、絶縁膜110a、絶縁膜110cの順となるような条件で成膜された積層膜を、絶縁層110に用いることができる。また、絶縁層110は、絶縁膜110b、絶縁膜110a、絶縁膜110cの順で、ウェットエッチングまたはドライエッチングに対する同一条件下でのエッチング速度が高い。

【0158】

絶縁膜110bは、絶縁膜110a及び絶縁膜110cよりも厚く形成することが好ましい。成膜速度の最も早い絶縁膜110bを厚く形成することで、絶縁層110の成膜工程に係る時間を短縮することができる。

【0159】

ここで、絶縁膜110aと絶縁膜110bの境界、及び絶縁膜110bと絶縁膜110cの境界は不明瞭である場合があるため、図6A等では、これらの境界を破線で明示している。なお、絶縁膜110aと絶縁膜110bは、膜密度が異なるため、絶縁層110の断面における透過型電子顕微鏡（TEM：Transmission Electron Microscopy）像などにおいて、これらの境界をコントラストの違いとして観察することができる場合がある。同様に、絶縁膜110bと絶縁膜110cの境界もコント

10

20

30

40

50

ラストの違いとして観察することができる場合がある。

【0160】

半導体層108には、結晶性を有する金属酸化物膜を用いることが好ましい。例えば、後述するCAAC(c-axis aligned crystal)構造、多結晶構造、微結晶(nc)構造等を有する金属酸化物膜を用いることができる。結晶性を有する金属酸化物膜を半導体層108に用いることにより、半導体層108中の欠陥準位密度を低減でき、信頼性の高い半導体装置を実現できる。

【0161】

半導体層108として、結晶性が高いほど、膜中の欠陥準位密度を低減できる。一方、結晶性の低い金属酸化物膜を用いることで、大きな電流を流すことのできるトランジスタを実現することができる。

【0162】

半導体層108の結晶性は、例えば、X線回折(XRD)、透過型電子顕微鏡(TEM)、電子線回折(ED:Electron Diffraction)等により解析できる。

【0163】

金属酸化物膜をスパッタリング法により成膜する場合、成膜時の基板温度(ステージ温度)が高いほど、結晶性の高い金属酸化物膜を成膜することができる。また、成膜時に用いる成膜ガス全体に対する酸素ガスの流量の割合(酸素流量比ともいう)が高いほど、結晶性の高い金属酸化物膜を成膜することができる。

【0164】

〔構成例1-2〕

図6Bは、トランジスタ10Aの断面概略図である。トランジスタ10Aは、上記トランジスタ10と比較して、半導体層108の構成が異なる点で、主に相違している。

【0165】

トランジスタ10Aが有する半導体層108は、絶縁層103側から、半導体層108aと、半導体層108bとが積層された積層構造を有する。半導体層108a及び半導体層108bは、それぞれ実施の形態1に示す金属酸化物膜を用いることが好ましい。または、半導体層108a及び半導体層108bのいずれか一以上は、実施の形態1に示す金属酸化物膜を用いることが好ましい。

【0166】

なお、ここでは簡単のために、半導体層108aが有する低抵抗領域と、半導体層108bが有する低抵抗領域とを、まとめて低抵抗領域108nとし、同じハッチングパターンを付して明示している。実際には、半導体層108aと半導体層108bとで組成が異なるため、低抵抗領域108nの電気抵抗率、キャリア濃度、酸素欠損量、水素濃度、または不純物濃度等が異なる場合がある。

【0167】

半導体層108bは、半導体層108aの上面、及び絶縁膜110aの下面とそれぞれ接する。半導体層108bには、実施の形態1に示す半導体層108に用いることのできる金属酸化物膜を適用することができる。

【0168】

一方、半導体層108aは、半導体層108bよりも元素Mの原子数比の高い金属酸化物膜を用いることができる。

【0169】

元素Mはインジウムと比較して酸素との結合力が強いいため、元素Mの原子数比の高い金属酸化物膜を半導体層108aに用いることで、酸素欠損が形成されにくくなる。半導体層108a中に酸素欠損が多く存在すると、トランジスタの電気特性や信頼性の低下に繋がる。したがって、半導体層108aとして、半導体層108bよりも元素Mの原子数比の高い金属酸化物膜を用いることで、電気特性が良好で、且つ信頼性の高いトランジスタ10Aを実現できる。

10

20

30

40

50

【0170】

半導体層108aとして、亜鉛の原子数比が半導体層108bと等しい領域、または亜鉛の原子数比が半導体層108bよりも低い領域を有する、金属酸化物膜を用いることが好ましい。半導体層108aに、酸素欠損が生じにくい金属酸化物膜を適用することで、NBTS試験における劣化を低減することができる。

【0171】

図6Bに示すトランジスタ10Aは、絶縁層103側に位置する半導体層108aに元素Mの含有率が比較的大きな金属酸化物膜を用いることにより、半導体層108中の酸素欠損が低減される。さらに絶縁層110側に位置する半導体層108bに、元素Mの含有率の低い、または元素Mを含まない金属酸化物膜を用いることで、半導体層108と絶縁層110との界面欠陥密度が低減され、極めて高い電気特性と、極めて高い信頼性が両立したトランジスタとすることができる。

10

【0172】

ここで、半導体層108bを、半導体層108aよりも薄く形成することが好ましい。半導体層108bが、例えば0.5nm以上10nm以下の極めて薄い膜であっても、絶縁層110との界面欠陥密度を低減することができる。一方、酸素欠損が生じにくい半導体層108aを相対的に厚くすることで、より信頼性の高いトランジスタを実現することができる。

【0173】

例えば、半導体層108bの厚さに対して、半導体層108aの厚さは1.5倍以上20倍以下が好ましく、さらには2倍以上15倍以下が好ましく、さらには3倍以上10倍以下が好ましい。また、半導体層108bの厚さは、0.5nm以上30nm以下が好ましく、さらには1nm以上20nm以下が好ましく、さらには2nm以上10nm以下が好ましい。

20

【0174】

半導体層108a及び半導体層108bには、上述した結晶性を有する金属酸化物膜を用いることが好ましい。半導体層108aと半導体層108bの両方に、結晶性の高い金属酸化物膜を用いてもよいし、結晶性の低い金属酸化物膜を用いてもよい。または、半導体層108aと半導体層108bとは、異なる結晶性を有していてもよい。例えば、半導体層108aを半導体層108bよりも結晶性の高い膜としてもよいし、半導体層108bを半導体層108aよりも結晶性の高い膜としてもよい。半導体層108aと半導体層108bに用いる金属酸化物膜の結晶性は、要求されるトランジスタの電気特性及び信頼性や、成膜装置などの仕様に基づいて決定することができる。

30

【0175】

〔構成例1-3〕

図7Aは、トランジスタ10Bの断面概略図である。トランジスタ10Bは、上記トランジスタ10と比較して、絶縁層103の構成が異なる点、及び導電層106を有する点で、主に相違している。

【0176】

導電層106は、絶縁層103を介して半導体層108、絶縁層110、金属酸化物層114、及び導電層112と重畳する領域を有する。導電層106は、第1のゲート電極（バックゲート電極ともいう）として機能する。また絶縁層103は、第1のゲート絶縁層として機能する。このとき、導電層112が第2のゲート電極、絶縁層110が第2のゲート絶縁層として機能する。

40

【0177】

例えば、トランジスタ10Bは、導電層112及び導電層106に同じ電位を与えることにより、オン状態のときに流すことのできる電流を大きくすることができる。また、トランジスタ10Bは、導電層112及び導電層106の一方に、しきい値電圧を制御するための電位を与え、他方にトランジスタ10Bのオン状態及びオフ状態を制御する電位を与えることもできる。

50

【0178】

絶縁層103は、導電層106側から、絶縁膜103a、絶縁膜103b、絶縁膜103c、及び絶縁膜103dが積層された積層構造を有する。絶縁膜103aは導電層106と接する。また、絶縁膜103dは、半導体層108と接する。

【0179】

第2のゲート絶縁層として機能する絶縁層103は、耐圧が高いこと、膜の応力が小さいこと、水素や水を放出しにくいこと、膜中の欠陥が少ないこと、導電層106に含まれる金属元素の拡散を抑制すること、のうち、1つ以上を満たすことが好ましく、これら全てを満たすことが最も好ましい。

【0180】

絶縁層103が有する4つの絶縁膜のうち、導電層106側に位置する絶縁膜103a、絶縁膜103b、及び絶縁膜103cには、窒素を含む絶縁膜を用いることが好ましい。一方、半導体層108と接する絶縁膜103dには、酸素を含む絶縁膜を用いることが好ましい。また、絶縁層103が有する4つの絶縁膜は、それぞれプラズマCVD装置を用いて、大気に触れることなく連続して成膜することが好ましい。

【0181】

絶縁膜103a、絶縁膜103b、及び絶縁膜103cとして、例えば窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、窒化ハフニウム膜などの窒素を含む絶縁膜を用いることができる。また、絶縁膜103cとして、上記絶縁層110に用いることのできる絶縁膜を援用することができる。

【0182】

絶縁膜103aと絶縁膜103cは、これよりも下側からの不純物の拡散を防止できる、緻密な膜であることが好ましい。絶縁膜103aは、導電層106に含まれる金属元素を、絶縁膜103cは、絶縁膜103bに含まれる水素や水を、それぞれブロックできる膜であることが好ましい。そのため、絶縁膜103a及び絶縁膜103cには、絶縁膜103bよりも成膜速度の低い条件で成膜した絶縁膜を適用することができる。

【0183】

一方、絶縁膜103bは、応力が小さく、成膜速度の高い条件で成膜された絶縁膜を用いることが好ましい。また、絶縁膜103bは、絶縁膜103a及び絶縁膜103cよりも厚く形成されていることが好ましい。

【0184】

例えば絶縁膜103a、絶縁膜103b、及び絶縁膜103cのそれぞれに、プラズマCVD法で成膜した窒化シリコン膜を用いた場合であっても、絶縁膜103bが、他の2つの絶縁膜よりも膜密度が小さい膜となる。したがって、絶縁層103の断面における透過型電子顕微鏡像などにおいて、コントラストの違いとして観察することができる場合がある。なお、絶縁膜103aと絶縁膜103bの境界、及び絶縁膜103bと絶縁膜103cの境界は不明瞭である場合があるため、図7A等では、これらの境界を破線で明示している。

【0185】

半導体層108と接する絶縁膜103dとして、その表面に水などの不純物が吸着しにくい、緻密な絶縁膜とすることが好ましい。また、可能な限り欠陥が少なく、水や水素などの不純物が低減された絶縁膜を用いることが好ましい。例えば、絶縁膜103dとして、上記絶縁層110が有する絶縁膜110cと同様の絶縁膜を用いることができる。

【0186】

なお、導電層106として、構成元素が絶縁層103に拡散しにくい金属膜または合金膜を用いる場合などでは、絶縁膜103aを設けずに、絶縁膜103b、絶縁膜103c、及び絶縁膜103dの3つの絶縁膜が積層された構成としてもよい。

【0187】

このような積層構造を有する絶縁層103により、極めて信頼性の高いトランジスタを実現することができる。

10

20

30

40

50

【0188】

〔構成例1-4〕

図7Bは、トランジスタ10Cの断面概略図である。トランジスタ10Cは、上記構成例1-2で例示したトランジスタ10Aに、上記構成例1-3で例示したトランジスタ10Bで例示した導電層106と、絶縁層103を適用した場合の例である。

【0189】

このような構成とすることで、電気特性が良好で、且つ極めて信頼性の高いトランジスタを実現することができる。

【0190】

<構成例2>

以下では、より具体的なトランジスタの構成例について説明する。

【0191】

〔構成例2-1〕

図8Aは、トランジスタ100の上面図であり、図8Bは、図8Aに示す一点鎖線A1-A2における切断面の断面図に相当し、図8Cは、図8Aに示す一点鎖線B1-B2における切断面の断面図に相当する。なお、図8Aにおいて、トランジスタ100の構成要素の一部（ゲート絶縁層等）を省略して図示している。また、一点鎖線A1-A2方向はチャネル長方向、一点鎖線B1-B2方向はチャネル幅方向に相当する。また、トランジスタの上面図については、以降の図面においても図8Aと同様に、構成要素の一部を省略して図示するものとする。

【0192】

トランジスタ100は、基板102上に設けられ、絶縁層103、半導体層108、絶縁層110、金属酸化物層114、導電層112、絶縁層118等を有する。島状の半導体層108は、絶縁層103上に設けられる。絶縁層110は、絶縁層103の上面、半導体層108の上面及び側面に接して設けられる。金属酸化物層114及び導電層112は、絶縁層110上にこの順に積層して設けられ、半導体層108と重畳する部分を有する。絶縁層118は、絶縁層110の上面、金属酸化物層114の側面、及び導電層112の上面を覆って設けられている。

【0193】

絶縁層103は、基板102側から絶縁膜103a、絶縁膜103b、絶縁膜103c、及び絶縁膜103dが積層された、積層構造を有する。また、絶縁層110は、半導体層108側から絶縁膜110a、絶縁膜110b、及び絶縁膜110cが積層された、積層構造を有する。

【0194】

図8A及び図8Bに示すように、トランジスタ100は、絶縁層118上に導電層120a及び導電層120bを有していてもよい。導電層120a及び導電層120bは、ソース電極またはドレイン電極として機能する。導電層120a及び導電層120bは、それぞれ絶縁層118、及び絶縁層110に設けられた開口部141aまたは開口部141bを介して、低抵抗領域108nに電氣的に接続される。

【0195】

導電層112の一部は、ゲート電極として機能する。絶縁層110の一部は、ゲート絶縁層として機能する。トランジスタ100は、半導体層108上にゲート電極が設けられた、いわゆるトップゲート型のトランジスタである。

【0196】

導電層112、及び金属酸化物層114は、上面形状が互いに概略一致するように加工されている。

【0197】

なお、本明細書等において「上面形状が概略一致」とは、積層した層と層との間で少なくとも輪郭の一部が重なることをいう。例えば、上層と下層とが、同一のマスクパターン、または一部が同一のマスクパターンにより加工された場合を含む。ただし、厳密には輪

10

20

30

40

50

郭が重なり合わず、上層が下層の内側に位置することや、上層が下層の外側に位置することもあり、この場合も「上面形状が概略一致」という。

【0198】

絶縁層110と導電層112との間に位置する金属酸化物層114は、絶縁層110に含まれる酸素が導電層112側に拡散することを防ぐバリア膜として機能する。さらに金属酸化物層114は、導電層112に含まれる水素や水が絶縁層110側に拡散することを防ぐバリア膜としても機能する。金属酸化物層114は、例えば少なくとも絶縁層110よりも酸素及び水素を透過しにくい材料を用いることが好ましい。

【0199】

金属酸化物層114により、導電層112にアルミニウムや銅などの酸素を吸引しやすい金属材料を用いた場合であっても、絶縁層110から導電層112へ酸素が拡散することを防ぐことができる。また、導電層112が水素を含む場合であっても、導電層112から絶縁層110を介して半導体層108へ水素が拡散することを防ぐことができる。その結果、半導体層108のチャネル形成領域におけるキャリア密度を極めて低いものとすることができる。

【0200】

金属酸化物層114として、絶縁性材料または導電性材料を用いることができる。金属酸化物層114が絶縁性を有する場合には、ゲート絶縁層の一部として機能する。一方、金属酸化物層114が導電性を有する場合には、ゲート電極の一部として機能する。

【0201】

金属酸化物層114として、酸化シリコンよりも誘電率の高い絶縁性材料を用いることが好ましい。特に、酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜、またはハフニウムアルミネート膜等を用いると、駆動電圧を低減できるため好ましい。

【0202】

金属酸化物層114として、例えば酸化インジウム、インジウムスズ酸化物（ITO）、またはシリコンを含有したインジウムスズ酸化物（ITSO）などの、導電性酸化物を用いることもできる。特にインジウムを含む導電性酸化物は、導電性が高いため好ましい。

【0203】

金属酸化物層114として、半導体層108と同一の元素を一以上含む酸化物材料を用いることが好ましい。特に、上記半導体層108に適用可能な酸化物半導体材料を用いることが好ましい。このとき、金属酸化物層114として、半導体層108と同じスパッタリングターゲットを用いて形成した金属酸化物膜を適用することで、装置を共通化できるため好ましい。

【0204】

金属酸化物層114は、スパッタリング装置を用いて形成すると好ましい。例えば、スパッタリング装置を用いて酸化物膜を形成する場合、酸素ガスを含む雰囲気中で形成することで、絶縁層110や半導体層108に好適に酸素を添加することができる。

【0205】

半導体層108は、導電層112と重畳する領域と、当該領域を挟む一対の低抵抗領域108nを有する。半導体層108の、導電層112と重畳する領域は、トランジスタ100のチャネル形成領域として機能する。一方、低抵抗領域108nは、トランジスタ100のソース領域またはドレイン領域として機能する。

【0206】

低抵抗領域108nは、チャネル形成領域よりも低抵抗な領域、キャリア濃度が高い領域、酸素欠陥密度の高い領域、不純物濃度の高い領域、またはn型である領域ともいうことができる。

【0207】

半導体層108の低抵抗領域108nは、不純物元素を含む領域である。当該不純物元素として、例えば水素、ホウ素、炭素、窒素、フッ素、リン、硫黄、ヒ素、アルミニウム、または希ガスなどが挙げられる。なお、希ガスの代表例として、ヘリウム、ネオン、ア

10

20

30

40

50

ルゴン、クリプトン、及びキセノン等がある。特に、ホウ素またはリンを含むことが好ましい。またこれら元素を2以上含んでもよい。

【0208】

後述するように、低抵抗領域108nに不純物を添加する処理は、導電層112をマスクとして、絶縁層110を介して行うことができる。

【0209】

低抵抗領域108nは、不純物濃度が、 $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である領域を含むことが好ましい。

10

【0210】

低抵抗領域108nに含まれる不純物の濃度は、例えば二次イオン質量分析法(SIMS)や、X線光電子分光法(XPS)等の分析法により分析することができる。XPS分析を用いる場合には、表面側または裏面側からのイオンスパッタリングとXPS分析を組み合わせることで、深さ方向の濃度分布を知ることができる。

【0211】

低抵抗領域108nにおいて、不純物元素は酸化した状態で存在していることが好ましい。例えば、不純物元素としてホウ素、リン、マグネシウム、アルミニウム、またはシリコンなどの酸化しやすい元素を用いることが好ましい。このような酸化しやすい元素は、半導体層108中の酸素と結合して酸化した状態で安定に存在しうるため、後の工程で高い温度(例えば400℃以上、600℃以上、または800℃以上)がかかった場合であっても、脱離することが抑制される。また、不純物元素が半導体層108中の酸素を奪うことで、低抵抗領域108n中に多くの酸素欠損が生成される。この酸素欠損と、膜中の水素とが結合することでキャリア供給源となるため、低抵抗領域108nは極めて低抵抗な状態となる。

20

【0212】

例えば、不純物元素としてホウ素を用いた場合、低抵抗領域108nに含まれるホウ素は酸素と結合した状態で存在しうる。このことは、XPS分析において、 B_2O_3 結合に起因するスペクトルピークが観測されることで確認できる。また、XPS分析において、ホウ素元素が単体で存在する状態に起因するスペクトルピークが観測されない、または測定下限付近に観測されるバックグラウンドノイズに埋もれる程度にまでピーク強度が極めて小さくなる。

30

【0213】

絶縁層110は、半導体層108のチャネル形成領域と接する領域、すなわち導電層112と重畳する領域を有する。また、絶縁層110は、半導体層108の低抵抗領域108nと接し、且つ導電層112と重畳しない領域を有する。

【0214】

絶縁層110の、低抵抗領域108nと重畳する領域には、上述した不純物元素が含まれる場合がある。このとき、低抵抗領域108nと同様に、絶縁層110中の不純物元素も酸素と結合した状態で存在することが好ましい。このような酸化しやすい元素は、絶縁層110中の酸素と結合して酸化した状態で安定に存在しうるため、後の工程で高い温度がかかった場合でも脱離することが抑制される。また特に絶縁層110中に加熱により脱離しうる酸素(過剰酸素ともいう)が含まれる場合には、当該過剰酸素と不純物元素とが結合して安定化するため、絶縁層110から低抵抗領域108nへ酸素が供給されることを抑制することができる。また、酸化した状態の不純物元素が含まれる絶縁層110の一部は、酸素が拡散しにくい状態となるため、絶縁層110よりも上側から当該絶縁層110を介して低抵抗領域108nに酸素が供給されることが抑制され、低抵抗領域108nの抵抗が高くなることも防ぐことができる。

40

【0215】

絶縁層118は、トランジスタ100を保護する保護層として機能する。絶縁層110

50

として、例えば酸化物または窒化物などの無機絶縁材料を用いることができる。より具体的な例として、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化ハフニウム、ハフニウムアルミネートなどの無機絶縁材料を用いることができる。

【0216】

〔構成例2-2〕

図9Aは、トランジスタ100Aの上面図であり、図9Bはトランジスタ100Aのチャネル長方向の断面図であり、図9Cはトランジスタ100Aのチャネル幅方向の断面図である。

【0217】

トランジスタ100Aは、基板102と絶縁層103との間に導電層106を有する点で、構成例2-1と主に相違している。導電層106は半導体層108及び導電層112と重なる領域を有する。

【0218】

トランジスタ100Aにおいて、導電層112は、第2のゲート電極（トップゲート電極ともいう）としての機能を有し、導電層106は、第1のゲート電極（ボトムゲート電極ともいう）としての機能を有する。また、絶縁層110の一部は、第2のゲート絶縁層として機能し、絶縁層103の一部は、第1のゲート絶縁層として機能する。

【0219】

半導体層108の、導電層112及び導電層106の少なくとも一方と重なる部分は、チャネル形成領域として機能する。なお以下では説明を容易にするため、半導体層108の導電層112と重なる部分をチャネル形成領域と呼ぶ場合があるが、実際には導電層112と重ならず、導電層106と重なる部分（低抵抗領域108nを含む部分）にもチャネルが形成しうる。

【0220】

図9Cに示すように、導電層106は、金属酸化物層114、絶縁層110、及び絶縁層103に設けられた開口部142を介して、導電層112と電気的に接続されていてもよい。これにより、導電層106と導電層112には、同じ電位を与えることができる。

【0221】

導電層106は、導電層112、導電層120a、または導電層120bと同様の材料を用いることができる。特に導電層106に銅を含む材料を用いると、配線抵抗を低減できるため好ましい。

【0222】

図9A及び図9Cに示すように、チャネル幅方向において、導電層112及び導電層106が、半導体層108の端部よりも外側に突出していることが好ましい。このとき、図9Cに示すように、半導体層108のチャネル幅方向の全体が、絶縁層110と絶縁層103を介して、導電層112と導電層106に覆われた構成となる。

【0223】

このような構成とすることで、半導体層108を一对のゲート電極によって生じる電界で、電気的に取り囲むことができる。このとき特に、導電層106と導電層112に同じ電位を与えることが好ましい。これにより、半導体層108にチャネルを誘起させるための電界を効果的に印加できるため、トランジスタ100Aのオン電流を増大させることができる。そのため、トランジスタ100Aを微細化することも可能となる。

【0224】

なお、導電層112と導電層106とを接続しない構成としてもよい。このとき、一对のゲート電極の一方に定電位を与え、他方にトランジスタ100Aを駆動するための信号を与えてもよい。このとき、一方のゲート電極に与える電位により、トランジスタ100Aを他方のゲート電極で駆動する際のしきい値電圧を制御することもできる。

【0225】

〔構成例2-3〕

10

20

30

40

50

図１０Ａは、トランジスタ１００Ｂの上面図であり、図１０Ｂはトランジスタ１００Ｂのチャネル長方向の断面図であり、図１０Ｃはトランジスタ１００Ｂのチャネル幅方向の断面図である。

【０２２６】

トランジスタ１００Ｂは、構成例２－１で例示したトランジスタ１００と比較して、絶縁層１１０の構成が異なる点、及び絶縁層１１６を有する点で、主に相違している。

【０２２７】

絶縁層１１０は、導電層１１２及び金属酸化物層１１４と上面形状が概略一致するように加工されている。絶縁層１１０は、例えば導電層１１２及び金属酸化物層１１４を加工するためのレジストマスクを用いて加工することにより形成することができる。

【０２２８】

絶縁層１１６は、半導体層１０８の導電層１１２、金属酸化物層１１４、及び絶縁層１１０に覆われていない上面及び側面に接して設けられている。また絶縁層１１６は、絶縁層１０３の上面、絶縁層１１０の側面、金属酸化物層１１４の側面、及び導電層１１２の上面及び側面を覆って設けられている。

【０２２９】

絶縁層１１６は、低抵抗領域１０８ｎを低抵抗化させる機能を有する。このような絶縁層１１６として、絶縁層１１６の成膜時、または成膜後に加熱することにより、低抵抗領域１０８ｎ中に不純物を供給することのできる絶縁膜を用いることができる。または、絶縁層１１６の成膜時、または成膜後に加熱することにより、低抵抗領域１０８ｎ中に酸素欠損を生じさせることのできる絶縁膜を用いることができる。

【０２３０】

例えば、絶縁層１１６として、低抵抗領域１０８ｎに不純物を供給する供給源として機能する絶縁膜を用いることができる。このとき、絶縁層１１６は、加熱により水素を放出する膜であることが好ましい。このような絶縁層１１６を半導体層１０８に接して形成することで、低抵抗領域１０８ｎに水素などの不純物を供給し、低抵抗領域１０８ｎを低抵抗化させることができる。

【０２３１】

絶縁層１１６は、成膜の際に用いる成膜ガスに、水素などの不純物元素を含むガスを用いて成膜される膜であることが好ましい。また絶縁層１１６の基板温度を低くすることで、半導体層１０８に効果的に多くの不純物元素を供給することができる。絶縁層１１６の基板温度は、例えば２００℃以上５００℃以下が好ましく、さらには２２０℃以上４５０℃以下が好ましく、さらには２３０℃以上４３０℃以下が好ましく、さらには２５０℃以上４００℃以下が好ましい。

【０２３２】

絶縁層１１６の成膜を減圧下で、且つ加熱して行うことで、半導体層１０８中の低抵抗領域１０８ｎとなる領域からの酸素の脱離を促進することができる。酸素欠損が多く形成された半導体層１０８に、水素などの不純物を供給することで、低抵抗領域１０８ｎ中のキャリア密度が高まり、より効果的に低抵抗領域１０８ｎを低抵抗化させることができる。

【０２３３】

絶縁層１１６として、例えば、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウムなどの、窒化物を含む絶縁膜を好適に用いることができる。特に窒化シリコンは、水素や酸素に対するブロッキング性を有するため、外部から半導体層への水素の拡散と、半導体層から外部への酸素の脱離の両方を防ぐことができ、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

【０２３４】

絶縁層１１６は、半導体層１０８中の酸素を吸引し、酸素欠損を生成する機能を有する絶縁膜としてもよい。特に、絶縁層１１６には、例えば窒化アルミニウムなどの金属窒化物を用いることが特に好ましい。

【０２３５】

10

20

30

40

50

金属窒化物を用いる場合、アルミニウム、チタン、タンタル、タングステン、クロム、またはルテニウムの窒化物を用いることが好ましい。特に、アルミニウムまたはチタンを含むことが特に好ましい。例えば、アルミニウムをスパッタリングターゲットに用い、成膜ガスとして窒素を含むガスを用いた反応スパッタリング法により形成した窒化アルミニウム膜は、成膜ガスの全流量に対する窒素ガスの流量を適切に制御することで、極めて高い絶縁性と、水素や酸素に対する極めて高いブロッキング性とを兼ね備えた膜とすることができる。そのため、このような金属窒化物を含む絶縁膜を、半導体層に接して設けることで、半導体層を低抵抗化できるだけでなく、半導体層から酸素が脱離すること、及び半導体層へ水素が拡散することを好適に防ぐことができる。

【0236】

金属窒化物として、窒化アルミニウムを用いた場合、当該窒化アルミニウムを含む絶縁層の厚さを5 nm以上とすることが好ましい。このように薄い膜であっても、水素及び酸素に対する高いブロッキング性と、半導体層の低抵抗化の機能とを両立できる。なお、当該絶縁層の厚さはどれだけ厚くてもよいが、生産性を考慮し、500 nm以下、好ましくは200 nm以下、より好ましくは50 nm以下とすることが好ましい。

【0237】

絶縁層116に窒化アルミニウム膜を用いる場合、組成式が AlN_x （ x は0より大きく2以下の実数、好ましくは、 x は0.5より大きく1.5以下の実数）を満たす膜を用いることが好ましい。これにより、絶縁性に優れ、且つ熱伝導性に優れた膜とすることができるため、トランジスタ100Bを駆動したときに生じる熱の放熱性を高めることができる。

【0238】

または、絶縁層116として、窒化アルミニウムチタン膜、窒化チタン膜などを用いることができる。

【0239】

このような絶縁層116を低抵抗領域108nに接して設けることで、絶縁層116が低抵抗領域108n中の酸素を吸引し、低抵抗領域108n中に酸素欠損を形成させることができる。またこのような絶縁層116を形成した後に、加熱処理を行うことで、低抵抗領域108nにより多くの酸素欠損を形成することができ、低抵抗化を促進することができる。また、絶縁層116に金属酸化物を含む膜を用いた場合、絶縁層116が半導体層108中の酸素を吸引した結果、絶縁層116と低抵抗領域108nとの間に、絶縁層116に含まれる金属元素（例えばアルミニウム）の酸化物を含む層が形成される場合がある。

【0240】

ここで、半導体層108として、インジウムを含む金属酸化物膜を用いた場合、低抵抗領域108nの絶縁層116側の界面近傍に、酸化インジウムが析出した領域、または、インジウム濃度の高い領域が形成されている場合がある。これにより、極めて低抵抗な低抵抗領域108nを形成することができる。このような領域の存在は、例えば、X線光電子分光法（XPS）等の分析法で観測できる場合がある。

【0241】

〔構成例2-4〕

図11Aは、トランジスタ100Cの上面図であり、図11Bはトランジスタ100Cのチャネル長方向の断面図であり、図11Cはトランジスタ100Cのチャネル幅方向の断面図である。

【0242】

トランジスタ100Cは、構成例2-3で例示したトランジスタ100Bに、構成例2-2で例示した、第2のゲート電極として機能する導電層106を設けた場合の例である。

【0243】

このような構成とすることで、オン電流の高いトランジスタとすることができる。または、しきい値電圧を制御することのできるトランジスタとすることができる。

10

20

30

40

50

【0244】

<構成例2の変形例1>

上記構成例2-1乃至2-4では、半導体層108を単層として示していたが、半導体層108を、半導体層108aと半導体層108bとが積層した積層構造とすることが好ましい。

【0245】

図12Aに示すトランジスタ100__aは、構成例2-1で例示したトランジスタ100の、半導体層108を積層構造とした場合の例である。図12Aでは、一点鎖線よりも左側にチャネル長方向の断面を、右側にチャネル幅方向の断面を、並べて明示している。

【0246】

同様に、図12Bに示すトランジスタ100A__a、図12Cに示すトランジスタ100B__a、及び図12Dに示すトランジスタ100C__aは、それぞれトランジスタ100A、トランジスタ100B、またはトランジスタ100Cの、半導体層108を積層構造とした場合の例である。

【0247】

<構成例2の変形例2>

上述のように、絶縁層110と導電層112との間に位置する金属酸化物層114は、絶縁層110へ酸素を供給した後に、除去することもできる。

【0248】

図13Aに示すトランジスタ100__bは、図12Aで例示したトランジスタ100__aにおける、金属酸化物層114を除去した場合の例である。

【0249】

同様に、図13Bに示すトランジスタ100A__b、図13Cに示すトランジスタ100B__b、及び図13Dに示すトランジスタ100C__bは、それぞれトランジスタ100A__a、トランジスタ100B__a、またはトランジスタ100C__aにおける、金属酸化物層114を除去した場合の例である。

【0250】

<作製方法例1>

以下では、本発明の一態様のトランジスタの作製方法の例について説明する。ここでは、構成例2-2で例示したトランジスタ100Aを例に挙げて説明する。

【0251】

なお、半導体装置を構成する薄膜（絶縁膜、半導体膜、導電膜等）は、スパッタリング法、化学気相堆積（CVD：Chemical Vapor Deposition）法、真空蒸着法、パルスレーザー堆積（PLD：Pulsed Laser Deposition）法、原子層堆積（ALD：Atomic Layer Deposition）法等を用いて形成することができる。CVD法として、プラズマ化学気相堆積（PECVD：Plasma Enhanced CVD）法や、熱CVD法などがある。また、熱CVD法のひとつに、有機金属化学気相堆積（MOCVD：Metal Organic CVD）法がある。

【0252】

半導体装置を構成する薄膜（絶縁膜、半導体膜、導電膜等）は、スピンコート、ディップ、スプレー塗布、インクジェット、ディスペンス、スクリーン印刷、オフセット印刷、ドクターナイフ、スリットコート、ロールコート、カーテンコート、ナイフコート等の方法により形成することができる。

【0253】

半導体装置を構成する薄膜を加工する際には、フォトリソグラフィ法等を用いて加工することができる。それ以外に、ナノインプリント法、サンドブラスト法、リフトオフ法などにより薄膜を加工してもよい。また、メタルマスクなどの遮蔽マスクを用いた成膜方法により、島状の薄膜を直接形成してもよい。

【0254】

フォトリソグラフィ法として、代表的には以下の2つの方法がある。一つは、加工したい薄膜上にレジストマスクを形成して、エッチング等により当該薄膜を加工し、レジストマスクを除去する方法である。もう一つは、感光性を有する薄膜を成膜した後に、露光、現像を行って、当該薄膜を所望の形状に加工する方法である。

【0255】

フォトリソグラフィ法において、露光に用いる光は、例えばi線（波長365nm）、g線（波長436nm）、h線（波長405nm）、またはこれらを混合させた光を用いることができる。そのほか、紫外線やKrFレーザ光、またはArFレーザ光等を用いることもできる。また、液浸露光技術により露光を行ってもよい。また、露光に用いる光として、極端紫外（EUV：Extreme Ultra-violet）光やX線を用いてもよい。また、露光に用いる光に代えて、電子ビームを用いることもできる。極端紫外光、X線または電子ビームを用いると、極めて微細な加工が可能となるため好ましい。なお、電子ビームなどのビームを走査することにより露光を行う場合には、フォトマスクは不要である。

【0256】

薄膜のエッチングには、ドライエッチング法、ウェットエッチング法、サンドブラスト法などを用いることができる。

【0257】

図14乃至図16に示す各図には、トランジスタ100Aの作製工程の各段階におけるチャンネル長方向及びチャンネル幅方向の断面を並べて示している。

【0258】

〔導電層106の形成〕

基板102上に導電膜を成膜し、これをエッチングにより加工して、ゲート電極として機能する導電層106を形成する（図14A）。

【0259】

このとき、図14Aに示すように、導電層106の端部がテーパ形状となるように加工することが好ましい。これにより、次に形成する絶縁層103の段差被覆性を高めることができる。

【0260】

導電層106となる導電膜として、銅を含む導電膜を用いることで、配線抵抗を小さくすることができる。例えば大型の表示装置に適用する場合や、解像度の高い表示装置とする場合には、銅を含む導電膜を用いることが好ましい。また、導電層106に銅を含む導電膜を用いた場合であっても、絶縁層103により銅が半導体層108側に拡散することが抑制されるため、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

【0261】

〔絶縁層103の形成〕

続いて、基板102及び導電層106を覆って、絶縁層103を形成する（図14B）。絶縁層103は、PECVD法、ALD法、スパッタリング法などを用いて形成することができる。

【0262】

ここでは、絶縁層103として、絶縁膜103a、絶縁膜103b、絶縁膜103c、及び絶縁膜103dを積層して形成する。

【0263】

特に、絶縁層103を構成する各絶縁膜は、PECVD法により形成することが好ましい。絶縁層103の形成方法は、上記構成例1の記載を援用することができる。

【0264】

絶縁層103を形成した後に、絶縁層103に対して酸素を供給する処理を行ってもよい。例えば、酸素雰囲気でのプラズマ処理または加熱処理などを行うことができる。または、プラズマイオンドーピング法やイオン注入法により、絶縁層103に酸素を供給してもよい。

10

20

30

40

50

【0265】

〔半導体層108の形成〕

続いて、絶縁層103上に金属酸化物膜108fを成膜する（図14C）。

【0266】

金属酸化物膜108fは、金属酸化物ターゲットを用いたスパッタリング法により形成することが好ましい。

【0267】

金属酸化物膜108fは、可能な限り欠陥の少ない緻密な膜とすることが好ましい。また、金属酸化物膜108fは、可能な限り水素や水などの不純物が低減され、高純度な膜であることが好ましい。特に、金属酸化物膜108fとして、結晶性を有する金属酸化物膜を用いることが好ましい。

10

【0268】

金属酸化物膜を成膜する際に、酸素ガスと、不活性ガス（例えば、ヘリウムガス、アルゴンガス、キセノンガスなど）を混合させてもよい。酸素流量比が高いほど、金属酸化物膜の結晶性を高めることができ、信頼性の高いトランジスタを実現できる。一方、酸素流量比が低いほど、金属酸化物膜の結晶性が低くなり、オン電流が高められたトランジスタとすることができる。

【0269】

金属酸化物膜を成膜する際、基板温度が高いほど、結晶性が高く、緻密な金属酸化物膜とすることができる。一方、基板温度が低いほど、結晶性が低く、電気伝導性の高い金属酸化物膜とすることができる。

20

【0270】

金属酸化物膜の成膜条件は、基板温度を室温以上250℃以下、好ましくは室温以上200℃以下、より好ましくは基板温度を室温以上140℃以下とすればよい。例えば基板温度を、室温以上140℃未満とすると、生産性が高くなり好ましい。また、基板温度を室温とする、または意図的に加熱しない状態で、金属酸化物膜を成膜することで、結晶性を低くすることができる。

【0271】

金属酸化物膜108fを成膜する前に、絶縁層103の表面に吸着した水や水素、有機物成分等を脱離させるための処理、または絶縁層103中に酸素を供給する処理のいずれか一以上を行うことが好ましい。例えば、減圧雰囲気にて70℃以上200℃以下の温度で加熱処理を行うことができる。または、酸素を含む雰囲気におけるプラズマ処理を行ってもよい。または、一酸化二窒素（ N_2O ）などの酸化性気体を含む雰囲気におけるプラズマ処理により、絶縁層103に酸素を供給してもよい。一酸化二窒素ガスを含むプラズマ処理を行うと、絶縁層103の表面の有機物を好適に除去しつつ、酸素を供給することができる。このような処理の後、絶縁層103の表面を大気に暴露することなく、連続して金属酸化物膜108fを成膜することが好ましい。

30

【0272】

なお、半導体層108として、複数の半導体層を積層した積層構造とする場合には、先に形成する金属酸化物膜を成膜した後に、その表面を大気に曝すことなく連続して、次の金属酸化物膜を成膜することが好ましい。

40

【0273】

続いて、金属酸化物膜108fの一部をエッチングすることにより、島状の半導体層108を形成する（図14D）。

【0274】

金属酸化物膜108fの加工には、ウェットエッチング法またはドライエッチング法のいずれか一方、または双方を用いればよい。金属酸化物膜108fの加工の際、半導体層108と重ならない絶縁層103の一部がエッチングされ、薄くなる場合がある。例えば、絶縁層103のうち、絶縁膜103dがエッチングにより消失し、絶縁膜103cの表面が露出する場合もある。

50

【0275】

ここで、金属酸化物膜108fの成膜後、または半導体層108に加工した後に、加熱処理を行うことが好ましい。加熱処理により、金属酸化物膜108fまたは半導体層108中に含まれる、または表面に吸着した水素または水を除去することができる。また、加熱処理により、金属酸化物膜108fまたは半導体層108の膜質が向上する（例えば欠陥の低減、結晶性の向上など）場合がある。

【0276】

加熱処理により、絶縁層103から金属酸化物膜108f、または半導体層108に酸素を供給することもできる。このとき、半導体層108に加工する前に加熱処理を行うことがより好ましい。

10

【0277】

加熱処理の温度は、代表的には150℃以上基板の歪み点未満、または200℃以上500℃以下、または250℃以上450℃以下、または300℃以上450℃以下とすることができる。

【0278】

加熱処理は、希ガス、または窒素を含む雰囲気で行うことができる。または、当該雰囲気で加熱した後、酸素を含む雰囲気で加熱してもよい。または、乾燥空気雰囲気で加熱してもよい。なお、上記加熱処理の雰囲気に水素、水などができるだけ含まれないことが好ましい。該加熱処理は、電気炉、RTA（Rapid Thermal Anneal）装置等を用いることができる。RTA装置を用いることで、加熱処理時間を短縮することができる。

20

【0279】

なお、当該加熱処理は不要であれば行わなくてもよい。また、ここでは加熱処理は行わず、後の工程で行われる加熱処理と兼ねてもよい。また、後の工程での高温下の処理（例えば成膜工程など）などで、当該加熱処理と兼ねることができる場合もある。

【0280】

〔絶縁層110の形成〕

続いて、絶縁層103及び半導体層108を覆って、絶縁層110を形成する（図14E）。

【0281】

ここでは、絶縁層110として、絶縁膜110a、絶縁膜110b、及び絶縁膜110cを積層して形成する。

30

【0282】

特に、絶縁層110を構成する各絶縁膜は、PECVD法により形成することが好ましい。絶縁層110を構成する各層の形成方法は、上記構成例1の記載を援用することができる。

【0283】

絶縁層110の成膜前に、半導体層108の表面に対してプラズマ処理を行なうことが好ましい。当該プラズマ処理により、半導体層108の表面に吸着する水などの不純物を低減することができる。そのため、半導体層108と絶縁層110との界面における不純物を低減できるため、信頼性の高いトランジスタを実現できる。特に、半導体層108の形成から、絶縁層110の成膜までの間に半導体層108の表面が大気に曝される場合には好適である。プラズマ処理として、例えば酸素、オゾン、窒素、一酸化二窒素、アルゴンなどの雰囲気で行うことができる。また、プラズマ処理と絶縁層110の成膜とは、大気に曝すことなく連続して行われることが好ましい。

40

【0284】

ここで、絶縁層110を成膜した後に、加熱処理を行うことが好ましい。加熱処理により、絶縁層110中に含まれる、または表面に吸着した水素または水を除去することができる。また、絶縁層110中の欠陥を低減することができる。

【0285】

50

加熱処理の条件は、上記記載を援用することができる。

【0286】

なお、当該加熱処理は不要であれば行わなくてもよい。また、ここでは加熱処理は行わず、後の工程で行われる加熱処理と兼ねてもよい。また、後の工程での高温下の処理（例えば成膜工程など）などで、当該加熱処理と兼ねることができる場合もある。

【0287】

〔金属酸化物膜114fの形成〕

続いて、絶縁層110上に、金属酸化物膜114fを形成する（図15A）。

【0288】

金属酸化物膜114fは、例えば酸素を含む雰囲気中で成膜することが好ましい。特に、酸素を含む雰囲気中でスパッタリング法により形成することが好ましい。これにより、金属酸化物膜114fの成膜時に絶縁層110に酸素を供給することができる。

10

【0289】

金属酸化物膜114fを、上記半導体層108の場合と同様の金属酸化物を含む酸化物ターゲットを用いたスパッタリング法により形成する場合には、上記記載を援用することができる。

【0290】

例えば金属酸化物膜114fの成膜条件として、成膜ガスに酸素を用い、金属ターゲットを用いた反応性スパッタリング法により、金属酸化物膜を形成してもよい。金属ターゲットとして、例えばアルミニウムを用いた場合には、酸化アルミニウム膜を成膜することができる。

20

【0291】

金属酸化物膜114fの成膜時に、成膜装置の成膜室内に導入する成膜ガスの全流量に対する酸素流量の割合（酸素流量比）、または成膜室内の酸素分圧が高いほど、絶縁層110中に供給される酸素を増やすことができる。酸素流量比または酸素分圧は、例えば、50%以上100%以下が好ましく、さらには65%以上100%以下が好ましく、さらには80%以上100%以下が好ましく、さらには90%以上100%以下が好ましい。特に、酸素流量比を100%とし、成膜室内の酸素分圧を100%にできるだけ近づけることが好ましい。

【0292】

このように、酸素を含む雰囲気中でスパッタリング法により金属酸化物膜114fを形成することにより、金属酸化物膜114fの成膜時に、絶縁層110へ酸素を供給するとともに、絶縁層110から酸素が脱離することを防ぐことができる。その結果、絶縁層110に極めて多くの酸素を閉じ込めることができる。

30

【0293】

金属酸化物膜114fの成膜後に、加熱処理を行うことが好ましい。加熱処理により、絶縁層110に含まれる酸素を、半導体層108に供給することができる。金属酸化物膜114fが絶縁層110を覆った状態で加熱することにより、絶縁層110から外部へ酸素が脱離することを防ぎ、半導体層108に多くの酸素を供給することができる。その結果、半導体層108中の酸素欠損を低減でき、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

40

【0294】

加熱処理の条件は、上記記載を援用することができる。

【0295】

なお、当該加熱処理は不要であれば行わなくてもよい。また、ここでは加熱処理は行わず、後の工程で行われる加熱処理と兼ねてもよい。また、後の工程での高温下の処理（例えば成膜工程など）などで、当該加熱処理と兼ねることができる場合もある。

【0296】

金属酸化物膜114fの成膜後、または当該加熱処理後に、金属酸化物膜114fを除去してもよい。

【0297】

50

〔開口部 1 4 2 の形成〕

続いて、金属酸化物膜 1 1 4 f、絶縁層 1 1 0、及び絶縁層 1 0 3 の一部をエッチングすることで、導電層 1 0 6 に達する開口部 1 4 2 を形成する（図 1 5 B）。これにより、導電層 1 0 6 と、後に形成する導電層 1 1 2 とを、開口部 1 4 2 を介して電氣的に接続することができる。

【0 2 9 8】

〔導電層 1 1 2、金属酸化物層 1 1 4 の形成〕

続いて、金属酸化物膜 1 1 4 f 上に、導電層 1 1 2 となる導電膜 1 1 2 f を成膜する（図 1 5 C）。

【0 2 9 9】

導電膜 1 1 2 f として、低抵抗な金属または合金材料を用いることが好ましい。また、導電膜 1 1 2 f として、水素を放出しにくい材料であり、また水素が拡散しにくい材料を用いることが好ましい。また、導電膜 1 1 2 f として、酸化しにくい材料を用いることが好ましい。

【0 3 0 0】

例えば導電膜 1 1 2 f は、金属または合金を含むスパッタリングターゲットを用いたスパッタリング法により成膜することが好ましい。

【0 3 0 1】

例えば、導電膜 1 1 2 f として、酸化しにくく、水素が拡散しにくい導電膜と、低抵抗な導電膜とを積層した積層膜とすることが好ましい。

【0 3 0 2】

続いて、導電膜 1 1 2 f 及び金属酸化物膜 1 1 4 f の一部をエッチングすることで、導電層 1 1 2 及び金属酸化物層 1 1 4 を形成する。導電膜 1 1 2 f 及び金属酸化物膜 1 1 4 f は、それぞれ同じレジストマスクを用いて加工することが好ましい。または、エッチング後の導電層 1 1 2 をハードマスクとして用いて、金属酸化物膜 1 1 4 f をエッチングしてもよい。

【0 3 0 3】

導電膜 1 1 2 f 及び金属酸化物膜 1 1 4 f のエッチングとして、特にウェットエッチング法を用いることが好ましい。

【0 3 0 4】

これにより、上面形状が概略一致した導電層 1 1 2 及び金属酸化物層 1 1 4 を形成することができる。

【0 3 0 5】

このように、絶縁層 1 1 0 をエッチングせずに、半導体層 1 0 8 の上面及び側面、並びに絶縁層 1 0 3 を覆った構造とすることで、導電膜 1 1 2 f 等のエッチングの際に、半導体層 1 0 8 や絶縁層 1 0 3 の一部がエッチングされ、薄膜化することを防ぐことができる。

【0 3 0 6】

〔不純物元素の供給処理〕

続いて、導電層 1 1 2 をマスクとして、絶縁層 1 1 0 を介して半導体層 1 0 8 に不純物元素 1 4 0 を供給（添加、または注入ともいう）する処理を行う（図 1 5 D）。これにより、半導体層 1 0 8 の導電層 1 1 2 に覆われない領域に、低抵抗領域 1 0 8 n を形成することができる。このとき、半導体層 1 0 8 の導電層 1 1 2 と重なる領域には、導電層 1 1 2 がマスクとなり、不純物元素 1 4 0 は供給されない。

【0 3 0 7】

不純物元素 1 4 0 の供給は、プラズマイオンドーピング法、またはイオン注入法を好適に用いることができる。これらの方法は、深さ方向の濃度プロファイルを、イオンの加速電圧とドーズ量等により、高い精度で制御することができる。プラズマイオンドーピング法を用いることで、生産性を高めることができる。また質量分離を用いたイオン注入法を用いることで、供給される不純物元素の純度を高めることができる。

【0 3 0 8】

不純物元素 140 の供給処理において、半導体層 108 と絶縁層 110 との界面、または半導体層 108 中の界面に近い部分、または絶縁層 110 中の当該界面に近い部分が、最も高い濃度となるように、処理条件を制御することが好ましい。これにより、一度の処理で半導体層 108 と絶縁層 110 の両方に、最適な濃度の不純物元素 140 を供給することができる。

【0309】

不純物元素 140 として、水素、ホウ素、炭素、窒素、フッ素、リン、硫黄、ヒ素、アルミニウム、マグネシウム、シリコン、または希ガスなどが挙げられる。なお、希ガスの代表例として、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、及びキセノン等がある。特に、ホウ素、リン、アルミニウム、マグネシウム、またはシリコンを用いることが好ましい。

10

【0310】

不純物元素 140 の原料ガスとして、上記不純物元素を含むガスを用いることができる。ホウ素を供給する場合、代表的には B_2H_6 ガスや BF_3 ガスなどを用いることができる。またリンを供給する場合には、代表的には PH_3 ガスを用いることができる。また、これらの原料ガスを希ガスで希釈した混合ガスを用いてもよい。

【0311】

その他、原料ガスとして、 CH_4 、 N_2 、 NH_3 、 AlH_3 、 $AlCl_3$ 、 SiH_4 、 Si_2H_6 、 F_2 、 HF 、 H_2 、 $(C_5H_5)_2Mg$ 、及び希ガス等を用いることができる。また、イオン源は気体に限られず、固体や液体を加熱して気化させたものを用いてもよい。

【0312】

不純物元素 140 の添加は、絶縁層 110 及び半導体層 108 の組成や密度、厚さなどを考慮して、加速電圧やドーズ量などの条件を設定することで制御することができる。

20

【0313】

例えば、イオン注入法またはプラズマイオンドーピング法でホウ素の添加を行う場合、加速電圧は例えば 5 kV 以上 100 kV 以下、好ましくは 7 kV 以上 70 kV 以下、より好ましくは 10 kV 以上 50 kV 以下の範囲とすることができる。またドーズ量は、例えば $1 \times 10^{13} \text{ ions/cm}^2$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ ions/cm}^2$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ ions/cm}^2$ 以上、 $3 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 以下の範囲とすることができる。

30

【0314】

イオン注入法またはプラズマイオンドーピング法でリンイオンの添加を行う場合、加速電圧は、例えば 10 kV 以上 100 kV 以下、好ましくは 30 kV 以上 90 kV 以下、より好ましくは 40 kV 以上 80 kV 以下の範囲とすることができる。またドーズ量は、例えば $1 \times 10^{13} \text{ ions/cm}^2$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ ions/cm}^2$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ 以上 $5 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ ions/cm}^2$ 以上、 $3 \times 10^{16} \text{ ions/cm}^2$ 以下の範囲とすることができる。

【0315】

なお、不純物元素 140 の供給方法はこれに限られず、例えばプラズマ処理や、加熱による熱拡散を利用した処理などを用いてもよい。プラズマ処理法の場合、添加する不純物元素を含むガス雰囲気にてプラズマを発生させて、プラズマ処理を行うことによって、不純物元素を添加することができる。上記プラズマを発生させる装置として、ドライエッチング装置、アッシング装置、プラズマ CVD 装置、高密度プラズマ CVD 装置等を用いることができる。

40

【0316】

本発明の一態様では、絶縁層 110 を介して不純物元素 140 を半導体層 108 に供給することができる。そのため、半導体層 108 が結晶性を有する場合であっても、不純物元素 140 の供給の際に半導体層 108 が受けるダメージが軽減され、結晶性が損なわれてしまうことを抑制できる。そのため、結晶性の低下により電気抵抗が増大してしまうよ

50

うな場合には好適である。

【0317】

〔絶縁層118の形成〕

続いて、絶縁層110、金属酸化物層114、及び導電層112を覆って、絶縁層118を形成する（図16A）。

【0318】

絶縁層118をプラズマCVD法により形成する場合、基板温度が高すぎると、低抵抗領域108n等に含まれる不純物が、半導体層108のチャネル形成領域を含む周辺部に拡散する恐れや、低抵抗領域108nの電気抵抗が上昇してしまう恐れがある。したがって、絶縁層118の形成時の基板温度は、これらのことを考慮して決定すればよい。

10

【0319】

例えば、絶縁層118の基板温度は、例えば150℃以上400℃以下が好ましく、さらには180℃以上360℃以下が好ましく、さらには200℃以上250℃以下が好ましい。絶縁層118を低温で成膜することにより、チャネル長の短いトランジスタであっても、良好な電気特性を付与することができる。

【0320】

絶縁層118の形成後、加熱処理を行ってもよい。当該加熱処理により、低抵抗領域108nを、より安定して低抵抗にすることができる場合がある。例えば、加熱処理を行うことにより、不純物元素140が適度に拡散して局所的に均一化され、理想的な不純物元素の濃度勾配を有する低抵抗領域108nが形成されうる。なお、加熱処理の温度が高すぎる（例えば500℃以上）と、不純物元素140がチャネル形成領域内にまで拡散し、トランジスタの電気特性や信頼性の悪化を招く恐れがある。

20

【0321】

加熱処理の条件は、上記記載を援用することができる。

【0322】

なお、当該加熱処理は不要であれば行わなくてもよい。また、ここでは加熱処理は行わず、後の工程で行われる加熱処理と兼ねてもよい。また、後の工程での高温下の処理（例えば成膜工程など）がある場合には、当該加熱処理と兼ねることができる場合もある。

【0323】

〔開口部141a、開口部141bの形成〕

続いて、絶縁層118及び絶縁層110の一部をエッチングすることで、低抵抗領域108nに達する開口部141a及び開口部141bを形成する。

30

【0324】

〔導電層120a、導電層120bの形成〕

続いて、開口部141a及び開口部141bを覆うように、絶縁層118上に導電膜を成膜し、当該導電膜を所望の形状に加工することで、導電層120a及び導電層120bを形成する（図16B）。

【0325】

以上の工程により、トランジスタ100Aを作製することができる。例えば、トランジスタ100Aを表示装置の画素に適用する場合には、この後に、保護絶縁層、平坦化層、画素電極、または配線のうち1以上を形成する工程を追加すればよい。

40

【0326】

以上が、作製方法例1についての説明である。

【0327】

なお、構成例2-1で例示したトランジスタ100を作製する場合には、上記作製方法例1における導電層106の形成工程、及び開口部142の形成工程を省略すればよい。また、トランジスタ100とトランジスタ100Aとは、同じ工程を経て同一基板上に形成することができる。

【0328】

<作製方法例2>

50

以下では、上記作製方法例 1 とは一部の工程が異なる例を説明する。ここでは、上記構成例 2 - 4 で例示したトランジスタ 1 0 0 C を例に挙げて説明する。

【0329】

なお以下では、上記作製方法例 1 と重複する部分については説明を省略し、相違する部分について詳細に説明することとする。

【0330】

まず、上記作製方法例 1 と同様に、導電層 1 0 6、絶縁層 1 0 3、半導体層 1 0 8、絶縁層 1 1 0、金属酸化物膜 1 1 4 f、及び導電膜 1 1 2 f を、順に形成する。この段階における断面図を図 1 7 A に示す。

【0331】

続いて、導電膜 1 1 2 f、及び金属酸化物膜 1 1 4 f の一部をエッチングして導電層 1 1 2 及び金属酸化物層 1 1 4 を形成し、さらに絶縁層 1 1 0 の一部をエッチングして、半導体層 1 0 8 の一部を露出させる（図 1 7 B）。これにより、上面形状が概略一致した導電層 1 1 2、金属酸化物層 1 1 4、及び絶縁層 1 1 0 を形成することができる。

【0332】

絶縁層 1 1 0 のエッチングは、導電膜 1 1 2 f をエッチングするためのレジストマスクを用いて行うことが好ましい。また、絶縁層 1 1 0 のエッチングは、導電膜 1 1 2 f、金属酸化物膜 1 1 4 f のエッチングと同じ工程で行ってもよいし、導電膜 1 1 2 f 及び金属酸化物膜 1 1 4 f をエッチングした後に、これらとは異なるエッチング方法によりエッチングしてもよい。

【0333】

例えば、導電膜 1 1 2 f と金属酸化物膜 1 1 4 f とを、同じエッチャントを用いたウェットエッチング法によりエッチングした後、絶縁層 1 1 0 をドライエッチング法によりエッチングすることができる。特に導電膜 1 1 2 f 及び金属酸化物膜 1 1 4 f は、ドライエッチング法により加工すると、金属を含む反応生成物が生じることにより、半導体層 1 0 8 や絶縁層 1 1 0 を汚染する恐れがある。そのため、絶縁層 1 1 0 をエッチングする前に、導電膜 1 1 2 f と金属酸化物膜 1 1 4 f とをウェットエッチング法により加工することが好ましい。

【0334】

なお、エッチング条件によっては、導電層 1 1 2、金属酸化物層 1 1 4、及び絶縁層 1 1 0 の端部が一致しない場合がある。例えば、絶縁層 1 1 0 の端部よりも、導電層 1 1 2 及び金属酸化物層 1 1 4 の少なくとも一方の端部が内側、または外側に位置する形状となる場合がある。

【0335】

絶縁層 1 1 0 のエッチング時に、露出した半導体層 1 0 8 の一部がエッチングされ、薄膜化する場合がある。このとき、半導体層 1 0 8 は、低抵抗領域 1 0 8 n の厚さが、チャネル形成領域の厚さよりも薄い形状となりうる。

【0336】

絶縁層 1 1 0 のエッチング時に、半導体層 1 0 8 に覆われない絶縁層 1 0 3 の一部がエッチングされ、薄膜化する場合がある。例えば絶縁層 1 0 3 の絶縁膜 1 0 3 d が消失する場合もある。

【0337】

続いて、半導体層 1 0 8 の露出した部分に接して、絶縁層 1 1 6 を形成し、続けて絶縁層 1 1 8 を形成する（図 1 7 C）。絶縁層 1 1 6 の形成により、半導体層 1 0 8 の露出した部分が低抵抗化し、低抵抗領域 1 0 8 n が形成される。

【0338】

絶縁層 1 1 6 として、半導体層 1 0 8 を低抵抗化させる機能を有する不純物元素を放出する絶縁膜を用いることができる。特に、水素を放出することのできる窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜等の無機絶縁膜を用いることが好ましい。このとき、水素を含有する成膜ガスを用いたプラズマ C V D 法を用いることで、絶縁層 1 1 6

10

20

30

40

50

の成膜時にも半導体層 108 に水素を供給することができ、好ましい。

【0339】

例えば、絶縁層 116 として、窒化シリコンを用いる場合には、シランなどのシリコンを含むガスと、アンモニアや一酸化二窒素などの窒素を含むガスを含む混合ガスを成膜ガスに用いた PECVD 法により形成することが好ましい。このとき、成膜される窒化シリコン中に水素が含まれていることが好ましい。これにより、絶縁層 116 中の水素が半導体層 108 に拡散することで、半導体層 108 の一部を低抵抗化することが容易となる。

【0340】

絶縁層 116 として、半導体層 108 中に酸素欠損を生じさせる機能を有する絶縁膜を用いることもできる。特に、金属窒化物を含む絶縁膜を用いることが好ましい。例えば、金属を含むスパッタリングターゲットを用い、窒素ガスと、希釈ガスである希ガス等の混合ガスを成膜ガスとして用いた反応性スパッタリング法により、絶縁層 116 を形成することが好ましい。これにより、成膜ガスの流量比を制御することで、絶縁層 116 の膜質を制御することが容易となる。

【0341】

例えば、絶縁層 116 としてアルミニウムターゲットを用いた反応性スパッタリングにより形成した窒化アルミニウム膜を用いる場合、成膜ガスの全流量に対する窒素ガスの流量は 30% 以上 100% 以下が好ましく、さらには 40% 以上 100% 以下が好ましく、さらには 50% 以上 100% 以下が好ましい。

【0342】

ここで、絶縁層 116 と絶縁層 118 とは、大気に曝すことなく連続して成膜することが好ましい。

【0343】

絶縁層 116 の成膜後、または絶縁層 118 の成膜後に、加熱処理を行なってもよい。加熱処理により、低抵抗領域 108 n の低抵抗化を促進させることができる。

【0344】

加熱処理の条件は、上記記載を援用することができる。

【0345】

なお、当該加熱処理は不要であれば行わなくてもよい。また、ここでは加熱処理は行わず、後の工程で行われる加熱処理と兼ねてもよい。また、後の工程での高温下の処理（例えば成膜工程など）などで、当該加熱処理と兼ねることができる場合もある。

【0346】

続いて、絶縁層 118 及び絶縁層 116 に、低抵抗領域 108 n に達する開口部 141 a 及び開口部 141 b を形成する。

【0347】

続いて、絶縁層 118 上に、作製方法例 1 と同様に、導電層 120 a 及び導電層 120 b を形成する（図 17 D）。

【0348】

以上の工程により、トランジスタ 100 C を作製することができる。

【0349】

なお、構成例 2-3 で例示したトランジスタ 100 B を作製する場合には、上記作製方法例 2 における導電層 106 の形成工程、及び開口部 142 の形成工程を省略すればよい。また、トランジスタ 100 B とトランジスタ 100 C とは、同じ工程を経て同一基板上に形成することができる。

【0350】

<半導体装置の構成要素>

以下では、本実施の形態の半導体装置に含まれる構成要素について説明する。

【0351】

〔基板〕

基板 102 の材質などに大きな制限はないが、少なくとも、後の熱処理に耐えうる程度

10

20

30

40

50

の耐熱性を有している必要がある。例えば、シリコンや炭化シリコンを材料とした単結晶半導体基板、多結晶半導体基板、シリコンゲルマニウム等の化合物半導体基板、SOI基板、ガラス基板、セラミック基板、石英基板、サファイア基板等を、基板102として用いてもよい。また、これらの基板上に半導体素子が設けられたものを、基板102として用いてもよい。

【0352】

基板102として、可撓性基板を用い、可撓性基板上に直接、半導体装置を形成してもよい。または、基板102と半導体装置の間に剥離層を設けてもよい。剥離層は、その上に半導体装置を一部あるいは全部完成させた後、基板102より分離し、他の基板に転載するために用いることができる。その際、半導体装置は耐熱性の劣る基板や可撓性の基板にも転載できる。

10

【0353】

〔導電膜〕

ゲート電極として機能する導電層112及び導電層106、並びにソース電極またはドレイン電極の一方として機能する導電層120a、及び他方として機能する導電層120bとして、クロム、銅、アルミニウム、金、銀、亜鉛、モリブデン、タンタル、チタン、タングステン、マンガン、ニッケル、鉄、コバルトから選ばれた金属元素、または上述した金属元素を成分とする合金か、上述した金属元素を組み合わせた合金等を用いてそれぞれ形成することができる。

【0354】

導電層112、導電層106、導電層120a、及び導電層120bには、In-Sn酸化物、In-W酸化物、In-W-Zn酸化物、In-Ti酸化物、In-Ti-Sn酸化物、In-Zn酸化物、In-Sn-Si酸化物、In-Ga-Zn酸化物等の酸化物導電体または金属酸化物膜を適用することもできる。

20

【0355】

ここで、酸化物導電体(OC:OxideConductor)について説明を行う。例えば、半導体特性を有する金属酸化物に酸素欠損を形成し、該酸素欠損に水素を添加すると、伝導帯近傍にドナー準位が形成される。この結果、金属酸化物は、導電性が高くなり導電体化する。導電体化された金属酸化物を、酸化物導電体とすることができる。

【0356】

導電層112等として、上記酸化物導電体(金属酸化物)を含む導電膜と、金属または合金を含む導電膜の積層構造としてもよい。金属または合金を含む導電膜を用いることで、配線抵抗を小さくすることができる。このとき、ゲート絶縁膜として機能する絶縁層と接する側には酸化物導電体を含む導電膜を適用することが好ましい。

30

【0357】

導電層112、導電層106、導電層120a、導電層120bには、上述の金属元素の中でも、特にチタン、タングステン、タンタル、及びモリブデンの中から選ばれるいずれか一つまたは複数を有すると好適である。特に、窒化タンタル膜を用いると好適である。当該窒化タンタル膜は、導電性を有し、且つ、銅、酸素、または水素に対して、高いバリア性を有し、さらに自身からの水素の放出が少ないため、半導体層108と接する導電膜、または半導体層108の近傍の導電膜として、好適に用いることができる。

40

【0358】

〔半導体層〕

半導体層108がIn-M-Zn酸化物の場合、In-M-Zn酸化物を成膜するために用いるスパッタリングターゲットの金属元素の原子数比として、例えば、In:M:Zn=5:1:1、In:M:Zn=5:1:2、In:M:Zn=5:1:3、In:M:Zn=5:1:4、In:M:Zn=5:1:5、In:M:Zn=5:1:6、In:M:Zn=10:1:1、In:M:Zn=10:1:2、In:M:Zn=10:1:3、In:M:Zn=10:1:4、In:M:Zn=10:1:5、In:M:Zn=10:1:6、In:M:Zn=10:1:7、In:M:Zn=10:1:8、In

50

：M：Zn＝10：1：10、In：M：Zn＝10：1：12、In：M：Zn＝10：1：15、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。また、半導体層108が酸化インジウムの場合、酸化インジウムを成膜するために用いるスパッタリングターゲットとして、酸化インジウムを用いることができる。また、半導体層108がIn－M酸化物の場合、In－M酸化物を成膜するために用いるスパッタリングターゲットの金属元素の原子数比として、例えば、In：M＝2：1、In：M＝7：2、In：M＝5：1、In：M＝7：1、In：M＝10：1、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。また、半導体層108がIn－Zn酸化物の場合、In－Zn酸化物を成膜するために用いるスパッタリングターゲットの金属元素の原子数比として、例えば、In：Zn＝2：3、In：Zn＝3：2、In：Zn＝7：2、In：Zn＝4：1、In：Zn＝11：2、In：Zn＝7：1、In：Zn＝14：1、またはこれらの近傍を好適に用いることができる。

10

【0359】

スパッタリングターゲットとして、多結晶の酸化物を含むターゲットを用いると、結晶性を有する半導体層108を形成しやすくなるため好ましい。なお、成膜される半導体層108の原子数比は、上記のスパッタリングターゲットに含まれる金属元素の原子数比のプラスマイナス40%の変動を含む。例えば、半導体層108に用いるスパッタリングターゲットの組成がIn：Ga：Zn＝5：1：3＜原子数比＞の場合、成膜される半導体層108の組成は、In：Ga：Zn＝5：1：2.4＜原子数比＞の近傍となる場合がある。

20

【0360】

上記ターゲットを用いて、基板温度を100℃以上130℃以下として、スパッタリング法により形成した金属酸化物は、nc構造及びCAAC構造のいずれか一方の結晶構造、またはこれらが混在した構造をとりやすい。一方、基板温度を室温（RT）として、スパッタリング法により形成した金属酸化物は、ncの結晶構造をとりやすい。なお、ここでいう室温（RT）とは、基板を加熱しない場合の温度を含む。

【0361】

半導体層108は、エネルギーギャップが2eV以上、好ましくは2.5eV以上である。このように、シリコンよりもエネルギーギャップの広い金属酸化物を用いることで、トランジスタのオフ電流を低減することができる。

30

【0362】

本実施の形態で例示した構成例、及びそれらに対応する図面等は、少なくともその一部を他の構成例、または図面等と適宜組み合わせることで実施することができる。

【0363】

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する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。

【0364】

（実施の形態3）

本実施の形態では、先の実施の形態で例示したトランジスタを有する表示装置の一例について説明する。

40

【0365】

＜構成例＞

図18Aに、表示装置700の上面図を示す。表示装置700は、シール材712により貼り合された第1の基板701と第2の基板705を有する。また第1の基板701、第2の基板705、及びシール材712で封止される領域において、第1の基板701上に画素部702、ソースドライバ回路部704、及びゲートドライバ回路部706が設けられる。また画素部702には、複数の表示素子が設けられる。

【0366】

第1の基板701の第2の基板705と重ならない部分に、FPC716（FPC：Flexible printed circuit）が接続されるFPC端子部708が設

50

けられている。F P C 7 1 6によって、F P C端子部7 0 8及び信号線7 1 0を介して、画素部7 0 2、ソースドライバ回路部7 0 4、及びゲートドライバ回路部7 0 6のそれぞれに各種信号等が供給される。

【0367】

ゲートドライバ回路部7 0 6は、複数設けられていてもよい。また、ゲートドライバ回路部7 0 6及びソースドライバ回路部7 0 4は、それぞれ半導体基板等に別途形成され、パッケージされたI Cチップの形態であってもよい。当該I Cチップは、第1の基板7 0 1上、またはF P C 7 1 6に実装することができる。

【0368】

画素部7 0 2、ソースドライバ回路部7 0 4及びゲートドライバ回路部7 0 6が有するトランジスタに、本発明の一態様の半導体装置であるトランジスタを適用することができる。

10

【0369】

画素部7 0 2に設けられる表示素子として、液晶素子、発光素子などが挙げられる。液晶素子として、透過型の液晶素子、反射型の液晶素子、半透過型の液晶素子などを用いることができる。また、発光素子として、LED (Light Emitting Diode)、OLED (Organic LED)、QLED (Quantum-dot LED)、半導体レーザなどの、自発光性の発光素子が挙げられる。また、シャッター方式または光干渉方式のMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 素子や、マイクロカプセル方式、電気泳動方式、エレクトロウェットティング方式、または電子粉流体 (登録商標) 方式等を適用した表示素子などを用いることもできる。

20

【0370】

図18Bに示す表示装置7 0 0 Aは、第1の基板7 0 1に代えて、可撓性を有する樹脂層7 4 3が適用され、フレキシブルディスプレイとして用いることのできる表示装置の例である。

【0371】

表示装置7 0 0 Aは、画素部7 0 2が矩形形状でなく、角部が円弧状の形状を有している。また、図18B中の領域P 1に示すように、画素部7 0 2、及び樹脂層7 4 3の一部が切り欠かれた切欠き部を有する。一対のゲートドライバ回路部7 0 6は、画素部7 0 2を挟んで両側に設けられる。またゲートドライバ回路部7 0 6は、画素部7 0 2の角部において、円弧状の輪郭に沿って設けられている。

30

【0372】

樹脂層7 4 3は、F P C端子部7 0 8が設けられる部分が突出した形状を有している。また樹脂層7 4 3のF P C端子部7 0 8を含む一部は、図18B中の領域P 2で裏側に折り返すことができる。樹脂層7 4 3の一部を折り返すことで、F P C 7 1 6を画素部7 0 2の裏側に重ねて配置した状態で、表示装置7 0 0 Aを電子機器に実装することができ、電子機器の省スペース化を図ることができる。

【0373】

表示装置7 0 0 Aに接続されるF P C 7 1 6には、I C 7 1 7が実装されている。I C 7 1 7は、例えばソースドライバ回路としての機能を有する。このとき、表示装置7 0 0 Aにおけるソースドライバ回路部7 0 4は、保護回路、バッファ回路、デマルチプレクサ回路等の少なくとも一を含む構成とすることができる。

40

【0374】

図18Cに示す表示装置7 0 0 Bは、大型の画面を有する電子機器に好適に用いることのできる表示装置である。例えばテレビジョン装置、モニタ装置、パーソナルコンピュータ (ノート型またはデスクトップ型を含む)、タブレット端末、デジタルサイネージなどに好適に用いることができる。

【0375】

表示装置7 0 0 Bは、複数のソースドライバI C 7 2 1と、一対のゲートドライバ回路部7 2 2を有する。

50

【0376】

複数のソースドライバIC721は、それぞれFPC723に取り付けられている。また、複数のFPC723は、一方の端子が第1の基板701に、他方の端子がプリント基板724にそれぞれ接続されている。FPC723を折り曲げることで、プリント基板724を画素部702の裏側に配置して、電子機器に実装することができ、電子機器の省スペース化を図ることができる。

【0377】

一方、ゲートドライバ回路部722は、第1の基板701上に形成されている。これにより、狭額縁の電子機器を実現できる。

【0378】

このような構成とすることで、大型で且つ高解像度の表示装置を実現できる。例えば画面サイズが対角30インチ以上、40インチ以上、50インチ以上、または60インチ以上の表示装置にも適用することができる。また、解像度が4K2K、または8K4Kなどといった極めて高解像度の表示装置を実現することができる。

【0379】

<断面構成例>

以下では、表示素子として液晶素子を用いる構成、及びEL素子を用いる構成について、図19乃至図22を用いて説明する。なお、図19乃至図21は、それぞれ図18Aに示す一点鎖線Q-Rにおける断面図である。また図22は、図18Bに示した表示装置700A中の一点鎖線S-Tにおける断面図である。図19及び図20は、表示素子として液晶素子を用いた構成であり、図21及び図22は、EL素子を用いた構成である。

【0380】

〔表示装置の共通部分に関する説明〕

図19乃至図22に示す表示装置は、引き回し配線部711と、画素部702と、ソースドライバ回路部704と、FPC端子部708と、を有する。引き回し配線部711は、信号線710を有する。画素部702は、トランジスタ750及び容量素子790を有する。ソースドライバ回路部704は、トランジスタ752を有する。図20では、容量素子790が無い場合を示している。

【0381】

トランジスタ750及びトランジスタ752は、実施の形態2で例示したトランジスタを適用できる。

【0382】

本実施の形態で用いるトランジスタは、高純度化し、酸素欠損の形成を抑制した酸化物半導体膜を有する。該トランジスタは、オフ電流を低くできる。よって、画像信号等の電気信号の保持時間を長くでき、画像信号等の書き込み間隔も長く設定できる。よって、リフレッシュ動作の頻度を少なくできるため、消費電力を低減する効果を奏する。

【0383】

本実施の形態で用いるトランジスタは、比較的高い電界効果移動度が得られるため、高速駆動が可能である。例えば、このような高速駆動が可能なトランジスタを表示装置に用いることで、画素部のトランジスタと、駆動回路部に使用するトランジスタを同一基板上に形成することができる。すなわち、シリコンウェハ等により形成された駆動回路を適用しない構成も可能であり、表示装置の部品点数を削減することができる。また、画素部においても、高速駆動が可能なトランジスタを用いることで、高画質な画像を提供することができる。

【0384】

図19、図21、及び図22に示す容量素子790は、トランジスタ750が有する第1のゲート電極と同一の膜を加工して形成される下部電極と、半導体層と同一の金属酸化物を加工して形成される上部電極と、を有する。上部電極は、トランジスタ750のソース領域及びドレイン領域と同様に低抵抗化されている。また、下部電極と上部電極との間には、トランジスタ750の第1のゲート絶縁層として機能する絶縁膜の一部が設けられ

10

20

30

40

50

る。すなわち、容量素子 790 は、一对の電極間に誘電体膜として機能する絶縁膜が挟持された積層型の構造である。また、上部電極には、トランジスタのソース電極及びドレイン電極と同一の膜を加工して得られる配線が接続されている。

【0385】

トランジスタ 750、トランジスタ 752、及び容量素子 790 上には平坦化絶縁膜 770 が設けられている。

【0386】

画素部 702 が有するトランジスタ 750 と、ソースドライバ回路部 704 が有するトランジスタ 752 とは、異なる構造のトランジスタを用いてもよい。例えば、いずれか一方にトップゲート型のトランジスタを適用し、他方にボトムゲート型のトランジスタを適用した構成としてもよい。なお、上記ゲートドライバ回路部 706 についてもソースドライバ回路部 704 と同様に、トランジスタ 750 と同じ構造のトランジスタを用いてもよいし、異なる構造のトランジスタを用いてもよい。

【0387】

信号線 710 は、トランジスタ 750、752 のソース電極及びドレイン電極等と同じ導電膜で形成されている。このとき、銅元素を含む材料等の低抵抗な材料を用いると、配線抵抗に起因する信号遅延等が少なく、大画面での表示が可能となるため好ましい。

【0388】

FPC 端子部 708 は、一部が接続電極として機能する配線 760、異方性導電膜 780、及び FPC 716 を有する。配線 760 は、異方性導電膜 780 を介して FPC 716 が有する端子と電氣的に接続される。ここでは、配線 760 は、トランジスタ 750、752 のソース電極及びドレイン電極等と同じ導電膜で形成されている。

【0389】

第 1 の基板 701 及び第 2 の基板 705 として、例えばガラス基板、またはプラスチック基板等の可撓性を有する基板を用いることができる。第 1 の基板 701 に可撓性を有する基板を用いる場合には、第 1 の基板 701 とトランジスタ 750 等との間に、水や水素に対するバリア性を有する絶縁層を設けることが好ましい。

【0390】

第 2 の基板 705 側には、遮光膜 738 と、着色膜 736 と、これらに接する絶縁膜 734 と、が設けられる。

【0391】

〔液晶素子を用いる表示装置の構成例〕

図 19 に示す表示装置 700 は、液晶素子 775 及びスペーサ 778 を有する。液晶素子 775 は、導電層 772、導電層 774、及びこれらの間に液晶層 776 を有する。導電層 774 は、第 2 の基板 705 側に設けられ、共通電極としての機能を有する。また、導電層 772 は、トランジスタ 750 が有するソース電極またはドレイン電極と電氣的に接続される。導電層 772 は、平坦化絶縁膜 770 上に形成され、画素電極として機能する。

【0392】

導電層 772 には、可視光に対して透光性の材料、または反射性の材料を用いることができる。透光性の材料として、例えば、インジウム、亜鉛、スズ等を含む酸化物材料を用いるとよい。反射性の材料として、例えば、アルミニウム、銀等を含む材料を用いるとよい。

【0393】

導電層 772 に反射性の材料を用いると、表示装置 700 は反射型の液晶表示装置となる。一方、導電層 772 に透光性の材料を用いると、透過型の液晶表示装置となる。反射型の液晶表示装置の場合、視認側に偏光板を設ける。一方、透過型の液晶表示装置の場合、液晶素子を挟むように一对の偏光板を設ける。

【0394】

図 20 に示す表示装置 700 は、横電界方式（例えば、FFS モード）の液晶素子 77

10

20

30

40

50

5を用いる例を示す。導電層772上に絶縁層773を介して、共通電極として機能する導電層774が設けられる。導電層772と導電層774との間に生じる電界によって、液晶層776の配向状態を制御することができる。

【0395】

図20において、導電層774、絶縁層773、導電層772の積層構造により保持容量を構成することができる。そのため、別途容量素子を設ける必要がなく、開口率を高めることができる。

【0396】

図19及び図20には図示しないが、液晶層776と接する配向膜を設ける構成としてもよい。また、偏光部材、位相差部材、反射防止部材などの光学部材（光学基板）、及びバックライト、サイドライトなどの光源を適宜設けることができる。

【0397】

液晶層776には、サーモトロピック液晶、低分子液晶、高分子液晶、高分子分散型液晶（PDLC：Polymer Dispersed Liquid Crystal）、高分子ネットワーク型液晶（PNLC：Polymer Network Liquid Crystal）、強誘電性液晶、反強誘電性液晶等を用いることができる。また、横電界方式を採用する場合、配向膜を用いないブルー相を示す液晶を用いてもよい。

【0398】

液晶素子のモードとして、TN（Twisted Nematic）モード、VA（Vertical Alignment）モード、IPS（In-Plane-Switching）モード、FFS（Fringe Field Switching）モード、ASM（Axially Symmetric aligned Micro-cell）モード、OCB（Optically Compensated Birefringence）モード、ECB（Electrically Controlled Birefringence）モード、ゲストホストモードなどを用いることができる。

【0399】

液晶層776に高分子分散型液晶や、高分子ネットワーク型液晶などを用いた、散乱型の液晶を用いることもできる。このとき、着色膜736を設けずに白黒表示を行う構成としてもよいし、着色膜736を用いてカラー表示を行う構成としてもよい。

【0400】

液晶素子の駆動方法として、継時加法混色法に基づいてカラー表示を行う、時間分割表示方式（フィールドシーケンシャル駆動方式ともいう）を適用してもよい。その場合、着色膜736を設けない構成とすることができる。時間分割表示方式を用いた場合、例えばR（赤色）、G（緑色）、B（青色）のそれぞれの色を呈する副画素を設ける必要がないため、画素の開口率を向上させることや、精細度を高められるなどの利点がある。

【0401】

〔発光素子を用いる表示装置〕

図21に示す表示装置700は、発光素子782を有する。発光素子782は、導電層772、EL層786、及び導電膜788を有する。EL層786は、有機化合物、または無機化合物などの発光材料を有する。

【0402】

発光材料として、蛍光材料、燐光材料、熱活性化遅延蛍光（Thermally activated delayed fluorescence：TADF）材料、無機化合物（量子ドット材料など）などを用いることができる。

【0403】

図21に示す表示装置700には、平坦化絶縁膜770上に導電層772の一部を覆う絶縁膜730が設けられる。ここで、発光素子782は透光性の導電膜788を有し、トップエミッション型の発光素子である。なお、発光素子782は、導電層772側に光を射出するボトムエミッション構造や、導電層772側及び導電膜788側の双方に光を射出するデュアルエミッション構造としてもよい。

10

20

30

40

50

【0404】

着色膜736は発光素子782と重なる位置に設けられ、遮光膜738は絶縁膜730と重なる位置、引き回し配線部711、及びソースドライバ回路部704に設けられている。また、着色膜736及び遮光膜738は、絶縁膜734で覆われている。また、発光素子782と絶縁膜734の間は封止膜732で充填されている。なお、EL層786を画素毎に島状または画素列毎に縞状に形成する、すなわち塗り分けにより形成する場合においては、着色膜736を設けない構成としてもよい。

【0405】

図22には、フレキシブルディスプレイに好適に適用できる表示装置の構成を示している。図22は、図18Bに示した表示装置700A中の一点鎖線S-Tにおける断面図である。

10

【0406】

図22に示す表示装置700Aは、図21で示した第1の基板701に代えて、支持基板745、接着層742、樹脂層743、及び絶縁層744が積層された構成を有する。トランジスタ750や容量素子790等は、樹脂層743上に設けられた絶縁層744上に設けられている。

【0407】

支持基板745は、有機樹脂やガラス等を含み、可撓性を有する程度に薄い基板である。樹脂層743は、ポリイミドやアクリルなどの有機樹脂を含む層である。絶縁層744は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン等の無機絶縁膜を含む。樹脂層743と支持基板745とは、接着層742によって貼り合わされている。樹脂層743は、支持基板745よりも薄いことが好ましい。

20

【0408】

図22に示す表示装置700Aは、図21で示した第2の基板705に代えて保護層740を有する。保護層740は、封止膜732と貼り合わされている。保護層740として、ガラス基板や樹脂フィルムなどを用いることができる。また、保護層740として、偏光板、散乱板などの光学部材や、タッチセンサパネルなどの入力装置、またはこれらを2つ以上積層した構成を適用してもよい。

【0409】

発光素子782が有するEL層786は、絶縁膜730及び導電層772上に島状に設けられている。EL層786を、副画素毎に発光色が異なるように作り分けることで、着色膜736を用いずにカラー表示を実現することができる。また、発光素子782を覆って、保護層741が設けられている。保護層741は発光素子782に水などの不純物が拡散することを防ぐ機能を有する。保護層741は、無機絶縁膜を用いることが好ましい。また、無機絶縁膜と有機絶縁膜をそれぞれ一以上含む積層構造とすることがより好ましい。

30

【0410】

図22では、折り曲げ可能な領域P2を示している。領域P2では、支持基板745、接着層742のほか、絶縁層744等の無機絶縁膜が設けられていない部分を有する。また、領域P2において、配線760を覆って樹脂層746が設けられている。折り曲げ可能な領域P2に無機絶縁膜をできるだけ設けず、且つ、金属または合金を含む導電層と、有機材料を含む層のみを積層した構成とすることで、曲げた際にクラックが生じることを防ぐことができる。また、領域P2に支持基板745を設けないことで、極めて小さい曲率半径で、表示装置700Aの一部を曲げることができる。

40

【0411】

〔表示装置に入力装置を設ける構成例〕

図19乃至図22に示す表示装置700、または表示装置700Aに入力装置を設けてもよい。当該入力装置として、例えば、タッチセンサ等が挙げられる。

【0412】

例えばセンサの方式として、静電容量方式、抵抗膜方式、表面弾性波方式、赤外線方式

50

、光学方式、感圧方式など様々な方式を用いることができる。または、これら2つ以上を組み合わせることもよい。

【0413】

なお、タッチパネルの構成は、入力装置を一对の基板の間に形成する、所謂インセル型のタッチパネル、入力装置を表示装置700上に形成する、所謂オンセル型のタッチパネル、または入力装置を表示装置700に貼り合わせて用いる、所謂アウトセル型のタッチパネルなどがある。

【0414】

本実施の形態で例示した構成例、及びそれらに対応する図面等は、少なくともその一部を他の構成例、または図面等と適宜組み合わせる実施することができる。

10

【0415】

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する他の実施の形態と適宜組み合わせる実施することができる。

【0416】

(実施の形態4)

本実施の形態では、本発明の一態様の半導体装置を有する表示装置について、図23を用いて説明を行う。

【0417】

図23Aに示す表示装置は、画素部502と、駆動回路部504と、保護回路506と、端子部507と、を有する。なお、保護回路506は、設けない構成としてもよい。

20

【0418】

画素部502や駆動回路部504が有するトランジスタに、本発明の一態様のトランジスタを適用することができる。また保護回路506にも、本発明の一態様のトランジスタを適用してもよい。

【0419】

画素部502は、X行Y列(X、Yはそれぞれ独立に2以上の自然数)に配置された複数の画素回路501を有する。各画素回路501は、それぞれ表示素子を駆動する回路を有する。

【0420】

駆動回路部504は、ゲート線GL__1乃至GL__Xに走査信号を出力するゲートドライバ504a、データ線DL__1乃至DL__Yにデータ信号を供給するソースドライバ504bなどの駆動回路を有する。ゲートドライバ504aは、少なくともシフトレジスタを有する構成とすればよい。またソースドライバ504bは、例えば複数のアナログスイッチなどを用いて構成される。また、シフトレジスタなどを用いてソースドライバ504bを構成してもよい。

30

【0421】

端子部507は、外部の回路から表示装置に電源、制御信号、及び画像信号等を入力するための端子が設けられた部分をいう。

【0422】

保護回路506は、自身が接続する配線に一定の範囲外の電位が与えられたときに、該配線と別の配線とを導通状態にする回路である。図23Aに示す保護回路506は、例えば、ゲートドライバ504aと画素回路501の間の配線であるゲート線GL__1乃至GL__X、またはソースドライバ504bと画素回路501の間の配線であるデータ線DL__1乃至DL__Y等の各種配線に接続される。なお、図23Aでは、保護回路506と画素回路501とを区別するため、保護回路506にハッチングを付している。

40

【0423】

ゲートドライバ504aとソースドライバ504bは、それぞれ画素部502と同じ基板上に設けられていてもよいし、ゲートドライバ回路またはソースドライバ回路が別途形成された基板(例えば、単結晶半導体または多結晶半導体で形成された駆動回路基板)をCOGやTAB(Tape Automated Bonding)によって、画素部50

50

2 が設けられる基板に実装する構成としてもよい。

【0424】

図23B及び図23Cに、画素回路501に適用することができる画素回路の構成の一例を示す。

【0425】

図23Aに示す複数の画素回路501は、例えば、図23B及び図23Cに示す構成とすることができる。

【0426】

図23Bに示す画素回路501は、液晶素子570と、トランジスタ550と、容量素子560と、を有する。また画素回路501には、データ線DL_n、ゲート線GL_m、電位供給線VL等が接続されている。

10

【0427】

液晶素子570の一对の電極の一方の電位は、画素回路501の仕様に依じて適宜設定される。液晶素子570は、書き込まれるデータにより配向状態が設定される。なお、複数の画素回路501のそれぞれが有する液晶素子570の一对の電極の一方に共通の電位（コモン電位）を与えてもよい。また、各行の画素回路501の液晶素子570の一对の電極の一方に異なる電位を与えてもよい。

【0428】

図23（C）に示す画素回路501は、トランジスタ552、554と、容量素子562と、発光素子572と、を有する。また画素回路501には、データ線DL_n、ゲート線GL_m、電位供給線VL_a、電位供給線VL_b等が接続されている。

20

【0429】

なお、電位供給線VL_a及び電位供給線VL_bの一方には、高電源電位VDDが与えられ、他方には、低電源電位VSSが与えられる。トランジスタ554のゲートに与えられる電位に応じて、発光素子572に流れる電流が制御されることにより、発光素子572からの発光輝度が制御される。

【0430】

本実施の形態で例示した構成例、及びそれらに対応する図面等は、少なくともその一部を他の構成例、または図面等と適宜組み合わせることで実施することができる。

【0431】

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する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。

30

【0432】

（実施の形態5）

以下では、画素に表示される階調を補正するためのメモリを備える画素回路と、これを有する表示装置について説明する。実施の形態2で例示したトランジスタは、以下で例示する画素回路に用いられるトランジスタに適用することができる。

【0433】

<回路構成>

図24Aに、画素回路400の回路図を示す。画素回路400は、トランジスタM1、トランジスタM2、容量C1、及び回路401を有する。また画素回路400には、配線S1、配線S2、配線G1、及び配線G2が接続される。

40

【0434】

トランジスタM1は、ゲートが配線G1と、ソース及びドレインの一方が配線S1と、他方が容量C1の一方の電極と、それぞれ接続する。トランジスタM2は、ゲートが配線G2と、ソース及びドレインの一方が配線S2と、他方が容量C1の他方の電極、及び回路401と、それぞれ接続する。

【0435】

回路401は、少なくとも一の表示素子を含む回路である。表示素子として様々な素子を用いることができるが、代表的には有機EL素子やLED素子などの発光素子、液晶素

50

子、またはMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 素子等を適用することができる。

【0436】

トランジスタM1と容量C1とを接続するノードをノードN1、トランジスタM2と回路401とを接続するノードをノードN2とする。

【0437】

画素回路400は、トランジスタM1をオフ状態とすることで、ノードN1の電位を保持することができる。また、トランジスタM2をオフ状態とすることで、ノードN2の電位を保持することができる。また、トランジスタM2をオフ状態とした状態で、トランジスタM1を介してノードN1に所定の電位を書き込むことで、容量C1を介した容量結合により、ノードN1の電位の変位に応じてノードN2の電位を変化させることができる。

【0438】

ここで、トランジスタM1、トランジスタM2のうち的一方または両方に、実施の形態2で例示した、酸化物半導体が適用されたトランジスタを適用することができる。そのため極めて低いオフ電流により、ノードN1及びノードN2の電位を長期間に亘って保持することができる。なお、各ノードの電位を保持する期間が短い場合（具体的には、フレーム周波数が30Hz以上である場合等）には、シリコン等の半導体を適用したトランジスタを用いてもよい。

【0439】

<駆動方法例>

続いて、図24Bを用いて、画素回路400の動作方法の一例を説明する。図24Bは、画素回路400の動作に係るタイミングチャートである。なおここでは説明を容易にするため、配線抵抗などの各種抵抗や、トランジスタや配線などの寄生容量、及びトランジスタのしきい値電圧などの影響は考慮しない。

【0440】

図24Bに示す動作では、1フレーム期間を期間T1と期間T2とに分ける。期間T1はノードN2に電位を書き込む期間であり、期間T2はノードN1に電位を書き込む期間である。

【0441】

〔期間T1〕

期間T1では、配線G1と配線G2の両方に、トランジスタをオン状態にする電位を与える。また、配線S1には固定電位である電位 V_{ref} を供給し、配線S2には第1データ電位 V_w を供給する。

【0442】

ノードN1には、トランジスタM1を介して配線S1から電位 V_{ref} が与えられる。また、ノードN2には、トランジスタM2を介して第1データ電位 V_w が与えられる。したがって、容量C1には電位差 $V_w - V_{ref}$ が保持された状態となる。

【0443】

〔期間T2〕

続いて期間T2では、配線G1にはトランジスタM1をオン状態とする電位を与え、配線G2にはトランジスタM2をオフ状態とする電位を与える。また、配線S1には第2データ電位 V_{data} を供給する。配線S2には所定の定電位を与える、またはフローティング状態としてもよい。

【0444】

ノードN1には、トランジスタM1を介して第2データ電位 V_{data} が与えられる。このとき、容量C1による容量結合により、第2データ電位 V_{data} に応じてノードN2の電位が電位 dV だけ変化する。すなわち、回路401には、第1データ電位 V_w と電位 dV を足した電位が入力されることとなる。なお、図24Bでは電位 dV が正の値であるように示しているが、負の値であってもよい。すなわち、第2データ電位 V_{data} が電位 V_{ref} より低くてもよい。

【0445】

ここで、電位 dV は、容量 $C1$ の容量値と、回路 401 の容量値によって概ね決定される。容量 $C1$ の容量値が回路 401 の容量値よりも十分に大きい場合、電位 dV は第 2 データ電位 V_{data} に近い電位となる。

【0446】

このように、画素回路 400 は、2 種類のデータ信号を組み合わせる表示素子を含む回路 401 に供給する電位を生成することができるため、画素回路 400 内で階調の補正を行うことが可能となる。

【0447】

画素回路 400 は、配線 $S1$ 及び配線 $S2$ に接続されるソースドライバが供給可能な最大電位を超える電位を生成することも可能となる。例えば発光素子を用いた場合には、ハイダイナミックレンジ (HDR) 表示等を行うことができる。また、液晶素子を用いた場合には、オーバードライブ駆動等を実現できる。

【0448】

<適用例>

〔液晶素子を用いた例〕

図 24C に示す画素回路 400LC は、回路 401LC を有する。回路 401LC は、液晶素子 LC と、容量 $C2$ とを有する。

【0449】

液晶素子 LC は、一方の電極がノード $N2$ 及び容量 $C2$ の一方の電極と、他方の電極が電位 V_{com2} が与えられる配線と接続する。容量 $C2$ は、他方の電極が電位 V_{com1} が与えられる配線と接続する。

【0450】

容量 $C2$ は保持容量として機能する。なお、容量 $C2$ は不要であれば省略することができる。

【0451】

画素回路 400LC は、液晶素子 LC に高い電圧を供給することができるため、例えばオーバードライブ駆動により高速な表示を実現すること、駆動電圧の高い液晶材料を適用することなどができる。また、配線 $S1$ または配線 $S2$ に補正信号を供給することで、使用温度や液晶素子 LC の劣化状態等に応じて階調を補正することもできる。

【0452】

〔発光素子を用いた例〕

図 24D に示す画素回路 400EL は、回路 401EL を有する。回路 401EL は、発光素子 EL、トランジスタ $M3$ 、及び容量 $C2$ を有する。

【0453】

トランジスタ $M3$ は、ゲートがノード $N2$ 及び容量 $C2$ の一方の電極と、ソース及びドレインの一方が電位 V_H が与えられる配線と、他方が発光素子 EL の一方の電極と、それぞれ接続される。容量 $C2$ は、他方の電極が電位 V_{com} が与えられる配線と接続する。発光素子 EL は、他方の電極が電位 V_L が与えられる配線と接続する。

【0454】

トランジスタ $M3$ は、発光素子 EL に供給する電流を制御する機能を有する。容量 $C2$ は保持容量として機能する。容量 $C2$ は不要であれば省略することができる。

【0455】

なお、ここでは発光素子 EL のアノード側がトランジスタ $M3$ と接続する構成を示しているが、カソード側にトランジスタ $M3$ を接続してもよい。そのとき、電位 V_H と電位 V_L の値を適宜変更することができる。

【0456】

画素回路 400EL は、トランジスタ $M3$ のゲートに高い電位を与えることで、発光素子 EL に大きな電流を流すことができるため、例えば HDR 表示などを実現することができる。また、配線 $S1$ または配線 $S2$ に補正信号を供給することで、トランジスタ $M3$ や

10

20

30

40

50

発光素子 E L の電気特性のばらつきを補正することもできる。

【0457】

なお、図24C及び図24Dで例示した回路に限られず、別途トランジスタや容量などを追加した構成としてもよい。

【0458】

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する他の実施の形態と適宜組み合わせる実施することができる。

【0459】

(実施の形態6)

本実施の形態では、本発明の一態様を用いて作製することができる表示モジュールについて説明する。

【0460】

図25Aに示す表示モジュール6000は、上部カバー6001と下部カバー6002との間に、FPC6005が接続された表示装置6006、フレーム6009、プリント基板6010、及びバッテリー6011を有する。

【0461】

例えば、本発明の一態様を用いて作製された表示装置を、表示装置6006に用いることができる。表示装置6006により、極めて消費電力の低い表示モジュールを実現することができる。

【0462】

上部カバー6001及び下部カバー6002は、表示装置6006のサイズに合わせて、形状や寸法を適宜変更することができる。

【0463】

表示装置6006はタッチパネルとしての機能を有していてもよい。

【0464】

フレーム6009は、表示装置6006の保護機能、プリント基板6010の動作により発生する電磁波を遮断する機能、放熱板としての機能等を有していてもよい。

【0465】

プリント基板6010は、電源回路、ビデオ信号及びクロック信号を出力するための信号処理回路、バッテリー制御回路等を有する。

【0466】

図25Bは、光学式のタッチセンサを備える表示モジュール6000の断面概略図である。

【0467】

表示モジュール6000は、プリント基板6010に設けられた発光部6015及び受光部6016を有する。また、上部カバー6001と下部カバー6002により囲まれた領域に一对の導光部(導光部6017a、導光部6017b)を有する。

【0468】

表示装置6006は、フレーム6009を間に介してプリント基板6010やバッテリー6011と重ねて設けられている。表示装置6006とフレーム6009は、導光部6017a、導光部6017bに固定されている。

【0469】

発光部6015から発せられた光6018は、導光部6017aにより表示装置6006の上部を経由し、導光部6017bを通して受光部6016に達する。例えば指やスタイラスなどの被検知体により、光6018が遮られることにより、タッチ操作を検出することができる。

【0470】

発光部6015は、例えば表示装置6006の隣接する2辺に沿って複数設けられる。受光部6016は、発光部6015と対向する位置に複数設けられる。これにより、タッチ操作がなされた位置の情報を取得することができる。

10

20

30

40

50

【0471】

発光部6015は、例えばLED素子などの光源を用いることができ、特に、赤外線を発する光源を用いることが好ましい。受光部6016は、発光部6015が発する光を受光し、電気信号に変換する光電素子を用いることができる。好適には、赤外線を受光可能なフォトダイオードを用いることができる。

【0472】

光6018を透過する導光部6017a、導光部6017bにより、発光部6015と受光部6016とを表示装置6006の下側に配置することができ、外光が受光部6016に到達してタッチセンサが誤動作することを抑制できる。特に、可視光を吸収し、赤外線を透過する樹脂を用いると、タッチセンサの誤動作をより効果的に抑制できる。

10

【0473】

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する他の実施の形態と適宜組み合わせ実施することができる。

【0474】

(実施の形態7)

本実施の形態では、本発明の一態様の表示装置を適用可能な、電子機器の例について説明する。

【0475】

図26Aに示す電子機器6500は、スマートフォンとして用いることのできる携帯情報端末機である。

20

【0476】

電子機器6500は、筐体6501、表示部6502、電源ボタン6503、ボタン6504、スピーカ6505、マイク6506、カメラ6507、及び光源6508等を有する。表示部6502はタッチパネル機能を備える。

【0477】

表示部6502に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

【0478】

図26Bは、筐体6501のマイク6506側の端部を含む断面概略図である。

【0479】

筐体6501の表示面側には透光性を有する保護部材6510が設けられ、筐体6501と保護部材6510に囲まれた空間内に、表示パネル6511、光学部材6512、タッチセンサパネル6513、プリント基板6517、バッテリー6518等が配置されている。

30

【0480】

保護部材6510には、表示パネル6511、光学部材6512、及びタッチセンサパネル6513が図示しない接着層により固定されている。

【0481】

表示部6502よりも外側の領域において、表示パネル6511の一部が折り返されている。また、当該折り返された部分に、FPC6515が接続されている。FPC6515には、IC6516が実装されている。またFPC6515は、プリント基板6517に設けられた端子に接続されている。

40

【0482】

表示パネル6511には本発明の一態様のフレキシブルディスプレイパネルを適用することができる。そのため、極めて軽量の電子機器を実現できる。また、表示パネル6511が極めて薄いため、電子機器の厚さを抑えつつ、大容量のバッテリー6518を搭載することもできる。また、表示パネル6511の一部を折り返して、画素部の裏側にFPC6515との接続部を配置することにより、狭額縁の電子機器を実現できる。

【0483】

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する他の実施の形態と適宜組み合わせ実施することができる。

50

【0484】

(実施の形態8)

本実施の形態では、本発明の一態様を用いて作製された表示装置を備える電子機器について説明する。

【0485】

以下で例示する電子機器は、表示部に本発明の一態様の表示装置を備えるものである。したがって、高い解像度が実現された電子機器である。また高い解像度と、大きな画面が両立された電子機器とすることができる。

【0486】

本発明の一態様の電子機器の表示部には、例えばフルハイビジョン、4K2K、8K4K、16K8K、またはそれ以上の解像度を有する映像を表示させることができる。

【0487】

電子機器として、例えば、テレビジョン装置、ノート型のパーソナルコンピュータ、モニタ装置、デジタルサイネージ、パチンコ機、ゲーム機などの比較的大きな画面を備える電子機器の他、デジタルカメラ、デジタルビデオカメラ、デジタルフォトフレーム、携帯電話機、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、などが挙げられる。

【0488】

本発明の一態様が適用された電子機器は、家屋やビルの内壁または外壁、自動車等の内装または外装等が有する平面または曲面に沿って組み込むことができる。

【0489】

図27Aは、ファインダー8100を取り付けた状態のカメラ8000の外観を示す図である。

【0490】

カメラ8000は、筐体8001、表示部8002、操作ボタン8003、シャッターボタン8004等を有する。またカメラ8000には、着脱可能なレンズ8006が取り付けられている。

【0491】

なおカメラ8000は、レンズ8006と筐体とが一体となってもよい。

【0492】

カメラ8000は、シャッターボタン8004を押す、またはタッチパネルとして機能する表示部8002をタッチすることにより撮像することができる。

【0493】

筐体8001は、電極を有するマウントを有し、ファインダー8100のほか、ストロボ装置等を接続することができる。

【0494】

ファインダー8100は、筐体8101、表示部8102、ボタン8103等を有する。

【0495】

筐体8101は、カメラ8000のマウントと係合するマウントにより、カメラ8000に取り付けられている。ファインダー8100はカメラ8000から受信した映像等を表示部8102に表示させることができる。

【0496】

ボタン8103は、電源ボタン等としての機能を有する。

【0497】

カメラ8000の表示部8002、及びファインダー8100の表示部8102に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。なお、ファインダーが内蔵されたカメラ8000であってもよい。

【0498】

図27Bは、ヘッドマウントディスプレイ8200の外観を示す図である。

【0499】

ヘッドマウントディスプレイ8200は、装着部8201、レンズ8202、本体82

10

20

30

40

50

０３、表示部８２０４、ケーブル８２０５等を有している。また装着部８２０１には、バッテリー８２０６が内蔵されている。

【０５００】

ケーブル８２０５は、バッテリー８２０６から本体８２０３に電力を供給する。本体８２０３は無線受信機等を備え、受信した映像情報を表示部８２０４に表示させることができる。また、本体８２０３はカメラを備え、使用者の眼球やまぶたの動きの情報を入力手段として用いることができる。

【０５０１】

装着部８２０１には、使用者に触れる位置に、使用者の眼球の動きに伴って流れる電流を検知可能な複数の電極が設けられ、視線を認識する機能を有していてもよい。また、当該電極に流れる電流により、使用者の脈拍をモニタする機能を有していてもよい。また、装着部８２０１には、温度センサ、圧力センサ、加速度センサ等の各種センサを有していてもよく、使用者の生体情報を表示部８２０４に表示する機能や、使用者の頭部の動きに合わせて表示部８２０４に表示する映像を変化させる機能を有していてもよい。

【０５０２】

表示部８２０４に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

【０５０３】

図２７Ｃ、図２７Ｄ及び図２７Ｅは、ヘッドマウントディスプレイ８３００の外観を示す図である。ヘッドマウントディスプレイ８３００は、筐体８３０１と、表示部８３０２と、バンド状の固定具８３０４と、一対のレンズ８３０５と、を有する。

【０５０４】

使用者は、レンズ８３０５を通して、表示部８３０２の表示を視認することができる。なお、表示部８３０２を湾曲して配置させると、使用者が高い臨場感を感じることができるため好ましい。また、表示部８３０２の異なる領域に表示された別の画像を、レンズ８３０５を通して視認することで、視差を用いた３次元表示等を行うこともできる。なお、表示部８３０２を１つ設ける構成に限られず、表示部８３０２を２つ設け、使用者の片方の目につき１つの表示部を配置してもよい。

【０５０５】

なお、表示部８３０２に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。本発明の一態様の半導体装置を有する表示装置は、極めて精細度が高いため、図２７Ｅのようにレンズ８３０５を用いて拡大したとしても、使用者に画素が視認されることなく、より現実感の高い映像を表示することができる。

【０５０６】

図２８Ａ乃至図２８Ｇに示す電子機器は、筐体９０００、表示部９００１、スピーカ９００３、操作キー９００５（電源スイッチ、又は操作スイッチを含む）、接続端子９００６、センサ９００７（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、におい又は赤外線を測定する機能を含むもの）、マイクロフォン９００８、等を有する。

【０５０７】

図２８Ａ乃至図２８Ｇに示す電子機器は、様々な機能を有する。例えば、様々な情報（静止画、動画、テキスト画像など）を表示部に表示する機能、タッチパネル機能、カレンダー、日付または時刻などを表示する機能、様々なソフトウェア（プログラム）によって処理を制御する機能、無線通信機能、記録媒体に記録されているプログラムまたはデータを読み出して処理する機能、等を有することができる。なお、電子機器の機能はこれらに限られず、様々な機能を有することができる。電子機器は、複数の表示部を有していてもよい。また、電子機器にカメラ等を設け、静止画や動画を撮影し、記録媒体（外部またはカメラに内蔵）に保存する機能、撮影した画像を表示部に表示する機能、等を有していてもよい。

【０５０８】

図 28 A 乃至図 28 G に示す電子機器の詳細について、以下説明を行う。

【0509】

図 28 A は、テレビジョン装置 9100 を示す斜視図である。テレビジョン装置 9100 は、大画面、例えば、50 インチ以上、または 100 インチ以上の表示部 9001 を組み込むことが可能である。

【0510】

図 28 B は、携帯情報端末 9101 を示す斜視図である。携帯情報端末 9101 は、例えばスマートフォンとして用いることができる。なお、携帯情報端末 9101 は、スピーカ 9003、接続端子 9006、センサ 9007 等を設けてもよい。また、携帯情報端末 9101 は、文字や画像情報をその複数の面に表示することができる。図 28 B では 3 つのアイコン 9050 を表示した例を示している。また、破線の矩形で示す情報 9051 を表示部 9001 の他の面に表示することもできる。情報 9051 の一例として、電子メール、SNS、電話などの着信の通知、電子メールや SNS などの題名、送信者名、日時、時刻、バッテリーの残量、アンテナ受信の強度などがある。または、情報 9051 が表示されている位置にはアイコン 9050 などを表示してもよい。

10

【0511】

図 28 C は、携帯情報端末 9102 を示す斜視図である。携帯情報端末 9102 は、表示部 9001 の 3 面以上に情報を表示する機能を有する。ここでは、情報 9052、情報 9053、情報 9054 がそれぞれ異なる面に表示されている例を示す。例えば使用者は、洋服の胸ポケットに携帯情報端末 9102 を収納した状態で、携帯情報端末 9102 の上方から観察できる位置に表示された情報 9053 を確認することもできる。使用者は、携帯情報端末 9102 をポケットから取り出すことなく表示を確認し、例えば電話を受けるか否かを判断できる。

20

【0512】

図 28 D は、腕時計型の携帯情報端末 9200 を示す斜視図である。携帯情報端末 9200 は、例えばスマートウォッチとして用いることができる。また、表示部 9001 はその表示面が湾曲して設けられ、湾曲した表示面に沿って表示を行うことができる。また、携帯情報端末 9200 は、例えば無線通信可能なヘッドセットと相互通信することによって、ハンズフリーで通話することもできる。また、携帯情報端末 9200 は、接続端子 9006 により、他の情報端末と相互にデータ伝送を行うことや、充電を行うこともできる。なお、充電動作は無線給電により行ってもよい。

30

【0513】

図 28 E、図 28 F 及び図 28 G は、折り畳み可能な携帯情報端末 9201 を示す斜視図である。また、図 28 E は携帯情報端末 9201 を展開した状態、図 28 G は折り畳んだ状態、図 28 F は図 28 E と図 28 G の一方から他方に変化する途中の状態の斜視図である。携帯情報端末 9201 は、折り畳んだ状態では可搬性に優れ、展開した状態では継ぎ目のない広い表示領域により表示の一覧性に優れる。携帯情報端末 9201 が有する表示部 9001 は、ヒンジ 9055 によって連結された 3 つの筐体 9000 に支持されている。例えば、表示部 9001 は、曲率半径 1 mm 以上 150 mm 以下で曲げることができる。

40

【0514】

図 29 A にテレビジョン装置の一例を示す。テレビジョン装置 7100 は、筐体 7101 に表示部 7500 が組み込まれている。ここでは、スタンド 7103 により筐体 7101 を支持した構成を示している。

【0515】

図 29 A に示すテレビジョン装置 7100 の操作は、筐体 7101 が備える操作スイッチや、別体のリモコン操作機 7111 により行うことができる。または、表示部 7500 にタッチパネルを適用し、これに触れることでテレビジョン装置 7100 を操作してもよい。リモコン操作機 7111 は、操作ボタンの他に表示部を有していてもよい。

【0516】

50

なお、テレビジョン装置 7100 は、テレビ放送の受信機や、ネットワーク接続のための通信装置を有していてもよい。

【0517】

図 29B に、ノート型パーソナルコンピュータ 7200 を示す。ノート型パーソナルコンピュータ 7200 は、筐体 7211、キーボード 7212、ポインティングデバイス 7213、外部接続ポート 7214 等を有する。筐体 7211 に、表示部 7500 が組み込まれている。

【0518】

図 29C 及び図 29D に、デジタルサイネージ (Digital Signage: 電子看板) の一例を示す。

10

【0519】

図 29C に示すデジタルサイネージ 7300 は、筐体 7301、表示部 7500、及びスピーカ 7303 等を有する。さらに、LED ランプ、操作キー (電源スイッチ、または操作スイッチを含む)、接続端子、各種センサ、マイクロフォン等を有することができる。

【0520】

図 29 (D) は、円柱状の柱 7401 に取り付けられたデジタルサイネージ 7400 である。デジタルサイネージ 7400 は、柱 7401 の曲面に沿って設けられた表示部 7500 を有する。

【0521】

表示部 7500 が広いほど、一度に提供できる情報量を増やすことができ、また人の目につきやすいため、例えば広告の宣伝効果を高める効果を奏する。

20

【0522】

表示部 7500 にタッチパネルを適用し、使用者が操作できる構成とすると好ましい。これにより、広告用途だけでなく、路線情報や交通情報、商用施設の案内情報など、使用者が求める情報を提供するための用途にも用いることができる。

【0523】

図 29C 及び図 29D に示すように、デジタルサイネージ 7300 またはデジタルサイネージ 7400 は、ユーザが所持するスマートフォン等の情報端末機 7311 と無線通信により連携可能であることが好ましい。例えば、表示部 7500 に表示される広告の情報を情報端末機 7311 の画面に表示させることや、情報端末機 7311 を操作することで、表示部 7500 の表示を切り替えることができる。

30

【0524】

デジタルサイネージ 7300 またはデジタルサイネージ 7400 に、情報端末機 7311 を操作手段 (コントローラ) としたゲームを実行させることもできる。これにより、不特定多数のユーザが同時にゲームに参加し、楽しむことができる。

【0525】

図 29A 乃至図 29D における表示部 7500 に、本発明の一態様の表示装置を適用することができる。

【0526】

本実施の形態の電子機器は表示部を有する構成としたが、表示部を有さない電子機器にも本発明の一態様を適用することができる。

40

【0527】

本実施の形態は、少なくともその一部を本明細書中に記載する他の実施の形態と適宜組み合わせる実施することができる。

【実施例 1】

【0528】

本実施例では、本発明の一態様である半導体装置に用いることができる金属酸化物膜の組成を評価した。

【0529】

本実施例では、作製方法が異なる金属酸化物膜について、X 線光電子分光 (XPS) 分

50

析を行い、組成の評価を行った。評価には、ガラス基板上に、厚さ100nmの金属酸化物膜を形成した試料（A1乃至A5、試料B1、及びB2）を用いた。

【0530】

<試料作製>

試料A1乃至A5は、金属酸化物膜をIn-Ga-Zn酸化物ターゲット（In：Ga：Zn=5：1：3〔原子数比〕）を用いたスパッタリング法により形成した。試料B1及びB2は、金属酸化物膜をIn-Zn酸化物ターゲット（In：Zn=2：3〔原子数比〕）を用いたスパッタリング法により形成した。

【0531】

試料（Sample）A1乃至A5、試料B1及びB2の金属酸化物膜の成膜条件を、表1に示す。なお、表1において、ターゲットの組成をTarget、金属酸化物膜の成膜時の基板温度をTsub、酸素流量比を $O_2/(Ar+O_2)$ 、圧力をPressure、電源電力をPowerと記している。

【0532】

【表1】

Sample	Target	Tsub	$O_2/(Ar+O_2)$	Pressure	Power
A1	In-Ga-Zn 酸化物 (5:1:3)	RT	10%	0.6Pa	2.5kW
A2			50%		
A3			100%		
A4		130℃	10%		
A5			100%		
B1	In-Zn 酸化物 (2:3)	RT	2%		
B2			100%		

【0533】

試料A1は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（以下、RTとも記す）とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を10%とした。成膜時の圧力を0.6Paとし、電源電力を2.5kWとした。

【0534】

試料A2は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（RT）とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を50%とした。成膜時の圧力を0.6Paとし、電源電力を2.5kWとした。

【0535】

試料A3は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（RT）とした。成膜ガスとして酸素ガス（酸素流量比を100%）を用いた。成膜時の圧力を0.6Paとし、電源電力を2.5kWとした。

【0536】

試料A4は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、130℃とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を10%とした。成膜時の圧力を0.6Paとし、電源電力を2.5kWとした。

【0537】

試料A5は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、130℃とした。成膜ガスとして酸素ガス（酸素流量比を100%）を用いた。成膜時の圧力を0.6Paとし、電源電力を2.5kWとした。

【0538】

試料B1は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（RT）とした。成膜ガスとし

て酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を２％とした。成膜時の圧力を０．６Paとし、電源電力を２．５kWとした。

【０５３９】

試料Ｂ２は、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温（ＲＴ）とした。成膜ガスとして酸素ガス（酸素流量比を１００％）を用いた。成膜時の圧力を０．６Paとし、電源電力を２．５kWとした。

【０５４０】

< X線光電子分光分析 >

次に、試料Ａ１乃至Ａ５、Ｂ１及びＢ２のX線光電子分光（XPS）分析を行った。

【０５４１】

XPS分析は、X線源に単色化したMg K α 線（ $\lambda = 1253.6 \text{ eV}$ ）を用いた。検出領域は8mm角以下とし、取出角は45°とした。検出深さは約4nm乃至5nmと考えられる。

【０５４２】

XPS分析から得られた各試料（Sample）のインジウム（In）、ガリウム（Ga）、亜鉛（Zn）、酸素（O）の原子数比を、表２に示す。表２において、試料Ａ１乃至Ａ５は、インジウムの原子数比を５．００として規格化した値を示している。試料Ｂ１及びＢ２は、インジウムの原子数比を２．００として規格化した値を示している。

【０５４３】

【表２】

Sample	Target	In	Ga	Zn	O
A1	In-Ga-Zn 酸化物 (5:1:3)	5.00	0.47	2.62	12.85
A2		5.00	0.74	2.79	12.37
A3		5.00	0.67	2.55	12.26
A4		5.00	0.56	2.81	12.75
A5		5.00	0.55	2.43	11.91
B1	In-Zn 酸化物 (2:3)	2.00	—	2.66	6.03
B2		2.00	—	2.64	5.95

【０５４４】

表２に示すように、亜鉛はターゲットの原子数比よりも金属酸化物膜の原子数比が小さくなることを確認できた。本実施例では、ターゲットに含まれる亜鉛の原子数比の約８１％以上９４％以下程度となった。ガリウムも、ターゲットの原子数比よりも金属酸化物膜の原子数比が小さくなる傾向を確認できた。ただし、ガリウムの定量において、波形分離したIn 4dピークを除去しているため、定量誤差が大きくなっている可能性が考えられる。したがって、表２に示すガリウム比率は実際のガリウム含有率より低い値となっている可能性がある。

【０５４５】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施例、実施の形態などと適宜組み合わせて用いることができる。

【実施例２】

【０５４６】

本実施例では、本発明の一態様である半導体装置に用いることができる金属酸化物膜の組成の結晶性を評価した。

【０５４７】

本実施例では、作製方法が異なる金属酸化物膜について、X線回折（XRD）分析を行

い、結晶性の評価を行った。評価には、ガラス基板上に、厚さ100nmの金属酸化物膜を形成した試料（試料C1乃至C3、D1乃至D3、E1乃至E3）を用いた。

【0548】

<試料作製>

試料C1乃至C3は、金属酸化物膜をIn-Ga-Zn酸化物ターゲット（In：Ga：Zn=5：1：3〔原子数比〕）を用いたスパッタリング法により形成した。試料D1乃至D3は、金属酸化物膜をIn-Zn酸化物ターゲット（In：Zn=2：3〔原子数比〕）を用いたスパッタリング法により形成した。試料E1乃至E3は、金属酸化物膜をIn-Zn酸化物ターゲット（In：Zn=4：1〔原子数比〕）を用いたスパッタリング法により形成した。

【0549】

試料（Sample）C1乃至C3、D1乃至D3、E1乃至E3の金属酸化物膜の成膜条件を、表3に示す。なお、表3において、ターゲットの組成をTarget、金属酸化物膜の成膜時の基板温度をTsub、酸素流量比を $O_2/(Ar+O_2)$ 、圧力をPressure、電源電力をPowerと記している。

【0550】

【表3】

Sample	Target	Tsub	$O_2/(Ar+O_2)$	Pressure	Power
C1	In-Ga-Zn 酸化物 (5:1:3)	RT	10%	0.6Pa	2.5kW
C2			30%		
C3			50%		
D1	In-Zn 酸化物 (2:3)	RT	10%		
D2			30%		
D3			50%		
E1	In-Zn 酸化物 (4:1)	RT	10%		
E2			30%		
E3			50%		

【0551】

<X線回折分析>

次に、試料C1乃至C3、D1乃至D3、E1乃至E3のX線回折（XRD）分析を行った。

【0552】

XRD分析には、out-of-plane法的一种である $\theta-2\theta$ スキャン法を用いた。 $\theta-2\theta$ スキャン法は、X線の入射角を変化させるとともに、X線源に対向して設けられる検出器の角度を入射角と同じにしてX線回折強度を測定する方法である。 $\theta-2\theta$ スキャン法は、粉末法と呼ばれる場合がある。XRD分析は、X線源としてCu K α 線（ $\lambda=0.15418\text{nm}$ ）を用い、走査範囲を $2\theta=15\text{deg}$ 乃至 50deg 、ステップ幅を 0.01deg 、走査速度を $6.0\text{deg}/\text{分}$ とした。

【0553】

XRD分析結果を、図30に示す。図30において、横軸に回折角度 2θ を示し、縦軸に回折X線の強度（Intensity）を示す。また、図30では、補助線として $2\theta=31\text{deg}$ を破線で示している。

【0554】

図30に示すように、いずれの試料も $2\theta=31\text{deg}$ 付近にピークが観察され、結晶

性を有することを確認できた。なお、試料 D 1 乃至 D 3 は観察されたピーク強度が高いため、図 30 の縦軸のスケールを他の試料と異ならせている。なお、 $2\theta = 24\text{ deg}$ 付近のブロードなピークは、ガラス基板に起因するピークである。

【0555】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施例、実施の形態などと適宜組み合わせて用いることができる。

【実施例 3】

【0556】

本実施例では、トランジスタ（試料 F、G 及び H）を作製し、ドレイン電流－ゲート電圧特性（ $I_D - V_G$ 特性）を評価した。なお、図 8 に示すトランジスタ 100、及び図 9 に示すトランジスタ 100A のそれぞれに相当するトランジスタを作製した。また、本実施例では、半導体層 108 の構成が異なる試料（F、G 及び H）を作製した。

【0557】

<試料の作製>

【0558】

まず、ガラス基板上に、厚さ約 100 nm のタングステン膜をスパッタリング法により形成し、これを加工して第 1 のゲート電極を得た。続いて、第 1 のゲート絶縁層として厚さ約 240 nm の第 1 の窒化シリコン膜と、厚さ約 60 nm の第 2 の窒化シリコン膜と、厚さ約 3 nm の酸化窒化シリコン膜をプラズマ CVD 法により積層して形成した。

【0559】

第 1 の窒化シリコン膜の成膜は、シランガス、窒素ガス、アンモニアガスの流量をそれぞれ 290 sccm、2000 sccm、2000 sccm とし、圧力を 200 Pa、成膜電力を 3000 W、基板温度を 350℃ とした。

【0560】

第 2 の窒化シリコン膜の成膜は、シランガス、窒素ガス、アンモニアガスの流量をそれぞれ 200 sccm、2000 sccm、100 sccm とし、圧力を 100 Pa、成膜電力を 2000 W、基板温度を 350℃ とした。

【0561】

酸化窒化シリコン膜の成膜は、シランガス、一酸化二窒素ガスの流量をそれぞれ 20 sccm、3000 sccm とし、圧力を 40 Pa、成膜電力を 3000 W、基板温度を 350℃ とした。

【0562】

続いて、第 1 のゲート絶縁層上に、厚さ 30 nm の第 1 の金属酸化物膜を成膜し、これを加工して半導体層を得た。ここで、第 1 の金属酸化物膜の成膜条件を異ならせた 3 つの試料（F、G 及び H）を作製した。試料 F は、第 1 の金属酸化物膜を In-Ga-Zn 酸化物ターゲット（In：Ga：Zn = 5：1：3 [原子数比]）を用いたスパッタリング法により形成した。試料 G は、第 1 の金属酸化物膜を In-Zn 酸化物ターゲット（In：Zn = 2：3 [原子数比]）を用いたスパッタリング法により形成した。試料 H は、第 1 の金属酸化物膜を In-Zn 酸化物ターゲット（In：Zn = 4：1 [原子数比]）を用いたスパッタリング法により形成した。

【0563】

試料（Sample）F、G 及び H の第 1 の金属酸化物膜の成膜条件を、表 4 に示す。なお、表 4 において、ターゲットの組成を Target、第 1 の金属酸化物膜の成膜時の基板温度を Tsub、酸素流量比を $O_2 / (Ar + O_2)$ 、圧力を Pressure、電源電力を Power と記している。

【0564】

10

20

30

40

50

【表 4】

Sample	Target	Tsub	O ₂ /(Ar+O ₂)	Pressure	Power
F	In-Ga-Zn 酸化物 (5:1:3)	RT	10%	0.6Pa	2.5kW
G	In-Zn 酸化物 (2:3)	RT	2%		
H	In-Zn 酸化物 (4:1)	RT	10%		

10

【0565】

半導体層の形成後、窒素ガス雰囲気にて350℃、1時間の加熱処理を行なった後、窒素ガスと酸素ガスの混合雰囲気にて350℃、1時間の加熱処理を行なった。なお、窒素ガスと酸素ガスの混合雰囲気は、窒素ガス：酸素ガス＝4：1（体積比）とした。

【0566】

続いて、第2のゲート絶縁層として、厚さ約5nmの第1の酸化窒化シリコン膜、厚さ約140nmの第2の酸化窒化シリコン膜、及び厚さ約5nmの第3の酸化窒化シリコン膜を、それぞれプラズマCVD法により成膜した。

20

【0567】

第1の酸化窒化シリコン膜の成膜は、シランガス、一酸化二窒素ガスの流量をそれぞれ24sccm、18000sccmとし、圧力を200Pa、成膜電力を130W、基板温度を350℃とした。

【0568】

第2の酸化窒化シリコン膜の成膜は、シランガス、一酸化二窒素ガスの流量をそれぞれ200sccm、4000sccmとし、圧力を300Pa、成膜電力を750W、基板温度を350℃とした。

【0569】

第3の酸化窒化シリコン膜の成膜は、シランガス、一酸化二窒素ガスの流量をそれぞれ20sccm、3000sccmとし、圧力を40Pa、成膜電力を500W、基板温度を350℃とした。

30

【0570】

続いて、第2のゲート絶縁層上にスパッタリング法により、厚さ20nmの第2の金属酸化物膜を成膜した。第2の金属酸化物膜の成膜は、In-Ga-Zn酸化物ターゲット（In：Ga：Zn＝4：2：4.1〔原子数比〕）を用いたスパッタリング法により行った。成膜時の基板温度は100℃とした。成膜ガスとして酸素ガス（酸素流量比100%）を用いた。また、電源電力を2.5kWとし、圧力を0.6Paとした。

【0571】

その後、窒素を含む雰囲気にて350℃、1時間の加熱処理を行なった。

40

【0572】

続いて、導電膜として、第2の金属酸化物膜上に厚さ約100nmのモリブデン膜をスパッタリング法により成膜した。

【0573】

続いて、導電膜上にレジストパターンを形成した。

【0574】

続いて、レジストパターンをマスクとして、導電膜をエッチングし、導電層を得た。エッチングにはドライエッチング法を用い、エッチングガスとしてSF₆ガスを用いた。

【0575】

50

続いて、第2の金属酸化物膜をエッチングし、金属酸化物層を得た。エッチングにはウェットエッチング法を用いた。

【0576】

続いて、導電層をマスクとして、不純物元素の添加処理を行なった。不純物元素としてホウ素を用い、添加処理には、プラズマイオンドーピング装置を用いた。ホウ素を供給するためのガスには、 B_2H_6 ガスを用いた。

【0577】

続いて、トランジスタを覆う保護絶縁層として厚さ約300nmの酸化窒化シリコン膜をプラズマCVD法により成膜した。

【0578】

保護絶縁層の成膜は、シランガス、窒素ガスの流量をそれぞれ290sccm、4000sccmとし、圧力を133Pa、成膜電力を1000W、基板温度を350℃とした。

【0579】

続いて、保護絶縁層及び第2のゲート絶縁層の一部をエッチングにより開口し、モリブデン膜をスパッタリング法により成膜した後、これを加工してソース電極及びドレイン電極を得た。その後、平坦化層として厚さ約1.5μmのアクリル膜を形成し、窒素雰囲気、温度250℃、1時間の条件で加熱処理を行った。

【0580】

以上の工程により、それぞれガラス基板上に形成されたトランジスタを有する、試料F、G及びHを得た。

【0581】

<ID-VG特性評価>

続いて、上記で作製したトランジスタのID-VG特性を測定した。

【0582】

トランジスタのID-VG特性の測定は、ゲート電極に印加する電圧（以下、ゲート電圧（VG）ともいう）を、-15Vから+20Vまで0.25Vのステップで印加した。また、ソース電極に印加する電圧（以下、ソース電圧（VS）ともいう）を0V（common）とし、ドレイン電極に印加する電圧（以下、ドレイン電圧（VD）ともいう）を、0.1V及び10Vとした。

【0583】

試料F、G及びHのID-VG特性を、図31に示す。図31では、横方向に試料（Sample）及び半導体層108の条件を示している。縦方向にトランジスタの構造が異なる条件のID-VG特性を示しており、上段に図8に示すトランジスタ100に相当するトランジスタ、下段に図9に示すトランジスタ100Aに相当するトランジスタについて示している。また、トランジスタのチャネル長が50μm、チャネル幅が50μmのトランジスタについて示している。図31のID-VG特性において、横軸にゲート電圧（VG）を示し、左側の縦軸にドレイン電流（ID）を示し、右側の縦軸に電界効果移動度（μFE）を示す。なお、それぞれの試料で1個のトランジスタのID-VG特性を測定した。

【0584】

試料F、G及びHの電界効果移動度（μFE）を、図32に示す。図32において、横軸に試料及び半導体層108の条件を示し、縦軸に電界効果移動度（μFE）を示す。また、図32において、図8に示すトランジスタ100をSingle、図9に示すトランジスタ100AをS-channelと記している。電界効果移動度（μFE）は、トランジスタのチャネル長が50μm、チャネル幅が50μmのトランジスタで、VG=10Vまでの最大値を示している。

【0585】

図31及び図32に示すように、いずれの試料も良好な電気特性を示すことを確認できた。また、インジウム含有率が高いほど、電界効果移動度（μFE）が高いことを確認できた。

10

20

30

40

50

【0586】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施例、実施の形態などと適宜組み合わせて用いることができる。

【実施例4】

【0587】

本実施例では、図12Dに示すトランジスタ100C__aに相当するトランジスタを作製し、ドレイン電流－ゲート電圧特性（ I_D-V_G 特性）及び信頼性を評価した。本実施例では、半導体層108の構成が異なる試料（J及びK）を作製した。また、ゲート絶縁層として機能する絶縁層110は、単層構造とした。

【0588】

<試料の作製1>

試料J、及びKの作製方法について、説明する。

【0589】

まず、ガラス基板上に、厚さ30nmのチタン膜と、厚さ100nmの銅膜をこの順にスパッタリング法により形成し、これを加工して第1のゲート電極（ボトムゲート）を得た。

【0590】

次に、第1のゲート絶縁層として、厚さ50nmの第1の窒化シリコン膜と、厚さ150nmの第2の窒化シリコン膜と、厚さ100nmの第3の窒化シリコン膜と、厚さ3nmの第1の酸化窒化シリコン膜をこの順に成膜した。

【0591】

第1の窒化シリコン膜及び第3の窒化シリコン膜はそれぞれ、流量200sccmのシランガス、流量2000sccmの窒素ガス及び流量100sccmのアンモニアガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を100Pa、成膜電力を2000W、基板温度を350℃とした。

【0592】

第2の窒化シリコン膜は、流量290sccmのシランガス、流量2000sccmの窒素ガス及び流量2000sccmのアンモニアガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を200Pa、成膜電力を3000W、基板温度を350℃とした。

【0593】

第1の酸化窒化シリコン膜は、流量20sccmのシランガス、及び流量3000sccmの一酸化二窒素ガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を40Pa、成膜電力を3000W、基板温度を350℃とした。

【0594】

続いて、第1の酸化窒化シリコン膜上に、第1の金属酸化物膜を成膜した。ここで、第1の金属酸化物膜の成膜条件を異ならせた2つの試料（試料J及びK）を作製した。試料Kは本発明の一態様であり、試料Jは比較例である。

【0595】

試料Jの第1の金属酸化物膜は、In-Ga-Zn酸化物ターゲット（In：Ga：Zn=1：1：1〔原子数比〕）を用いたスパッタリング法により成膜した。成膜時の圧力を0.6Pa、電源電力を2.5kW、基板温度を室温とした。成膜ガスとして酸素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を30%とした。第1の金属酸化物膜の厚さを25nmとした。

【0596】

試料Kの第1の金属酸化物膜は、第1の酸化物膜と、第1の酸化物膜上の第2の酸化物膜の積層構造とした。第1の酸化物膜は、In-Ga-Zn酸化物ターゲット（In：Ga：Zn=1：1：1〔原子数比〕）を用いたスパッタリング法により、成膜した。成膜時の圧力を0.6Pa、電源電力を2.5kW、基板温度を室温とした。成膜ガスとして酸素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を30%とした。第2の酸化物

10

20

30

40

50

膜は、 In-Zn 酸化物ターゲット ($\text{In}:\text{Zn}=4:1$ [原子数比]) を用いたスパッタリング法により、成膜した。成膜時の圧力を 0.6 Pa 、電源電力を 3.0 kW 、基板温度を室温とした。成膜ガスとして酸素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を 5% とした。第1の酸化物膜の厚さを 20 nm 、第2の酸化物膜の厚さを 5 nm とした。

【0597】

続いて、第1の金属酸化物膜を島状に加工し、第1の金属酸化物層を形成した。

【0598】

続いて、窒素雰囲気下、 370°C で1時間の加熱処理を行った後、窒素と酸素との混合ガス（窒素ガス流量：酸素ガス流量 $= 4:1$ ）雰囲気下で、 370°C で1時間の加熱処理を行った。加熱処理にはオープン装置を用いた。

10

【0599】

続いて、第2のゲート絶縁層として厚さ 140 nm の第2の酸化窒化シリコン膜を成膜した。なお、第2の酸化窒化シリコン膜は、熱が加わることによる窒素酸化物 (NO_x 、 x は0よりも大きく2以下) の放出が多い成膜条件を用いた。第2の酸化窒化シリコン膜は、流量 200 sccm のシランガス、及び流量 8000 sccm の一酸化二窒素ガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を 250 Pa 、成膜電力を 2000 W 、基板温度を 240°C とした。

【0600】

なお、第1の金属酸化物層と接する第2の酸化窒化シリコン膜は、熱が加わることによる窒素酸化物の放出が少ないことが好ましい。窒素酸化物は、例えば、 NO_2 または NO などがある。第2の酸化窒化シリコン膜に含まれる窒素酸化物は、第2の酸化窒化シリコン膜などに準位を形成する。当該準位は、第1の金属酸化物層のエネルギーギャップ内に位置する。そのため、窒素酸化物が、第2の酸化窒化シリコン膜と第1の金属酸化物層の界面に拡散すると、当該準位が第2の酸化窒化シリコン膜側において電子をトラップする場合がある。この結果、トラップされた電子が、第2の酸化窒化シリコン膜と第1の金属酸化物層の界面近傍に留まるため、トランジスタのしきい値電圧がプラス方向に変動してしまう。

20

【0601】

本実施例では、第2の酸化窒化シリコン膜に窒素酸化物の放出が多い絶縁膜を用い、窒素酸化物が多い条件で、トランジスタの特性に対する第1の金属酸化物層の組成の影響を確認した。

30

【0602】

第2の酸化窒化シリコン膜自体の評価を行うため、試料J、Kとは別の試料（試料L）を作製した。試料Lの詳細については、後述する。

【0603】

続いて、窒素雰囲気下、 370°C で1時間の加熱処理を行った。加熱処理にはオープン装置を用いた。

【0604】

続いて、第2の酸化窒化シリコン膜上に、厚さ 20 nm の第2の金属酸化物膜を成膜した。第2の金属酸化物膜は、 In-Zn 酸化物ターゲット ($\text{In}:\text{Zn}=2:3$ [原子数比]) を用いたスパッタリング法により、成膜した。成膜時の圧力を 0.3 Pa 、電源電力を 4.5 kW 、基板温度を室温とした。成膜ガスとして酸素ガス（酸素流量比 100% ）を用いた。

40

【0605】

続いて、窒素と酸素との混合ガス（窒素ガス流量：酸素ガス流量 $= 4:1$ ）雰囲気下で、 370°C で1時間の加熱処理を行った。加熱処理にはオープン装置を用いた。

【0606】

続いて、第2の金属酸化物膜上に、厚さ 100 nm の銅膜と、厚さ 30 nm の第3の金属酸化物膜とをこの順に成膜した。銅膜及び第3の金属酸化物膜は、スパッタリング法に

50

より成膜した。銅膜の成膜は、Cuターゲットを用いたスパッタリング法により行った。第3の金属酸化物膜の成膜は、In-Zn酸化物ターゲット(In:Zn=2:3[原子数比])を用いたスパッタリング法により、成膜した。成膜時の圧力を0.6Pa、電源電力を2.5kW、基板温度を室温とした。成膜ガスとして酸素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を30%とした。

【0607】

続いて、第3の金属酸化物膜上にレジストマスクを形成し、第2の金属酸化物膜、銅膜及び第3の金属酸化物膜を加工し、第2の金属酸化物層、銅層及び第3の金属酸化物層を形成した。加工はウェットエッチング法を用いた。

【0608】

続いて、洗浄を行った。洗浄には、85weight%のリン酸を、500倍に希釈した水溶液を用いた。エッチング時のエッチャント温度は室温、処理時間は15secとした。

【0609】

続いて、前述のレジストマスクをマスクとして、第2の酸化窒化シリコン膜をエッチングし、第2のゲート絶縁層を形成した。また、第2のゲート絶縁層の形成の際に、該レジストマスクと重ならない領域の第1の酸化窒化シリコン膜を除去し、第3の窒化シリコン膜の一部を露出させた。加工はドライエッチング法を用いた。この後に、レジストマスクを除去した。

【0610】

続いて、トランジスタを覆う保護層として、厚さ100nmの第4の窒化シリコン膜と、厚さ300nmの第3の酸化窒化シリコン膜をこの順に成膜した。

【0611】

第4の窒化シリコン膜は、流量150sccmのシランガス、流量5000sccmの窒素ガス及び流量100sccmのアンモニアガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を200Pa、成膜電力を2000W、基板温度を350℃とした。

【0612】

第3の酸化窒化シリコン膜は、流量290sccmのシランガス、及び流量4000sccmの一酸化二窒素ガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を133Pa、成膜電力を1000W、基板温度を350℃とした。

【0613】

続いて、トランジスタを覆う保護層の一部を開口し、厚さ100nmのモリブデン膜をスパッタリング法により成膜した後、これを加工してソース電極及びドレイン電極を得た。その後、平坦化層として厚さ約1.5μmのアクリル樹脂膜を形成し、窒素雰囲気下、温度250℃、1時間の条件で加熱処理を行った。

【0614】

以上の工程により、それぞれガラス基板上に形成されたトランジスタを有する、試料J及びKを得た。

【0615】

<試料の作製2>

試料Lの作製方法について、説明する。

【0616】

ガラス基板上に、厚さ100nmの酸化窒化シリコン膜を成膜した。なお、当該酸化窒化シリコン膜は、試料J及びKの第2のゲート絶縁層として用いた第2の酸化窒化シリコン膜と同じ成膜条件を用いた。

【0617】

<TDS分析>

続いて、昇温脱離ガス分析法(TDS:Thermal Desorption Spectrometry)を用いて、試料Lからの脱離ガスを評価した。TDS分析では、基

10

20

30

40

50

板温度で $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ となる昇温速度で、基板温度を約 50°C から約 520°C まで上昇させた。

【0618】

試料LのTDS分析結果を、図33に示す。図33では、左側に質量電荷比30 ($M/z = 30$) のTDS分析結果、右側に質量電荷比32 ($M/z = 32$) のTDS分析結果を示している。質量電荷比30 ($M/z = 30$) であるガスは、主に一酸化窒素分子である。質量電荷比32 ($M/z = 32$) であるガスは、主に酸素分子である。また、図33において、横軸は基板温度 (T_{sub}) を示し、縦軸は質量電荷比30 ($M/z = 30$) の検出強度 (Intensity)、または質量電荷比32 ($M/z = 32$) の検出強度 (Intensity) を示す。

10

【0619】

図33に示すように、試料Lは熱が加わることによって酸素及び窒素酸化物を放出することが分かった。したがって、トランジスタ（試料J及びK）の第2のゲート絶縁層として用いた第2の酸化窒化シリコン膜は、熱が加わることによって酸素を放出するとともに、窒素酸化物も放出すると考えられる。

【0620】

<ID-VG特性評価>

続いて、トランジスタ（試料J及びK）のID-VG特性を測定した。

【0621】

トランジスタのID-VG特性の測定は、ゲート電極に印加する電圧（以下、ゲート電圧 (V_G) ともいう）を、 -15V から $+20\text{V}$ まで 0.25V のステップで印加した。また、ソース電極に印加する電圧 (V_S) を 0V (comm) とし、ドレイン電極に印加する電圧 (V_D) を、 0.1V 及び 5.1V とした。

20

【0622】

試料JのID-VG特性を、図34に示す。試料KのID-VG特性を、図35に示す。図34及び図35には、試料 (sample) 及び半導体層108の条件を示している。また、図34及び図35ではそれぞれ、縦方向にトランジスタのチャネル長及びチャネル幅が異なる条件を示しており、チャネル長が $2\mu\text{m}$ かつチャネル幅が $3\mu\text{m}$ 、チャネル長が $3\mu\text{m}$ かつチャネル幅が $3\mu\text{m}$ 、チャネル長が $6\mu\text{m}$ かつチャネル幅が $3\mu\text{m}$ の3種類のトランジスタについて示している。また、図34及び図35ではそれぞれ、横軸にゲート電圧 (V_G) を示し、左の縦軸にドレイン電流 (I_D) を示し、右の縦軸に $V_G = 15\text{V}$ での飽和移動度 (μ_{FE}) を示す。なお、それぞれの試料で20個のトランジスタのID-VG特性を測定した。

30

【0623】

図34及び図35にはそれぞれ、トランジスタのサイズ毎のしきい値電圧 (V_{th}) 及び飽和移動度 (μ_{FE}) の平均値 (ave) 及び 3σ を示している。 σ は標準偏差を示す。また、図34及び図35にはそれぞれ、設計チャネル長と、実効チャネル長との差 ($2\Delta L$) も示している。実効チャネル長については、TLM ($\text{Transmission Line Model}$) 解析により求めた。

【0624】

<信頼性評価>

続いて、トランジスタ（試料J及び試料K）の信頼性を評価した。本実施例では、ソース電位及びドレイン電位に対して、ゲートに正の電位を与えた状態で、高温下で保持するPBTs ($\text{Positive Bias Temperature Stress}$) 試験を行った。

40

【0625】

PBTs試験は、トランジスタが形成されている基板を 60°C に保持し、トランジスタのドレインに 0.1V 、ゲートに 20V の電圧を印加し、この状態を1時間保持した。試験はダーク環境で行った。PBTs試験にはチャネル長を $2\mu\text{m}$ 、チャネル幅を $3\mu\text{m}$ としたトランジスタを用い、ゲートバイアスストレス試験前後でのしきい値電圧の変動量（

50

ΔV_{th}) を評価した。

【0626】

試料 J 及び K のしきい値電圧の変動量 (ΔV_{th}) を図 36 に示す。図 36 において、横軸に試料及び半導体層 108 の条件を示し、縦軸に P B T S 試験でのしきい値電圧の変動量 (ΔV_{th}) を示している。

【0627】

図 34 に示すように、比較例である試料 J と比較して、本発明の一態様である試料 K は電界効果移動度 ($\mu F E$) が高いことを確認できた。試料 K は、チャネル形成領域に実施の形態 1 に示す組成を有する金属酸化物膜を用いたことで、高い電界効果移動度 ($\mu F E$) を示したと考えられる。

【0628】

図 36 に示すように、試料 J と比較して、試料 K は P B T S 試験でのしきい値電圧の変動量 (ΔV_{th}) が小さいことを確認できた。

【0629】

試料 J 及び K では第 2 の酸化窒化シリコン膜に窒素酸化物の放出が多い絶縁膜を用いたため、窒素酸化物に起因する準位によりトランジスタのしきい値電圧がプラス方向に変動しやすい条件となっている。しかしながら、本発明の一態様である試料 K は、第 2 の酸化窒化シリコン膜と接する第 2 の酸化物層に、実施の形態 1 に示す組成を有する金属酸化物膜を用いたことで、窒素酸化物に起因する準位に電子がトラップされることが抑制され、P B T S 試験でのしきい値電圧の変動が小さくなったと考えられる。

【0630】

以上のように、本発明の一態様である試料 K は、高い電気特性と高い信頼性が両立したトランジスタであることを確認できた。

【0631】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施例、実施の形態などと適宜組み合わせて用いることができる。

【実施例 5】

【0632】

本実施例では、図 12D に示すトランジスタ 100C__a に相当するトランジスタを作製し、ドレイン電流－ゲート電圧特性 ($I_D - V_G$ 特性) 及び信頼性を評価した。本実施例では、半導体層 108 の構成が異なる試料 (試料 L、M1 乃至 M4) を作製した。また、ゲート絶縁層として機能する絶縁層 110 は、単層構造とした。

【0633】

なお、本実施例では、導電層 106 (ボトムゲート電極) が導電層 112 (トップゲート電極) と電氣的に接続するトランジスタ、導電層 106 (ボトムゲート電極) が導電層 120a または導電層 120b (ソース電極) と電氣的に接続するトランジスタ、及び導電層 106 (ボトムゲート電極) を有さないトランジスタの 3 種類を作製した。

【0634】

<試料の作製>

試料 L、M1 乃至 M4 の作製方法について、説明する。

【0635】

まず、ガラス基板上に、厚さ 100 nm のタングステン膜をスパッタリング法により形成し、これを加工して第 1 のゲート電極 (ボトムゲート) を得た。

【0636】

次に、第 1 のゲート絶縁層として、厚さ 50 nm の第 1 の窒化シリコン膜と、厚さ 150 nm の第 2 の窒化シリコン膜と、厚さ 100 nm の第 3 の窒化シリコン膜と、厚さ 3 nm の第 1 の酸化窒化シリコン膜をこの順に成膜した。第 1 の窒化シリコン膜乃至第 3 の窒化シリコン膜、及び第 1 の酸化窒化シリコン膜の成膜については、実施例 4 の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

【0637】

続いて、第1の酸化窒化シリコン膜上に、第1の金属酸化物膜を成膜した。ここで、第1の金属酸化物膜の構成を異ならせた5つの試料（試料L、M1乃至M4）を作製した。試料M1乃至M4は本発明の一態様であり、試料Lは比較例である。

【0638】

試料Lの第1の金属酸化物膜は、In-Ga-Zn酸化物ターゲット（In：Ga：Zn = 1：1：1 [原子数比]）を用いたスパッタリング法により、成膜した。成膜時の圧力を0.6 Pa、電源電力を2.5 kW、基板温度を室温とした。成膜ガスとして酸素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を30%とした。第1の金属酸化物膜の厚さを25 nmとした。

【0639】

試料M1乃至M4の第1の金属酸化物膜はそれぞれ、第1の酸化物膜と、第1の酸化物膜上の第2の酸化物膜の積層構造とした。第1の酸化物膜の成膜は、In-Ga-Zn酸化物ターゲット（In：Ga：Zn = 1：1：1 [原子数比]）を用いたスパッタリング法により、成膜した。成膜時の圧力を0.6 Pa、電源電力を2.5 kW、基板温度を室温とした。成膜ガスとして酸素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を30%とした。第2の酸化物膜は、In-Zn酸化物ターゲット（In：Zn = 4：1 [原子数比]）を用いたスパッタリング法により、成膜した。成膜時の圧力を0.6 Pa、電源電力を3.0 kW、基板温度を室温とした。成膜ガスとして酸素ガス及びアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を5%とした。

【0640】

試料M1は第1の酸化物膜の厚さを22 nm、第2の酸化物膜の厚さを3 nmとした。試料M2は第1の酸化物膜の厚さを20 nm、第2の酸化物膜の厚さを5 nmとした。試料M3は第1の酸化物膜の厚さを15 nm、第2の酸化物膜の厚さを10 nmとした。試料M4は第1の酸化物膜の厚さを10 nm、第2の酸化物膜の厚さを15 nmとした。

【0641】

続いて、第1の金属酸化物膜を島状に加工し、第1の金属酸化物層を形成した。

【0642】

続いて、乾燥空気（CDA：Clean Dry Air）雰囲気下、370℃で2時間の加熱処理を行った。加熱処理にはオープン装置を用いた。

【0643】

続いて、第2のゲート絶縁層として厚さ140 nmの第2の酸化窒化シリコン膜を成膜した。なお、第2の酸化窒化シリコン膜は、熱が加わることによる窒素酸化物（NO_x、Xは0よりも大きく2以下）の放出が多い成膜条件を用いた。第2の酸化窒化シリコン膜の成膜については、実施例4の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

【0644】

本実施例では、第2の酸化窒化シリコン膜に窒素酸化物の放出が多い絶縁膜を用い、窒素酸化物が多い条件で、トランジスタの特性に対する第1の金属酸化物層の構成の影響を確認した。

【0645】

続いて、窒素雰囲気下、370℃で1時間の加熱処理を行った。加熱処理にはオープン装置を用いた。

【0646】

続いて、第2の酸化窒化シリコン膜上に、厚さ20 nmの第2の金属酸化物膜を成膜した。第2の金属酸化物膜の成膜については、実施例4の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

【0647】

続いて、窒素と酸素との混合ガス（窒素ガス流量：酸素ガス流量 = 4：1）雰囲気下で、370℃で1時間の加熱処理を行った。加熱処理にはオープン装置を用いた。

【0648】

続いて、第2の金属酸化物膜上に、厚さ100 nmの銅膜と、厚さ30 nmの第3の金

10

20

30

40

50

属酸化物膜とをこの順に成膜した。銅膜及び第3の金属酸化物膜は、スパッタリング法により成膜した。銅膜の成膜、及び第3の金属酸化物膜の成膜については、実施例4の記載を参照できるため、詳細な説明は省略する。

【0649】

続いて、第3の金属酸化物膜上にレジストマスクを形成し、第2の金属酸化物膜、銅膜及び第3の金属酸化物膜を加工し、第2の金属酸化物層、銅層及び第3の金属酸化物層を形成した。加工はウェットエッチング法を用いた。

【0650】

続いて、前述のレジストマスクをマスクとして、第2の酸化窒化シリコン膜をエッチングし、第2のゲート絶縁層を形成した。また、第2のゲート絶縁層の形成の際に、該レジストマスクと重ならない領域の第1の酸化窒化シリコン膜を除去し、第3の窒化シリコン膜の一部を露出させた。加工はドライエッチング法を用いた。この後に、レジストマスクを除去した。

【0651】

続いて、洗浄を行った。洗浄には、85 weight %のリン酸を、500倍に希釈した水溶液を用いた。エッチング時のエッチャント温度は室温、処理時間は15 secとした。

【0652】

続いて、トランジスタを覆う保護層として、厚さ20 nmの第4の窒化シリコン膜と、厚さ80 nmの第5の窒化シリコン膜と、厚さ300 nmの第3の酸化窒化シリコン膜をこの順に成膜した。

【0653】

第4の窒化シリコン膜は、流量150 sccmのシランガス、及び流量5000 sccmの窒素ガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を200 Pa、成膜電力を2000 W、基板温度を350℃とした。

【0654】

第5の窒化シリコン膜は、流量150 sccmのシランガス、流量5000 sccmの窒素ガス及び流量100 sccmのアンモニアガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を200 Pa、成膜電力を2000 W、基板温度を350℃とした。

【0655】

第3の酸化窒化シリコン膜は、流量290 sccmのシランガス、及び流量4000 sccmの一酸化二窒素ガスの混合ガスを用いたPECVD法により成膜した。成膜時の圧力を133 Pa、成膜電力を1000 W、基板温度を350℃とした。

【0656】

続いて、トランジスタを覆う保護層の一部を開口し、厚さ100 nmのモリブデン膜をスパッタリング法により成膜した後、これを加工してソース電極及びドレイン電極を得た。その後、平坦化層として厚さ約1.5 µmのアクリル樹脂膜を形成し、窒素雰囲気下、温度250℃、1時間の条件で加熱処理を行った。

【0657】

以上の工程により、それぞれガラス基板上に形成されたトランジスタを有する、試料L、M1乃至M4を得た。

【0658】

<ID-VG特性評価>

続いて、トランジスタ（試料L、M1乃至M4）のID-VG特性を測定した。

【0659】

トランジスタのID-VG特性の測定は、ゲート電極に印加する電圧（以下、ゲート電圧（VG）ともいう）を、-15 Vから+20 Vまで0.25 Vのステップで印加した。また、ソース電極に印加する電圧（VS）を0 V（comm）とし、ドレイン電極に印加する電圧（VD）を、0.1 V及び5.1 Vとした。

【0660】

試料L、M1乃至M4のID-VG特性を、図37乃至図51に示す。図37乃至図41は、導電層106（ボトムゲート電極）が導電層112（トップゲート電極）と電氣的に接続するトランジスタのID-VG特性を示している。図42乃至図46は、導電層106（ボトムゲート電極）が導電層120aまたは導電層120b（ソース電極）と電氣的に接続するトランジスタのID-VG特性を示している。図47乃至図51は、導電層106（ボトムゲート電極）を有さないトランジスタのID-VG特性を示している。

【0661】

図37乃至図51にはそれぞれ、試料（sample）及び半導体層108の条件を示している。また、縦方向にトランジスタのチャンネル長及びチャンネル幅が異なる条件を示しており、チャンネル長が2 μ mかつチャンネル幅が50 μ m、チャンネル長が3 μ mかつチャンネル幅50 μ m、チャンネル長が6 μ mかつチャンネル幅が50 μ mの3種類のトランジスタについて示している。また、図37乃至図51はそれぞれ、横軸にゲート電圧（VG）を示し、左の縦軸にドレイン電流（ID）を示し、右の縦軸にVG=15Vでの飽和移動度（ μ FE）を示す。なお、それぞれの試料で20個のトランジスタのID-VG特性を測定した。

10

【0662】

図37乃至図51にはそれぞれ、トランジスタのサイズ毎のしきい値電圧（Vth）及び飽和移動度（ μ FE）の平均値（ave）及び3 σ を示している。 σ は標準偏差を示す。

【0663】

20

<信頼性評価>

続いて、トランジスタ（試料L、M1乃至M4）の信頼性を評価した。本実施例では、ソース電位及びドレイン電位に対して、ゲートに正の電位を与えた状態で、高温下で保持するPBTS（Positive Bias Temperature Stress）試験と、光照射環境において、ゲートに負の電位を与えた状態で、高温下で保持するNBTS（Negative Bias Temperature Illumination Stress）試験を行った。

【0664】

PBTS試験は、トランジスタが形成されている基板を60℃に保持し、トランジスタのドレインに0.1V、ゲートに20Vの電圧を印加し、この状態を1時間保持した。試験はダーク環境で行った。

30

【0665】

NBTS試験は、トランジスタが形成されている基板を60℃に保持し、トランジスタのドレインに10V、ゲートに-20Vの電圧を印加し、この状態を1時間保持した。試験は光照射環境（白色LEDにて約3400luxの光を照射）で行った。

【0666】

信頼性試験にはチャンネル長を2 μ m、チャンネル幅を3 μ mとしたトランジスタを用い、ゲートバイアスストレス試験前後でのしきい値電圧の変動量（ Δ Vth）を評価した。なお、導電層106（ボトムゲート電極）が導電層120aまたは導電層120b（ソース電極）と電氣的に接続するトランジスタを用いた。

40

【0667】

試料L、M1乃至M4のしきい値電圧の変動量（ Δ Vth）を図52に示す。図52において、横軸に試料及び半導体層108を示し、縦軸にPBTS試験でのしきい値電圧の変動量（ Δ Vth）、及びNBTS試験でのしきい値電圧の変動量（ Δ Vth）を示している。また、図52には、信頼性試験を行う前のトランジスタのしきい値電圧（初期Vth）も示している。

【0668】

図37乃至図51に示すように、比較例である試料Lと比較して、本発明の一態様である試料M1乃至M4は電界効果移動度（ μ FE）が高いことを確認できた。試料M1乃至M4は、チャンネル形成領域に実施の形態1に示す組成を有する金属酸化物膜を用いたこと

50

で、高い電界効果移動度 ($\mu F E$) を示したと考えられる。

【0669】

図52に示すように、比較例である試料Lと比較して、試料M1乃至M4はPBT S試験でのしきい値電圧の変動量 (ΔV_{th}) が小さいことを確認できた。また、In-Zn酸化物の膜厚が5 nm以上であれば、特にPBT S試験でのしきい値電圧の変動量 (ΔV_{th}) が小さくなることを確認できた。本発明の一態様である試料M1乃至M4は、第2の酸化窒化シリコン膜と接する第2の酸化物層に、実施の形態1に示す組成を有する金属酸化物膜を用いたことで、窒素酸化物に起因する準位に電子がトラップされることが抑制され、PBT S試験でのしきい値電圧の変動が小さくなったと考えられる。

【0670】

以上のように、本発明の一態様である試料M1乃至M4は、高い電気特性と高い信頼性が両立したトランジスタであることを確認できた。

【0671】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施例、実施の形態などと適宜組み合わせて用いることができる。

【実施例6】

【0672】

本実施例では、本発明の一態様である半導体装置に用いることができる金属酸化物膜の結晶性及びバンドギャップを評価した。

【0673】

本実施例では、作製方法が異なる金属酸化物膜について、X線回折 (XRD) 分析を行い、結晶性の評価を行った。また、同様に作製方法が異なる金属酸化物膜について、バンドギャップの評価を行った。評価には、ガラス基板上に、厚さ100 nmの金属酸化物膜を形成した試料 (試料P1乃至P8、Q1乃至Q8) を用いた。

【0674】

<試料作製>

試料P1乃至P8は、金属酸化物膜をIn-Ga-Zn酸化物ターゲット (In:Ga:Zn=10:1:3 [原子数比]) を用いたスパッタリング法により形成した。試料Q1乃至Q8は、金属酸化物膜をIn-Ga-Zn酸化物ターゲット (In:Ga:Zn=10:1:6 [原子数比]) を用いたスパッタリング法により形成した。

【0675】

試料P1及びQ1はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を室温 (RT) とした。成膜ガスとしてアルゴンガス (酸素流量比=0%) を用いた。

【0676】

試料P2及びQ2はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を室温 (RT) とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を10%とした。

【0677】

試料P3及びQ3はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を室温 (RT) とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を33%とした。

【0678】

試料P4及びQ4はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を室温 (RT) とした。成膜ガスとして酸素ガス (酸素流量比=100%) を用いた。

【0679】

試料P5及びQ5はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を300℃とした。成膜ガスとしてアルゴンガス (酸素流量比=0%) を用いた。

【0680】

試料P6及びQ6はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を300℃とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を10%とした。

【0681】

試料P7及びQ7はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を300℃とした。成

10

20

30

40

50

膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を33%とした。

【0682】

試料P8及びQ8はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を300℃とした。成膜ガスとして酸素ガス（酸素流量比=100%）を用いた。

【0683】

なお、いずれの試料も、金属酸化物膜の成膜時の圧力を0.4Paとし、電源電力を200W（DC）とした。

【0684】

< X線回折分析 >

次に、試料P1乃至P8、Q1乃至Q8のX線回折（XRD）分析を行った。

【0685】

XRD分析には、 $\theta-2\theta$ スキャン法を用いた。XRD分析は、X線源としてCu K α 線（ $\lambda=0.15418\text{ nm}$ ）を用い、走査範囲を $2\theta=15\text{ deg}$ 乃至 50 deg 、ステップ幅を 0.01 deg 、走査速度を 6.0 deg/分 とした。

【0686】

試料P1乃至P8のXRD分析結果を、図53に示す。試料Q1乃至Q8のXRD分析結果を、図54に示す。図53及び図54では、横方向に金属酸化物膜の成膜時の基板温度（Tsub）を示し、縦方向に金属酸化物膜の形成時の酸素流量比（O₂）を示している。また、図53及び図54において、横軸に回折角度 2θ を示し、縦軸に回折X線の強度（Intensity）を示す。なお、試料毎に、縦軸のスケールを異ならせている。また、図53及び図54では、補助線として $2\theta=31\text{ deg}$ を破線で示している。

【0687】

図53及び図54に示すように、いずれの試料も $2\theta=31\text{ deg}$ 付近にピークが観察され、結晶性を有することを確認できた。なお、 $2\theta=24\text{ deg}$ 付近のブロードなピークは、ガラス基板に起因するピークである。

【0688】

< バンドギャップ評価 >

次に、試料P1乃至P3、Q1乃至Q3の透過率及び反射率の測定を行い、バンドギャップ（Eg）を算出した。透過率および反射率の測定には、分光光度計を用いた。

【0689】

試料P1乃至P3、Q1乃至Q3のバンドギャップ（Eg）を、図55に示す。図55において、横軸に金属酸化物膜の形成時の酸素流量比を示し、縦軸にバンドギャップ（Eg）を示す。

【0690】

図55に示すように、いずれの試料もバンドギャップ（Eg）が2.5eV程度であることを確認できた。

【0691】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施例、実施の形態などと適宜組み合わせて用いることができる。

【実施例7】

【0692】

本実施例では、本発明の一態様である半導体装置に用いることができる金属酸化物膜のキャリア濃度及び移動度を評価した。

【0693】

本実施例では、作製方法が異なる金属酸化物膜について、Hall効果測定を行い、キャリア濃度及び移動度の評価を行った。評価には、ガラス基板上に、厚さ40nmの金属酸化物膜を形成した試料（試料R1乃至R12、S1乃至S12）を用いた。

【0694】

< 試料作製 >

試料R1乃至R12は、金属酸化物膜をIn-Ga-Zn酸化物ターゲット（In：G

10

20

30

40

50

a : Z n = 1 0 : 1 : 3 [原子数比]) を用いたスパッタリング法により形成した。試料 S 1 乃至 S 1 2 は、金属酸化物膜を I n - G a - Z n 酸化物ターゲット (I n : G a : Z n = 1 0 : 1 : 6 [原子数比]) を用いたスパッタリング法により形成した。

【0695】

試料 R 1 乃至 R 4、及び S 1 乃至 S 4 はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温 (R T) とした。成膜ガスとしてアルゴンガス (酸素流量比 = 0 %) を用いた。

【0696】

試料 R 5 乃至 R 8、及び S 5 乃至 S 8 はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温 (R T) とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を 1 0 % とした。

【0697】

試料 R 9 乃至 R 1 2、及び S 9 乃至 S 1 2 はそれぞれ、金属酸化物膜の成膜時の基板温度を、室温 (R T) とした。成膜ガスとして酸素ガスとアルゴンガスの混合ガスを用い、酸素流量比を 3 3 % とした。

【0698】

なお、いずれの試料も、金属酸化物膜の成膜時の圧力を 0 . 4 P a とし、電源電力を 2 0 0 W (D C) とした。

【0699】

続いて、加熱処理を行った。加熱処理にはオープン装置を用いた。

【0700】

試料 R 1、R 5、R 9、S 1、S 5、及び S 9 は、窒素ガス雰囲気で、3 5 0 ° C、1 時間の加熱処理を行った。

【0701】

試料 R 2、R 6、R 1 0、S 2、S 6、及び S 1 0 は、窒素ガス雰囲気で、3 5 0 ° C、1 時間の加熱処理を行った後、窒素ガスと酸素ガスの混合ガス (窒素ガス流量 : 酸素ガス流量 = 4 : 1) 雰囲気で、3 5 0 ° C、1 時間の加熱処理を行った。

【0702】

試料 R 3、R 7、R 1 1、S 3、S 7、及び S 1 1 は、窒素ガス雰囲気で、4 5 0 ° C、1 時間の加熱処理を行った。

【0703】

試料 R 4、R 8、R 1 2、S 4、S 8、及び S 1 2 は、窒素ガス雰囲気で、4 5 0 ° C、1 時間の加熱処理を行った後、窒素ガスと酸素ガスの混合ガス (窒素ガス流量 : 酸素ガス流量 = 4 : 1) 雰囲気で、4 5 0 ° C、1 時間の加熱処理を行った。

【0704】

< H a l l 効果測定 >

次に、試料 R 1 乃至 R 1 2、S 1 乃至 S 1 2 の H a l l 効果測定を行った。

【0705】

なお、H a l l 効果測定とは、電流の流れているものに、電流の向きに対して垂直に磁場をかけることによって、電流と磁場の双方に垂直な方向に起電力が現れる H a l l 効果を利用して、キャリア密度、移動度、抵抗率などの電気特性を測定する方法である。本実施例では、室温で、V a n d e r P a u w 法を用いた H a l l 効果測定を行った。H a l l 効果測定には、東陽テクニカ社製 R e s i T e s t を用いた。

【0706】

試料 R 1 乃至 R 1 2 のキャリア濃度を、図 5 6 A に示す。試料 R 1 乃至 R 1 2 の H a l l 移動度を、図 5 6 B に示す。試料 S 1 乃至 S 1 2 のキャリア濃度を、図 5 7 A に示す。試料 S 1 乃至 S 1 2 の H a l l 移動度を、図 5 7 B に示す。図 5 6 A 及び図 5 7 A において、横軸に金属酸化物膜の形成時の酸素流量比を示し、縦軸にキャリア濃度 (C a r r i e r d e n s i t y) を示す。図 5 6 B 及び図 5 7 B において、横軸に金属酸化物膜の形成時の酸素流量比を示し、縦軸に H a l l 移動度 (H a l l m o b i l i t y) を示す。

10

20

30

40

50

【0707】

図56B及び図57Bに示すように、本実施例の試料のHall移動度は $20\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上であることが分かった。

【0708】

なお、本実施例に示す構成は、他の実施例、実施の形態などと適宜組み合わせて用いることができる。

【符号の説明】

【0709】

L1：線、L2：線、L3：線、L4：線、L5：線、L6：線、L7：線、L8：線、
L9：線、L10：線、L11：線、L12：線、10：トランジスタ、10A：トラン
ジスタ、10B：トランジスタ、10C：トランジスタ、11：範囲、13：範囲、15
：範囲、17：範囲、100：トランジスタ、100_a：トランジスタ、100_b：
トランジスタ、100A：トランジスタ、100A_a：トランジスタ、100A_b：
トランジスタ、100B：トランジスタ、100B_a：トランジスタ、100C：トラ
ンジスタ、100C_a：トランジスタ、100C_b：トランジスタ、102：基板、
103：絶縁層、103a：絶縁膜、103b：絶縁膜、103c：絶縁膜、103d：
絶縁膜、106：導電層、108：半導体層、108a：半導体層、108b：半導体層
、108f：金属酸化物膜、108n：低抵抗領域、110：絶縁層、110a：絶縁膜
、110b：絶縁膜、110c：絶縁膜、112：導電層、112f：導電膜、114：
金属酸化物層、114f：金属酸化物膜、116：絶縁層、118：絶縁層、120a：
導電層、120b：導電層、140：不純物元素、141a：開口部、141b：開口部
、142：開口部

10

20

30

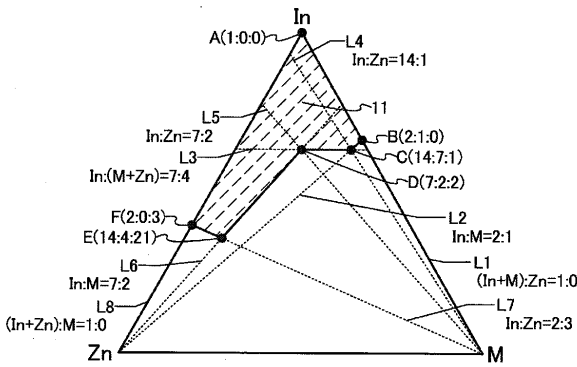
40

50

【図面】

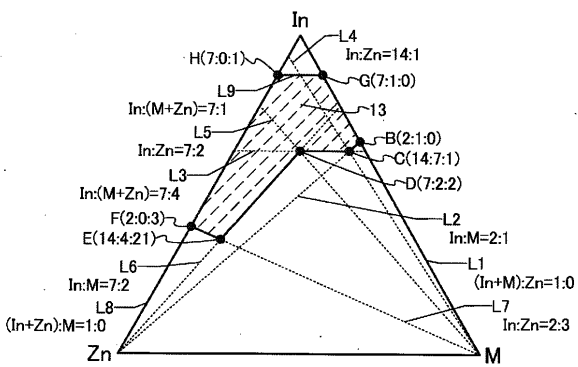
【図 1 A】

図1A



【図 1 B】

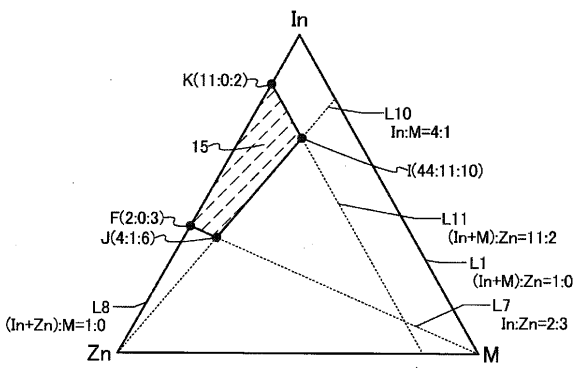
図1B



10

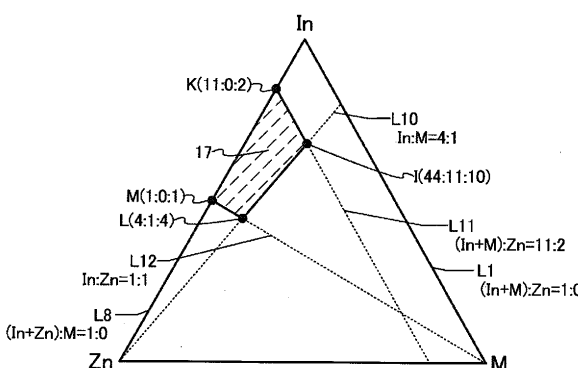
【図 2 A】

図2A



【図 2 B】

図2B



20

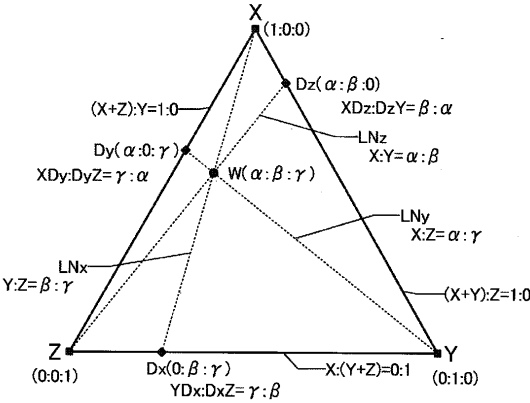
30

40

50

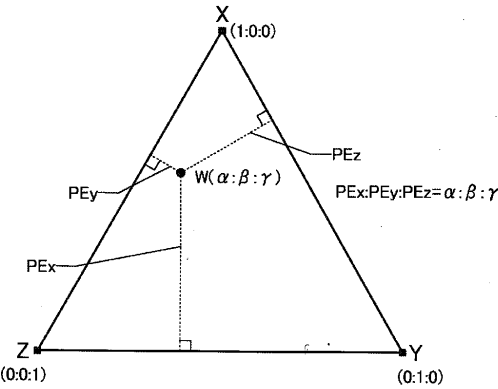
【図 3 A】

図3A



【図 3 B】

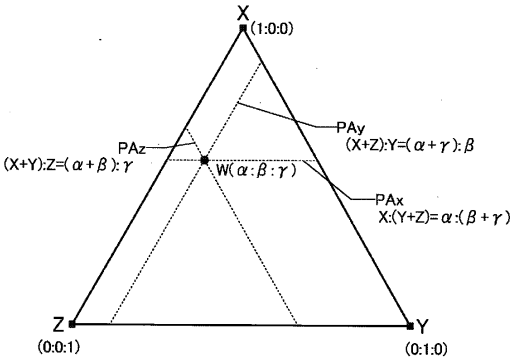
図3B



10

【図 4】

図4



【図 5 A】

図5A

Amorphous	Crystalline	Crystal
completely amorphous	•CAAC •nc •CAC excluding single crystal and poly crystal	•single crystal •poly crystal

20

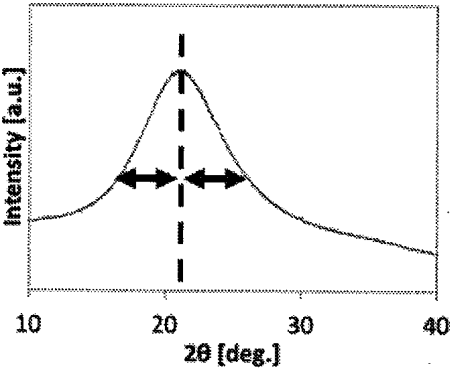
30

40

50

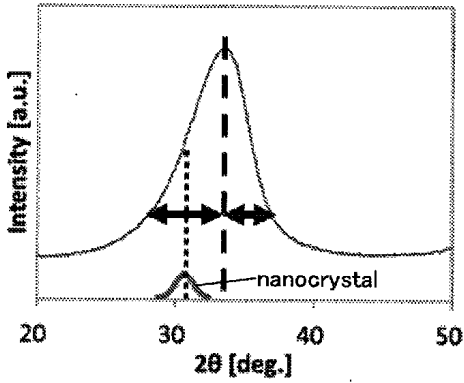
【図 5 B】

図5B



【図 5 C】

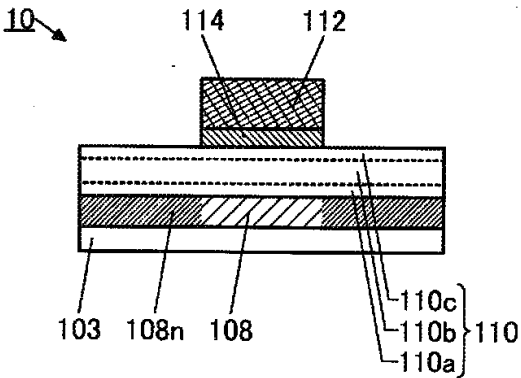
図5C



10

【図 6 A】

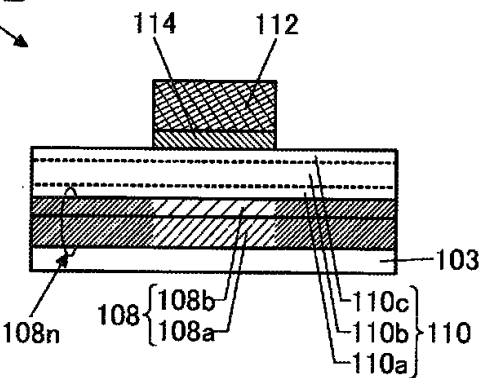
図6A



20

【図 6 B】

図6B



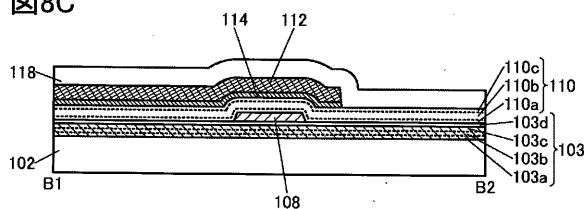
30

40

50

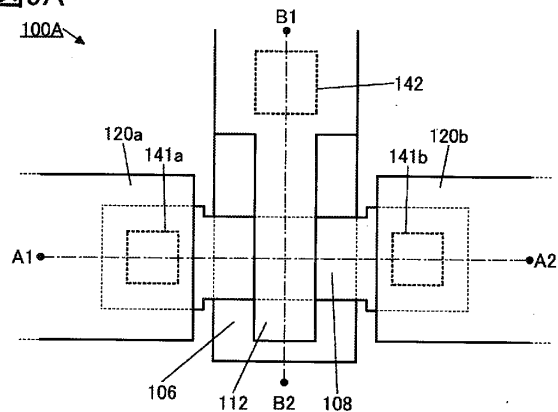
【図 8 C】

图8C



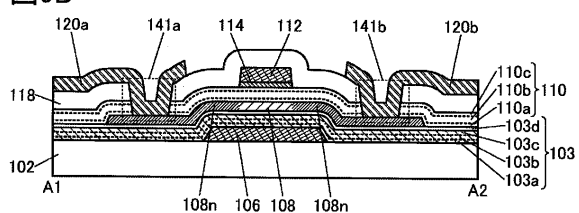
【図 9 A】

图9A



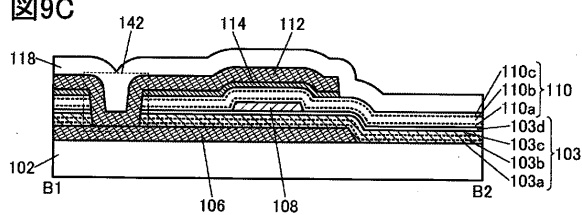
【図 9 B】

图9B



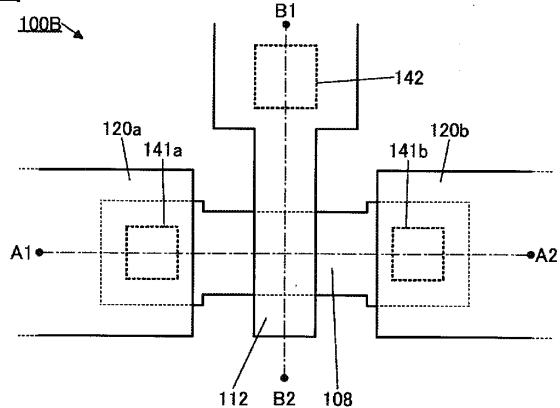
【図 9 C】

图9C



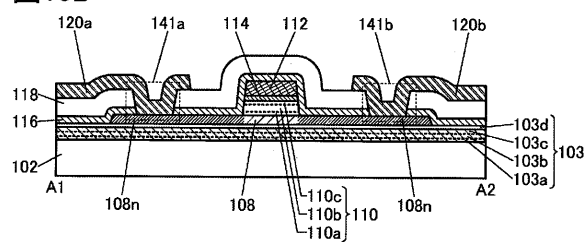
【図 10 A】

図10A



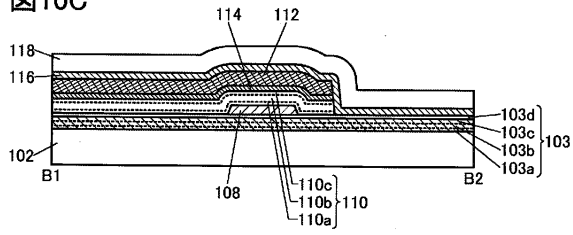
【図 10 B】

図10B



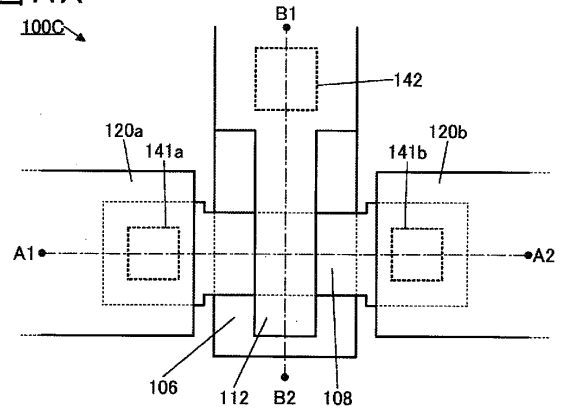
【図10C】

図10C



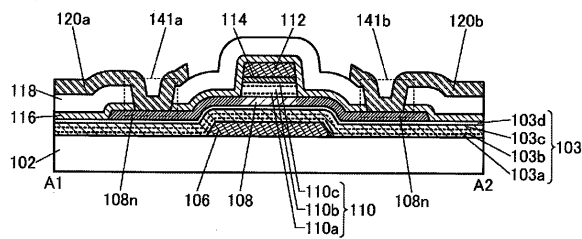
【図11A】

図11A



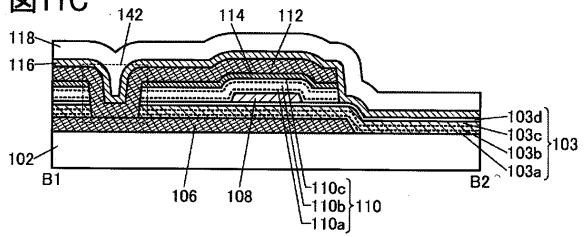
【図11B】

図11B



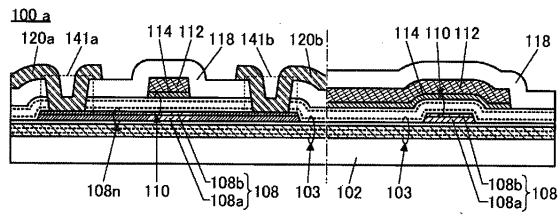
【図11C】

図11C



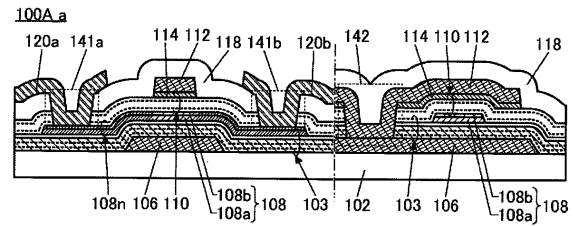
【図12A】

図12A



【図12B】

図12B



10

20

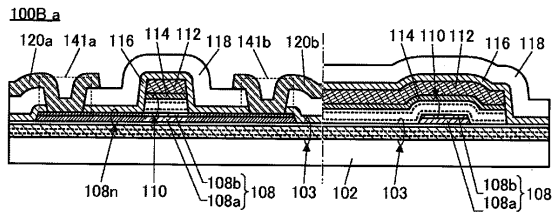
30

40

50

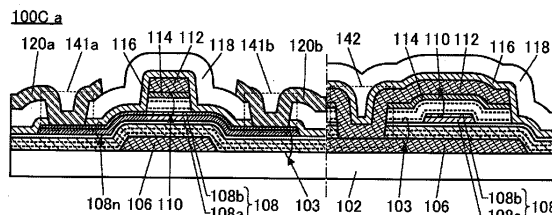
【図 1 2 C】

図 12C



【図 1 2 D】

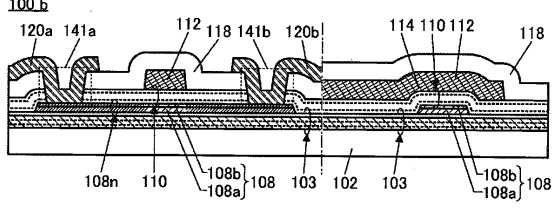
図 12D



10

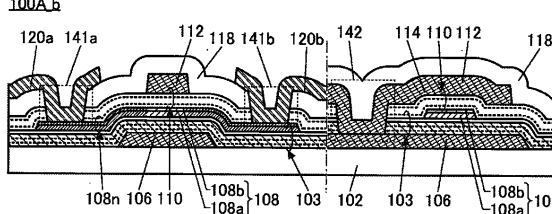
【図 1 3 A】

図 13A



【図 1 3 B】

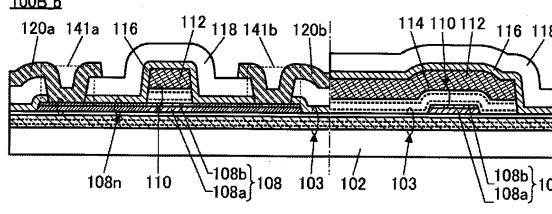
図 13B



20

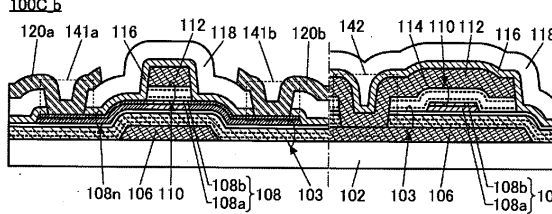
【図 1 3 C】

図 13C



【図 1 3 D】

図 13D



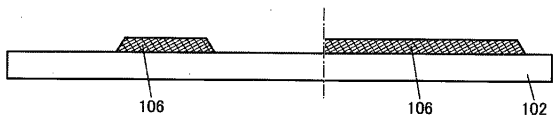
30

40

50

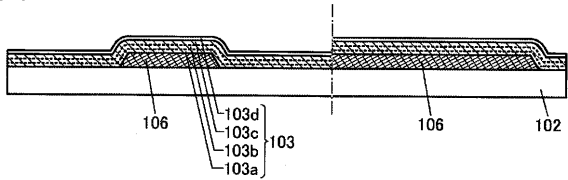
【図 1 4 A】

図14A



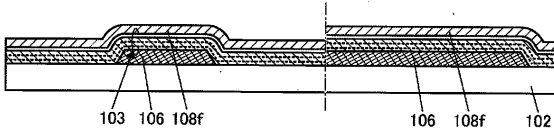
【図 1 4 B】

図14B



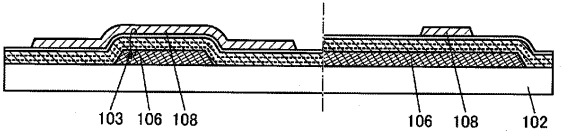
【図 1 4 C】

図14C



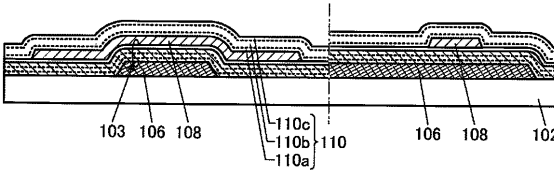
【図 1 4 D】

図14D



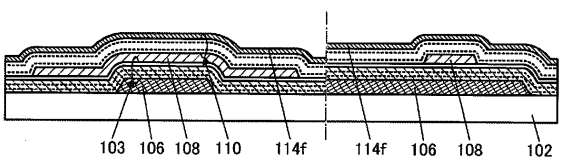
【図 1 4 E】

図14E



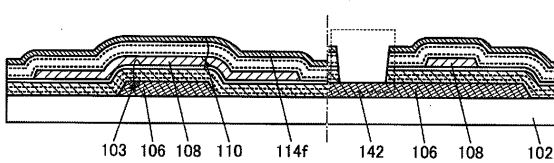
【図 1 5 A】

図15A



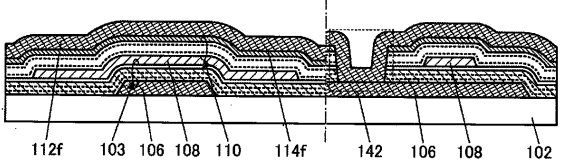
【図 1 5 B】

図15B



【図 1 5 C】

図15C



10

20

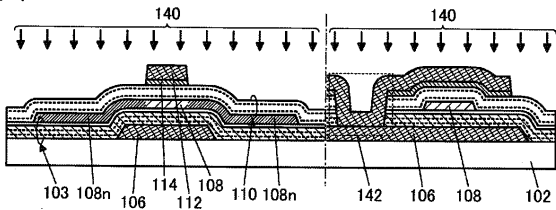
30

40

50

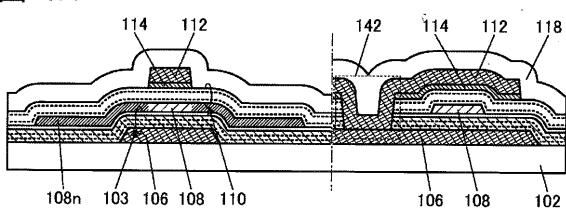
【図 15 D】

図15D



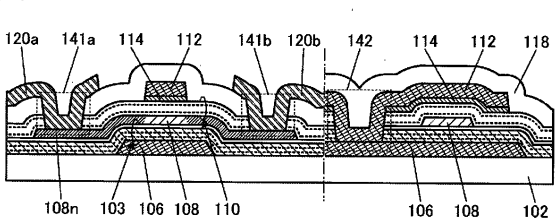
【図 16 A】

図16A



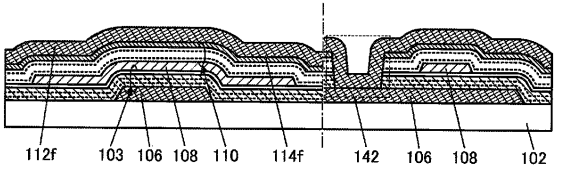
【図 16 B】

図16B



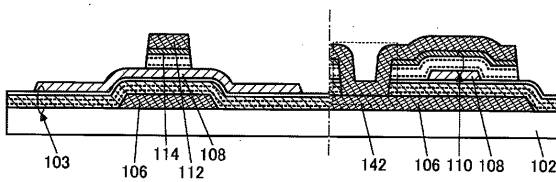
【図 17 A】

図17A



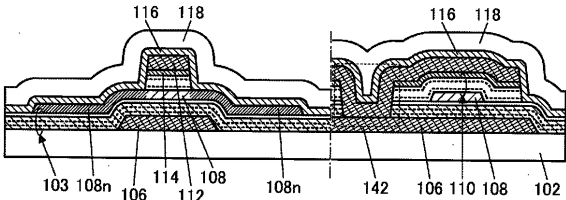
【図 17 B】

図17B



【図 17 C】

図17C



10

20

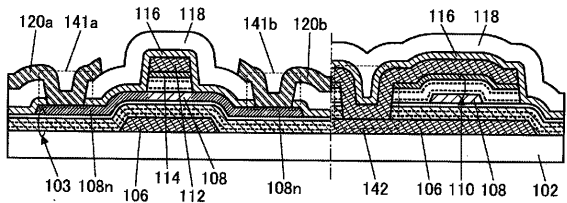
30

40

50

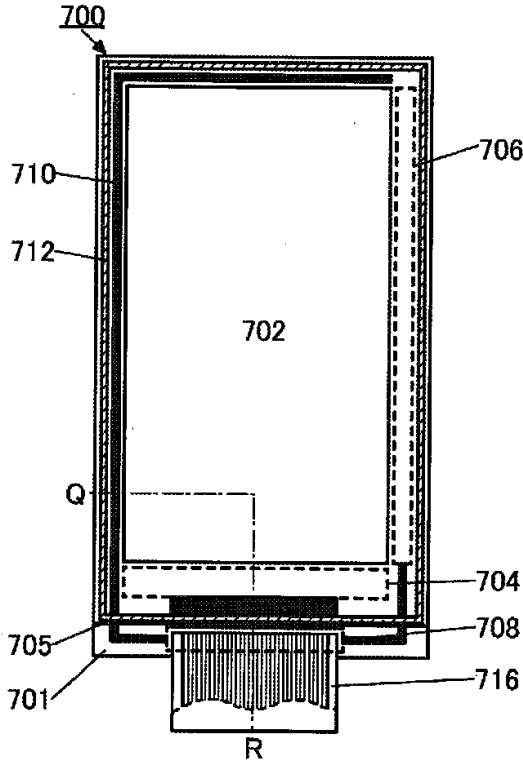
【図 17 D】

図17D



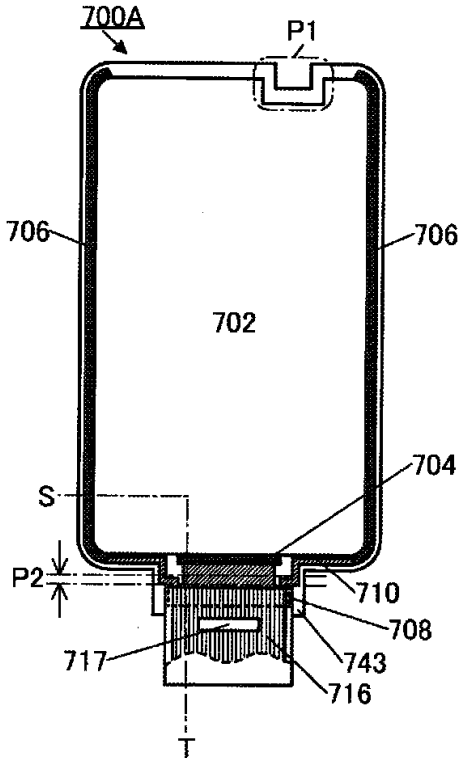
【図 18 A】

図18A



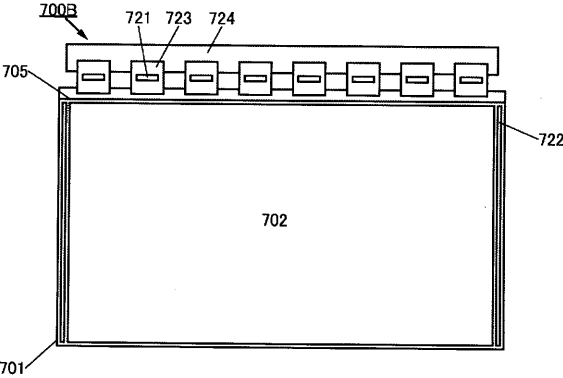
【図 18 B】

図18B



【図 18 C】

図18C



10

20

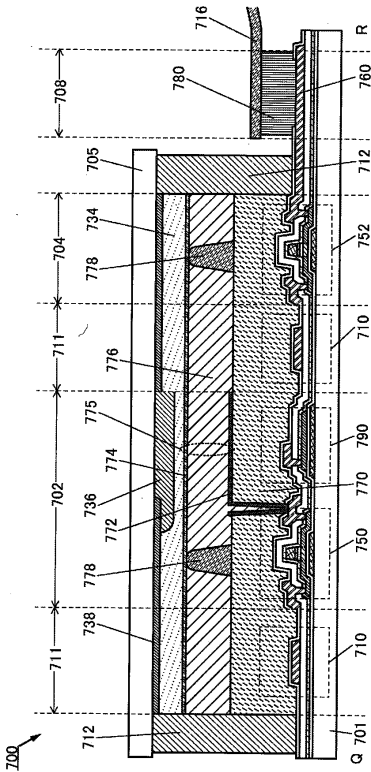
30

40

50

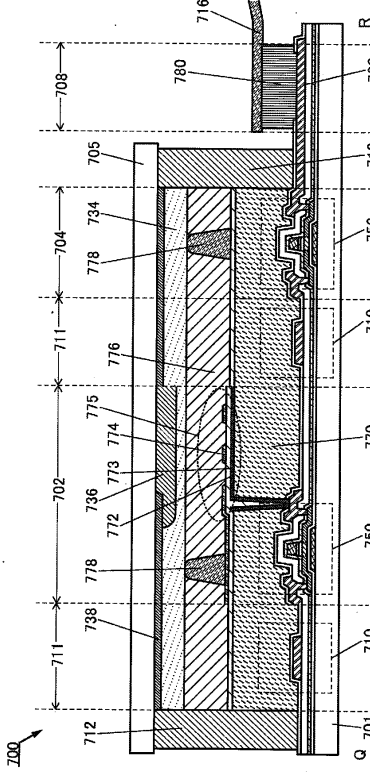
【図 19】

図19



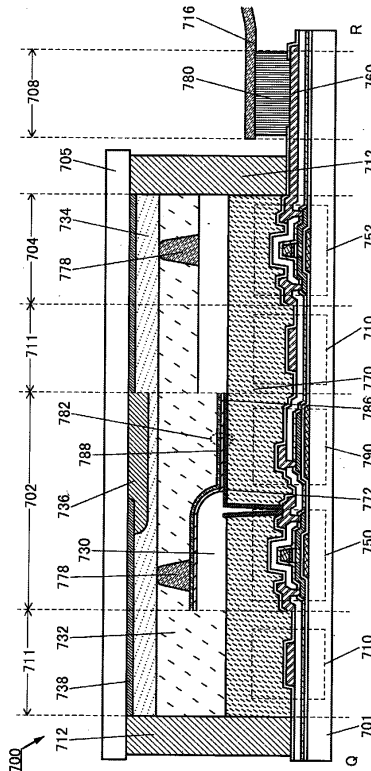
【図 20】

図20



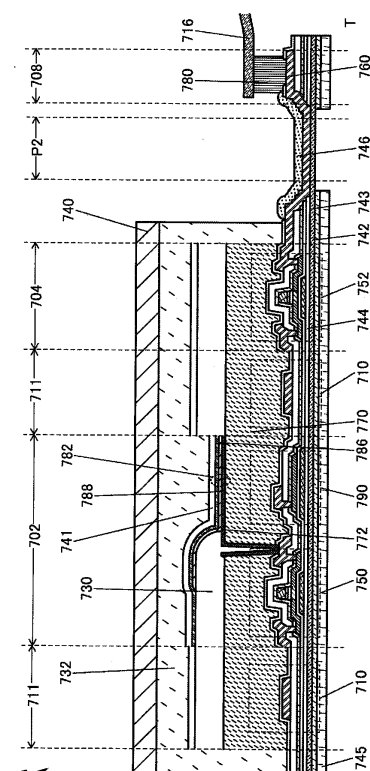
【図 21】

図21



【図 22】

図22



10

20

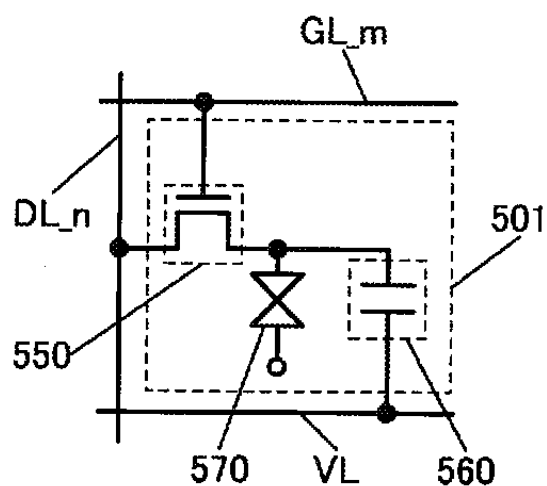
30

40

50

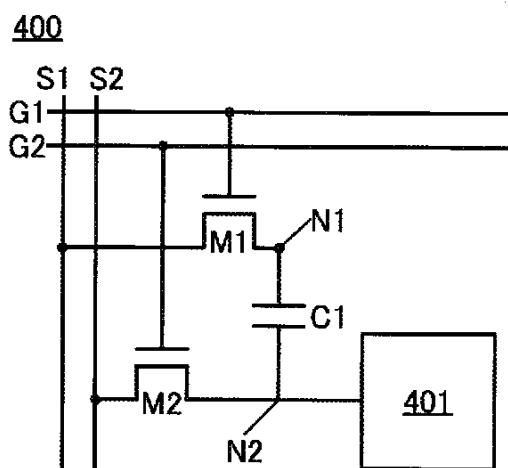
【図 23 B】

图 23B



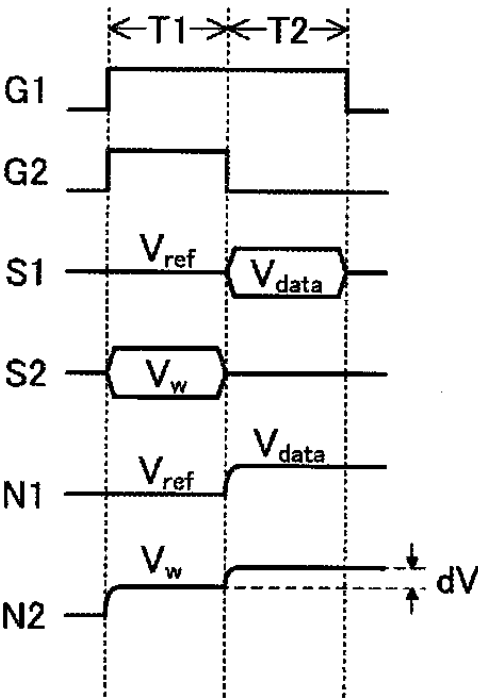
【図 24 A】

图 24A



【図 2 4 B】

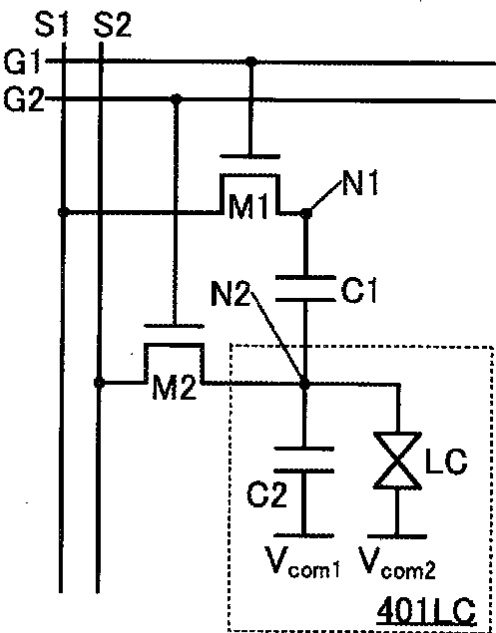
図24B



【図 2 4 C】

図24C

400LC



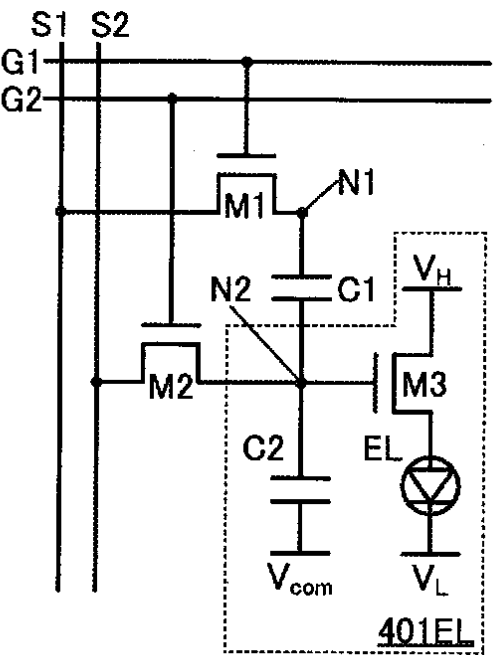
10

20

【図 2 4 D】

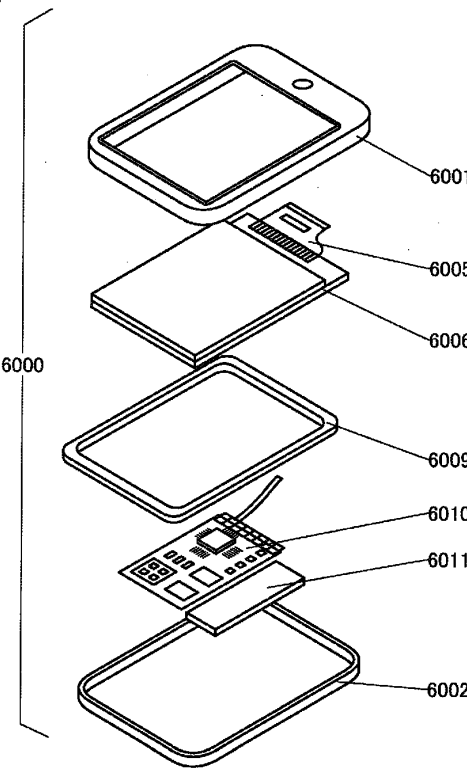
図24D

400EL



【図 2 5 A】

図25A



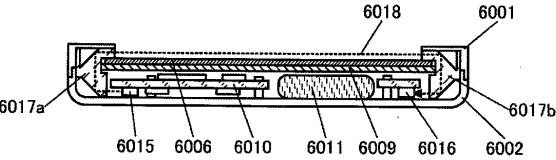
30

40

50

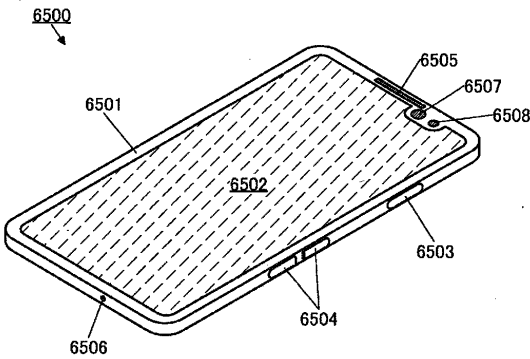
【図 2 5 B】

図25B
6000



【図 2 6 A】

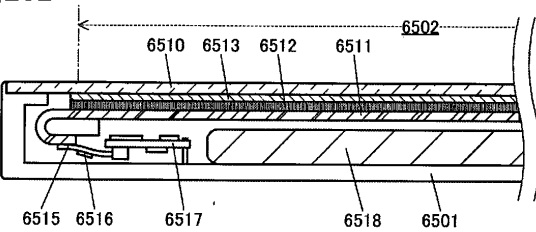
図26A
6500



10

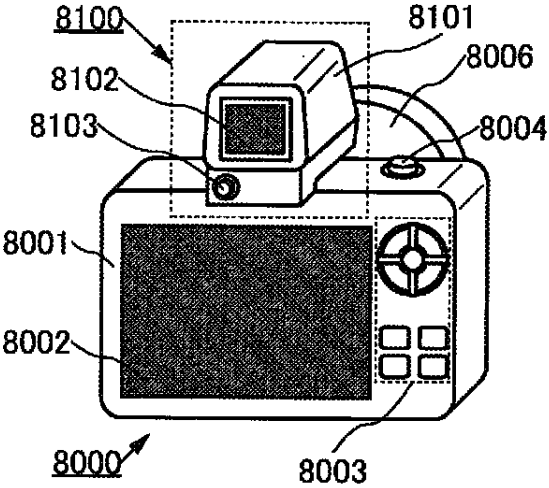
【図 2 6 B】

図26B



【図 2 7 A】

図27A



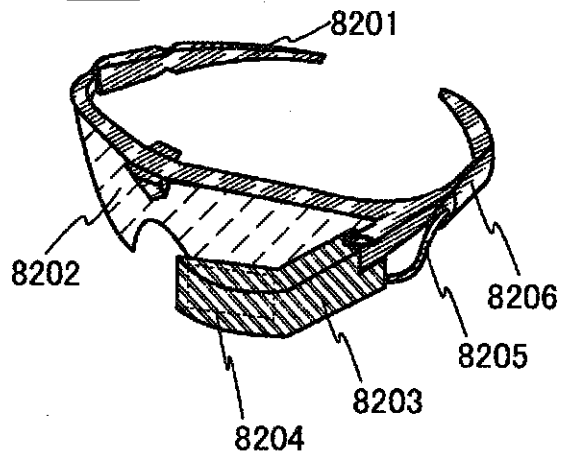
20

30

40

50

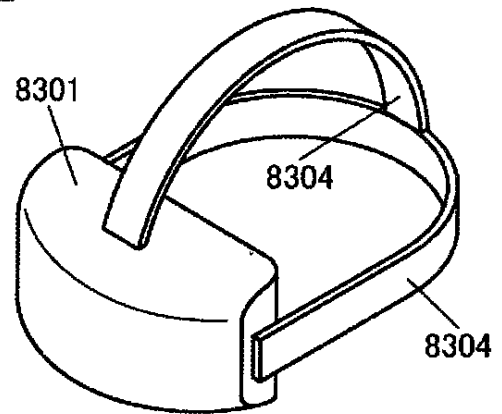
【図 27 B】

図27B
8200

【図 27 C】

図27C

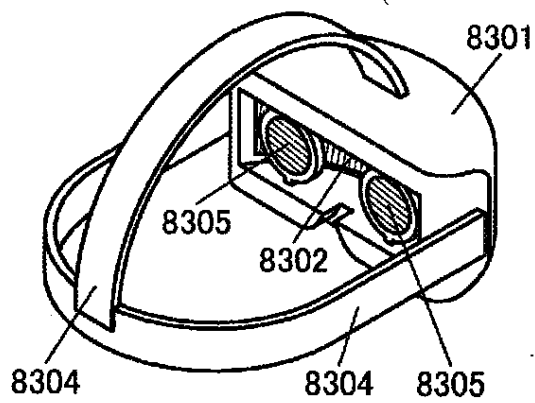
8300



【図 27 D】

図27D

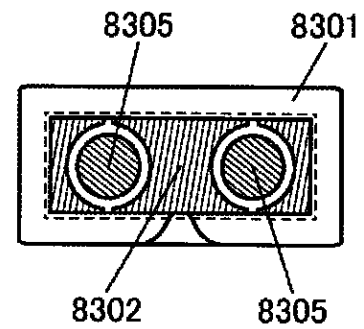
8300



【図 27 E】

図27E

8300



10

20

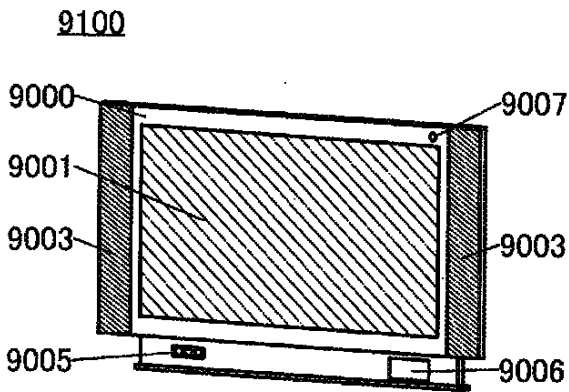
30

40

50

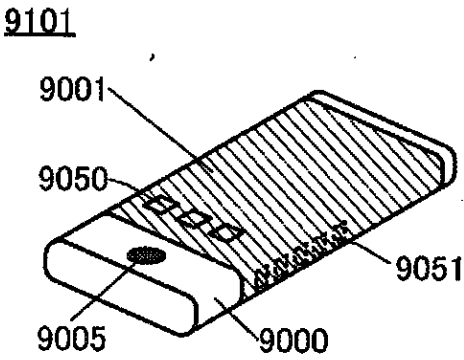
【図 2 8 A】

図28A



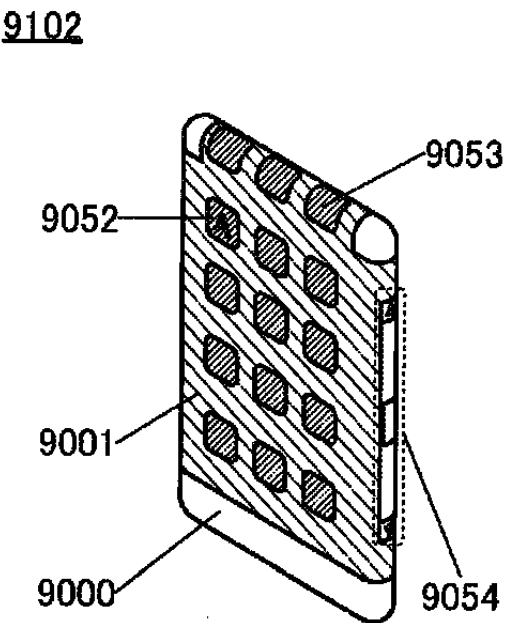
【図 2 8 B】

図28B



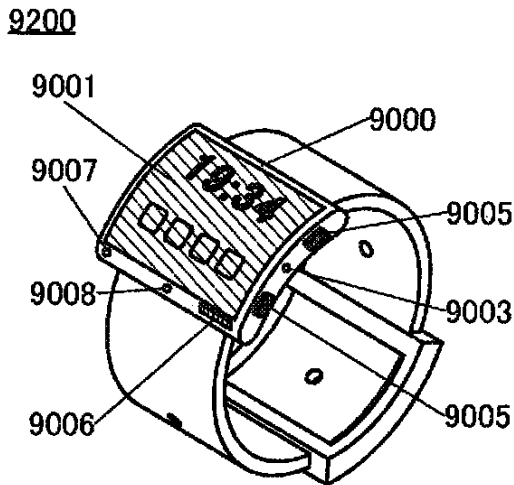
【図 2 8 C】

図28C



【図 2 8 D】

図28D



10

20

30

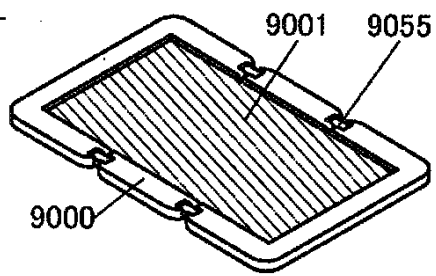
40

50

【図 28 E】

図 28E

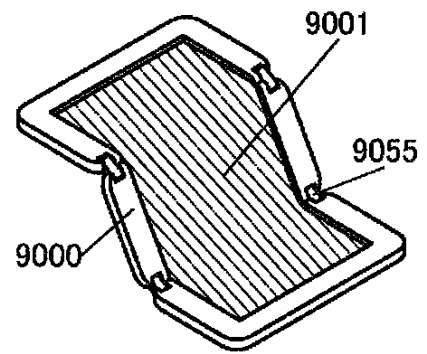
9201



【図 28 F】

図 28F

9201

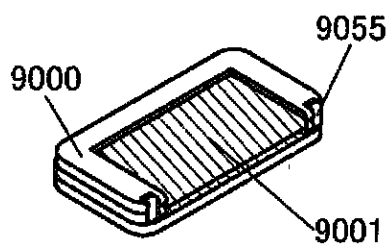


10

【図 28 G】

図 28G

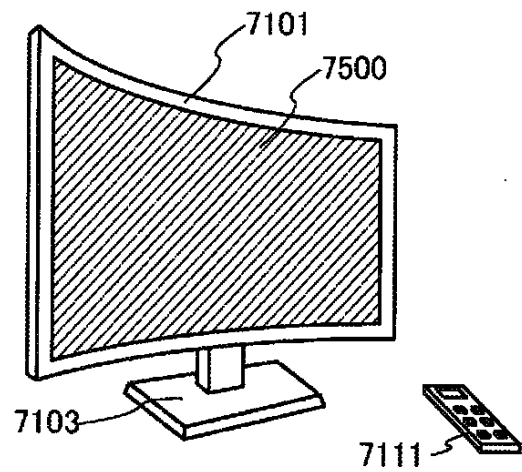
9201



【図 29 A】

図 29A

7100



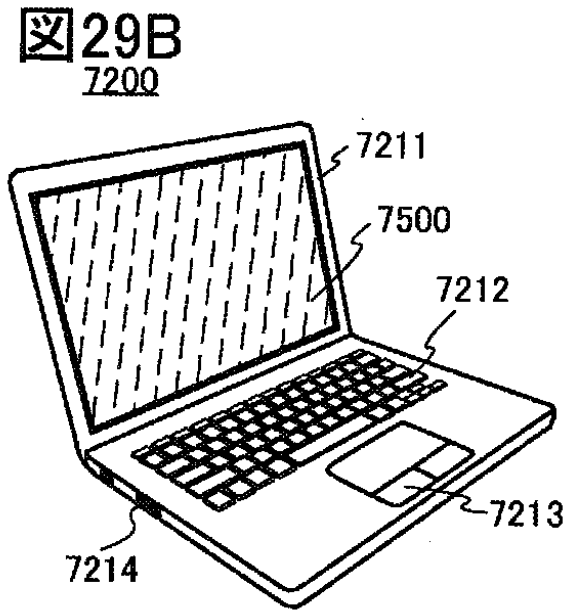
20

30

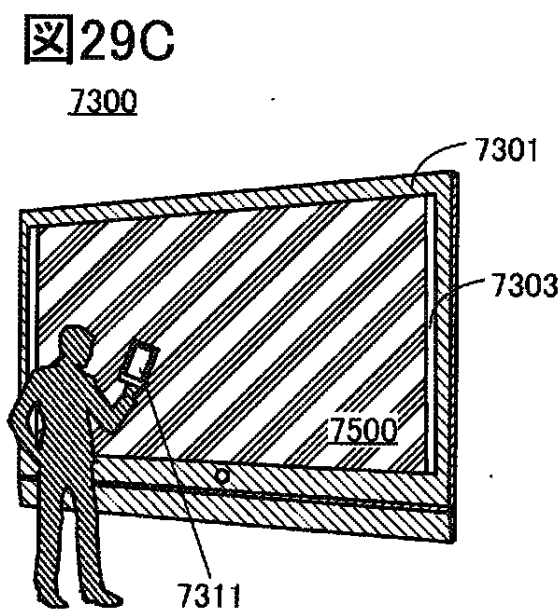
40

50

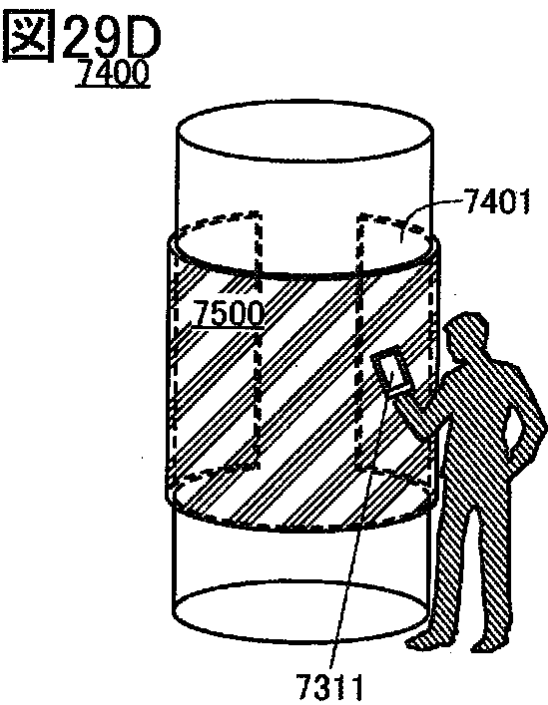
【図 2 9 B】



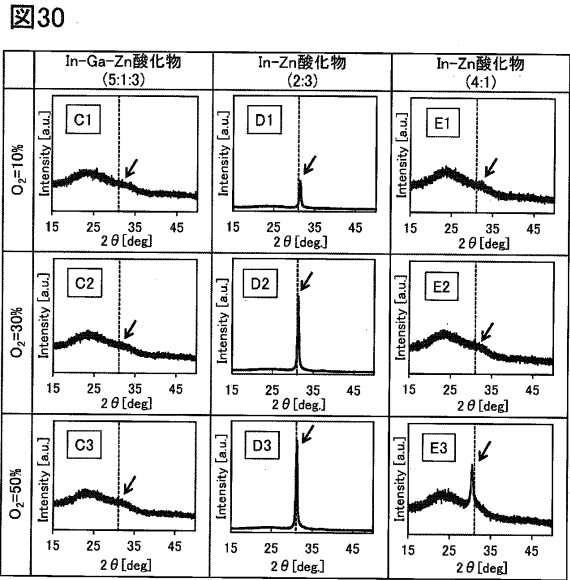
【図 2 9 C】



【図 2 9 D】



【図 3 0】



10

20

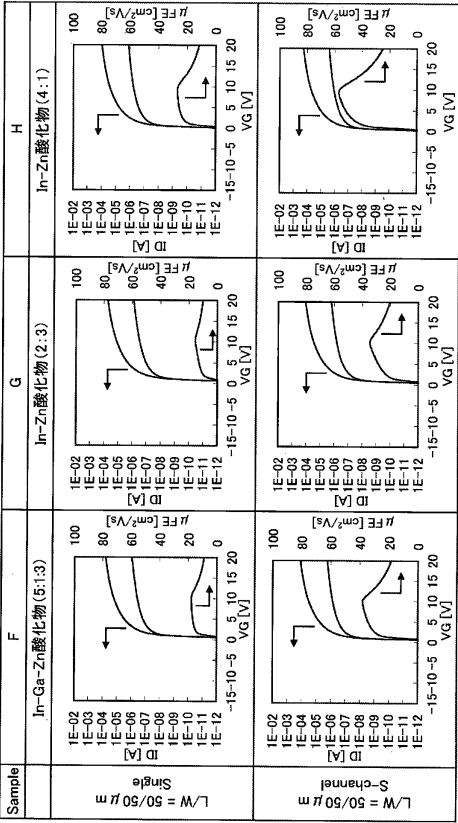
30

40

50

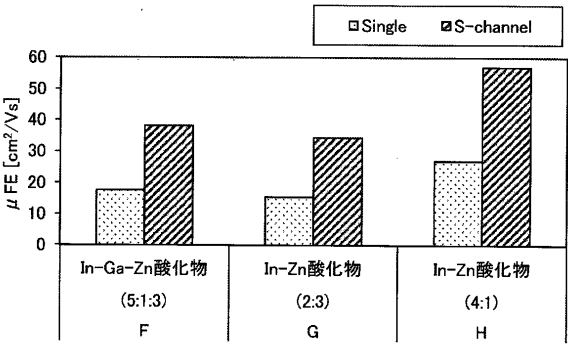
【図 3 1】

図31



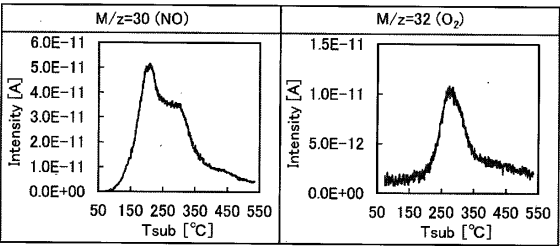
【図 3 2】

図32



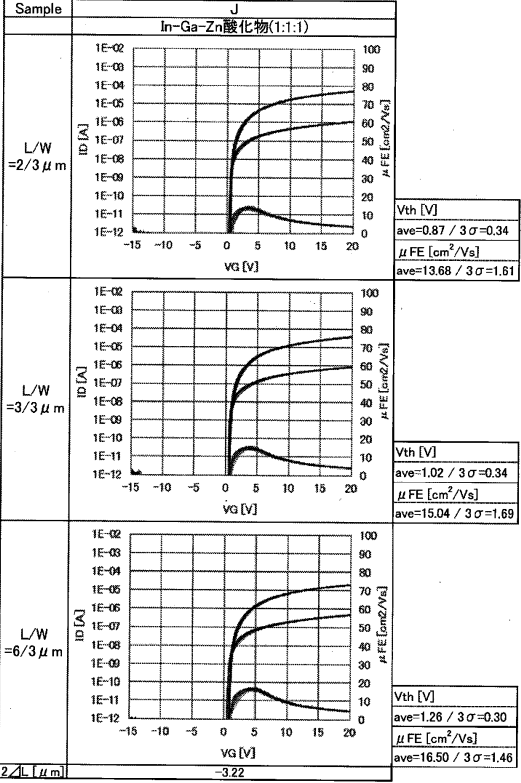
【図 3 3】

図33



【図 3 4】

図34



10

20

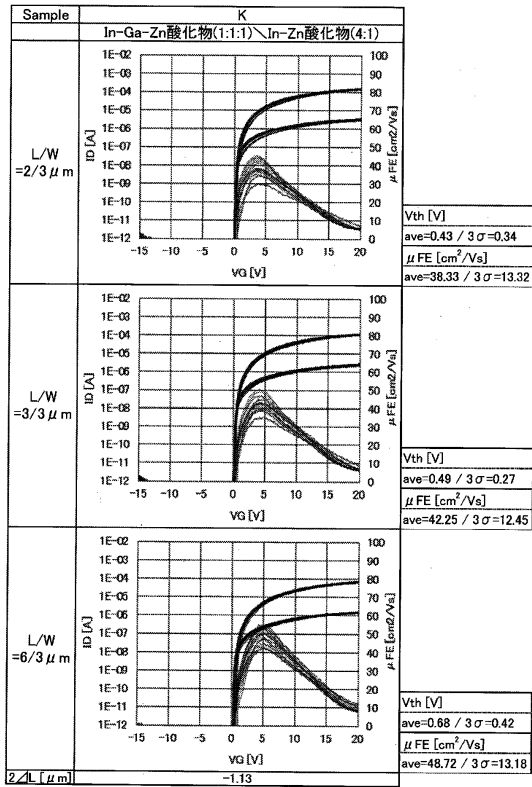
30

40

50

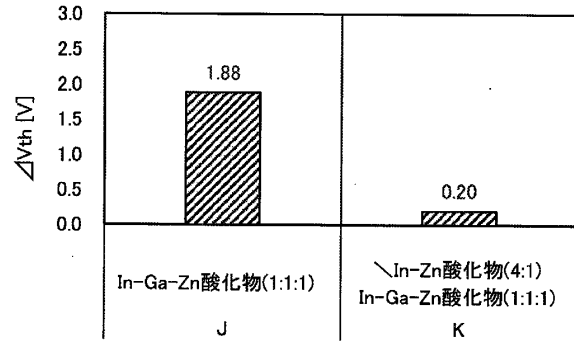
【図 3 5】

図35



【図 3 6】

図36

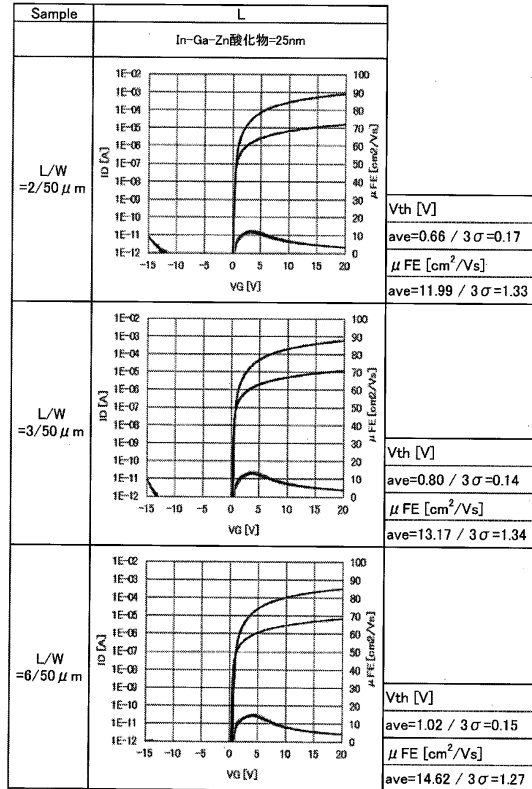


10

20

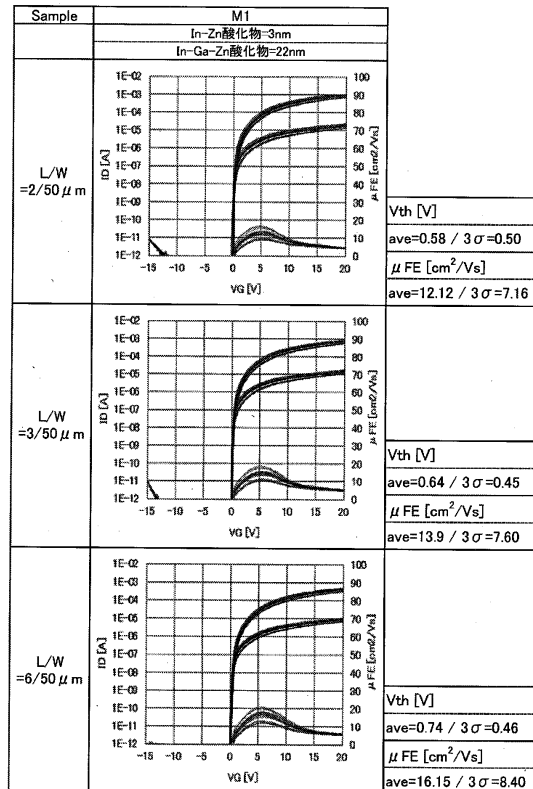
【図 3 7】

図37



【図 3 8】

図38



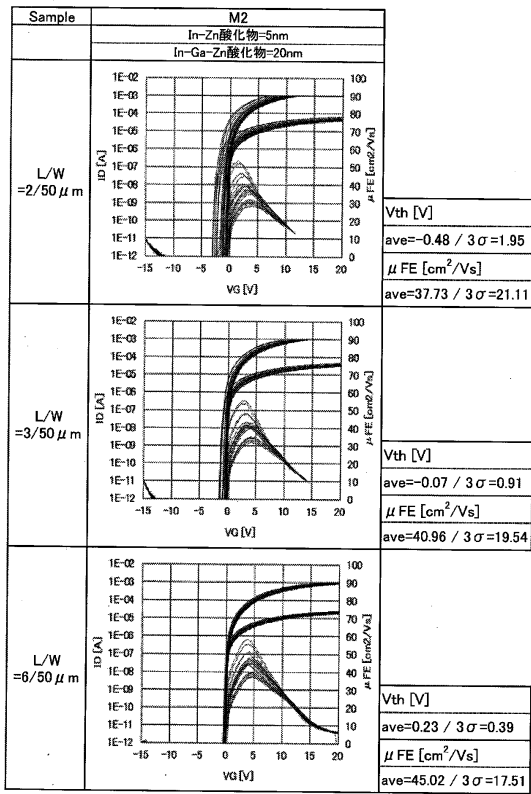
30

40

50

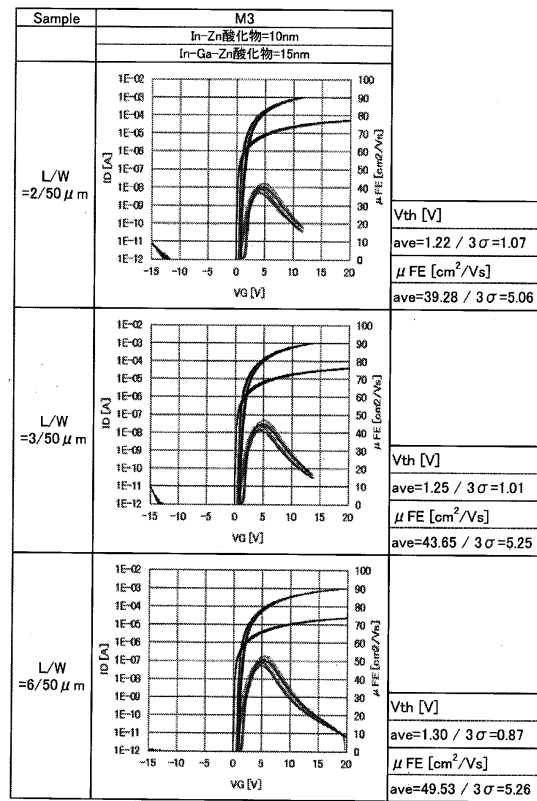
【図 39】

図39



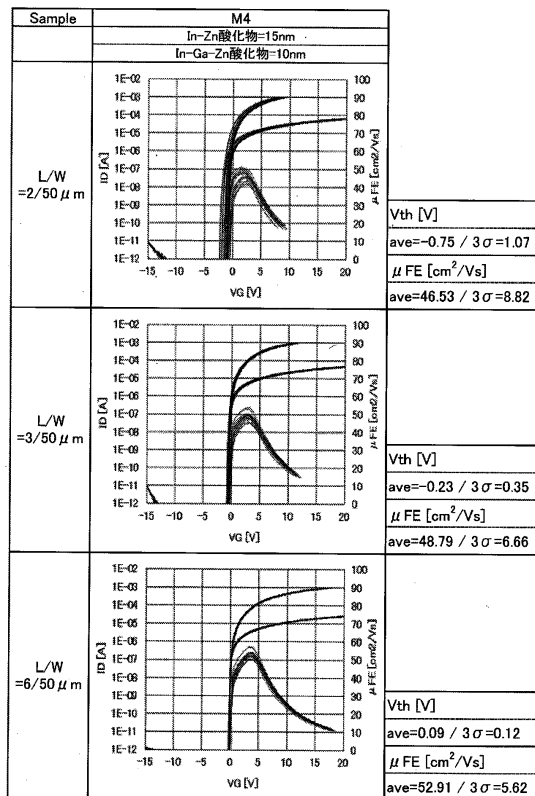
【図 40】

図40



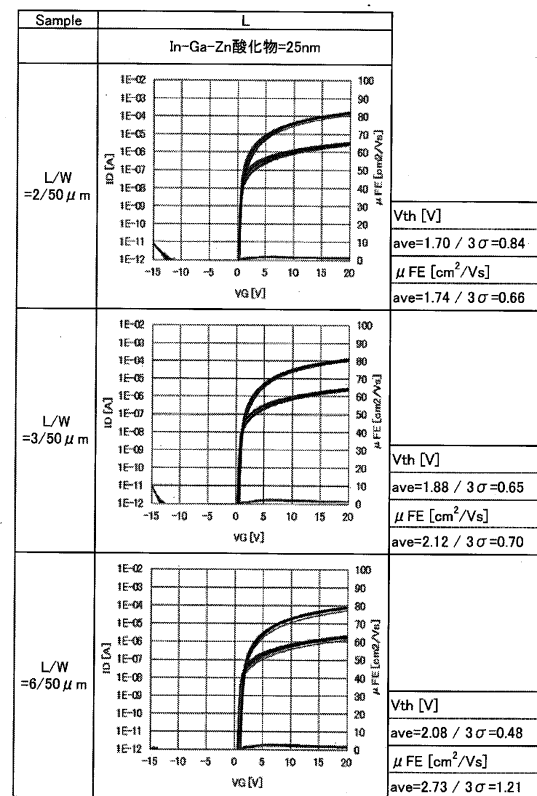
【図 41】

図41



【図 42】

図42



10

20

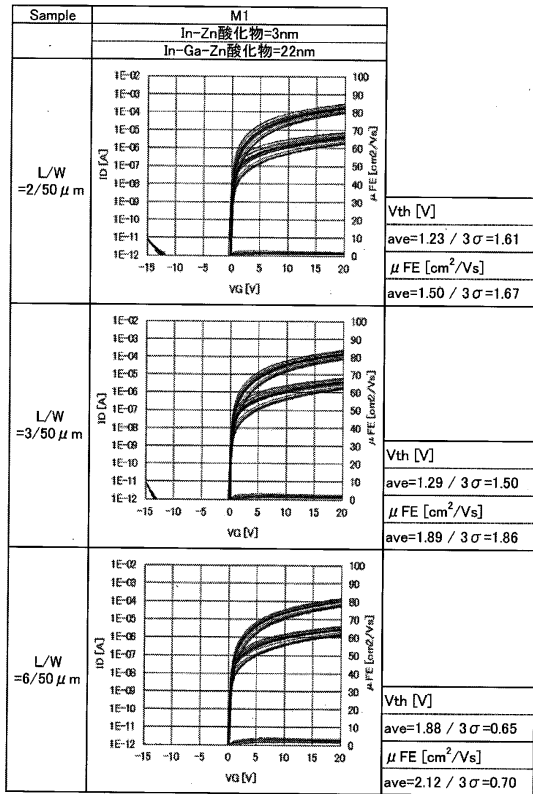
30

40

50

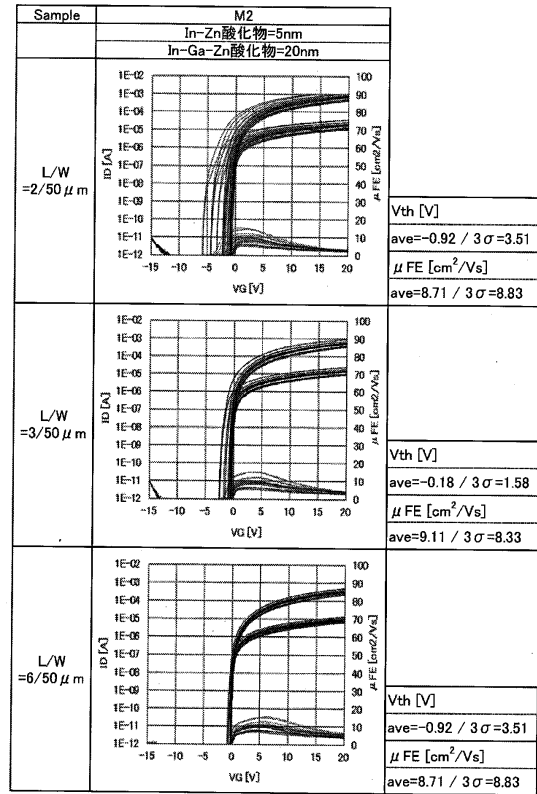
【図 4 3】

図43



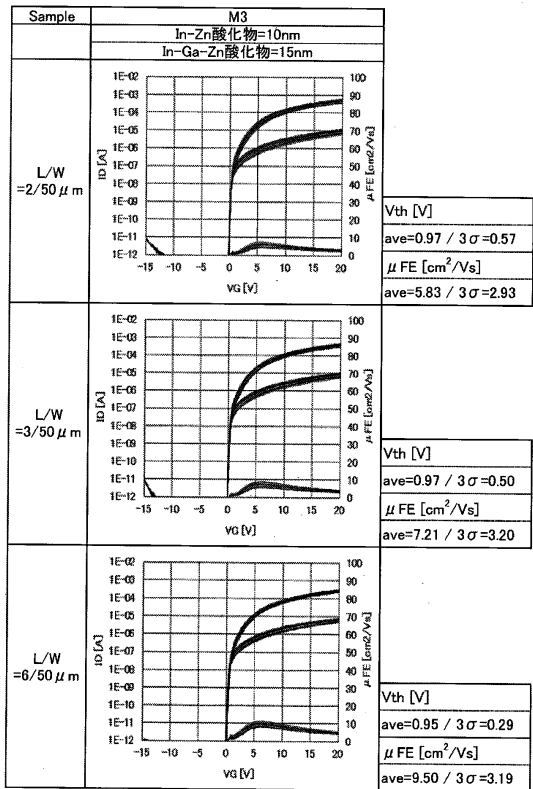
【図 4 4】

図44



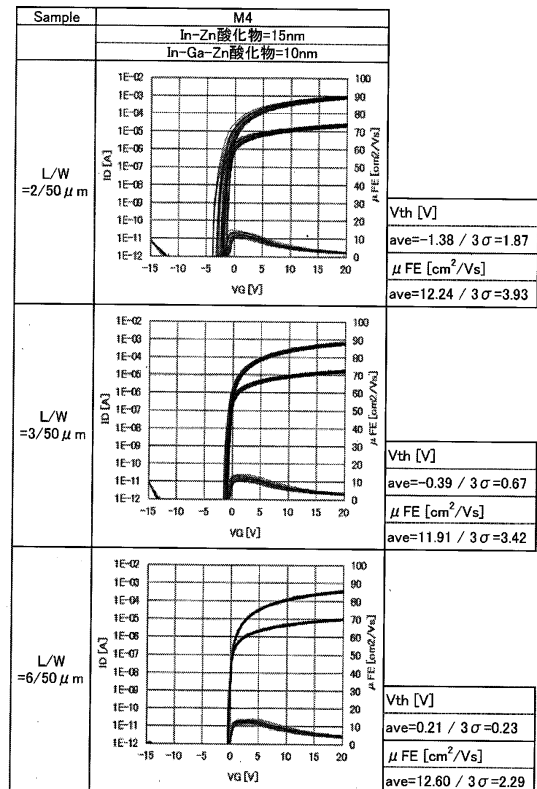
【図 4 5】

図45



【図 4 6】

図46



10

20

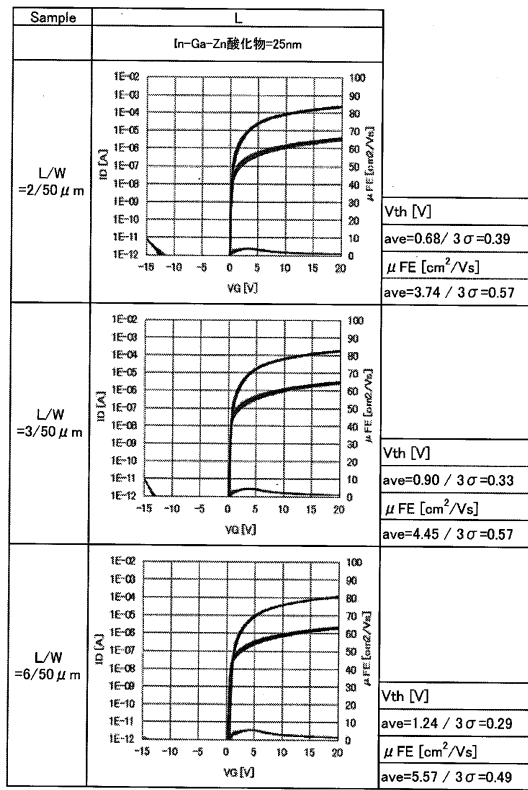
30

40

50

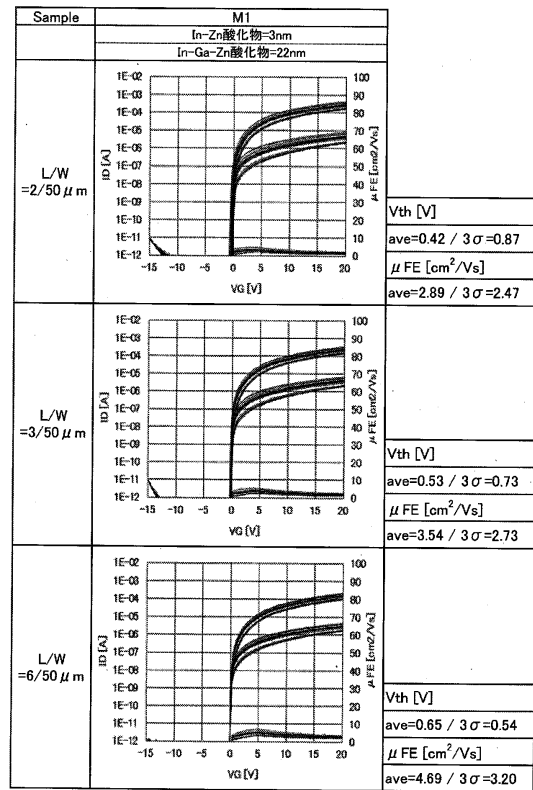
【図 4 7】

図47



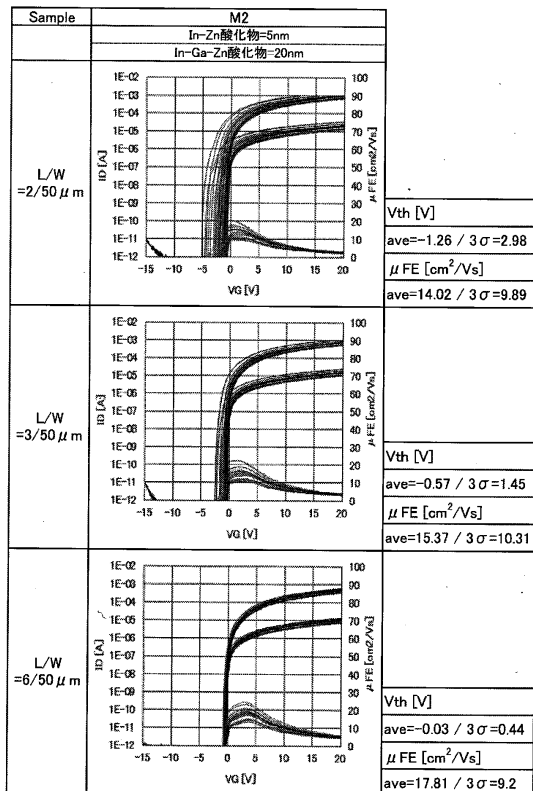
【図 4 8】

図48



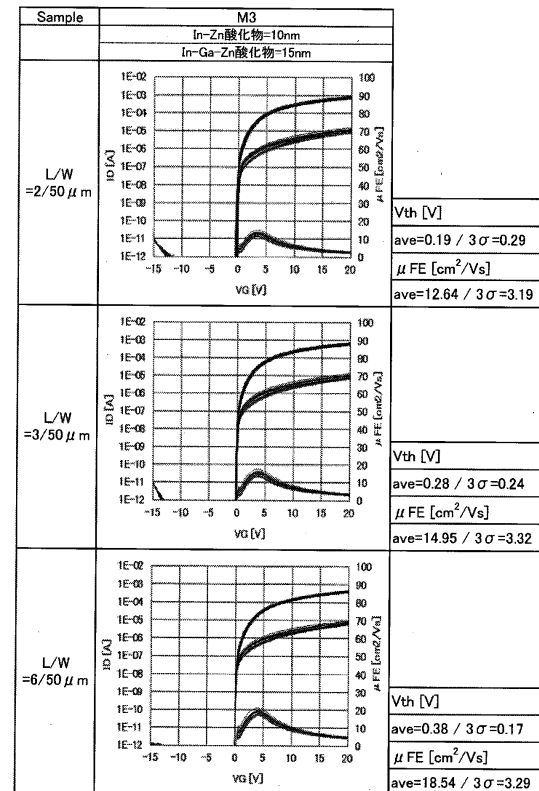
【図 4 9】

図49



【図 5 0】

図50



10

20

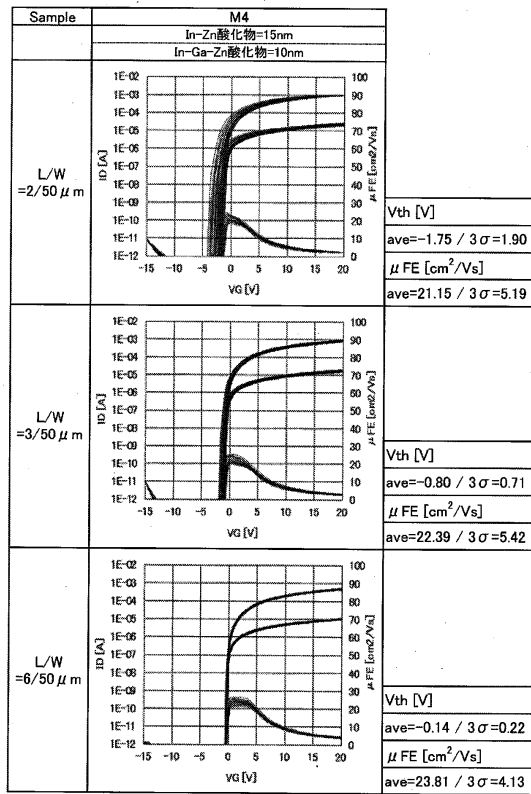
30

40

50

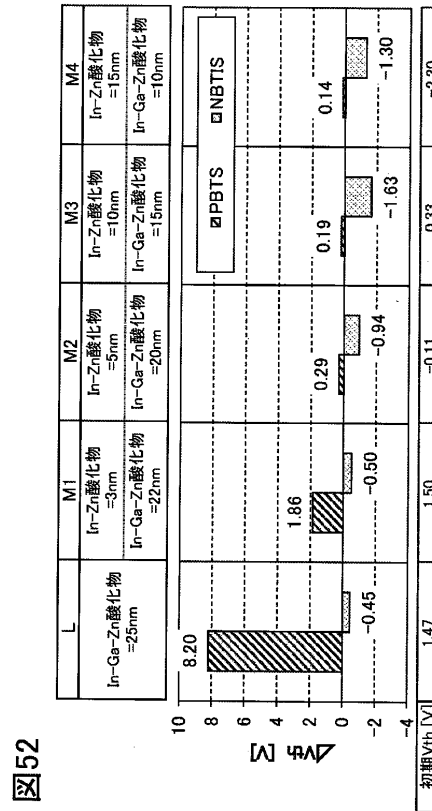
【図 5 1】

図51



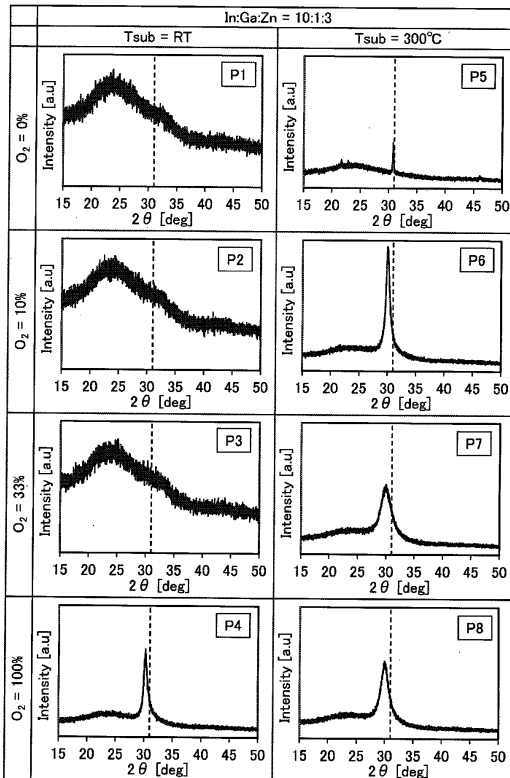
【図 5 2】

図52



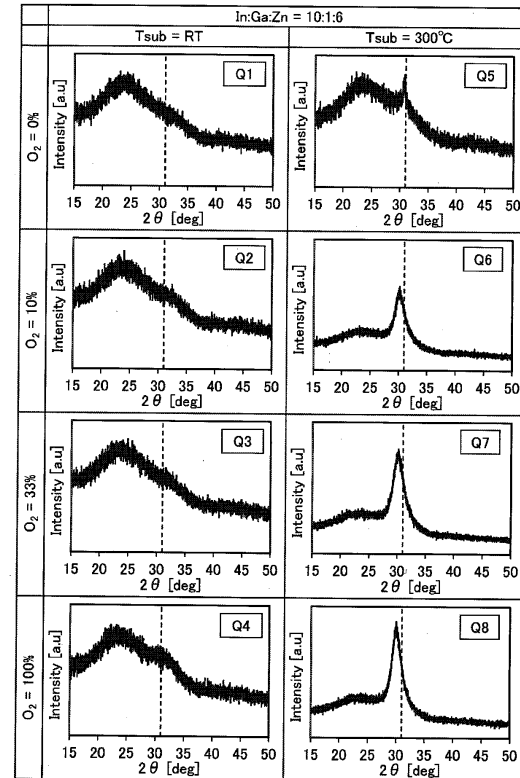
【図 5 3】

図53



【図 5 4】

図54



10

20

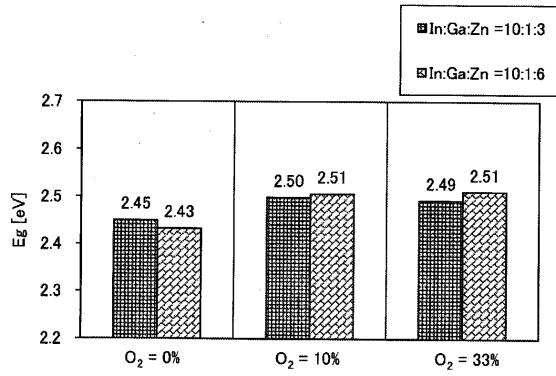
30

40

50

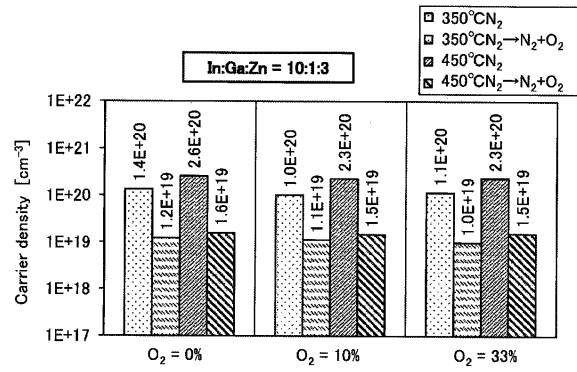
【図 5 5】

図55



【図 5 6 A】

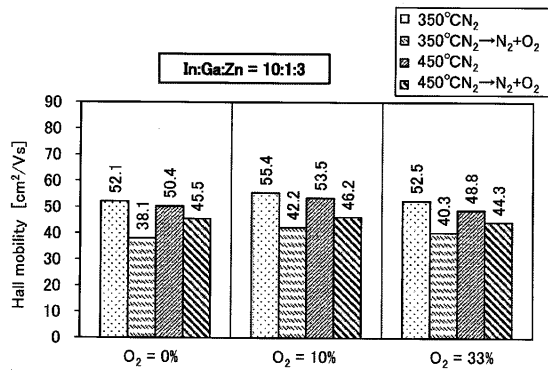
図56A



10

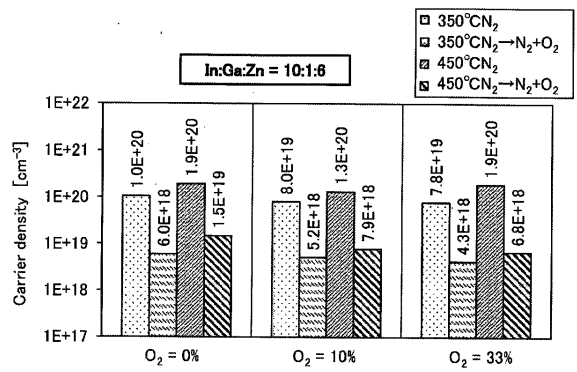
【図 5 6 B】

図56B



【図 5 7 A】

図57A



20

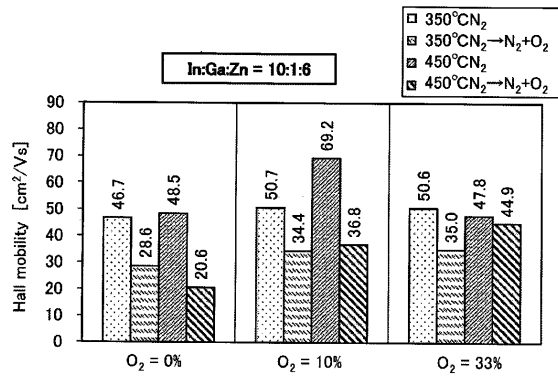
30

40

50

【図 5 7 B】

図57B



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I
H 0 5 B 33/14 A
G 0 2 F 1/1368

審査官 田付 徳雄

(56)参考文献

特開 2 0 1 6 - 1 8 9 4 7 9 (J P , A)
特開 2 0 1 7 - 2 1 2 4 4 2 (J P , A)
特開 2 0 1 8 - 1 1 6 2 7 4 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 2 4 3 7 3 8 (U S , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 3 3 8 1 0 7 (U S , A 1)
米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 2 0 4 5 3 2 (U S , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6
G 0 9 F 9 / 3 0
H 0 1 L 2 1 / 3 3 6
H 1 0 K 5 0 / 1 0
G 0 2 F 1 / 1 3 6 8