

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年1月18日(18.01.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/011648 A1

(51) 国際特許分類:
C23C 14/08 (2006.01) H01L 29/786 (2006.01)
H01L 21/363 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/IB2017/053614

(22) 国際出願日: 2017年6月19日(19.06.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-137189 2016年7月11日(11.07.2016) JP

(71) 出願人: 株式会社半導体エネルギー研究所
(SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY
CO., LTD.) [JP/JP]; 〒2430036 神奈川県厚木
市長谷 3 9 8 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 山崎 舜平 (YAMAZAKI, Shunpei);
〒2430036 神奈川県厚木市長谷 3 9 8 株式会社
半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

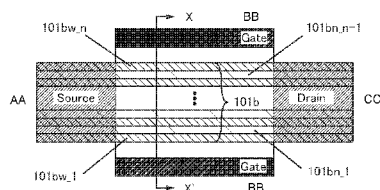
(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,

(54) Title: METAL OXIDE, AND SEMICONDUCTOR DEVICE HAVING SAID METAL OXIDE

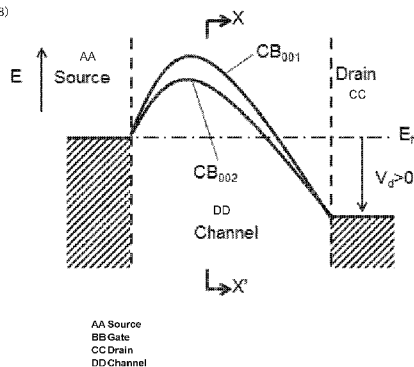
(54) 発明の名称: 金属酸化物、および当該金属酸化物を有する半導体装置

[図1]

(A)



(B)



(57) Abstract: Provided is a novel metal oxide. Specifically provided is a metal oxide having a plurality of energy gaps, wherein the metal oxide is provided with a first layer in which the energy level at the bottom of the conduction band of the energy band is high and a second layer in which the energy level at the bottom of the conduction band of the energy band is lower than that of the first layer, the second layer has more carriers than the first layer, the difference between the energy levels at the bottom of the conduction band in the first layer and the second layer is at least 0.2 eV, and the first layer and the second layer are alternately layered.

(57) 要約: 要約書 新規な金属酸化物を提供する。複数のエネルギーギャップを有する金属酸化物であって、金属酸化物は、エネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が高い第1の層と、第1の層よりもエネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が低い第2の層と、を有し、第2の層は、第1の層よりもキャリアが多く、第1の層と、第2の層との伝導帯下端のエネルギー準位の差が0.2 eV以上であり、第1の層と、第2の層とは、交互に積層されている金属酸化物である。

SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明細書

発明の名称

金属酸化物、および当該金属酸化物を有する半導体装置

技術分野

[0001]

本発明の一態様は、金属酸化物に関する。

[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発明の一態様の技術分野は、物、方法、または、製造方法に関する。または、本発明の一態様は、プロセス、マシン、マニュファクチャ、または、組成物（コンポジション・オブ・マター）に関する。特に、本発明の一態様は、金属酸化物、または当該金属酸化物の製造方法に関する。または、本発明の一態様は、半導体装置、表示装置、液晶表示装置、発光装置、蓄電装置、記憶装置、それらの駆動方法、または、それらの製造方法に関する。

[0003]

なお、本明細書等において、半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指す。トランジスタなどの半導体素子をはじめ、半導体回路、演算装置、記憶装置は、半導体装置の一態様である。撮像装置、表示装置、液晶表示装置、発光装置、電気光学装置、発電装置（薄膜太陽電池、有機薄膜太陽電池等を含む）、および電子機器は、半導体装置を有している場合がある。

背景技術

[0004]

トランジスタに適用可能な半導体材料として、酸化物が注目されている。例えば、特許文献1では、 In-Zn-Ga 系酸化物、 In-Zn-Ga-M 系酸化物、 In-Zn 系酸化物、 In-Sn 系酸化物、 In 系酸化物、 In-Ga 系酸化物、および Sn-In-Zn 系酸化物のうちのいずれかである非晶質酸化物を有する電界効果型トランジスタが開示されている。

[0005]

また、非特許文献1では、トランジスタの活性層として、 In-Zn-O 系酸化物と、 In-Ga-Zn-O 系酸化物との2層積層の金属酸化物を有する構造が検討されている。

[先行技術文献]

[特許文献]

[0006]

[特許文献1]特許第5118810号公報

[非特許文献]

[0007]

[非特許文献1] John F. Wager, 「Oxide TFTs: A Progress Report」、Information Display 1/16、SID 2016、Jan/Feb 2016、Vol. 32, No. 1, p. 16-21

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008]

特許文献1では、 In-Zn-Ga 系酸化物、 In-Zn-Ga-Mg 系酸化物、 In-Zn 系酸化物、 In-Sn 系酸化物、 In 系酸化物、 In-Ga 系酸化物、および Sn-In-Zn 系酸化物のうちのいずれかである非晶質酸化物を用いて、トランジスタの活性層を形成している。言い換えると、トランジスタの活性層は、上記酸化物のいずれか1つの非晶質酸化物を有している。トランジスタの活性層が、上記非晶質酸化物のいずれか1つから構成された場合、トランジスタの電気特性の1つであるオン電流が低くなるといった問題がある。または、トランジスタの活性層が、上記非晶質酸化物のいずれか1つから構成された場合、トランジスタの信頼性が悪くなるといった問題がある。

[0009]

また、非特許文献1では、チャネル保護型のボトムゲート型のトランジスタにおいて、トランジスタの活性層を In-Zn 酸化物と、 In-Ga-Zn 酸化物との2層積層とし、チャネルが形成される In-Zn 酸化物の膜厚を 10 nm とすることで、高い電界効果移動度 ($\mu = 62\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$) を実現している。一方で、トランジスタ特性の一つである S 値 ($\text{Subthreshold Swing}$ 、 SS ともいう) が 0.41 V/decade と大きい。また、トランジスタ特性の一つである、しきい値電圧 (V_{th} ともいう) が -2.9 V であり、所謂ノーマリーオンのトランジスタ特性である。

[0010]

上述の問題に鑑み、本発明の一態様は、新規な金属酸化物を提供することを課題の一とする。または、本発明の一態様は、半導体装置に良好な電気特性を付与することを課題の一とする。または、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。または、新規な構成の半導体装置を提供することを課題の一とする。または、新規な構成の表示装置を提供することを課題の一とする。

[0011]

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

課題を解決するための手段

[0012]

本発明の一態様は、複数のエネルギーギャップを有する金属酸化物であって、金属酸化物は、エネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が高い第1の層と、第1の層よりもエネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が低い第2の層と、を有し、第2の層は、第1の層よりもキャリアが多く、第1の層と、第2の層との伝導帯下端のエネルギー準位の差が 0.2 eV 以上であり、第1の層と、第2の層とが、交互に積層されている金属酸化物である。

[0013]

また、本発明の他の一態様は、複数のエネルギーギャップを有する金属酸化物であって、金属酸化物は、エネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が高い第1の層と、第1の領域よりもエネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が低い第2の層と、を有し、第1の層は、 M (M は、 Al 、 Ga 、 Si 、 Mg 、 Zr 、 Be 、および B から選ばれる少なくとも二種) 酸化物または In-M-Zn 酸化物を有し、第2の層は、 In 酸化物または In-Zn 酸化物を有し、第1の層と、第2の層とが、交互に積層されている金属酸化物である。

[0014]

また、本発明の他の一態様は、第1のエネルギーギャップを有する第1の層と第2のエネルギーギャップを有する第2の層を含む金属酸化物であり、第1の層は、第2の層よりも伝導帯下端のエネルギー準位が高く、第1の層は第1の金属元素の第1の酸化物を含み、第2の層は第2の金属元素の第2の酸化物を含み、第1の酸化物は、エネルギーギャップを大きくするために第1の金属元素とは異なる第3の元素を含み、第1の層における第3の元素の濃度は、第2の層が第3の元素を含む場合には、第2の層における前記第3の元素の濃度よりも高く、第1の層と、第2の層とは、交互に積層されている金属酸化物である。

[0015]

第1の金属元素はGaであり、第2の金属元素はInであり、第3の元素はAl、Si、Mg、Zr、Be、およびBから選ばれる少なくとも一種とすることができる。

[0016]

また、第1の層は更にInとZnを含み、第2の層は更にZnを含んでいてもよい。

発明の効果

[0017]

本発明の一態様により、新規な金属酸化物を提供することができる。または、本発明の一態様により、半導体装置に良好な電気特性を付与することができる。または、信頼性の高い半導体装置を提供することができる。または、新規な構成の半導体装置を提供することができる。または、新規な構成の表示装置を提供することができる。

[0018]

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

図面の簡単な説明

[0019]

[図1] トランジスタを説明する図、および該トランジスタにおけるエネルギー準位の分布を説明する模式図。

[図2] トランジスタにおけるバンドダイアグラムのモデルを説明する図。

[図3] Ec（伝導帯下端部）の測定について説明する図。

[図4] トランジスタにおけるバンドダイアグラムのモデルを説明する図。

[図5] トランジスタを説明する図、トランジスタにおけるバンドダイアグラムのモデルを説明する図。

[図6] トランジスタを説明する図。

[図7] トランジスタを説明する図。

[図8] トランジスタを説明する図。

[図9] トランジスタを説明する図。

[図10] トランジスタの作製方法を説明する図。

[図11] トランジスタの作製方法を説明する図。

[図12] トランジスタの作製方法を説明する図。

[図13] 表示パネルの構成例を説明する図。

[図 1 4] 表示パネルの構成例を説明する図。

発明を実施するための形態

[0020]

以下、実施の形態について図面を参照しながら説明する。但し、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、趣旨およびその範囲から逸脱することなくその形態およ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。

[0021]

また、図面において、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。よって、必ずしもそのスケールに限定されない。なお図面は、理想的な例を模式的に示したものであり、図面に示す形状または値などに限定されない。

[0022]

また、本明細書にて用いる「第 1」、「第 2」、「第 3」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ことを付記する。

[0023]

また、本明細書において、「上に」、「下に」などの配置を示す語句は、構成同士的位置関係を、図面を参照して説明するために、便宜上用いている。また、構成同士的位置関係は、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。

[0024]

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

[0025]

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

[0026]

また、本明細書等において、「電氣的に接続」には、「何らかの電氣的作用を有するもの」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、接続対象間での電気信号の授受を可能とするものであれば、特に制限を受けない。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。

[0027]

また、本明細書等において、酸化窒化シリコン膜とは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多い膜を表し、窒化酸化シリコン膜とは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多い膜を表す。

[0028]

また、本明細書等において、図面を用いて発明の構成を説明するにあたり、同じものを指す符号は異

なる図面間でも共通して用いる場合がある。

[0029]

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

[0030]

また、本明細書等において、「膜」という用語と、「層」という用語とは、場合によっては、互いに入れ替えることが可能である。例えば、「導電層」という用語を、「導電膜」という用語に変更することが可能な場合がある。または、例えば、「絶縁膜」という用語を、「絶縁層」という用語に変更することが可能な場合がある。

[0031]

なお、「半導体」と表記した場合でも、例えば、導電性が十分低い場合は「絶縁体」としての特性を有する場合がある。また、「半導体」と「絶縁体」は境界が曖昧であり、厳密に区別できない場合がある。したがって、本明細書に記載の「半導体」は、「絶縁体」と言い換えることができる場合がある。同様に、本明細書に記載の「絶縁体」は、「半導体」と言い換えることができる場合がある。

[0032]

なお、本明細書等において、ノーマリーオンとは、電源による電位の印加がない(0V)ときにオン状態であることをいう。例えば、ノーマリーオンの特性とは、トランジスタのゲートに与える電圧が0Vの際に、しきい値電圧がマイナスとなる電気特性をさす場合がある。

[0033]

本明細書等において、金属酸化物(metal oxide)とは、広い表現での金属の酸化物である。金属酸化物は、酸化物絶縁体、酸化物導電体(透明酸化物導電体を含む)、酸化物半導体(Oxide Semiconductorまたは単にOSともいう)などに分類される。例えば、トランジスタの活性層に金属酸化物を用いた場合、当該金属酸化物を酸化物半導体と呼称する場合がある。つまり、OS FETと記載する場合においては、金属酸化物または酸化物半導体を有するトランジスタと換言することができる。

[0034]

(実施の形態1)

本実施の形態では、本発明の一態様である金属酸化物について説明する。

[0035]

本発明の一態様の金属酸化物は、少なくともInを含むことが好ましい。特にInおよびZnを含むことが好ましい。また、本発明の一態様の金属酸化物は、InおよびZnに加えて、M(Mは、Al、Ga、Si、Mg、Zr、Be、およびBから選ばれる少なくとも2種)が含まれていてもよい。特にMとしては、Al、Ga、およびSiから選ばれる少なくとも2種であると好適である。例えば、MがAlおよびGa、AlおよびSi、またはGaおよびSiの組み合わせが挙げられる。また、Mの中でもAl、Siを用いる場合には、窒化物を用いると好ましい。具体的には、Mとしては、窒化アルミニウム、または窒化シリコンを用いることができる。また、Mとしては、金属酸化物中に、1

乃至 50 atomic % の濃度で有すると好ましい。

[0036]

本発明の一態様の金属酸化物としては、例えば、In-Al-Ga-Zn 酸化物、In-Al-Si-Zn 酸化物、または In-Ga-Si-Zn 酸化物などが挙げられる。

[0037]

すなわち、本発明の一態様の金属酸化物は、複数の成分を有する。

[0038]

本発明の一態様の金属酸化物は、第1の層と、第2の層と、を有し、第1の層はM (Mは、Al、Ga、Si、Mg、Be、およびBから選ばれる少なくとも二種) 酸化物、In-M-Zn 酸化物を有し、第1の層はIn 酸化物、In-Zn 酸化物を有する。

[0039]

また、第1の層と、第2の層とは、混合する領域を有する場合がある。

[0040]

本発明の一態様の金属酸化物は、複数の層により構成されるため、複数のエネルギーギャップを有する。より詳しくは、本発明の一態様の金属酸化物は、複数のエネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位を有する。

[0041]

別言すると、本発明の一態様の金属酸化物は、エネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が相対的に高い第1の層と、第1の領域よりもエネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が相対的に低い第2の層と、を有し、第2の層は、第1の層よりもキャリアが多く、第1の層と、第2の層との伝導帯下端のエネルギー準位の差が0.2 eV以上である。

[0042]

<金属酸化物を有するトランジスタ>

続いて、上記金属酸化物を半導体としてトランジスタに用いる場合について、図1を用いて説明する。

[0043]

なお、上記金属酸化物を半導体としてトランジスタに用いることで、電界効果移動度が高く、かつ、スイッチング特性が高い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。

[0044]

図1 (A) は、上記金属酸化物をチャネル領域に用いたトランジスタの模式図である。図1 (A) において、トランジスタは、ソース (Source) と、ドレイン (Drain) と、第1のゲート (Gate) と、第2のゲート (Gate) と、第1のゲート絶縁部と、第2のゲート絶縁部と、チャネル部と、を有する。トランジスタは、ゲートに印加する電位によって、チャネル部の抵抗を制御することができる。即ち、第1のゲート、または第2のゲートに印加する電位によって、ソースとドレインとの間の導通 (トランジスタがオン状態) ・非導通 (トランジスタがオフ状態) を制御することができる。

[0045]

チャネル部を構成する金属酸化物101bは、第1の層として第1のバンドギャップを有する酸化物101bwと、第2の層として第2のバンドギャップを有する酸化物101bnを有し、それぞれが

交互に重なる構成を有している。例えば、図1 (A) に示すように、第2のゲート絶縁部と接する酸化物101bw__1上に酸化物101bn__1が設けられ、以降交互に酸化物101bwおよび酸化物101bnが設けられ、酸化物101bw__nが第1のゲート絶縁部に接する構成とする。なお、nは2以上、好ましくは3以上10以下とする。

[0046]

なお、第2のゲート絶縁部と接する酸化物101bn__1上に酸化物101bw__1が設けられ、以降交互に酸化物101bnおよび酸化物101bwが設けられ、酸化物101bn__nが第1のゲート絶縁部に接する構成とすることもできる。

[0047]

第1のバンドギャップは、第2のバンドギャップよりも大きく、その差は、0.1 eV以上1.3 eV以下とする。また、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnが有するキャリア密度は、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwが有するキャリア密度よりも大きい。例えば、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwのキャリア密度は、 $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 程度である。また、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnのキャリア密度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 未満が好ましい。

[0048]

第1のバンドギャップを有する酸化物101bwの膜厚は、0.1 nm以上30 nm未満、好ましくは0.1 nm以上10 nm以下、さらに好ましくは0.1 nm以上3 nm以下の領域を有する。また、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnの膜厚は、0.1 nm以上30 nm未満、好ましくは0.1 nm以上10 nm以下、さらに好ましくは0.1 nm以上3 nm以下の領域を有する。

[0049]

第1のバンドギャップを有する酸化物101bwには、InおよびZnに加えて、M (Mは、Al、Ga、Si、Mg、Zr、Be、およびBから選ばれる少なくとも二種) 酸化物、In-M-Zn酸化物を含む金属酸化物を用いることができる。例えば、酸化物101bwとしてIn-Ga-Al-Zn酸化物またはIn-Ga-Si-Zn酸化物を用いることができる。

[0050]

第2のバンドギャップを有する酸化物101bnは、InまたはZnなどを含むことが好ましい。また、窒素が含まれる構成としてもよい。例えば、In酸化物、In-Zn酸化物、窒素を含むIn-Zn酸化物、In-Zn窒化物、窒素を含むIn-Ga-Zn酸化物などを用いることができる。

[0051]

次に、図1 (A) に示すトランジスタの伝導モデルについて、図1 (B) を用いて説明する。図1 (B) は、図1 (A) に示すトランジスタのソースとドレインとの間におけるエネルギー準位の分布を説明する模式図である。なお、各伝導帯において、実線は伝導帯下端のエネルギーを示す。また、 E_f で示す一点破線は電子の擬フェルミ準位のエネルギーを示す。また、ここでは、第1のゲート電圧として、ゲートとソースとの間にマイナスの電圧を印加し、ソースとドレインとの間にドレイン電圧 ($V_d > 0$) を印加する場合を想定する。

[0052]

図1 (A) に示すトランジスタに、マイナスのゲート電圧を印加すると、図1 (B) に示すように、ソースとドレインとの間に、第1の層に由来する伝導帯下端のエネルギー $C_{B_{001}}$ と、第2の層に由

来する伝導帯下端のエネルギー CB_{002} と、が形成される。ここで、第1のバンドギャップは第2のバンドギャップよりも大きいため、伝導帯下端のエネルギー CB_{001} におけるポテンシャル障壁は、伝導帯下端のエネルギー CB_{002} のポテンシャル障壁よりも大きい。つまり、チャネル部(Chan-nel)におけるポテンシャル障壁の最大値は、第1の層に起因する値をとる。従って、リーク電流を抑制し、スイッチング特性が高いトランジスタとすることができる。

[0053]

また、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwと、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnとが、交互に積層されている構造の、トランジスタのオン状態について図2および図3を用いて説明する。

[0054]

図2は、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwと、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnとが、交互に積層された構造における伝導帯下端部(以下、Ec端と表記する)近傍のバンド図である。

[0055]

ここで、本トランジスタに用いる酸化物のEcの測定について説明する。図3に本トランジスタに用いる酸化物のエネルギーバンドの一例を示す。図3に示すように、真空準位と価電子帯上端のエネルギーとの差であるイオン化ポテンシャルIpおよびバンドギャップEgからEcを求めることができる。バンドギャップEgは、分光エリプソメータ(HORIBA JOBIN YVON社 UT-300)を用いて測定できる。また、イオン化ポテンシャルIpは、紫外線光電子分光分析(UPS: Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy)装置(PHI社 VersaProbe)を用いて測定できる。

[0056]

図2(A)に示すように、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnは、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwよりバンドギャップが相対的に狭いので、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnのEc端は、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwのEc端よりも相対的に低い位置に存在する。

[0057]

実際の積層構造では、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnと第1のバンドギャップを有する酸化物101bwとの接合部は、酸化物の凝集形態や組成に揺らぎが生じていること、または、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwの一部が、第2のバンドギャップを有する酸化物101bn中に含まれることがあるので、バンドは不連続ではなく図2(B)のように連続的に変化している。

[0058]

ここで、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwが、In-Ga-Al-Zn酸化物を有する構成とした場合、Al酸化物は、In酸化物、In-Zn酸化物およびGa酸化物よりも絶縁性が高い。つまりAl酸化物は、In酸化物、In-Zn酸化物およびGa酸化物よりもバンドギャップが大きい。このようにバンドギャップの大きなAl酸化物を含有させる構成とすることで、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwのEc端のエネルギーと、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnのEc端のエネルギーとの差をより大きくすることができる。したがって、本発明の

一態様の金属酸化物をトランジスタの半導体層に用いる場合、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnに起因する性質と、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwに起因する性質とが、相補的に作用することにより、高いオン電流 (I_{on})、高い電界効果移動度 (μ)、および、低いオフ電流 (I_{off}) を実現することができるので、高性能な半導体装置とすることができる。

[0059]

なお、上記構成のAlをSi、Mg、Zr、Be、又はBとしてもよい。

[0060]

例えば、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwの成分をIn-Ga-Al-Zn酸化物とし、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnの成分をIn-Zn酸化物とすることができる。この場合、第1のバンドギャップは、3.3 eV、またはその近傍であり、第2のバンドギャップは、2.4 eV、またはその近傍となる。なお、バンドギャップの値は、各材料の単膜をエリプソメータで測定して得られる値を用いることができる。

[0061]

また、本発明の一態様の金属酸化物は、第1のバンドギャップと、第2のバンドギャップとの差は、少なくとも0.2 eV以上であると好ましい。ただし、第1のバンドギャップを有する酸化物101bwに由来する価電子帯上端のエネルギーの位置と、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnに由来する価電子帯上端のエネルギーの位置が異なる場合があるので、第1のバンドギャップと、第2のバンドギャップとの差が、好ましくは0.3 eV以上、さらに好ましくは0.4 eV以上であるとよい。

[0062]

また、上記の場合、第2のバンドギャップ、すなわちナローバンドであるIn-Zn酸化物に起因してキャリアが流れる。この際に、In-Zn酸化物から第1のバンドギャップ、すなわちワイドバンドであるIn-Ga-Al-Zn酸化物側にキャリアが溢れる。別言すると、ナローバンドであるIn-Zn酸化物の方がキャリアを生成しやすく、当該キャリアは、ワイドバンドであるIn-Ga-Al-Zn酸化物に移動する。

[0063]

次に、図1(A)に示すトランジスタにおいて、X-X'で示す実線上におけるバンドダイアグラムのモデル図を、図4(A)、(B)、(C)に示す。なお、第1のゲート電極(1st Gate E.)に電圧を印加する場合、第2のゲート電極(2nd Gate E.)にも同じ電圧が印加されるとする。

[0064]

図4(A)には、第1のゲート電圧 V_g として、ゲートとソースとの間にプラスの電圧 ($V_g > 0$) を印加した状態 (ON State) を示す。図4(B)には、第1のゲート電圧 V_g を印加しない ($V_g = 0$) 状態を示す。図4(C)には、第1のゲート電圧 V_g として、ゲートとソースとの間にマイナスの電圧 ($V_g < 0$) を印加した状態 (OFF State) を示す。なお、各バンド図において、実線は伝導帯下端のエネルギーを示す。また、 E_f で示す一点鎖線は電子の擬フェルミ準位のエネルギーを示す。

[0065]

前述した多層構造をチャネル部に有するトランジスタは、第1のバンドギャップを有する第1の層と第2のバンドギャップを有する第2の層とが、電氣的に相互作用を及ぼす。別言すると、第1のバン

ドギャップを有する第1の層と第2のバンドギャップを有する第2の層とが、相補的に機能する。

[0066]

図4 (A) に示すように、トランジスタをオン状態にする電位 ($V_g > 0$) が、第1のゲート電極に印加されると、Ec 端の低い第2のバンドギャップを有する第2の層が主な伝導経路となり、電子 (Electron (Carrier)) が流れると同時に、第1のバンドギャップを有する第1の層にも電子が流れる。このため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および高い電界効果移動度を得ることができる。

[0067]

一方、図4 (B)、および図4 (C) に示すように、第1のゲートにしきい値電圧未満の電圧 ($V_g \leq 0$) を印加することで、第1のバンドギャップを有する第1の層は、誘電体 (絶縁体) として振る舞うので、第1の層中の伝導経路は遮断される。また、第2のバンドギャップを有する第2の層は、第1のバンドギャップを有する第1の層と接している。従って、第1のバンドギャップを有する第1の層は、自らに加えて第2のバンドギャップを有する第2の層へ電気的に相互作用を及ぼし、第2のバンドギャップを有する第2の層中の伝導経路すらも遮断する。これでチャネル部全体が非導通状態となり、トランジスタはオフ状態となる。

[0068]

以上の説明により、トランジスタの動作時、例えば、ゲートと、ソースまたはドレインとの間に電位差が生じた時に、ゲートと、ソースまたはドレインと、の間のリーク電流を低減または防止することができる。

[0069]

また、トランジスタの構造としては、図5 (A) に示すように多層の構成を有する金属酸化物101bと第1のゲート絶縁部(GI)との間に金属酸化物S3を設け、金属酸化物101bと第2のゲート絶縁部(GI)との間に金属酸化物S1を設ける構成とすることもできる。ここでは一例として、金属酸化物101bを、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnを第1のバンドギャップを有する酸化物101bw__1および酸化物101bw__2で挟んだ3層構成とし、金属酸化物S2と呼ぶ。また、酸化物101bw__1は金属酸化物S1と接し、酸化物101bw__2は金属酸化物S3と接する構成とする。

[0070]

金属酸化物S1、S3には、例えばバンドギャップが酸化物101bwよりも大きい材料を用いることができる。例えば、酸化物101bwよりもMを多く添加した材料などを用いることができる。または、In、Ga、Znの原子数比を調整することにより得られるIn-Ga-Zn酸化物などを用いることができる。

[0071]

図5 (B) は、図5 (A) に示すトランジスタにおいて、X-X' で示す実線上におけるバンド図であり、伝導帯下端(Ec)とフェルミ準位(Ef)の関係を示す。

[0072]

金属酸化物S1と金属酸化物S3とに挟まれた金属酸化物S2は、金属酸化物S1および金属酸化物S3よりも高い導電率 σ を有し、チャネルとして機能する。

[0073]

バンドギャップが金属酸化物S 2よりも大きい金属酸化物S 1および金属酸化物S 3を設けることで、金属酸化物S 1および金属酸化物S 3の伝導帯下端のエネルギーレベルより、金属酸化物S 2の伝導帯下端のエネルギーレベルが下がり、伝導帯下端にエネルギー差が生じる。これによって、キャリアが、金属酸化物S 1および金属酸化物S 3と接する絶縁層から離れた領域を流れる構造（いわゆる埋め込みチャネル）とすることができる。

[0074]

また、第2のバンドギャップを有する酸化物101bnは、第1のバンドギャップを有する酸化物101bw_1、101bw_2よりもキャリア密度が高く、第1のバンドギャップを有する酸化物101bw_1、101bw_2と比較してフェルミ準位(E f)が伝導帯下端(E c)に近い位置にある。

[0075]

したがって、金属酸化物S 2を埋め込みチャネルとすることで、キャリアの界面散乱が低減される効果と、キャリア密度の高い酸化物101bnが金属酸化物S 2に設けられている効果を合わせて、高い電界効果移動度を実現することができる。

[0076]

なお、金属酸化物S 1、S 3を設けることにより、金属酸化物S 2に形成されうるトラップ準位を金属酸化物S 1または金属酸化物S 3に設けることができる。したがって、金属酸化物S 2には、トラップ準位が形成され難い構造となる。

[0077]

また、トラップ準位がチャネル領域として機能する金属酸化物S 2の伝導帯下端のエネルギー準位(E c)より真空準位から遠くなることがあり、トラップ準位に電子が蓄積しやすくなってしまう。トラップ準位に電子が蓄積されることで、マイナスの固定電荷となり、トランジスタのしきい値電圧はプラス方向にシフトしてしまう。したがって、トラップ準位が金属酸化物S 2の伝導帯下端のエネルギー準位(E c)より真空準位に近くなるような構成にすると好ましい。このようにすることで、トラップ準位に電子が蓄積しにくくなり、トランジスタのオン電流を増大させることが可能であると共に、電界効果移動度を高めることができる。

[0078]

また、金属酸化物S 1、S 3は、金属酸化物S 2よりも伝導帯下端のエネルギー準位が真空準位に近く、代表的には、金属酸化物S 2の伝導帯下端のエネルギー準位と、金属酸化物S 1、S 3の伝導帯下端のエネルギー準位との差が、0.15 eV以上、または0.5 eV以上、かつ2 eV以下、または1 eV以下である。すなわち、金属酸化物S 1、S 3の電子親和力と、金属酸化物S 2の電子親和力との差が、0.15 eV以上、または0.5 eV以上、かつ2 eV以下、または1 eV以下である。

[0079]

このような構成を有することで、金属酸化物S 2が主な電流経路となる。すなわち、金属酸化物S 2は、チャネル領域としての機能を有し、金属酸化物S 1、S 3は、酸化物絶縁膜としての機能を有する。また、金属酸化物S 1、S 3は、チャネル領域が形成される金属酸化物S 2を構成する金属元素の一種以上から構成される金属酸化物を用いると好ましい。このような構成とすることで、金属酸化物S 1と金属酸化物S 2との界面、または金属酸化物S 2と金属酸化物S 3との界面において、界面散乱が起こりにくい。したがって、該界面においてはキャリアの動きが阻害されないため、トランジ

スタの電界効果移動度が高くなる。

[0080]

また、金属酸化物S1、S3は、チャネル領域の一部として機能することを防止するため、導電率が十分に低い材料を用いるものとする。そのため、金属酸化物S1、S3を、その物性および／または機能から、それぞれ酸化物絶縁膜とも呼べる。または、金属酸化物S1、S3には、電子親和力（真空準位と伝導帯下端のエネルギー準位との差）が金属酸化物S2よりも小さく、伝導帯下端のエネルギー準位が金属酸化物S2の伝導帯下端エネルギー準位と差分（バンドオフセット）を有する材料を用いるものとする。また、ドレイン電圧の大きさに依存したしきい値電圧の差が生じることを抑制するためには、金属酸化物S1、S3の伝導帯下端のエネルギー準位が、金属酸化物S2の伝導帯下端のエネルギー準位よりも真空準位に近い材料を用いると好適である。例えば、金属酸化物S2の伝導帯下端のエネルギー準位と、金属酸化物S1、S3の伝導帯下端のエネルギー準位との差が、0.2 eV以上、好ましくは0.5 eV以上とすることが好ましい。

[0081]

なお、金属酸化物S1、S3は、例えば、In:Ga:Zn=1:1:1 [原子数比] の金属酸化物ターゲット、In:Ga:Zn=1:3:4 [原子数比] の金属酸化物ターゲット、In:Ga:Zn=1:3:6 [原子数比] の金属酸化物ターゲットなどを用いたスパッタリング法などで形成することができる。

[0082]

また、トランジスタには、膜中の水素濃度が低減された金属酸化物を用いることが好ましい。なお、膜中の水素濃度が低減された金属酸化物を、高純度真性または実質的に高純度真性と呼称する場合がある。高純度真性または実質的に高純度真性である金属酸化物は、水素に起因するキャリア（例えば、酸素欠損に水素が存在するV_Hなど）が少ないため、キャリア密度を低くすることができる。また、高純度真性または実質的に高純度真性である金属酸化物は、欠陥準位密度が低いいため、トラップ準位密度も低くなる場合がある。

[0083]

また、金属酸化物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金属酸化物にチャネル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。

[0084]

したがって、トランジスタの電気特性を安定にするためには、金属酸化物中の不純物濃度を低減することが有効である。また、金属酸化物中の不純物濃度を低減するためには、近接する膜中の不純物濃度も低減することが好ましい。不純物としては、水素、アルカリ金属等がある。

[0085]

ここで、金属酸化物中における各不純物の影響について説明する。

[0086]

金属酸化物において、第14族元素の一つである炭素が含まれると、金属酸化物において欠陥準位が形成される。このため、金属酸化物における炭素の濃度と、金属酸化物との界面近傍の炭素の濃度（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 $2 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とすることが好ましい。

ms / cm^3 以下とする。

[0087]

また、金属酸化物にアルカリ金属が含まれると、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、アルカリ金属が含まれている金属酸化物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、金属酸化物中のアルカリ金属の濃度を低減することが好ましい。具体的には、SIMSにより得られる金属酸化物中のアルカリ金属の濃度を、 $1 \times 10^{18} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{16} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 以下とする。

[0088]

また、金属酸化物に含まれる水素は、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(V_{O})を形成する場合がある。該酸素欠損(V_{O})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金属酸化物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、金属酸化物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、金属酸化物において、SIMSにより得られる水素濃度を、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 以上 $3 \times 10^{21} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 未満、好ましくは $1 \times 10^{17} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 以上 $3 \times 10^{20} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ 未満とする。

[0089]

なお、金属酸化物中の酸素欠損(V_{O})は、酸素を金属酸化物に導入することで、低減することができる。つまり、金属酸化物中の酸素欠損(V_{O})に、酸素が補填されることで、酸素欠損(V_{O})は消失する。したがって、金属酸化物中に、酸素を拡散させることで、トランジスタの酸素欠損(V_{O})を低減し、信頼性を向上させることができる。

[0090]

なお、酸素を金属酸化物に導入する方法として、例えば、金属酸化物に接して、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物を設けることができる。つまり、酸化物には、化学量論的組成よりも酸素が過剰に存在する領域（以下、過剰酸素領域ともいう）が形成されていることが好ましい。特に、トランジスタに金属酸化物を用いる場合、トランジスタ近傍の下地膜や、層間膜などに、過剰酸素領域を有する酸化物を設けることで、トランジスタの酸素欠損を低減し、信頼性を向上させることができる。

[0091]

不純物が十分に低減された金属酸化物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。

[0092]

<金属酸化物の成膜方法>

以下では、金属酸化物の一例について説明する。

[0093]

金属酸化物を成膜する際の温度としては、好ましくは、室温（例えば 25°C ）以上 170°C 以下、さらに好ましくは 100°C 以上 150°C 未満とすることが好ましい。例えばG10等の大型基板は、そのサイズに応じて、基板温度の制限がある。したがって、水の気化温度（ 100°C 以上）より高く、かつ可能な範囲で装置のメンテナビリティ、スループットの良い温度を適宜選択すればよい。なお、

室温とは、意図的に加熱しない状態を含む。

[0094]

また、スパッタリングガスは、希ガス（代表的にはアルゴン）、酸素、希ガスおよび酸素の混合ガスを適宜用いる。混合ガスの場合、成膜ガス全体に占める酸素ガスの割合が、0%以上30%以下、好ましくは5%以上20%以下とする。

[0095]

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

[0096]

また、スパッタリング法で金属酸化物を成膜する場合、スパッタリング装置におけるチャンバーは、金属酸化物にとって不純物となる水等を可能な限り除去すべくクライオポンプのような吸着式の真空排気ポンプを用いて高真空（ $5 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ から $1 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 程度まで）排気することが好ましい。または、ターボ分子ポンプとコールドトラップを組み合わせることで排気系からチャンバー内に気体、特に炭素または水素を含む気体が逆流しないようにしておくことが好ましい。

[0097]

また、ターゲットとして、 In-M-Zn 金属酸化物ターゲットを用いることができる。例えば、 $\text{In}:\text{Al}:\text{Ga}:\text{Zn}=4:1:1:4$ [原子数比]、 $\text{In}:\text{Al}:\text{Si}:\text{Zn}=4:1:1:4$ [原子数比]、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Si}:\text{Zn}=4:1:1:4$ [原子数比]、 $\text{In}:\text{Al}:\text{Ga}:\text{Zn}=5:0.5:0.5:7$ [原子数比]、 $\text{In}:\text{Al}:\text{Si}:\text{Zn}=5:0.5:0.5:7$ [原子数比]、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Si}:\text{Zn}=5:0.5:0.5:7$ [原子数比]、またはその近傍値の原子数比である金属酸化物ターゲットを用いることが好ましい。

[0098]

また、スパッタリング装置において、ターゲット近傍に配置されたマグネットユニットを回転または移動させても構わない。例えば、成膜中にマグネットユニットを上下または／および左右に揺動させることによって、本発明の一態様の金属酸化物を形成することができる。例えば、マグネットユニットを、 0.1 Hz 以上 1 kHz 以下のビートで揺動させればよい。

[0099]

また、スパッタリングガスとして、酸素のガス比が10%程度の酸素と希ガスとの混合ガスを用い、基板温度を 130°C とし、 $\text{In}:\text{Al}:\text{Ga}:\text{Zn}=5:0.5:0.5:7$ [原子数比] の In-Al-Ga-Zn 金属酸化物ターゲットの近傍（例えば裏面）に配置されたマグネットユニットを揺動させながら成膜を行うことで、本発明の一態様の金属酸化物を形成することができる。

[0100]

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

[0101]

（実施の形態2）

本実施の形態では、本発明の一態様の金属酸化物を有する半導体装置、および当該半導体装置の作製方法について、図6乃至図12を参照して説明する。

[0102]

< 2-1. 半導体装置の構成例 1 >

図 6 (A) は、本発明の一態様の半導体装置であるトランジスタ 300A の上面図であり、図 6 (B) は、図 6 (A) に示す一点鎖線 X1-X2 間における切断面の断面図に相当し、図 6 (C) は、図 6 (A) に示す一点鎖線 Y1-Y2 間における切断面の断面図に相当する。また、図 6 (D) は、図 6 (B) に示す領域 P1 を拡大した断面概念図に相当する。

[0103]

なお、図 6 (A) において、煩雑になることを避けるため、トランジスタ 300A の構成要素の一部（ゲート絶縁膜として機能する絶縁膜等）を省略して図示している。また、一点鎖線 X1-X2 方向をチャネル長方向、一点鎖線 Y1-Y2 方向をチャネル幅方向と呼称する場合がある。なお、トランジスタの上面図においては、以降の図面においても図 6 (A) と同様に、構成要素の一部を省略して図示する場合がある。

[0104]

トランジスタ 300A は、基板 302 上の導電膜 304 と、基板 302 および導電膜 304 上の絶縁膜 306 と、絶縁膜 306 上の絶縁膜 307 と、絶縁膜 307 上の金属酸化物 308 と、金属酸化物 308 上の導電膜 312a と、金属酸化物 308 上の導電膜 312b と、金属酸化物 308、導電膜 312a、および導電膜 312b 上の絶縁膜 314 と、絶縁膜 314 上の絶縁膜 316 と、絶縁膜 316 上の導電膜 320a と、絶縁膜 316 上の導電膜 320b と、を有する。

[0105]

また、絶縁膜 306 および絶縁膜 307 は、開口部 351 を有し、絶縁膜 306 および絶縁膜 307 上には、開口部 351 を介して導電膜 304 と電気的に接続される導電膜 312c が形成される。また、絶縁膜 314 および絶縁膜 316 は、導電膜 312b に達する開口部 352a と、導電膜 312c に達する開口部 352b とを有する。

[0106]

金属酸化物 308 は、実施の形態 1 に示す本発明の一態様の多層構造の金属酸化物を有する。ここで、図 6 (D) を用いて、本発明の一態様の多層構造の金属酸化物と、導電膜との接続について説明を行う。

[0107]

図 6 (D) の領域 P1 に示すように、金属酸化物 308 は金属酸化物 308₁、金属酸化物 308₂、金属酸化物 308₃ を有する。ここで、金属酸化物 308₁ は、実施の形態 1 に示した金属酸化物 S1 に相当する。金属酸化物 308₂ は、実施の形態 1 に示した金属酸化物 S2 に相当する。金属酸化物 308₃ は、実施の形態 1 に示した金属酸化物 S3 に相当する。

[0108]

また、図 6 (D) では、金属酸化物 308₂ が金属酸化物 308_w で金属酸化物 308_N を挟む三層構造を示している。金属酸化物 308_w は、実施の形態 1 に示した酸化物 101bw に相当する。金属酸化物 308_N は、実施の形態 1 に示した酸化物 101bn に相当する。なお、金属酸化物 308₂ は三層構造に限らず、さらに複数であってもよい。

[0109]

金属酸化物 308 の上面および側面と導電膜 312a が接するため、接触抵抗を低減できる。また、

金属酸化物 308 の端部において、金属酸化物 308_N と導電膜 312a とが接するため、さらに接触抵抗を低減できる。なお、図示していないが、金属酸化物 308 と、導電膜 312b との接続についても、領域 P1 と同様である。

[0110]

本発明の一態様の金属酸化物は、導電性が高い領域を有し、且つ導電膜との接触抵抗が低減されている。したがって、当該金属酸化物を有するトランジスタの電界効果移動度を高めることができる。

[0111]

具体的には、トランジスタ 300A の電界効果移動度が $50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える、さらに好ましくはトランジスタ 300A の電界効果移動度が $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超えることが可能となる。

[0112]

例えば、上記の電界効果移動度が高いトランジスタを、表示装置が有するゲート信号を生成するゲートドライバに用いることで、額縁幅の狭い（狭額縁ともいう）表示装置を提供することができる。また、上記の電界効果移動度が高いトランジスタを、表示装置が有する信号線からの信号の供給を行うソースドライバ（とくに、ソースドライバが有するシフトレジスタの出力端子に接続されるデマルチプレクサ）に用いることで、表示装置に接続される配線数が少ない表示装置を提供することができる。

[0113]

また、金属酸化物 308 中に混入する水素または水分などの不純物は、トランジスタ特性に影響を与えるため問題となる。したがって、金属酸化物 308 中のチャネル領域においては、水素または水分などの不純物が少ないほど好ましい。また、金属酸化物 308 中のチャネル領域に形成される酸素欠損は、トランジスタ特性に影響を与えるため問題となる。例えば、金属酸化物 308 のチャネル領域中に酸素欠損が形成されると、該酸素欠損に水素が結合し、キャリア供給源となる。金属酸化物 308 のチャネル領域中にキャリア供給源が生成されると、金属酸化物 308 を有するトランジスタ 300A の電気特性の変動、代表的にはしきい値電圧のシフトが生じる。したがって、金属酸化物 308 のチャネル領域においては、酸素欠損が少ないほど好ましい。

[0114]

また、導電膜 312c と導電膜 320a は電氣的に接続され、導電膜 312b と導電膜 320b は電氣的に接続される。なお、導電膜 320a と、導電膜 320b とは、同じ導電膜を加工することで形成される。

[0115]

また、トランジスタ 300A の上には、絶縁膜 318 が設けられる。絶縁膜 318 は、絶縁膜 316、導電膜 320a、および導電膜 320b を覆うように形成される。

[0116]

なお、トランジスタ 300A において、絶縁膜 306、307 は、トランジスタ 300A の第 1 のゲート絶縁膜としての機能を有し、絶縁膜 314、316 は、トランジスタ 300A の第 2 のゲート絶縁膜としての機能を有し、絶縁膜 318 は、トランジスタ 300A の保護絶縁膜としての機能を有する。

[0117]

また、トランジスタ 300A において、導電膜 304 は、第 1 のゲート電極としての機能を有し、導電膜 320a は、第 2 のゲート電極としての機能を有し、導電膜 320b は、表示装置に用いる画素

電極としての機能を有する。また、トランジスタ 300A において、導電膜 312a は、ソース電極としての機能を有し、導電膜 312b は、ドレイン電極としての機能を有する。また、トランジスタ 300A において、導電膜 312c は接続電極としての機能を有する。なお、本明細書等において、絶縁膜 306、307 を第 1 の絶縁膜と、絶縁膜 314、316 を第 2 の絶縁膜と、絶縁膜 318 を第 3 の絶縁膜と、それぞれ呼称する場合がある。

[0118]

また、図 6 (C) に示すように、第 2 のゲート電極として機能する導電膜 320a は、接続電極として機能する導電膜 312c を間に挟んで、第 1 のゲート電極として機能する導電膜 304 と電氣的に接続される。よって、導電膜 304 と、導電膜 320a とは、同じ電位が与えられる。

[0119]

また、図 6 (C) に示すように、金属酸化物 308 は、第 1 のゲート電極として機能する導電膜 304 と、第 2 のゲート電極として機能する導電膜 320a のそれぞれと対向するように位置し、2 つのゲート電極として機能する膜に挟まれている。導電膜 320a のチャネル長方向の長さ、および導電膜 320a のチャネル幅方向の長さは、金属酸化物 308 のチャネル長方向の長さ、および金属酸化物 308 のチャネル幅方向の長さよりもそれぞれ長く、金属酸化物 308 の全体は、絶縁膜 314、316 を介して導電膜 320a に覆われている。

[0120]

別言すると、トランジスタ 300A のチャネル幅方向において、第 1 のゲート電極として機能する導電膜 304 および第 2 のゲート電極として機能する導電膜 320a は、第 1 のゲート絶縁膜として機能する絶縁膜 306、307 および第 2 のゲート絶縁膜として機能する絶縁膜 314、316 を介して金属酸化物 308 を囲む構成である。

[0121]

このような構成を有することで、トランジスタ 300A に含まれる金属酸化物 308 を、第 1 のゲート電極として機能する導電膜 304 および第 2 のゲート電極として機能する導電膜 320a の電界によって電氣的に囲むことができる。トランジスタ 300A のように、第 1 のゲート電極および第 2 のゲート電極の電界によって、チャネル領域が形成される金属酸化物を、電氣的に囲むトランジスタのデバイス構造を *Surrounded channel* (*S-channel*) 構造と呼ぶことができる。

[0122]

トランジスタ 300A は、*S-channel* 構造を有するため、第 1 のゲート電極として機能する導電膜 304 によってチャネルを誘起させるための電界を効果的に金属酸化物 308 に印加することができるため、トランジスタ 300A の電流駆動能力が向上し、高いオン電流特性を得ることが可能となる。また、オン電流を高くすることが可能であるため、トランジスタ 300A を微細化することが可能となる。また、トランジスタ 300A は、金属酸化膜 308 が第 1 のゲート電極として機能する導電膜 304 および第 2 のゲート電極として機能する導電膜 320a によって囲まれた構造を有するため、トランジスタ 300A の機械的強度を高めることができる。

[0123]

< 2-2. 半導体装置の構成例 2 >

次に、図 6 (A) (B) (C) (D) に示すトランジスタ 300A の変形例について、図 7 乃至図 9 を

用いて説明する。

[0124]

まず、図7 (A) (B) (C) (D) を用いて説明を行う。

[0125]

図7 (A) (B) (C) は、図6 (A) (B) (C) に示すトランジスタ300Aの変形例であるトランジスタ300Bの上面図および断面図である。また、図7 (D) は、図7 (B) に示す領域P2を拡大した断面概念図に相当する。

[0126]

図7 (A) (B) (C) に示すトランジスタ300Bのチャネル形成領域は、図6 (A) (B) (C) に示すトランジスタ300Aが有する金属酸化物308と同様に3層の積層構造である。ただし、導電膜312aおよび導電膜312bは、金属酸化物308__2の上面および側面、ならびに金属酸化物308__3と接する点がトランジスタ300Aと異なる。

[0127]

トランジスタ300Aでは、導電膜312aおよび導電膜312bとの接触面積の大きい金属酸化物308の上面は金属酸化物308__3である。金属酸化物308__3は実施の形態1に示す金属酸化物S3に相当し、金属酸化物308__2よりもバンドギャップの大きい材料で構成される。すなわち、金属酸化物308__3は抵抗が比較的大きいため、導電膜312aおよび導電膜312bとの接触抵抗が高くなり、オン電流向上の妨げとなる。

[0128]

図7に示すトランジスタ300Bでは、金属酸化物308__3よりもバンドギャップが小さく、チャネルが形成される金属酸化物308__2と導電膜312aおよび導電膜312bが接する構造であることから、トランジスタ300Aよりもオン電流の向上が見込め、信頼性も向上させることができる。

[0129]

< 2-3. 半導体装置の構成例3 >

次に、先に説明したトランジスタと異なる態様の構成のトランジスタについて、図8および図9を用いて説明する。

[0130]

図8 (A) は、本発明の一態様の半導体装置であるトランジスタ500Aの上面図であり、図8 (B) は、図8 (A) に示す一点鎖線X1-X2間における切断面の断面図に相当し、図8 (C) は、図8 (A) に示す一点鎖線Y1-Y2間における切断面の断面図に相当する。また、図8 (D) は、図8 (B) に示す領域P3を拡大した断面概念図に相当する。

[0131]

図8 (A) (B) (C) に示すトランジスタ500Aは、所謂トップゲート構造のトランジスタである。

[0132]

トランジスタ500Aは、基板502上の導電膜506と、基板502および導電膜506上の絶縁膜504と、絶縁膜504上の金属酸化物508と、金属酸化物508上の絶縁膜510と、絶縁膜510上の導電膜512と、絶縁膜504、金属酸化物508、および導電膜512上の絶縁膜516と、を有する。

[0133]

また、金属酸化物508は、本発明の一態様の金属酸化物を用いると好ましい。

[0134]

なお、金属酸化物508は、導電膜512と重なり、且つ絶縁膜510と接する領域508iと、導電膜512と重ならず、絶縁膜516と重なる領域508nと、有する。また、領域508nは、領域508iよりもキャリア密度が高い領域を有する。すなわち、金属酸化物508は、キャリア密度の異なる複数の領域を有する。また、領域508nを、ソース領域またはドレイン領域と呼称することもできる。

[0135]

図8(D)の領域P3に示すように、金属酸化物508は金属酸化物508__1、金属酸化物508__2、金属酸化物508__3を有する。ここで、金属酸化物508__1は、実施の形態1に示した金属酸化物S1に相当する。金属酸化物508__2は、実施の形態1に示した金属酸化物S2に相当する。金属酸化物508__3は、実施の形態1に示した金属酸化物S3に相当する。

[0136]

また、図8(D)では、金属酸化物508__2が金属酸化物508_wで金属酸化物508_nを挟む三層構造を示している。金属酸化物508_wは、実施の形態1に示した酸化物101bwに相当する。金属酸化物508_nは、実施の形態1に示した酸化物101bnに相当する。なお、金属酸化物508__2は三層構造に限らず、さらに複数であってもよい。

[0137]

図8(D)の領域P3に示すように、領域508iの側面と領域508nの側面とが接するため、接触抵抗を低減できる。なお、図示していないが、領域508iの他方の側面と、領域508nの側面との接続についても領域P3と同様である。

[0138]

本発明の一態様の金属酸化物は、高い導電性領域を有し、且つソース領域またはドレイン領域との接触抵抗が低減されている。したがって、当該金属酸化物を有するトランジスタの電界効果移動度を高めることができる。

[0139]

また、領域508nは、絶縁膜516と接する。絶縁膜516は、窒素または水素を有する。そのため、絶縁膜516中の窒素または水素が領域508n中に添加される。領域508nは、絶縁膜516から窒素または水素が添加されることで、キャリア密度が高くなる。

[0140]

また、トランジスタ500Aは、絶縁膜516上の絶縁膜518と、絶縁膜516、518に設けられた開口部541aを介して、領域508nに電氣的に接続される導電膜520aと、絶縁膜516、518に設けられた開口部541bを介して、領域508nに電氣的に接続される導電膜520bと、を有していてもよい。

[0141]

また、図8(C)に示すように、絶縁膜504および絶縁膜510には、開口部543が設けられる。また、導電膜506は、開口部543を介して導電膜512と、電氣的に接続される。よって、導電膜506と導電膜512には、同じ電位が与えられる。また、開口部543を設けずに、導電膜50

6と、導電膜512と、に異なる電位を与えてもよい。

[0142]

なお、導電膜506は、第1のゲート電極（ボトムゲート電極ともいう）としての機能を有し、導電膜512は、第2のゲート電極（トップゲート電極ともいう）としての機能を有する。また、絶縁膜504は、第1のゲート絶縁膜としての機能を有し、絶縁膜510は、第2のゲート絶縁膜としての機能を有する。

[0143]

このように、図8（A）（B）（C）に示すトランジスタ500Aは、金属酸化物508の上下にゲート電極として機能する導電膜を有する構造である。トランジスタ500Aに示すように、本発明の一態様の半導体装置には、2つ以上のゲート電極を設けてもよい。

[0144]

また、図8（C）に示すように、金属酸化物508は、第1のゲート電極として機能する導電膜506と、第2のゲート電極として機能する導電膜512のそれぞれと対向するように位置し、2つのゲート電極として機能する導電膜に挟まれている。

[0145]

また、導電膜512のチャネル幅方向の長さは、金属酸化物508のチャネル幅方向の長さよりも長く、金属酸化物508のチャネル幅方向全体は、絶縁膜510を介して導電膜512に覆われている。また、導電膜512と導電膜506とは、絶縁膜504および絶縁膜510に設けられる開口部543において接続されるため、金属酸化物508のチャネル幅方向の側面の一方は、絶縁膜510を介して導電膜512と対向している。

[0146]

別言すると、トランジスタ500Aのチャネル幅方向において、導電膜506および導電膜512は、絶縁膜504および絶縁膜510に設けられる開口部543において接続すると共に、絶縁膜504および絶縁膜510を介して金属酸化物508を取り囲む構成である。すなわち、トランジスタ500Aは、先に示すS-channel構造である。

[0147]

次に、図9（A）（B）（C）（D）を用いて説明を行う。

[0148]

図9（A）（B）（C）は、図8（A）（B）（C）に示すトランジスタ500Aの変形例であるトランジスタ500Bの上面図および断面図である。また、図9（D）は、図9（B）に示す領域P4を拡大した断面概念図に相当する。

[0149]

図9（A）（B）（C）に示すトランジスタ500Bのチャネル形成領域は、図8（A）（B）（C）に示すトランジスタ500Aが有する金属酸化物508と同様に3層の積層構造である。ただし、トランジスタ500Aが有する金属酸化物508と、領域508i_3の形状が異なる。具体的には、トランジスタ500Bが有する金属酸化物508は、領域508i_1の側面、および領域508i_2の側面を領域508i_3によって、覆う形状である。当該形状とすることで、領域508i_1の側面および領域508i_2の側面と、絶縁膜510とが接しない構造となる。当該構造とすることで、領域508i_1および領域508i_2中、特に領域508i_2中に入り込みうる不純物

を抑制することができるため、信頼性の高い半導体装置を提供することができる。

[0150]

<2-4. 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、詳細に説明する。

[0151]

[基板]

基板302、502の材質などに大きな制限はないが、少なくとも、後の熱処理に耐えうる程度の耐熱性を有している必要がある。例えば、ガラス基板、セラミック基板、石英基板、サファイア基板等を、基板302、502として用いてもよい。また、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基板等を適用することも可能であり、これらの基板上に半導体素子が設けられたものを、基板302、502として用いてもよい。なお、基板302、502として、ガラス基板を用いる場合、第6世代(1500mm×1850mm)、第7世代(1870mm×2200mm)、第8世代(2200mm×2400mm)、第9世代(2400mm×2800mm)、第10世代(2950mm×3400mm)等の大面積基板を用いることで、大型の表示装置を作製することができる。

[0152]

また、基板302、502として、可撓性基板を用い、可撓性基板上に直接、トランジスタを形成してもよい。または、基板302、502とトランジスタ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302、502より分離し、他の基板に転載するのに用いることができる。その際、トランジスタは耐熱性の劣る基板や可撓性の基板にも転載できる。

[0153]

[導電膜]

第1のゲート電極として機能する導電膜304、506、ソース電極として機能する導電膜312a、520a、ドレイン電極として機能する導電膜312b、520b、接続電極として機能する導電膜312c、第2のゲート電極として機能する導電膜320a、512、および画素電極として機能する導電膜320bとしては、クロム(Cr)、銅(Cu)、アルミニウム(Al)、金(Au)、銀(Ag)、亜鉛(Zn)、モリブデン(Mo)、タンタル(Ta)、チタン(Ti)、タングステン(W)、マンガン(Mn)、ニッケル(Ni)、鉄(Fe)、コバルト(Co)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。

[0154]

また、導電膜304、312a、312b、312c、320a、320b、506、520a、520b、512には、インジウムと錫とを有する酸化物、タングステンとインジウムとを有する酸化物、タングステンとインジウムと亜鉛とを有する酸化物、チタンとインジウムとを有する酸化物、チタンとインジウムと錫とを有する酸化物、インジウムと亜鉛とを有する酸化物、シリコンとインジウムと錫とを有する酸化物、インジウムとガリウムと亜鉛とを有する酸化物等の酸化物導電体を適用してもよい。

[0155]

特に、導電膜 320a、512 には、上述の酸化物導電体を好適に用いることができる。なお、本明細書等において、酸化物導電体を OC (Oxide Conductor) と呼称してもよい。酸化物導電体としては、例えば、酸化物半導体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、酸化物半導体は、導電性が高くなり導電体化する。導電体化された酸化物半導体を、酸化物導電体とすることができる。一般に、酸化物半導体は、エネルギーギャップが大きいので、可視光に対して透光性を有する。一方、酸化物導電体は、伝導帯近傍にドナー準位を有する酸化物半導体である。したがって、酸化物導電体は、ドナー準位による吸収の影響は小さく、可視光に対して酸化物半導体と同程度の透光性を有する。

[0156]

また、導電膜 304、312a、312b、312c、320a、320b、506、520a、520b、512 には、Cu-X 合金膜 (X は、Mn、Ni、Cr、Fe、Co、Mo、Ta、または Ti) を適用してもよい。Cu-X 合金膜を用いることで、ウェットエッチングプロセスで加工できるため、製造コストを抑制することが可能となる。

[0157]

特に、導電膜 312a、312b、520a、520b には、上述の Cu-X 合金膜を好適に用いることができる。Cu-X 合金膜としては、Cu-Mn 合金膜が特に好ましい。

[0158]

[第1のゲート絶縁膜として機能する絶縁膜]

トランジスタの第1のゲート絶縁膜として機能する絶縁膜 306、307、504 としては、プラズマ化学気相堆積 (PECVD: (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)) 法、スパッタリング法等により、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、窒化シリコン膜、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、それぞれ用いることができる。なお、絶縁膜 306、307、510 としては、上述の材料から選択された単層の絶縁膜、または2層以上の絶縁膜を用いてもよい。

[0159]

なお、トランジスタのチャネル領域として機能する金属酸化物 308、508 と接する絶縁膜には、酸化物絶縁膜を用いることが好ましく、化学量論的組成よりも過剰に酸素を含有する領域 (酸素過剰領域) を有することがより好ましい。

[0160]

ただし、上記構成に限定されず、金属酸化物 308、508 と接する絶縁膜に、窒化物絶縁膜を用いる構成としてもよい。当該構成の一例としては、窒化シリコン膜を形成し、当該窒化シリコン膜の表面に酸素プラズマ処理などを行うことで、窒化シリコン膜の表面を酸化させる構成などが挙げられる。なお、窒化シリコン膜の表面に酸素プラズマなどを行った場合、窒化シリコン膜の表面は原子レベルで酸化されている場合があるため、トランジスタの断面の観察等を行っても、酸素が検出されない可能性がある。すなわち、トランジスタの断面の観察を行った場合、窒化シリコン膜と、金属酸化物とが、接しているように観察される場合がある。

[0161]

なお、窒化シリコン膜は、酸化シリコン膜と比較して比誘電率が高く、酸化シリコン膜と同等の静電容量を得るのに必要な膜厚が大きいため、トランジスタのゲート絶縁膜として、窒化シリコン膜を含むことで絶縁膜を厚膜化することができる。よって、トランジスタの絶縁耐圧の低下を抑制、さらには絶縁耐圧を向上させて、トランジスタの静電破壊を抑制することができる。

[0162]

また、絶縁膜306、307、504として、酸化ハフニウムを用いる場合、以下の効果を奏する。酸化ハフニウムは、酸化シリコンや酸化窒化シリコンと比べて比誘電率が高い。したがって、酸化シリコンを用いた場合と比べて、絶縁膜306、307、504の膜厚を大きくできるため、トンネル電流によるリーク電流を小さくすることができる。すなわち、オフ電流の小さいトランジスタを実現することができる。さらに、結晶構造を有する酸化ハフニウムは、非晶質構造を有する酸化ハフニウムと比べて高い比誘電率を備える。したがって、オフ電流の小さいトランジスタとするためには、結晶構造を有する酸化ハフニウムを用いることが好ましい。結晶構造の例としては、単斜晶系や立方晶系などが挙げられる。ただし、本発明の一態様は、これらに限定されない。

[0163]

[金属酸化物]

金属酸化物308、508としては、実施の形態1に示す本発明の一態様の金属酸化物を用いることができる。

[0164]

また、金属酸化物308、508は、エネルギーギャップが2 eV以上、好ましくは2.5 eV以上、より好ましくは3 eV以上である。このように、エネルギーギャップの広い金属酸化物を用いることで、トランジスタのオフ電流を低減することができる。

[0165]

また、金属酸化物308、508の厚さは、3 nm以上200 nm以下、好ましくは3 nm以上100 nm以下、さらに好ましくは3 nm以上50 nm以下である。

[0166]

なお、必要とするトランジスタの半導体特性を得るために、金属酸化物308、508のキャリア密度や不純物濃度、欠陥密度、金属元素と酸素の原子数比、密度等を適切なものとすることが好ましい。

[0167]

[第2のゲート絶縁膜として機能する絶縁膜]

絶縁膜314、316、510は、トランジスタの第2のゲート絶縁膜として機能する。また、絶縁膜314、316、510は、金属酸化物308、508に酸素を供給する機能を有する。すなわち、絶縁膜314、316、510は、酸素を有する。また、絶縁膜314は、酸素を透過することのできる絶縁膜である。なお、絶縁膜314は、後に形成する絶縁膜316を形成する際の、金属酸化物308へのダメージ緩和膜としても機能する。

[0168]

絶縁膜314としては、厚さが5 nm以上150 nm以下、好ましくは5 nm以上50 nm以下の酸化シリコン、酸化窒化シリコン等を用いることができる。

[0169]

また、絶縁膜314は、欠陥量が少ないことが好ましく、代表的には、電子スピン共鳴(ESR測定)

により、シリコンのダングリングボンドに由来する $g = 2.001$ に現れる信号のスピンの密度が $3 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 以下であることが好ましい。これは、絶縁膜 314 に含まれる欠陥密度が多いと、該欠陥に酸素が結合してしまい、絶縁膜 314 における酸素の透過量が減少してしまうためである。

[0170]

なお、絶縁膜 314 においては、外部から絶縁膜 314 に入った酸素が全て絶縁膜 314 の外部に移動せず、絶縁膜 314 にとどまる酸素もある。また、絶縁膜 314 に酸素が入ると共に、絶縁膜 314 に含まれる酸素が絶縁膜 314 の外部へ移動することで、絶縁膜 314 において酸素の移動が生じる場合もある。絶縁膜 314 として酸素を透過することができる酸化物絶縁膜を形成すると、絶縁膜 314 上に設けられる、絶縁膜 316 から脱離する酸素を、絶縁膜 314 を介して金属酸化物 308 に移動させることができる。

[0171]

また、絶縁膜 314 は、窒素酸化物に起因する準位密度が低い酸化物絶縁膜を用いて形成することができる。なお、当該窒素酸化物に起因する準位密度は、金属酸化物の価電子帯の上端のエネルギー (E_{v_os}) と金属酸化物の伝導帯の下端のエネルギー (E_{c_os}) の間に形成され得る場合がある。上記酸化物絶縁膜として、窒素酸化物の放出量が少ない酸化窒化シリコン膜、または窒素酸化物の放出量が少ない酸化窒化アルミニウム膜等を用いることができる。

[0172]

なお、窒素酸化物の放出量の少ない酸化窒化シリコン膜は、昇温脱離ガス分析法 (TDS: Thermal Desorption Spectroscopy) において、窒素酸化物の放出量よりアンモニアの放出量が多い膜であり、代表的にはアンモニアの放出量が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ 個 cm}^{-3}$ 以下である。なお、アンモニアの放出量は、膜の表面温度が 50°C 以上 650°C 以下、好ましくは 50°C 以上 550°C 以下の加熱処理による放出量とする。

[0173]

窒素酸化物 (NO_x 、 x は 0 を越えて 2 以下、好ましくは 1 以上 2 以下)、代表的には NO_2 または NO は、絶縁膜 314 などに準位を形成する。当該準位は、金属酸化物 308 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、絶縁膜 314 および金属酸化物 308 の界面に拡散すると、当該準位が絶縁膜 314 側において電子をトラップする場合がある。この結果、トラップされた電子が、絶縁膜 314 および金属酸化物 308 界面近傍に留まるため、トランジスタのしきい値電圧をプラス方向にシフトさせてしまう。

[0174]

また、窒素酸化物は、加熱処理においてアンモニアおよび酸素と反応する。絶縁膜 314 に含まれる窒素酸化物は、加熱処理において、絶縁膜 316 に含まれるアンモニアと反応するため、絶縁膜 314 に含まれる窒素酸化物が低減される。このため、絶縁膜 314 および金属酸化物 308 の界面において、電子がトラップされにくい。

[0175]

絶縁膜 314 として、上記酸化物絶縁膜を用いることで、トランジスタのしきい値電圧のシフトを低減することが可能であり、トランジスタの電気特性の変動を低減することができる。

[0176]

なお、トランジスタの作製工程の加熱処理、代表的には 300°C 以上 350°C 未満の加熱処理により、絶縁膜314は、 100K 以下のESRで測定して得られたスペクトルにおいて g 値が 2.037 以上 2.039 以下の第1のシグナル、 g 値が 2.001 以上 2.003 以下の第2のシグナル、および g 値が 1.964 以上 1.966 以下の第3のシグナルが観測される。なお、第1のシグナルおよび第2のシグナルのスプリット幅、並びに第2のシグナルおよび第3のシグナルのスプリット幅は、XバンドのESR測定において約 5mT である。また、 g 値が 2.037 以上 2.039 以下の第1のシグナル、 g 値が 2.001 以上 2.003 以下の第2のシグナル、および g 値が 1.964 以上 1.966 以下である第3のシグナルのスピン密度の合計が $1 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 未満であり、代表的には $1 \times 10^{17} \text{ spins/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 未満である。

[0177]

なお、 100K 以下のESRスペクトルにおいて、 g 値が 2.037 以上 2.039 以下の第1のシグナル、 g 値が 2.001 以上 2.003 以下の第2のシグナル、および g 値が 1.964 以上 1.966 以下である第3のシグナルのスピン密度の合計は、窒素酸化物(NO_x 、 x は0より大きく2以下、好ましくは1以上2以下)起因のシグナルのスピン密度の合計に相当する。窒素酸化物の代表例としては、一酸化窒素、二酸化窒素等がある。即ち、 g 値が 2.037 以上 2.039 以下の第1のシグナル、 g 値が 2.001 以上 2.003 以下の第2のシグナル、および g 値が 1.964 以上 1.966 以下である第3のシグナルのスピン密度の合計が少ないほど、酸化物絶縁膜に含まれる窒素酸化物の含有量が少ないといえる。

[0178]

また、上記酸化物絶縁膜は、SIMSで測定される窒素濃度が $6 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である。

[0179]

基板温度が 220°C 以上 350°C 以下であり、シランおよび一酸化二窒素を用いたPECVD法を用いて、上記酸化物絶縁膜を形成することで、緻密であり、且つ硬度の高い膜を形成することができる。

[0180]

絶縁膜316、510は、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を用いて形成すると好適である。化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜は、加熱により酸素の一部が脱離する。化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜は、TDS分析にて、酸素原子に換算しての酸素の脱離量が $1.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、好ましくは $3.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上である酸化物絶縁膜である。なお、上記TDSにおける膜の表面温度としては 100°C 以上 700°C 以下、または 100°C 以上 500°C 以下の範囲が好ましい。

[0181]

絶縁膜316、510としては、厚さが 30nm 以上 500nm 以下、好ましくは 50nm 以上 400nm 以下の、酸化シリコン、酸化窒化シリコン等を用いることができる。

[0182]

また、絶縁膜316、510は、欠陥量が少ないことが好ましく、代表的には、ESR測定により、シリコンのダングリングボンドに由来する $g=2.001$ に現れる信号のスピン密度が $1.5 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 未満、さらには $1 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 以下であることが好ましい。な

お、絶縁膜316は、絶縁膜314と比較して金属酸化物308から離れているため、絶縁膜314より、欠陥密度が多くともよい。

[0183]

また、絶縁膜314、316は、同種の材料の絶縁膜を用いることができるため、絶縁膜314と絶縁膜316の界面が明確に確認できない場合がある。したがって、本実施の形態においては、絶縁膜314と絶縁膜316の界面は、破線で図示している。なお、本実施の形態においては、絶縁膜314と絶縁膜316の2層構造について説明したが、これに限定されず、例えば、絶縁膜314の単層構造、あるいは3層以上の積層構造としてもよい。

[0184]

[保護絶縁膜として機能する絶縁膜]

絶縁膜318、516は、トランジスタの保護絶縁膜として機能する。

[0185]

絶縁膜318、516は、水素および窒素のいずれか一方または双方を有する。または、絶縁膜318、516は、窒素およびシリコンを有する。また、絶縁膜318、516は、酸素、水素、水、アルカリ金属、アルカリ土類金属等のブロッキングできる機能を有する。絶縁膜318、516を設けることで、金属酸化物308、508からの酸素の外部への拡散と、絶縁膜314、316、510に含まれる酸素の外部への拡散と、外部から金属酸化物308、508への水素、水等の入り込みを防ぐことができる。

[0186]

絶縁膜318、516としては、例えば、窒化物絶縁膜を用いることができる。該窒化物絶縁膜としては、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム等がある。

[0187]

なお、上記記載の、導電膜、絶縁膜、金属酸化物、金属膜などの様々な膜は、スパッタリング法やPECVD法により形成することができるが、他の方法、例えば、熱CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により形成してもよい。熱CVD法の例としてMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法、またはALD (Atomic Layer Deposition) 法などが挙げられる。

[0188]

熱CVD法は、プラズマを使わない成膜方法のため、プラズマダメージにより欠陥が生成されることが無いという利点を有する。

[0189]

熱CVD法は、原料ガスと酸化剤を同時にチャンバー内に送り、チャンバー内を大気圧または減圧下とし、基板近傍または基板上で反応させて基板上に堆積させることで成膜を行ってもよい。

[0190]

また、ALD法は、チャンバー内を大気圧または減圧下とし、反応のための原料ガスが順次チャンバーに導入され、そのガス導入の順序を繰り返すことで成膜を行ってもよい。

[0191]

MOCVD法、ALD法などの熱CVD法は、上記実施形態の導電膜、絶縁膜、金属酸化物などの様々な膜を形成することができる。

[0192]

< 2-5. 半導体装置の作製方法 >

次に、本発明の一態様の半導体装置であるトランジスタ 500A の作製方法について、図 10 乃至図 12 を用いて説明する。

[0193]

なお、図 10 (A) 乃至図 10 (D)、図 11 (A) 乃至図 11 (C)、および図 12 (A) 乃至図 12 (C) は、半導体装置の作製方法を説明する断面図である。また、図 10 (A) 乃至図 10 (D)、図 11 (A) 乃至図 11 (C)、および図 12 (A) 乃至図 12 (C) において、左側がチャネル長方向の断面図であり、右側がチャネル幅方向の断面図である。

[0194]

まず、基板 502 上に導電膜 506 を形成する。次に、基板 502、および導電膜 506 上に絶縁膜 504 を形成し、絶縁膜 504 上に第 1 の金属酸化物と、第 2 の金属酸化物と、第 3 の金属酸化物とを形成する。その後、第 1 の金属酸化物、第 2 の金属酸化物、および第 3 の金属酸化物を島状に加工することで、金属酸化物 508__1a、金属酸化物 508__2a、および金属酸化物 508__3a を形成する (図 10 (A) 参照)。

[0195]

導電膜 506 としては、先に記載の材料を選択することで形成できる。本実施の形態においては、導電膜 506 として、スパッタリング装置を用い、厚さ 50 nm のタングステン膜と、厚さ 400 nm の銅膜との積層膜を形成する。

[0196]

なお、導電膜 506 となる導電膜の加工方法としては、ウエットエッチング法および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。本実施の形態では、ウエットエッチング法にて銅膜をエッチングしたのち、ドライエッチング法にてタングステン膜をエッチングすることで導電膜を加工し、導電膜 506 を形成する。

[0197]

絶縁膜 504 としては、スパッタリング法、CVD 法、蒸着法、パルスレーザ堆積 (PLD) 法、印刷法、塗布法等を適宜用いて形成することができる。本実施の形態においては、絶縁膜 504 として、PECVD 装置を用い、厚さ 400 nm の窒化シリコン膜と、厚さ 50 nm の酸化窒化シリコン膜とを形成する。

[0198]

また、絶縁膜 504 を形成した後、絶縁膜 504 に酸素を添加してもよい。絶縁膜 504 に添加する酸素としては、酸素ラジカル、酸素原子、酸素原子イオン、酸素分子イオン等がある。また、添加方法としては、イオンドーピング法、イオン注入法、プラズマ処理法等がある。また、絶縁膜 504 上に酸素の脱離を抑制する膜を形成した後、該膜を介して絶縁膜 504 に酸素を添加してもよい。

[0199]

上述の酸素の脱離を抑制する膜として、インジウム、亜鉛、ガリウム、錫、アルミニウム、クロム、タンタル、チタン、モリブデン、ニッケル、鉄、コバルト、またはタングステンの 1 以上を有する導電膜あるいは半導体膜を用いて形成することができる。

[0200]

また、プラズマ処理で酸素の添加を行う場合、マイクロ波で酸素を励起し、高密度な酸素プラズマを発生させることで、絶縁膜504への酸素添加量を増加させることができる。

[0201]

金属酸化物508__1a、金属酸化物508__2a、および金属酸化物508__3aは、スパッタリング装置を用いて真空中で連続して形成されると好ましい。金属酸化物508__1a、金属酸化物508__2a、および金属酸化物508__3aを、スパッタリング装置を用いて真空中で連続して形成することで、各界面に付着しうる不純物（例えば、水素、水など）を抑制することができる。

[0202]

また、金属酸化物508__2aの形成条件としては、金属酸化物508__1aおよび金属酸化物508__3aのいずれか一方または双方よりも、低い酸素分圧で形成されると好ましい。なお、金属酸化物508__2aは、実施の形態1で説明した多層構造である。

[0203]

また、金属酸化物508__1a、金属酸化物508__2a、および金属酸化物508__3aを形成する際に、酸素ガスに、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。なお、金属酸化物508__1aを形成する際の成膜ガス全体に占める酸素ガスの割合（以下、酸素流量比ともいう）としては、70%以上100%以下、好ましくは80%以上100%以下、さらに好ましくは90%以上100%以下である。また、金属酸化物508__2aを形成する際の酸素流量比としては、0%より大きく30%以下、好ましくは5%以上15%以下である。また、金属酸化物508__3aを形成する際の酸素流量比としては、70%以上100%以下、好ましくは80%以上100%以下、さらに好ましくは90%以上100%以下である。

[0204]

なお、金属酸化物508__2aの形成条件としては、金属酸化物508__1aおよび金属酸化物508__3aのいずれか一方または双方よりも、低い基板温度で形成してもよい。

[0205]

具体的には、金属酸化物508__2aの形成条件としては、基板温度を室温以上150℃未満、好ましくは室温以上140℃以下とすればよい。また、金属酸化物508__1aおよび金属酸化物508__3aの形成条件としては、基板温度を室温以上300℃以下、好ましくは基板温度を室温以上200℃以下とすればよい。ただし、金属酸化物508__1a、金属酸化物508__2a、および金属酸化物508__3aの形成時の基板温度を同一（例えば、室温以上150℃未満）とした方が、生産性が高くなり好ましい。

[0206]

上記のような形成条件とすることで、金属酸化物508__2aを、金属酸化物508__1aおよび金属酸化物508__3aよりも結晶性が低い領域を有する構成とすることができる。

[0207]

また、金属酸化物508__1aの厚さとしては、1nm以上20nm未満、好ましくは5nm以上10nm以下とすればよい。また、金属酸化物508__2aの厚さとしては、20nm以上100nm以下、好ましくは20nm以上50nm以下とすればよい。また、金属酸化物508__3aの厚さとしては、1nm以上20nm未満、好ましくは5nm以上15nm以下とすればよい。

[0208]

なお、金属酸化物508を加熱して成膜することで、金属酸化物508の結晶性を高めることができる。一方で、基板502として、大型のガラス基板（例えば、第6世代乃至第10世代）を用いる場合、金属酸化物508を成膜する際の基板温度を200℃以上300℃以下とした場合、基板502が変形する（歪むまたは反る）場合がある。よって、大型のガラス基板を用いる場合においては、金属酸化物508の成膜する際の基板温度を100℃以上200℃未満とすることで、ガラス基板の変形を抑制することができる。

[0209]

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

[0210]

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

[0211]

なお、第1の金属酸化物、第2の金属酸化物、および第3の金属酸化物を、金属酸化物508__1a、金属酸化物508__2a、および金属酸化物508__3aに加工するには、ウェットエッチング法および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。

[0212]

また、金属酸化物508__1a、金属酸化物508__2a、および金属酸化物508__3aを形成した後、加熱処理を行い、金属酸化物508__1a、金属酸化物508__2a、および金属酸化物508__3aの脱水素化または脱水化をしてもよい。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250℃以上450℃以下、または300℃以上450℃以下である。

[0213]

加熱処理は、ヘリウム、ネオン、アルゴン、キセノン、クリプトン等の希ガス、または窒素を含む不活性ガス雰囲気で行うことができる。または、不活性ガス雰囲気で加熱した後、酸素雰囲気で加熱してもよい。なお、上記不活性雰囲気および酸素雰囲気に水素、水などが含まれないことが好ましい。処理時間は3分以上24時間以下とすればよい。

[0214]

該加熱処理は、電気炉、RTA装置等を用いることができる。RTA装置を用いることで、短時間に限り、基板の歪み点以上の温度で熱処理を行うことができる。そのため加熱処理時間を短縮することができる。

[0215]

金属酸化物を加熱しながら成膜する、または金属酸化物を形成した後、加熱処理を行うことで、金属酸化物において、SIMSにより得られる水素濃度を 5×10^{19} atoms/cm³以下、または1

$\times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、 $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、または $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、または $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、または $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とすることができる。

[0216]

次に、絶縁膜504および金属酸化物508上に絶縁膜510__0を形成する。(図10(B)参照)。

[0217]

絶縁膜510__0としては、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、または窒化シリコン膜を、プラズマ化学気相堆積装置(PECVD装置、または単にプラズマCVD装置という)を用いて形成することができる。この場合、原料ガスとしては、シリコンを含む堆積性気体および酸化性気体を用いることが好ましい。シリコンを含む堆積性気体の代表例としては、シラン、ジシラン、トリシラン、フッ化シラン等がある。酸化性気体としては、酸素、オゾン、一酸化二窒素、二酸化窒素等がある。

[0218]

また、絶縁膜510__0として、堆積性気体の流量に対する酸化性気体の流量を20倍より大きく100倍未満、または40倍以上80倍以下とし、処理室内の圧力を100Pa未満、または50Pa以下とするPECVD装置を用いることで、欠陥量の少ない酸化窒化シリコン膜を形成することができる。

[0219]

また、絶縁膜510__0として、PECVD装置の真空排気された処理室内に載置された基板を280℃以上400℃以下に保持し、処理室に原料ガスを導入して処理室内における圧力を20Pa以上250Pa以下、さらに好ましくは100Pa以上250Pa以下とし、処理室内に設けられる電極に高周波電力を供給する条件により、緻密である酸化シリコン膜または酸化窒化シリコン膜を形成することができる。

[0220]

また、絶縁膜510__0を、マイクロ波を用いたPECVD法を用いて形成してもよい。マイクロ波とは300MHzから300GHzの周波数域を指す。マイクロ波は、電子温度が低く、電子エネルギーが小さい。また、供給された電力において、電子の加速に用いられる割合が少なく、より多くの分子の解離および電離に用いられることが可能であり、密度の高いプラズマ(高密度プラズマ)を励起することができる。このため、被成膜面および堆積物へのプラズマダメージが少なく、欠陥の少ない絶縁膜510__0を形成することができる。

[0221]

本実施の形態では絶縁膜510__0として、PECVD装置を用い、厚さ100nmの酸化窒化シリコン膜を形成する。

[0222]

次に、絶縁膜510__0上の所望の位置に、リソグラフィによりマスクを形成した後、絶縁膜510__0、および絶縁膜504の一部をエッチングすることで、導電膜506に達する開口部543を形成する(図10(C)参照)。

[0223]

開口部543の形成方法としては、ウェットエッチング法および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。本実施の形態においては、ドライエッチング法を用い、開口部543を

形成する。

[0224]

次に、開口部543を覆うように、導電膜506および絶縁膜510__0上に導電膜512__0を形成する。また、導電膜512__0として、例えば金属酸化膜を用いる場合、導電膜512__0の形成時に絶縁膜510__0中に酸素が添加される場合がある（図10（D）参照）。

[0225]

なお、図10（D）において、絶縁膜510__0中に添加される酸素を矢印で模式的に表している。また、開口部543を覆うように、導電膜512__0を形成することで、導電膜506と、導電膜512__0とが電氣的に接続される。

[0226]

導電膜512__0として、金属酸化膜を用いる場合、導電膜512__0の形成方法としては、スパッタリング法を用い、形成時に酸素ガスを含む雰囲気中で形成することが好ましい。形成時に酸素ガスを含む雰囲気中で導電膜512__0を形成することで、絶縁膜510__0中に酸素を好適に添加することができる。なお、導電膜512__0の形成方法としては、スパッタリング法に限定されず、その他の方法、例えばALD法を用いてもよい。

[0227]

本実施の形態においては、導電膜512__0として、スパッタリング法を用いて、膜厚が100nmのIn-Ga-Zn酸化物（In：Ga：Zn=4：2：4，1（原子数比））を成膜する。また、導電膜512__0の形成前、または導電膜512__0の形成後に、絶縁膜510__0中に酸素添加処理を行ってもよい。当該酸素添加処理の方法としては、絶縁膜504の形成後に行うことのできる酸素の添加処理と同様とすればよい。

[0228]

次に、導電膜512__0上の所望の位置に、リソグラフィ工程によりマスク540を形成する（図11（A）参照）。

[0229]

次に、マスク540上から、エッチングを行い、導電膜512__0、および絶縁膜510__0を加工する。また、導電膜512__0および絶縁膜510__0の加工後に、マスク540を除去する。導電膜512__0、および絶縁膜510__0を加工することで、島状の導電膜512、および島状の絶縁膜510が形成される（図11（B）参照）。

[0230]

本実施の形態においては、ドライエッチング法を用い、導電膜512__0、および絶縁膜510__0を加工する。

[0231]

なお、導電膜512__0、および絶縁膜510__0の加工の際に、導電膜512が重畳しない領域の金属酸化物508の膜厚が薄くなる場合がある。または、導電膜512__0、および絶縁膜510__0の加工の際に、金属酸化物508が重畳しない領域の絶縁膜504の膜厚が薄くなる場合がある。また、導電膜512__0、および絶縁膜510__0の加工の際に、エッチャントまたはエッチングガス（例えば、塩素など）が金属酸化物508中に添加される、あるいは導電膜512__0、または絶縁膜510__0の構成元素が金属酸化物508中に添加される場合がある。

[0232]

次に、絶縁膜504、金属酸化物508、および導電膜512上に絶縁膜516を形成する。なお、絶縁膜516を形成することで、絶縁膜516と接する金属酸化物508は、領域508nとなる。また、導電膜512と重畳する金属酸化物508中には、領域508i__1、領域508i__2、および領域508i__3が形成される。(図11(C)参照)。

[0233]

絶縁膜516としては、先に記載の材料を選択することで形成できる。本実施の形態においては、絶縁膜516として、PECVD装置を用い、厚さ100nmの窒化酸化シリコン膜を形成する。また、当該窒化酸化シリコン膜の形成時において、プラズマ処理と、成膜処理との2つのステップを220℃の温度で行う。当該プラズマ処理としては、成膜前に流量100sccmのアルゴンガスと、流量1000sccmの窒素ガスとを、チャンバー内に導入し、チャンバー内の圧力を40Paとし、RF電源(27.12MHz)に1000Wの電力を供給する。また、成膜処理としては、流量50sccmのシランガスと、流量5000sccmの窒素ガスと、流量100sccmのアモニアガスとを、チャンバー内に導入し、チャンバー内の圧力を100Paとし、RF電源(27.12MHz)に1000Wの電力を供給する。

[0234]

絶縁膜516として、窒化酸化シリコン膜を用いることで、絶縁膜516に接する領域508nに窒化酸化シリコン膜中の窒素または水素を供給することができる。また、絶縁膜516の形成時の温度を上述の温度とすることで、絶縁膜510に含まれる過剰酸素が外部に放出されるのを抑制することができる。

[0235]

次に、絶縁膜516上に絶縁膜518を形成する(図12(A)参照)。

[0236]

絶縁膜518としては、先に記載の材料を選択することで形成できる。本実施の形態においては、絶縁膜518として、PECVD装置を用い、厚さ300nmの酸化窒化シリコン膜を形成する。

[0237]

次に、絶縁膜518の所望の位置に、リソグラフィによりマスクを形成した後、絶縁膜518および絶縁膜516の一部をエッチングすることで、領域508nに達する開口部541a、541bを形成する(図12(B)参照)。

[0238]

絶縁膜518および絶縁膜516をエッチングする方法としては、ウェットエッチング法および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。本実施の形態においては、ドライエッチング法を用い、絶縁膜518、および絶縁膜516を加工する。

[0239]

次に、開口部541a、541bを覆うように、領域508nおよび絶縁膜518上に導電膜を形成し、当該導電膜を所望の形状に加工することで導電膜520a、520bを形成する(図12(C)参照)。

[0240]

導電膜520a、520bとしては、先に記載の材料を選択することで形成できる。本実施の形態に

においては、導電膜520a、520bとして、スパッタリング装置を用い、厚さ50nmのタングステン膜と、厚さ400nmの銅膜との積層膜を形成する。

[0241]

なお、導電膜520a、520bとなる導電膜の加工方法としては、ウェットエッチング法および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。本実施の形態では、ウェットエッチング法にて銅膜をエッチングしたのち、ドライエッチング法にてタングステン膜をエッチングすることで導電膜を加工し、導電膜520a、520bを形成する。

[0242]

以上の工程により、図8(A)(B)(C)(D)に示すトランジスタ500Aを作製することができる。

[0243]

なお、トランジスタを構成する膜（絶縁膜、金属酸化物、導電膜等）としては、上述の形成方法の他、スパッタリング法、化学気相堆積（CVD）法、真空蒸着法、パルスレーザー堆積（PLD）法、ALD法を用いて形成することができる。あるいは、塗布法や印刷法で形成することができる。成膜方法としては、スパッタリング法、プラズマ化学気相堆積（PECVD）法が代表的であるが、熱CVD法でもよい。熱CVD法の例として、有機金属化学気相堆積（MOCVD）法が挙げられる。

[0244]

熱CVD法は、チャンバー内を大気圧または減圧下とし、原料ガスと酸化剤を同時にチャンバー内に送り、基板近傍または基板上で反応させて基板上に堆積させることで成膜を行う。このように、熱CVD法は、プラズマを発生させない成膜方法であるため、プラズマダメージにより欠陥が生成されることが無いという利点を有する。

[0245]

なお、本実施の形態で示す構成、方法は、他の実施の形態で示す構成、方法と適宜組み合わせて用いることができる。

[0246]

（実施の形態3）

本実施の形態では、本発明の一態様の半導体装置を用いた表示装置の表示部等に用いることのできる表示パネルの一例について、図13および図14を用いて説明する。以下で例示する表示パネルは、反射型の液晶素子と、発光素子との双方を有し、透過モードと反射モードの両方の表示を行うことのできる、表示パネルである。なお、本発明の一態様の金属酸化物、および当該金属酸化物を有するトランジスタは、表示装置の画素のトランジスタ、または表示装置を駆動させるドライバ、あるいは表示装置にデータを供給するLSI等に好適に用いることができる。

[0247]

<3-1. 表示パネルの構成例>

図13は、本発明の一態様の表示パネル600の斜視概略図である。表示パネル600は、基板651と基板661とが貼り合わされた構成を有する。図13では、基板661を破線で明示している。

[0248]

表示パネル600は、表示部662、回路659、配線666等を有する。基板651には、例えば回路659、配線666、および画素電極として機能する導電膜663等が設けられる。また図13では基板651上にIC673とFPC672が実装されている例を示している。そのため、図13

に示す構成は、表示パネル 600 と FPC 672 および IC 673 を有する表示モジュールと言うこともできる。

[0249]

回路 659 は、例えば走査線駆動回路として機能する回路を用いることができる。

[0250]

配線 666 は、表示部 662 や回路 659 に信号や電力を供給する機能を有する。当該信号や電力は、FPC 672 を介して外部、または IC 673 から配線 666 に入力される。

[0251]

また、図 13 では、COG (Chip On Glass) 方式等により、基板 651 に IC 673 が設けられている例を示している。IC 673 は、例えば走査線駆動回路、または信号線駆動回路などとしての機能を有する IC を適用できる。なお表示パネル 600 が走査線駆動回路および信号線駆動回路として機能する回路を備える場合や、走査線駆動回路や信号線駆動回路として機能する回路を外部に設け、FPC 672 を介して表示パネル 600 を駆動するための信号を入力する場合などでは、IC 673 を設けない構成としてもよい。また、IC 673 を、COF (Chip On Film) 方式等により、FPC 672 に実装してもよい。

[0252]

図 13 には、表示部 662 の一部の拡大図を示している。表示部 662 には、複数の表示素子が有する導電膜 663 がマトリクス状に配置されている。導電膜 663 は、可視光を反射する機能を有し、後述する液晶素子 640 の反射電極として機能する。

[0253]

また、図 13 に示すように、導電膜 663 は開口を有する。さらに導電膜 663 よりも基板 651 側に、発光素子 660 を有する。発光素子 660 からの光は、導電膜 663 の開口を介して基板 661 側に射出される。

[0254]

< 3-2. 断面構成例 >

図 14 に、図 13 で例示した表示パネルの、FPC 672 を含む領域の一部、回路 659 を含む領域の一部、および表示部 662 を含む領域の一部をそれぞれ切断したときの断面の一例を示す。

[0255]

表示パネルは、基板 651 と基板 661 の間に、絶縁膜 620 を有する。また基板 651 と絶縁膜 620 の間に、発光素子 660、トランジスタ 601、トランジスタ 605、トランジスタ 606、着色層 634 等を有する。また絶縁膜 620 と基板 661 の間に、液晶素子 640、着色層 631 等を有する。また基板 661 と絶縁膜 620 は接着層 641 を介して接着され、基板 651 と絶縁膜 620 は接着層 642 を介して接着されている。

[0256]

トランジスタ 606 は、液晶素子 640 と電氣的に接続し、トランジスタ 605 は、発光素子 660 と電氣的に接続する。トランジスタ 605 とトランジスタ 606 は、いずれも絶縁膜 620 の基板 651 側の面上に形成されているため、これらを同一の工程を用いて作製することができる。

[0257]

基板 661 には、着色層 631、遮光膜 632、絶縁膜 621、および液晶素子 640 の共通電極と

して機能する導電膜613、配向膜633b、絶縁膜617等が設けられている。絶縁膜617は、液晶素子640のセルギャップを保持するためのスペーサとして機能する。

[0258]

絶縁膜620の基板651側には、絶縁膜681、絶縁膜682、絶縁膜683、絶縁膜684、絶縁膜685等の絶縁層が設けられている。絶縁膜681は、その一部が各トランジスタのゲート絶縁層として機能する。絶縁膜682、絶縁膜683、および絶縁膜684は、各トランジスタを覆って設けられている。また絶縁膜684を覆って絶縁膜685が設けられている。絶縁膜684および絶縁膜685は、平坦化層としての機能を有する。なお、ここではトランジスタ等を覆う絶縁層として、絶縁膜682、絶縁膜683、絶縁膜684の3層を有する場合について示しているが、これに限られず4層以上であってもよいし、単層、または2層であってもよい。また平坦化層として機能する絶縁膜684は、不要であれば設けなくてもよい。

[0259]

また、トランジスタ601、トランジスタ605、およびトランジスタ606は、一部がゲートとして機能する導電膜654、一部がソースまたはドレインとして機能する導電膜652、半導体膜653を有する。ここでは、同一の導電膜を加工して得られる複数の層に、同じハッチングパターンを付している。

[0260]

液晶素子640は反射型の液晶素子である。液晶素子640は、導電膜635、液晶層612、導電膜613が積層された積層構造を有する。また導電膜635の基板651側に接して、可視光を反射する導電膜663が設けられている。導電膜663は開口655を有する。また導電膜635および導電膜613は可視光を透過する材料を含む。また液晶層612と導電膜635の間に配向膜633aが設けられ、液晶層612と導電膜613の間に配向膜633bが設けられている。また、基板661の外側の面には、偏光板656を有する。

[0261]

液晶素子640において、導電膜663は可視光を反射する機能を有し、導電膜613は可視光を透過する機能を有する。基板661側から入射した光は、偏光板656により偏光され、導電膜613、液晶層612を透過し、導電膜663で反射する。そして液晶層612および導電膜613を再度透過して、偏光板656に達する。このとき、導電膜663及び導電膜635と導電膜613の間に与える電圧によって液晶の配向を制御し、光の光学変調を制御することができる。すなわち、偏光板656を介して射出される光の強度を制御することができる。また光は着色層631によって特定の波長領域以外の光が吸収されることにより、取り出される光は、例えば赤色を呈する光となる。

[0262]

発光素子660は、ボトムエミッション型の発光素子である。発光素子660は、絶縁膜620側から導電膜643、EL層644、および導電膜645bの順に積層された積層構造を有する。また導電膜645bを覆って導電膜645aが設けられている。導電膜645bは可視光を反射する材料を含み、導電膜643および導電膜645aは可視光を透過する材料を含む。発光素子660が発する光は、着色層634、絶縁膜620、開口655、導電膜613等を介して、基板661側に射出される。

[0263]

ここで、図 1 4 に示すように、開口 6 5 5 には可視光を透過する導電膜 6 3 5 が設けられていることが好ましい。これにより、開口 6 5 5 と重なる領域においてもそれ以外の領域と同様に液晶が配向するため、これらの領域の境界部で液晶の配向不良が生じ、意図しない光が漏れてしまうことを抑制できる。

[0 2 6 4]

ここで、基板 6 6 1 の外側の面に配置する偏光板 6 5 6 として直線偏光板を用いてもよいが、円偏光板を用いることもできる。円偏光板としては、例えば直線偏光板と 1 / 4 波長位相差板を積層したものを用いることができる。これにより、外光反射を抑制することができる。また、偏光板の種類に応じて、液晶素子 6 4 0 に用いる液晶素子のセルギャップ、配向、駆動電圧等を調整することで、所望のコントラストが実現されるようにすればよい。

[0 2 6 5]

また導電膜 6 4 3 の端部を覆う絶縁膜 6 4 6 の一部に接して、絶縁膜 6 4 7 が設けられている。絶縁膜 6 4 7 は、絶縁膜 6 2 0 と基板 6 5 1 が必要以上に接近することを抑制するスペーサとしての機能を有する。また EL 層 6 4 4 や導電膜 6 4 5 a を遮蔽マスク（メタルマスク）を用いて形成する場合には、当該遮蔽マスクが被形成面に接触することを抑制する機能を有していてもよい。なお、絶縁膜 6 4 7 は不要であれば設けなくてもよい。

[0 2 6 6]

トランジスタ 6 0 5 のソースまたはドレインの一方は、導電膜 6 4 8 を介して発光素子 6 6 0 の導電膜 6 4 3 と電氣的に接続されている。

[0 2 6 7]

トランジスタ 6 0 6 のソースまたはドレインの一方は、接続部 6 0 7 を介して導電膜 6 6 3 と電氣的に接続されている。導電膜 6 6 3 と導電膜 6 3 5 は接して設けられ、これらは電氣的に接続されている。ここで、接続部 6 0 7 は、絶縁膜 6 2 0 に設けられた開口を介して、絶縁膜 6 2 0 の両面に設けられる導電層同士を接続する部分である。

[0 2 6 8]

基板 6 5 1 の基板 6 6 1 と重ならない領域には、接続部 6 0 4 が設けられている。接続部 6 0 4 は、接続層 6 4 9 を介して F P C 6 7 2 と電氣的に接続されている。接続部 6 0 4 は接続部 6 0 7 と同様の構成を有している。接続部 6 0 4 の上面は、導電膜 6 3 5 と同一の導電膜を加工して得られた導電層が露出している。これにより、接続部 6 0 4 と F P C 6 7 2 とを接続層 6 4 9 を介して電氣的に接続することができる。

[0 2 6 9]

接着層 6 4 1 が設けられる一部の領域には、接続部 6 8 7 が設けられている。接続部 6 8 7 において、導電膜 6 3 5 と同一の導電膜を加工して得られた導電層と、導電膜 6 1 3 の一部が、接続体 6 8 6 により電氣的に接続されている。したがって、基板 6 6 1 側に形成された導電膜 6 1 3 に、基板 6 5 1 側に接続された F P C 6 7 2 から入力される信号または電位を、接続部 6 8 7 を介して供給することができる。

[0 2 7 0]

接続体 6 8 6 としては、例えば導電性の粒子を用いることができる。導電性の粒子としては、有機樹脂またはシリカなどの粒子の表面を金属材料で被覆したものを用いることができる。金属材料として

ニッケルや金を用いると接触抵抗を低減できるため好ましい。またニッケルをさらに金で被覆するなど、2種類以上の金属材料を層状に被覆させた粒子を用いることが好ましい。また接続体686として、弾性変形、または塑性変形する材料を用いることが好ましい。このとき導電性の粒子である接続体686は、図14に示すように上下方向に潰れた形状となる場合がある。こうすることで、接続体686と、これと電氣的に接続する導電層との接触面積が増大し、接触抵抗を低減できるほか、接続不良などの不具合の発生を抑制することができる。

[0271]

接続体686は、接着層641に覆われるように配置することが好ましい。例えば、硬化前の接着層641に接続体686を分散させておけばよい。

[0272]

図14では、回路659の例としてトランジスタ601が設けられている例を示している。

[0273]

図14では、トランジスタ601およびトランジスタ605の例として、チャネルが形成される半導体膜653を2つのゲートで挟持する構成が適用されている。一方のゲートは導電膜654により、他方のゲートは絶縁膜682を介して半導体膜653と重なる導電膜623により構成されている。このような構成とすることで、トランジスタのしきい値電圧を制御することができる。このとき、2つのゲートを接続し、これらに同一の信号を供給することによりトランジスタを駆動してもよい。このようなトランジスタは他のトランジスタと比較して電界効果移動度を高めることが可能であり、オン電流を増大させることができる。その結果、高速駆動が可能な回路を作製することができる。さらには、回路部の占有面積を縮小することが可能となる。オン電流の大きなトランジスタを適用することで、表示パネルを大型化、または高精細化したときに配線数が増大したとしても、各配線における信号遅延を低減することが可能であり、表示ムラを抑制することができる。

[0274]

なお、回路659が有するトランジスタと、表示部662が有するトランジスタは、同じ構造であってもよい。また回路659が有する複数のトランジスタは、全て同じ構造であってもよいし、異なる構造のトランジスタを組み合わせてもよい。また、表示部662が有する複数のトランジスタは、全て同じ構造であってもよいし、異なる構造のトランジスタを組み合わせてもよい。

[0275]

各トランジスタを覆う絶縁膜682、絶縁膜683のうち少なくとも一方は、水や水素などの不純物が拡散しにくい材料を用いることが好ましい。すなわち、絶縁膜682または絶縁膜683はバリア膜として機能させることができる。このような構成とすることで、トランジスタに対して外部から不純物が拡散することを効果的に抑制することが可能となり、信頼性の高い表示パネルを実現できる。

[0276]

基板661側において、着色層631、遮光膜632を覆って絶縁膜621が設けられている。絶縁膜621は、平坦化層としての機能を有していてもよい。絶縁膜621により、導電膜613の表面を概略平坦にできるため、液晶層612の配向状態を均一にできる。

[0277]

表示パネル600を作製する方法の一例について説明する。例えば剥離層を有する支持基板上に、導電膜635、導電膜663、絶縁膜620を順に形成し、その後、トランジスタ605、トランジス

タ606、発光素子660等を形成した後、接着層642を用いて基板651と支持基板を貼り合わせる。その後、剥離層と絶縁膜620、および剥離層と導電膜635のそれぞれの界面で剥離することにより、支持基板および剥離層を除去する。またこれとは別に、着色層631、遮光膜632、導電膜613等をあらかじめ形成した基板661を準備する。そして基板651または基板661に液晶を滴下し、接着層641により基板651と基板661を貼り合わせることで、表示パネル600を作製することができる。

[0278]

剥離層としては、絶縁膜620および導電膜635との界面で剥離が生じる材料を適宜選択することができる。特に、剥離層としてタングステンなどの高融点金属材料を含む層と当該金属材料の酸化物を含む層を積層して用い、剥離層上の絶縁膜620として、窒化シリコンや酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン等を複数積層した層を用いることが好ましい。剥離層に高融点金属材料を用いると、これよりも後に形成する層の形成温度を高めることが可能で、不純物の濃度が低減され、信頼性の高い表示パネルを実現できる。

[0279]

導電膜635としては、金属酸化物、または金属窒化物等の酸化物または窒化物を用いることが好ましい。金属酸化物を用いる場合には、水素、ボロン、リン、窒素、およびその他の不純物の濃度、並びに酸素欠損量の少なくとも一が、トランジスタに用いる半導体層に比べて高められた材料を、導電膜635に用いればよい。

[0280]

<3-3. 各構成要素について>

以下では、上記に示す各構成要素について説明する。

[0281]

[接着層]

接着層としては、紫外線硬化型等の光硬化型接着剤、反応硬化型接着剤、熱硬化型接着剤、嫌気型接着剤などの各種硬化型接着剤を用いることができる。これら接着剤としてはエポキシ樹脂、アクリル樹脂、シリコーン樹脂、フェノール樹脂、ポリイミド樹脂、イミド樹脂、PVC（ポリビニルクロライド）樹脂、PVB（ポリビニルブチラル）樹脂、EVA（エチレンビニルアセテート）樹脂等が挙げられる。特に、エポキシ樹脂等の透湿性が低い材料が好ましい。また、二液混合型の樹脂を用いてもよい。また、接着シート等を用いてもよい。

[0282]

また、上記樹脂に乾燥剤を含んでもよい。例えば、アルカリ土類金属の酸化物（酸化カルシウムや酸化バリウム等）のように、化学吸着によって水分を吸着する物質を用いることができる。または、ゼオライトやシリカゲル等のように、物理吸着によって水分を吸着する物質を用いてもよい。乾燥剤が含まれていると、水分などの不純物が素子に侵入することを抑制でき、表示パネルの信頼性が向上するため好ましい。

[0283]

また、上記樹脂に屈折率の高いフィラーや光散乱部材を混合することにより、光取り出し効率を向上させることができる。例えば、酸化チタン、酸化バリウム、ゼオライト、ジルコニウム等を用いることができる。

[0284]

[接続層]

接続層としては、異方性導電フィルム(ACF: Anisotropic Conductive Film)や、異方性導電ペースト(ACP: Anisotropic Conductive Paste)などを用いることができる。

[0285]

[着色層]

着色層に用いることのできる材料としては、金属材料、樹脂材料、顔料または染料が含まれた樹脂材料などが挙げられる。

[0286]

[遮光層]

遮光層として用いることのできる材料としては、カーボンブラック、チタンブラック、金属、金属酸化物、複数の金属酸化物の固溶体を含む複合酸化物等が挙げられる。遮光層は、樹脂材料を含む膜であってもよいし、金属などの無機材料の薄膜であってもよい。また、遮光層に、着色層の材料を含む膜の積層膜を用いることもできる。例えば、ある色の光を透過する着色層に用いる材料を含む膜と、他の色の光を透過する着色層に用いる材料を含む膜との積層構造を用いることができる。着色層と遮光層の材料を共通化することで、装置を共通化できるほか工程を簡略化できるため好ましい。

[0287]

以上が各構成要素についての説明である。

[0288]

< 3-4. 作製方法例 >

ここでは、可撓性を有する基板を用いた表示パネルの作製方法の例について説明する。

[0289]

ここでは、表示素子、回路、配線、電極、着色層や遮光層などの光学部材、および絶縁層等が含まれる層をまとめて素子層と呼ぶこととする。例えば、素子層は表示素子を含み、表示素子の他に表示素子と電氣的に接続する配線、画素や回路に用いるトランジスタなどの素子を備えていてもよい。

[0290]

また、ここでは、表示素子が完成した(作製工程が終了した)段階において、素子層を支持し、可撓性を有する部材のことを、基板と呼ぶこととする。例えば、基板には、厚さが10nm以上300μm以下の、極めて薄いフィルム等も含まれる。

[0291]

可撓性を有し、絶縁表面を備える基板上に素子層を形成する方法としては、代表的には以下に挙げる2つの方法がある。一つは、基板上に直接、素子層を形成する方法である。もう一つは、基板とは異なる支持基板上に素子層を形成した後、素子層と支持基板を剥離し、素子層を基板に転置する方法である。なお、ここでは詳細に説明しないが、上記2つの方法に加え、可撓性を有さない基板上に素子層を形成し、当該基板を研磨等により薄くすることで可撓性を持たせる方法もある。

[0292]

基板を構成する材料が、素子層の形成工程にかかる熱に対して耐熱性を有する場合には、基板上に直接、素子層を形成すると、工程が簡略化されるため好ましい。このとき、基板を支持基板に固定した

状態で素子層を形成すると、装置内、および装置間における搬送が容易になるため好ましい。

[0293]

また、素子層を支持基板上に形成した後に、基板に転置する方法を用いる場合、まず支持基板上に剥離層と絶縁層を積層し、当該絶縁層上に素子層を形成する。続いて、支持基板と素子層の間で剥離し、素子層を基板に転置する。このとき、支持基板と剥離層の界面、剥離層と絶縁層の界面、または剥離層中で剥離が生じるような材料を選択すればよい。この方法では、支持基板や剥離層に耐熱性の高い材料を用いることで、素子層を形成する際にかかる温度の上限を高めることができ、より信頼性の高い素子を有する素子層を形成できるため、好ましい。

[0294]

例えば剥離層として、タングステンなどの高融点金属材料を含む層と、当該金属材料の酸化物を含む層を積層して用い、剥離層上の絶縁層として、酸化シリコン、窒化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコンなどを複数積層した層を用いることが好ましい。

[0295]

素子層と支持基板とを剥離する方法としては、機械的な力を加えることや、剥離層をエッチングすること、または剥離界面に液体を浸透させることなどが、一例として挙げられる。または、剥離界面を形成する2層の熱膨張率の違いを利用し、加熱または冷却することにより剥離を行ってもよい。

[0296]

また、支持基板と絶縁層の界面で剥離が可能な場合には、剥離層を設けなくてもよい。

[0297]

例えば、支持基板としてガラスを用い、絶縁層としてポリイミドなどの有機樹脂を用いることができる。このとき、レーザ光等を用いて有機樹脂の一部を局所的に加熱する、または鋭利な部材により物理的に有機樹脂の一部を切断、または貫通すること等により剥離の起点を形成し、ガラスと有機樹脂の界面で剥離を行ってもよい。また、上記の有機樹脂としては、感光性の材料を用いると、開口部などの形状を容易に作製しやすいため好適である。また、上記のレーザ光としては、例えば、可視光線から紫外線の波長領域の光であることが好ましい。例えば波長が200nm以上400nm以下の光、好ましくは波長が250nm以上350nm以下の光を用いることができる。特に、波長308nmのエキシマレーザを用いると、生産性に優れるため好ましい。また、Nd:YAGレーザの第三高調波である波長355nmのUVレーザなどの固体UVレーザ（半導体UVレーザともいう）を用いてもよい。

[0298]

または、支持基板と有機樹脂からなる絶縁層の間に発熱層を設け、当該発熱層を加熱することにより、当該発熱層と絶縁層の界面で剥離を行ってもよい。発熱層としては、電流を流すことにより発熱する材料、光を吸収することにより発熱する材料、磁場を印加することにより発熱する材料など、様々な材料を用いることができる。例えば発熱層としては、半導体、金属、絶縁体から選択して用いることができる。

[0299]

なお、上述した方法において、有機樹脂からなる絶縁層は、剥離後に基板として用いることができる。

[0300]

以上が可撓性を有する表示パネルを作製する方法についての説明である。

[0301]

なお、本実施の形態で示す構成、方法は、他の実施の形態で示す構成、方法と適宜組み合わせて用いることができる。

[符号の説明]

[0302]

101b 金属酸化物
101bn 酸化物
101bn__n 酸化物
101bn__1 酸化物
101bw 酸化物
101bw__n 酸化物
101bw__1 酸化物
101bw__2 酸化物
300 トランジスタ
300A トランジスタ
300B トランジスタ
302 基板
304 導電膜
306 絶縁膜
307 絶縁膜
308 金属酸化物
308__1 金属酸化物
308__2 金属酸化物
308__3 金属酸化物
312a 導電膜
312b 導電膜
312c 導電膜
314 絶縁膜
316 絶縁膜
318 絶縁膜
320a 導電膜
320b 導電膜
351 開口部
352a 開口部
352b 開口部
406bw__2 酸化物
500A トランジスタ
500B トランジスタ
502 基板

5 0 4 絶縁膜
5 0 6 導電膜
5 0 8 金属酸化物
5 0 8__1 金属酸化物
5 0 8__1 a 金属酸化物
5 0 8__2 金属酸化物
5 0 8__2 a 金属酸化物
5 0 8__3 金属酸化物
5 0 8__3 a 金属酸化物
5 0 8 A 金属酸化物
5 0 8 i 領域
5 0 8 i__1 領域
5 0 8 i__2 領域
5 0 8 i__3 領域
5 0 8 n 領域
5 1 0 絶縁膜
5 1 0__0 絶縁膜
5 1 2 導電膜
5 1 2__0 導電膜
5 1 6 絶縁膜
5 1 8 絶縁膜
5 2 0 a 導電膜
5 2 0 b 導電膜
5 4 0 マスク
5 4 1 a 開口部
5 4 1 b 開口部
5 4 3 開口部
6 0 0 表示パネル
6 0 1 トランジスタ
6 0 4 接続部
6 0 5 トランジスタ
6 0 6 トランジスタ
6 0 7 接続部
6 1 2 液晶層
6 1 3 導電膜
6 1 7 絶縁膜
6 2 0 絶縁膜
6 2 1 絶縁膜
6 2 3 導電膜

6 3 1 着色層
6 3 2 遮光膜
6 3 3 a 配向膜
6 3 3 b 配向膜
6 3 4 着色層
6 3 5 導電膜
6 4 0 液晶素子
6 4 1 接着層
6 4 2 接着層
6 4 3 導電膜
6 4 4 E L 層
6 4 5 a 導電膜
6 4 5 b 導電膜
6 4 6 絶縁膜
6 4 7 絶縁膜
6 4 8 導電膜
6 4 9 接統層
6 5 1 基板
6 5 2 導電膜
6 5 3 半導体膜
6 5 4 導電膜
6 5 5 開口
6 5 6 偏光板
6 5 9 回路
6 6 0 発光素子
6 6 1 基板
6 6 2 表示部
6 6 3 導電膜
6 6 6 配線
6 7 2 F P C
6 7 3 I C
6 8 1 絶縁膜
6 8 2 絶縁膜
6 8 3 絶縁膜
6 8 4 絶縁膜
6 8 5 絶縁膜
6 8 6 接統体
6 8 7 接統部

請求の範囲

[請求項1]

複数のエネルギーギャップを有する金属酸化物であって、
前記金属酸化物は、
エネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が高い第1の層と、
前記第1の層よりもエネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が低い第2の層と、を有し、
前記第2の層は、前記第1の層よりもキャリアが多く、
前記第1の層と、前記第2の層との伝導帯下端のエネルギー準位の差が0.2 eV以上であり、
前記第1の層と、前記第2の層とが、交互に積層されている金属酸化物。

[請求項2]

複数のエネルギーギャップを有する金属酸化物であって、
前記金属酸化物は、
エネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が高い第1の層と、
前記第1の領域よりもエネルギーバンドの伝導帯下端のエネルギー準位が低い第2の層と、を有し、
前記第1の層は、
M (Mは、Al、Ga、Si、Mg、Zr、Be、及びBから選ばれる少なくとも二種) 酸化物またはIn-M-Zn酸化物を有し、
前記第2の層は、
In酸化物またはIn-Zn酸化物を有し、
前記第1の層と、前記第2の層とが、交互に積層されている金属酸化物。

[請求項3]

第1のエネルギーギャップを有する第1の層と第2のエネルギーギャップを有する第2の層を含む金属酸化物であり、
前記第1の層は、前記第2の層よりも伝導帯下端のエネルギー準位が高く、
前記第1の層は第1の金属元素の第1の酸化物を含み、
前記第2の層は第2の金属元素の第2の酸化物を含み、
前記第1の酸化物は、エネルギーギャップを大きくするために前記第1の金属元素とは異なる第3の元素を含み、
前記第1の層における前記第3の元素の濃度は、前記第2の層における前記第3の元素の濃度よりも高く、
前記第1の層と、前記第2の層とが、交互に積層されている金属酸化物。

[請求項4]

請求項3において、
前記第1の金属元素はGaであり、前記第2の金属元素はInであり、前記第3の元素はAl、Si、Mg、Zr、Be、及びBから選ばれる少なくとも一種である金属酸化物。

[請求項5]

請求項4において、
前記第1の層は更にInとZnを含み、前記第2の層は更にZnを含む金属酸化物。

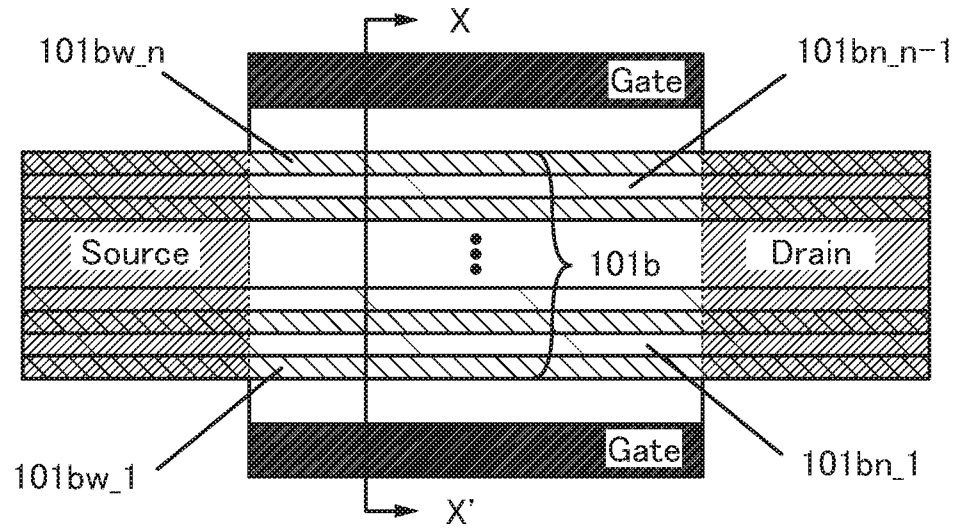
[請求項6]

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の金属酸化物と、
ゲート電極、ソース電極、及びドレイン電極と、を有する半導体装置。

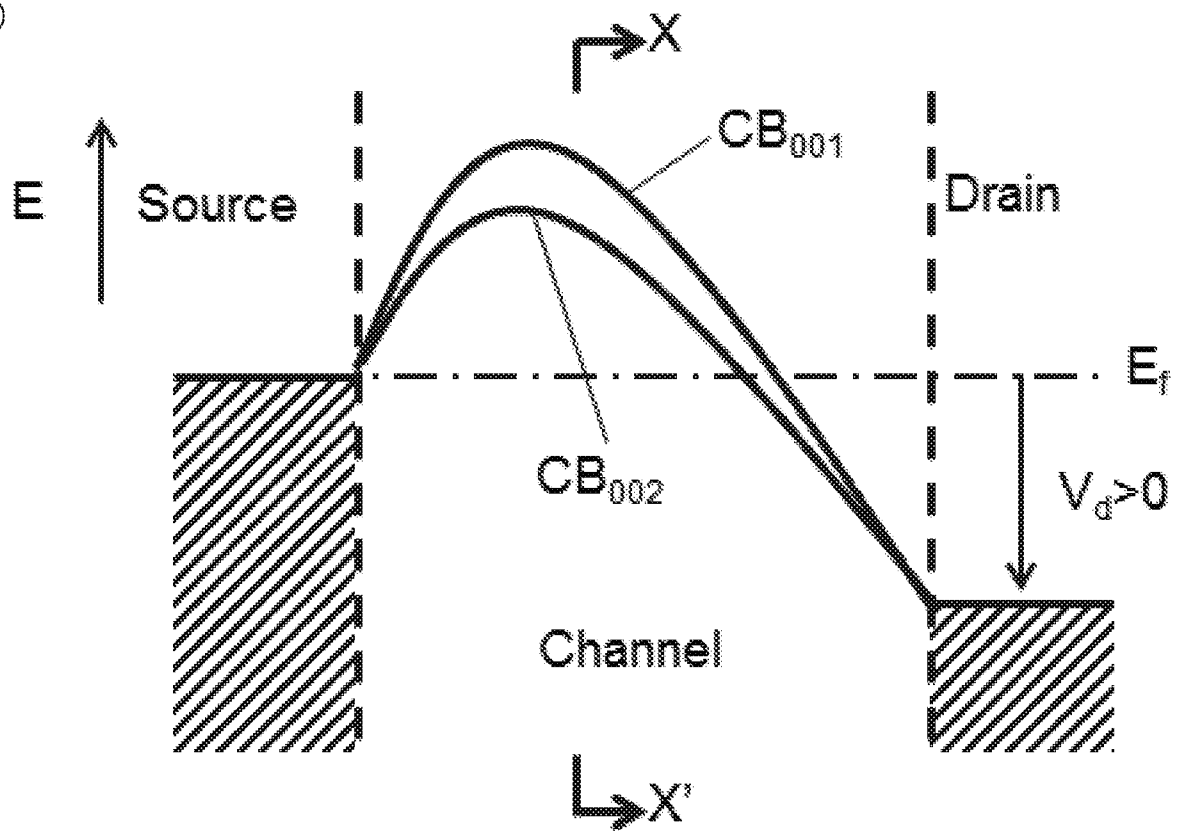
[図 1]

1/14

(A)

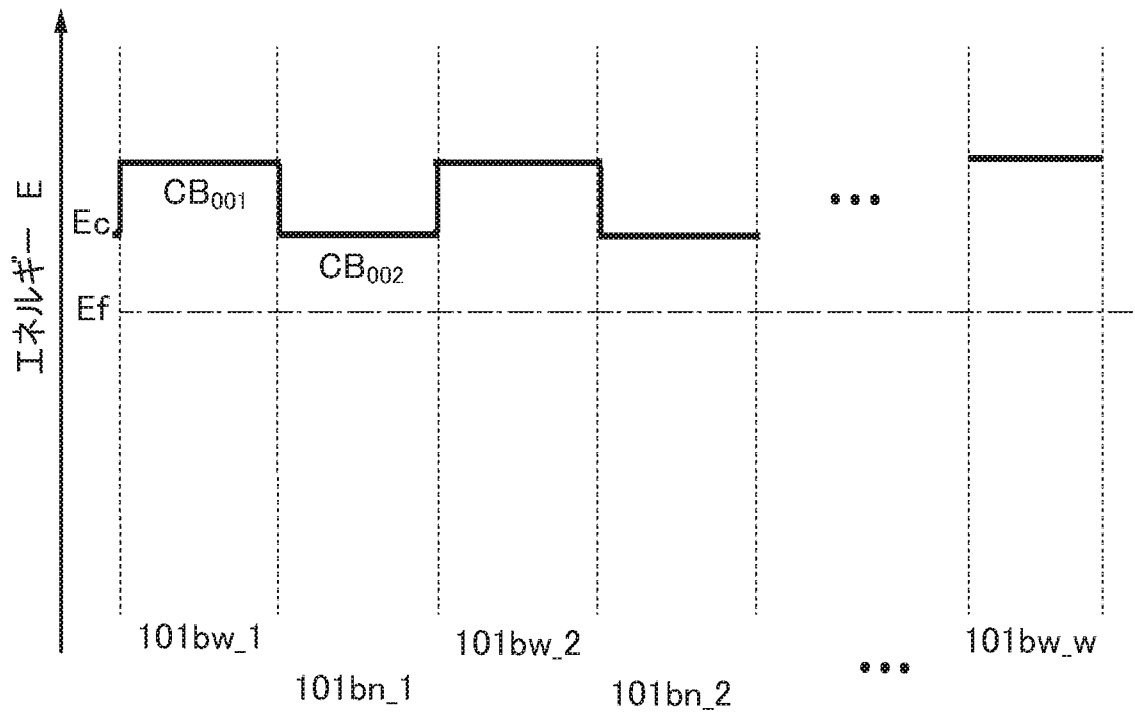


(B)

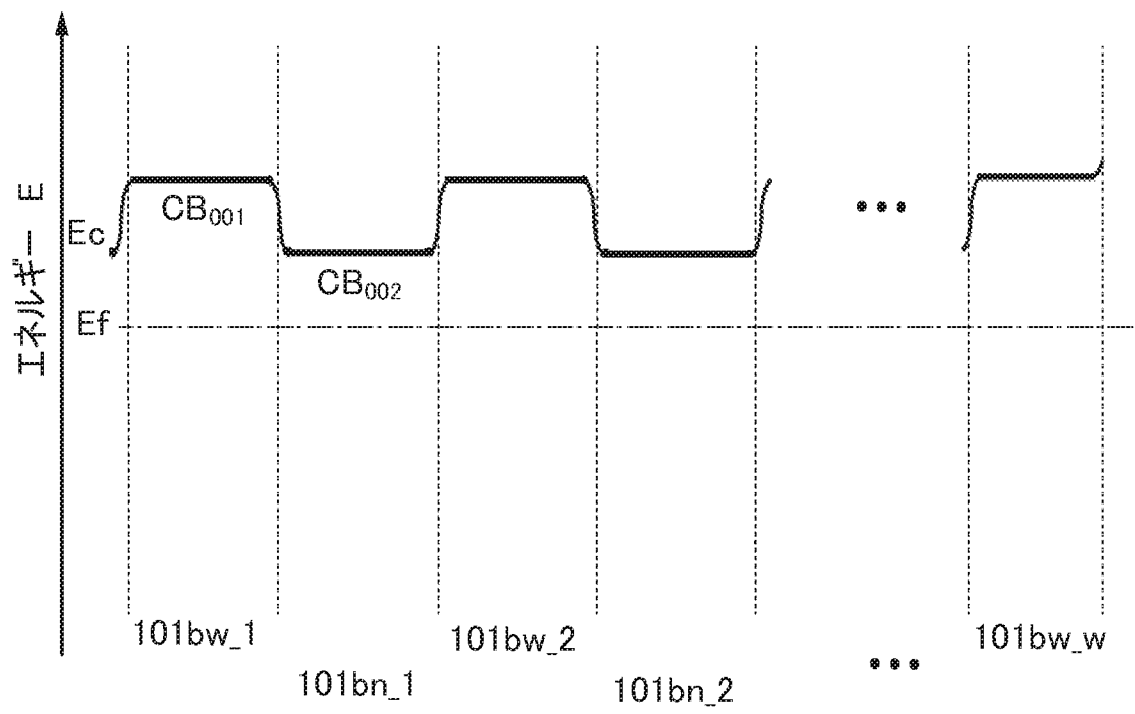


[図2]

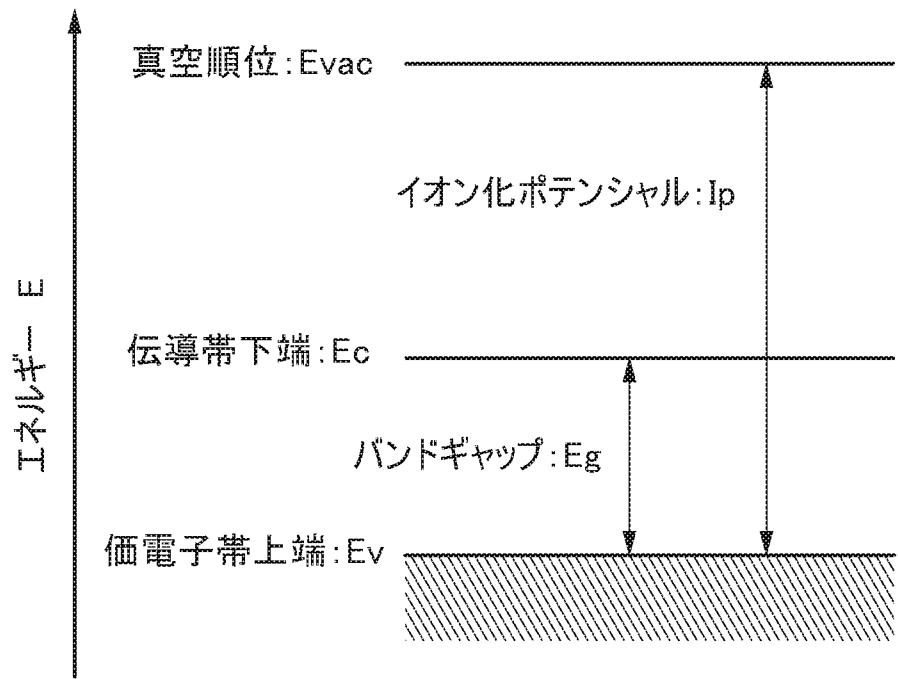
(A)



(B)



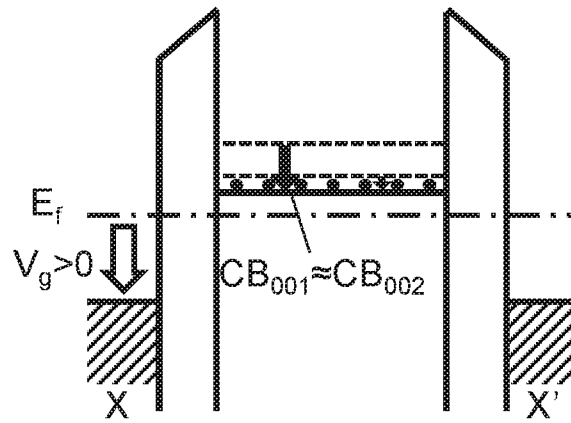
[図3]



[図4]

4/14

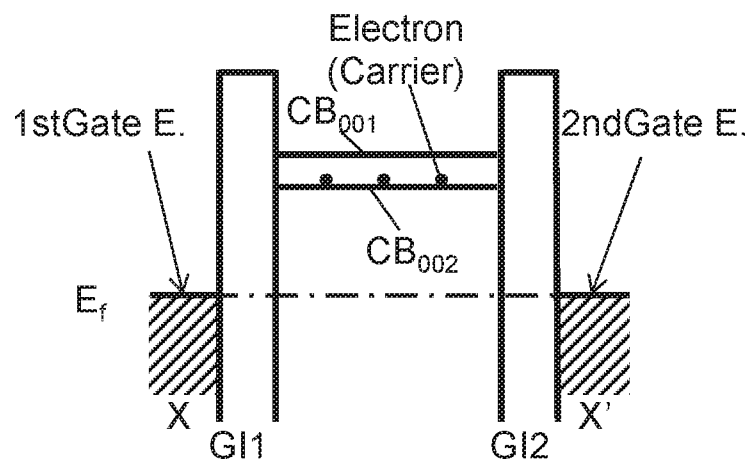
(A)



$$\Delta CB_{001} > \Delta CB_{002}$$

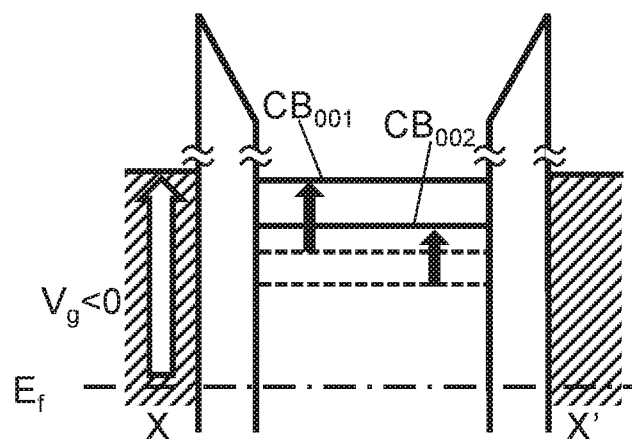
$$CB_{001} \approx CB_{002}$$

(B)



$$CB_{001} > CB_{002}$$

(C)

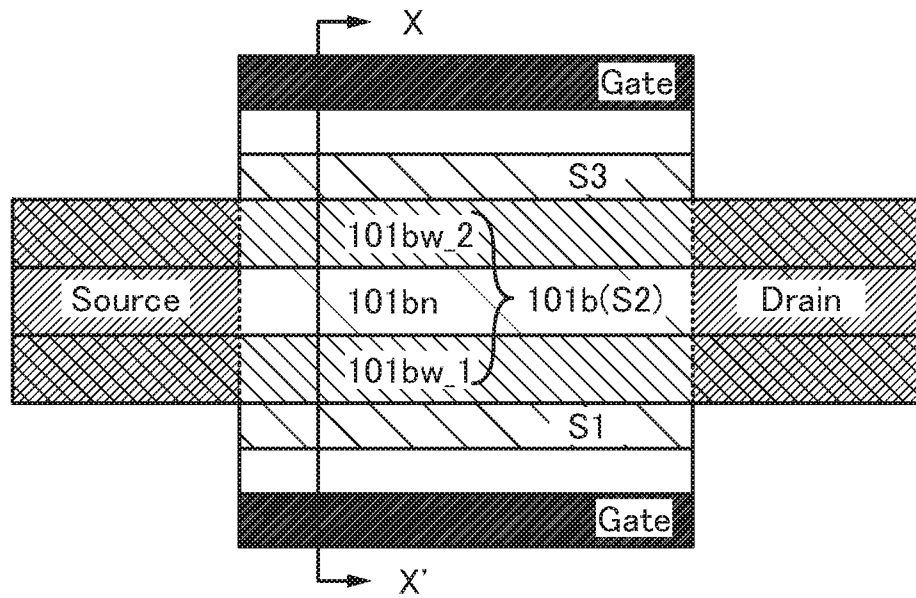


$$\Delta CB_{001} > \Delta CB_{002} > 0$$

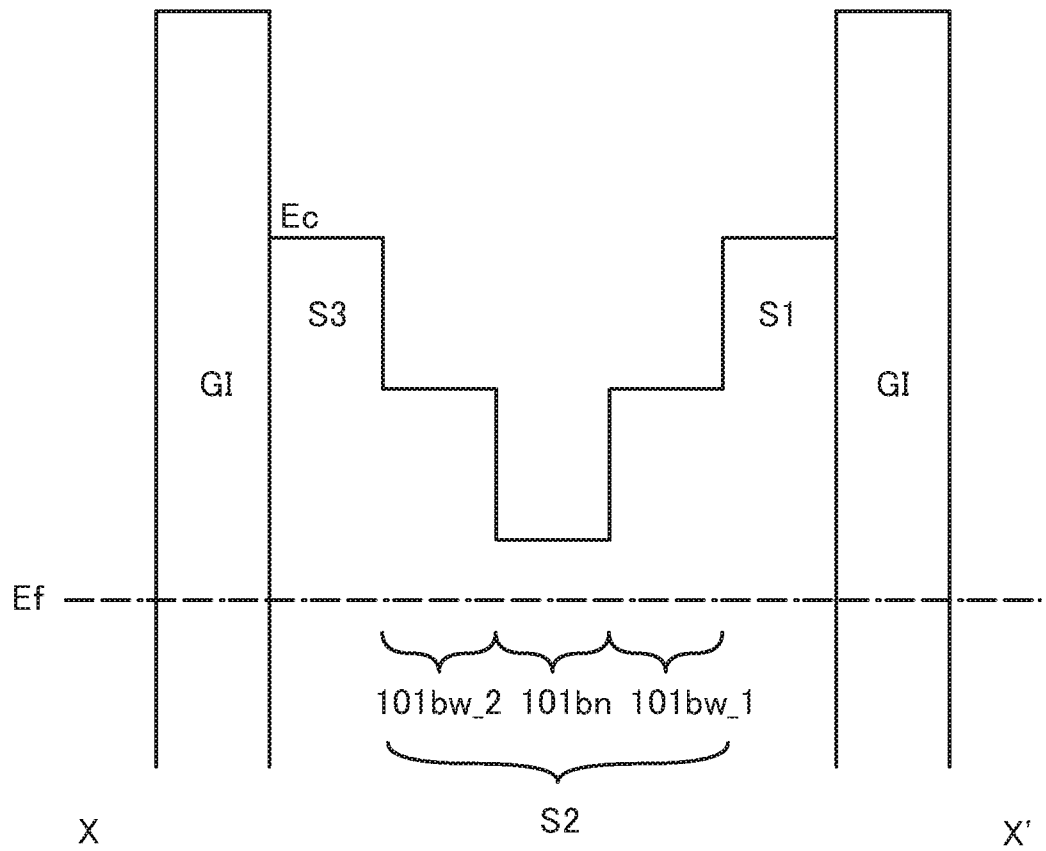
[図5]

5/14

(A)

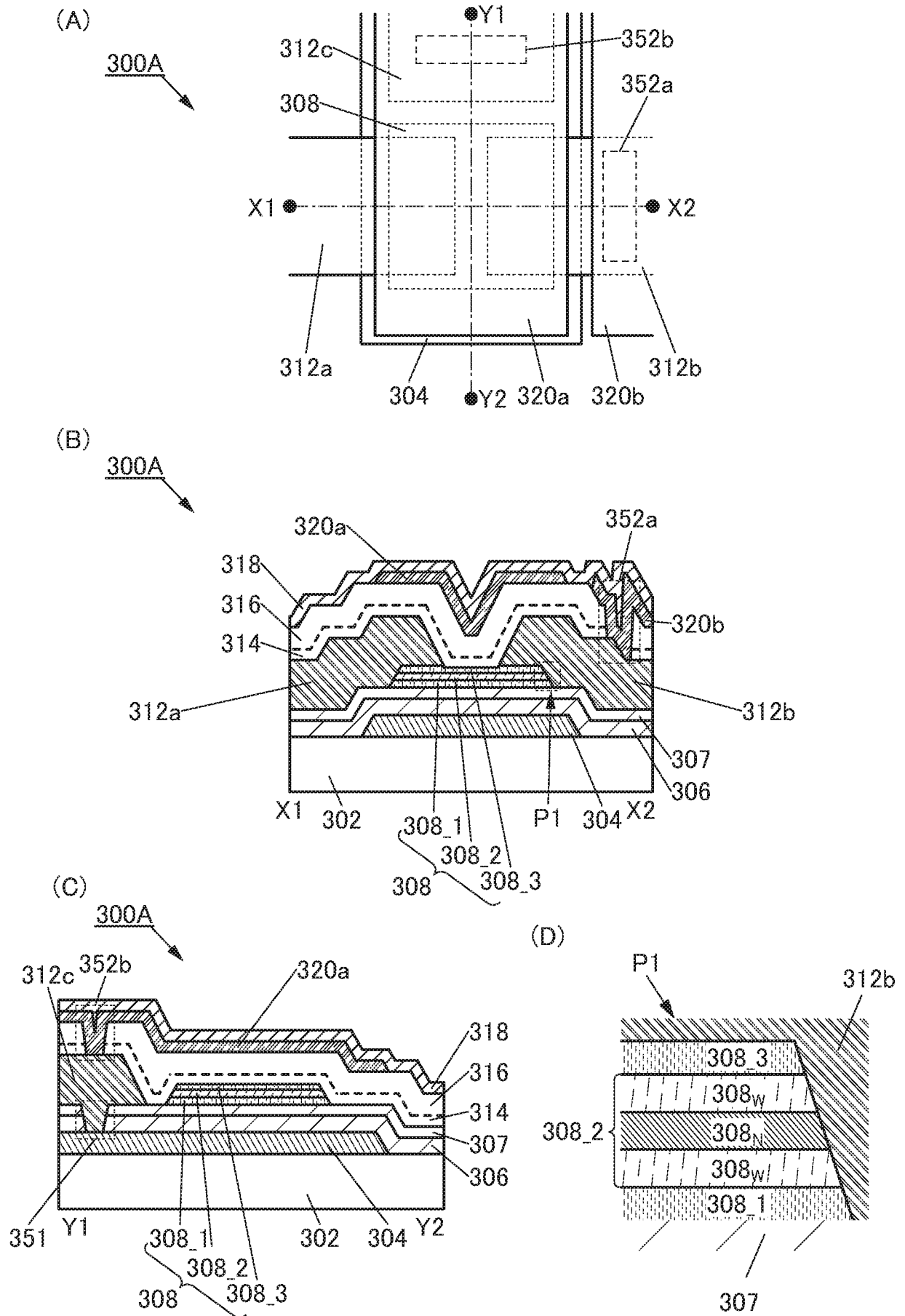


(B)



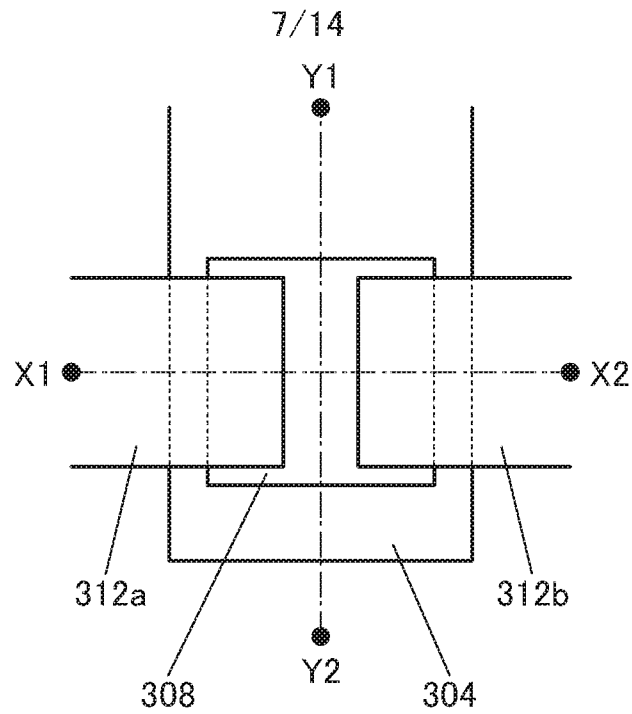
[図6]

6/14

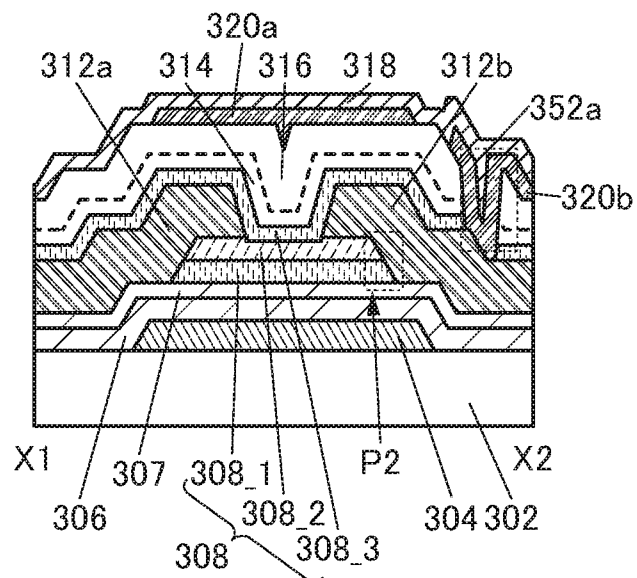


[図7]

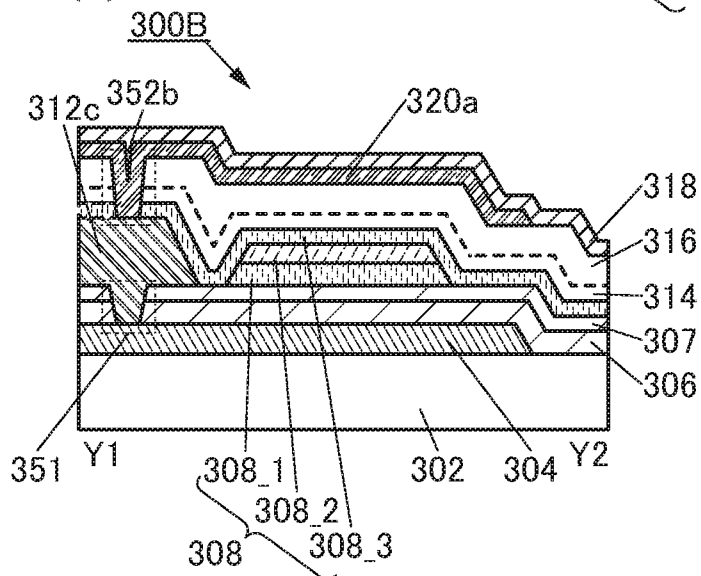
(A) 300B



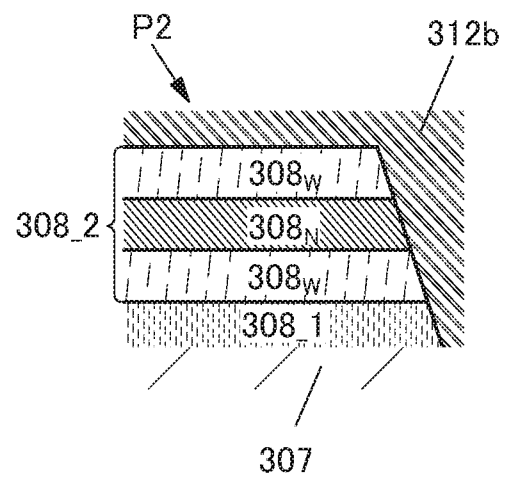
(B) 300B



(C)



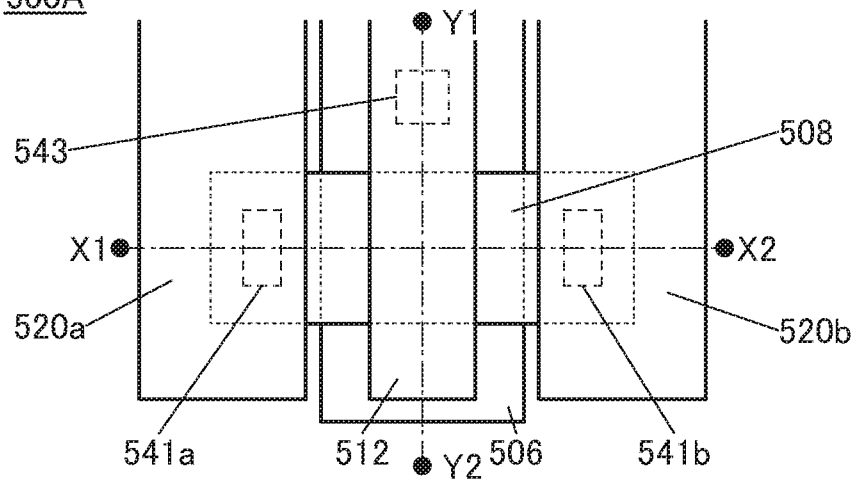
(D)



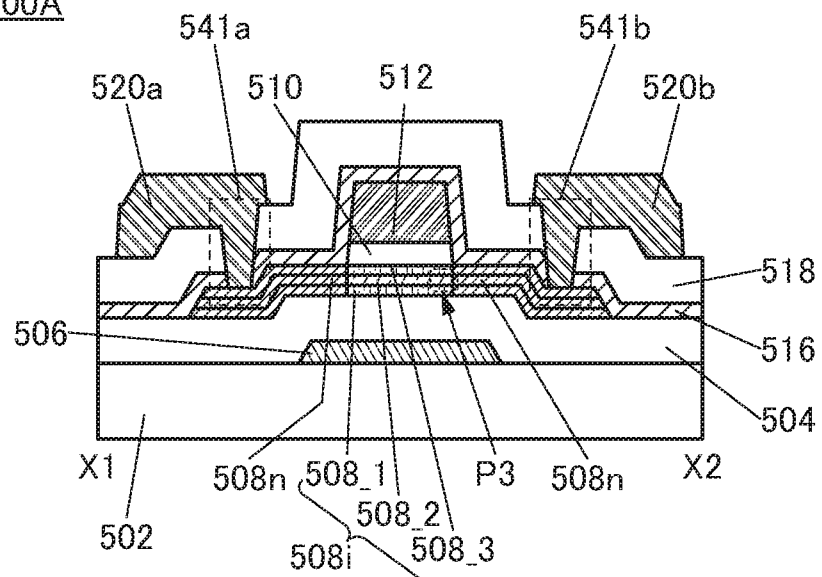
[図8]

8/14

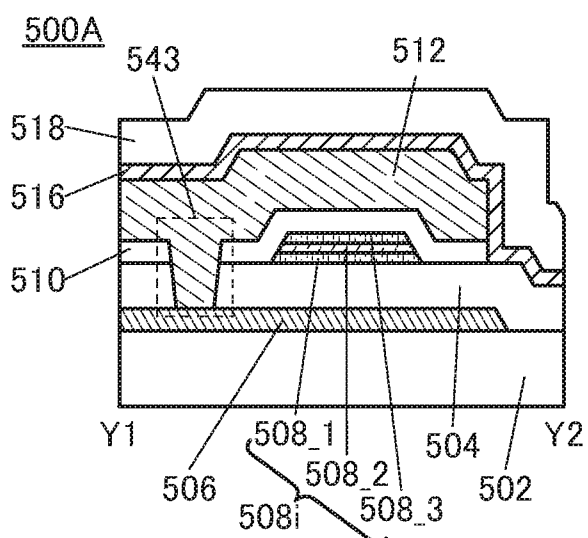
(A) 500A



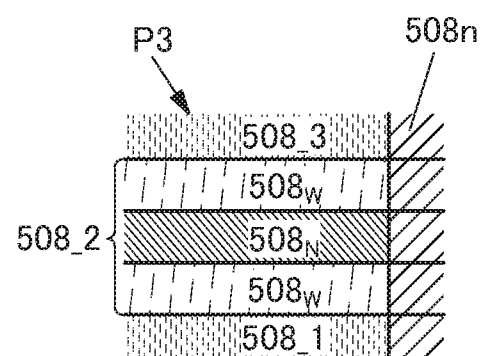
(B) 500A



(C)



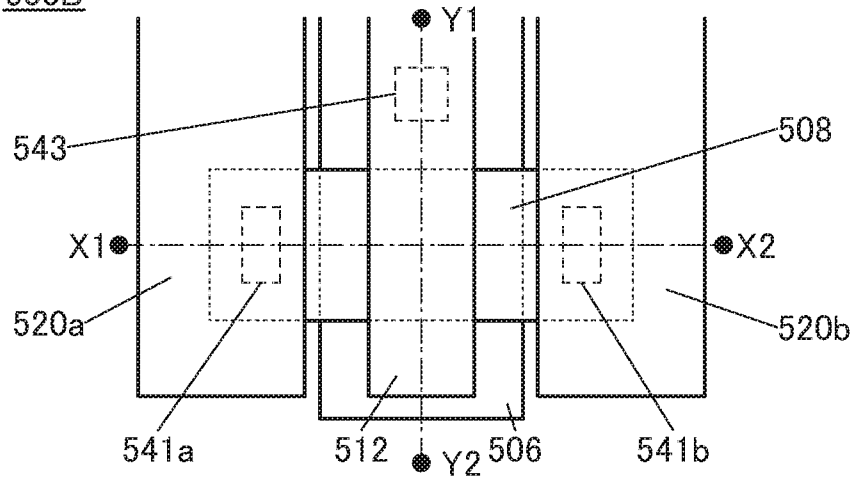
(D)



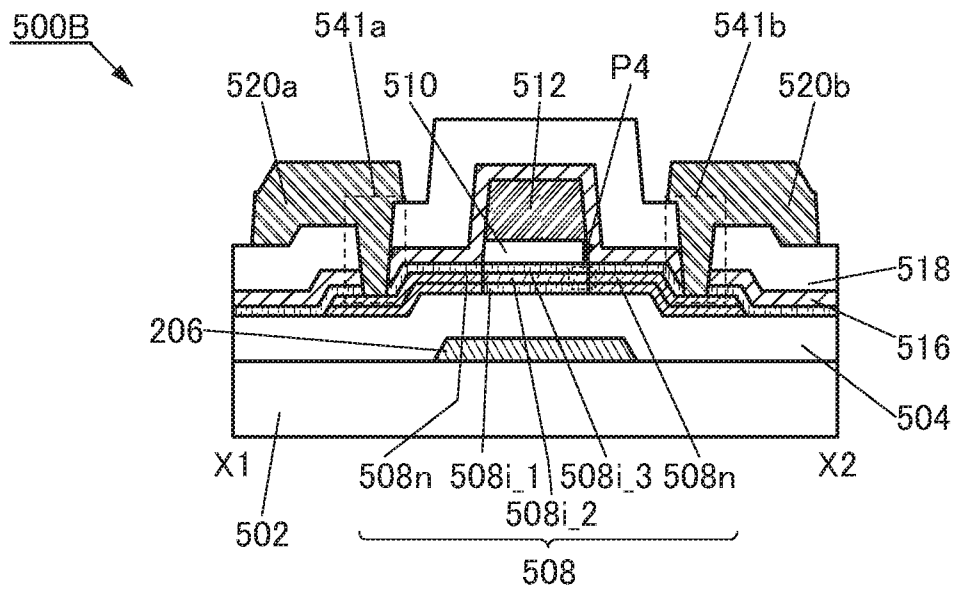
[図9]

9/14

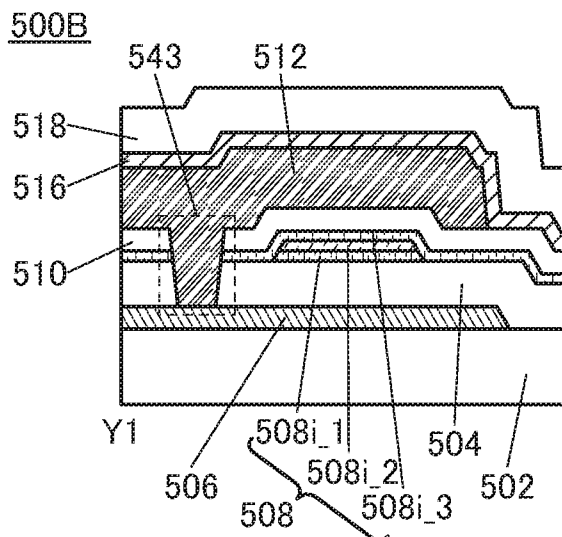
(A) 500B



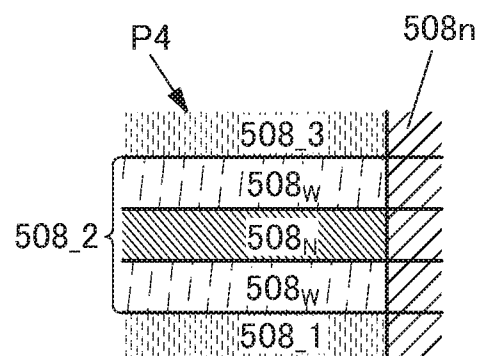
(B)



(C)



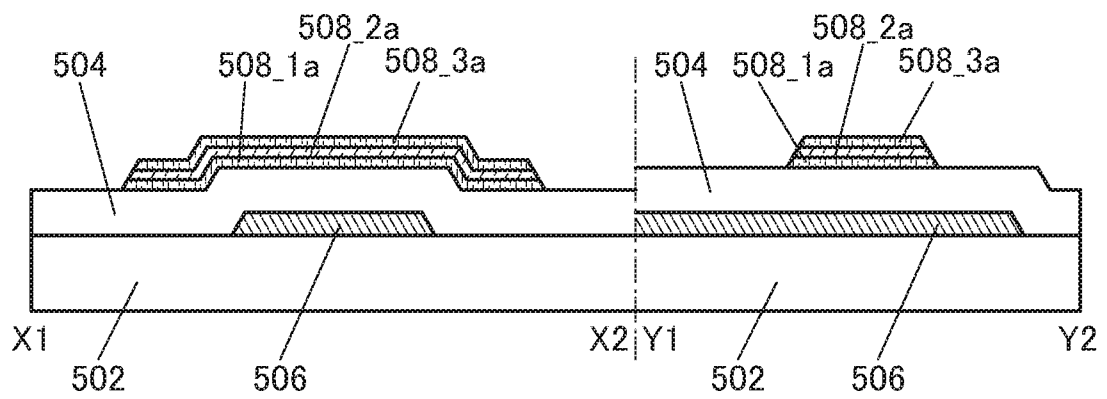
(D)



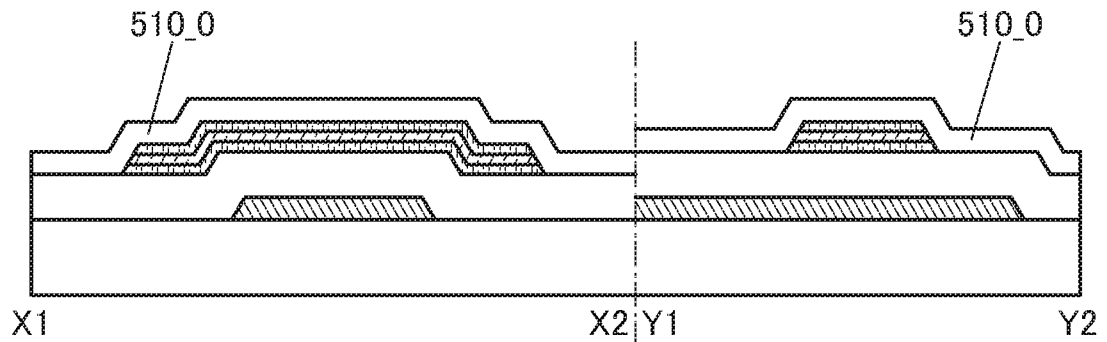
[図10]

10/14

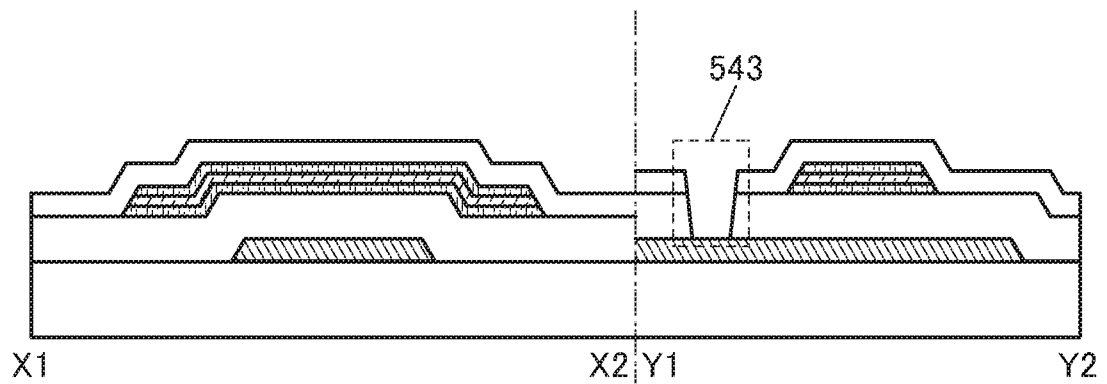
(A)



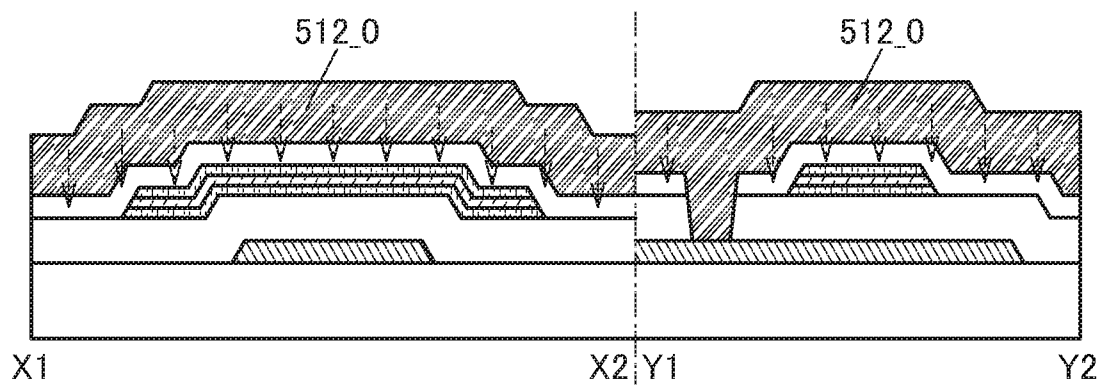
(B)



(C)



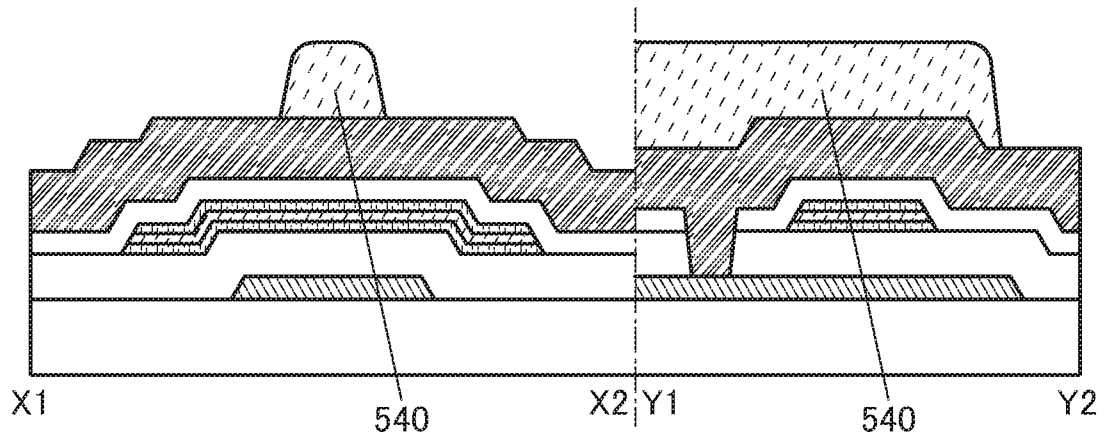
(D)



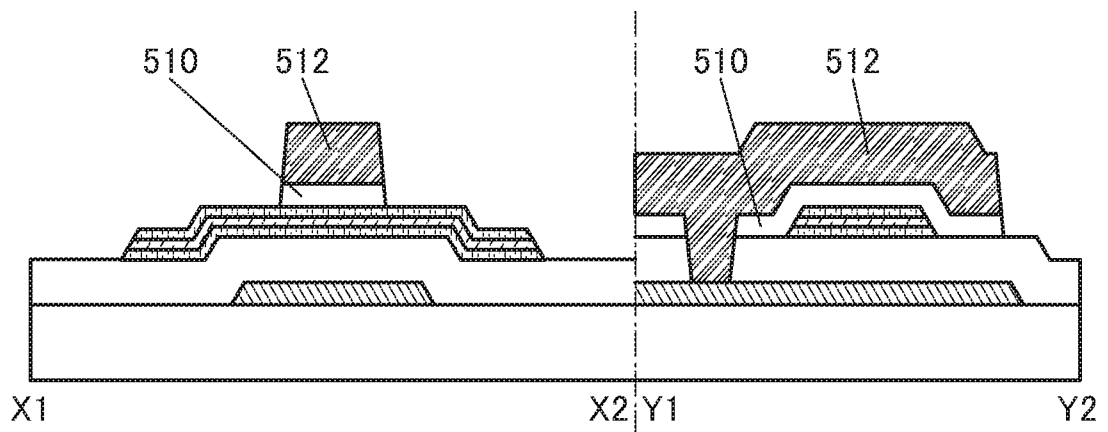
[义 1 1]

11/14

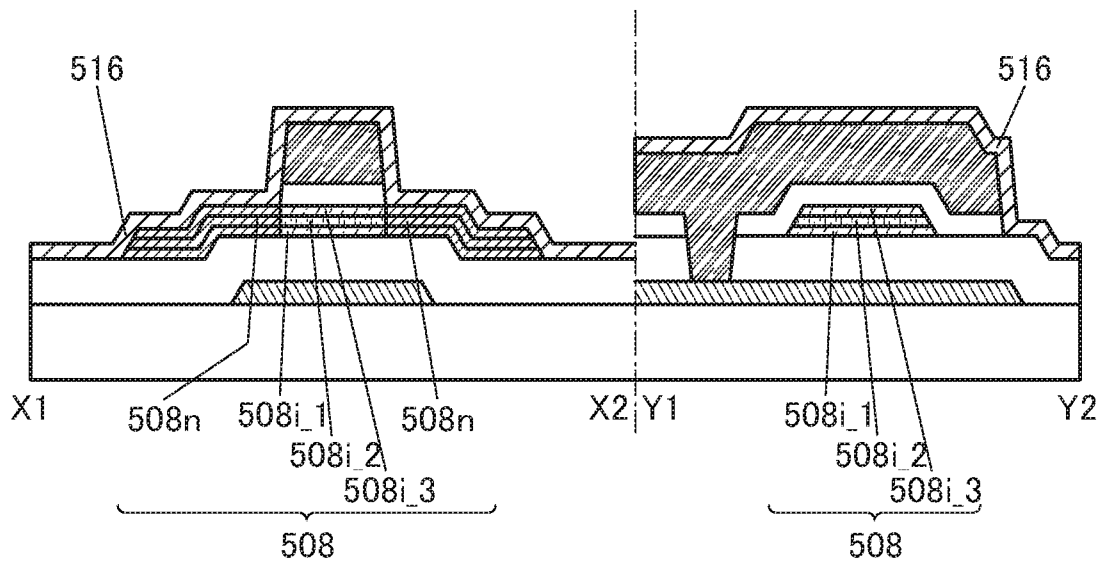
(A)



(B)

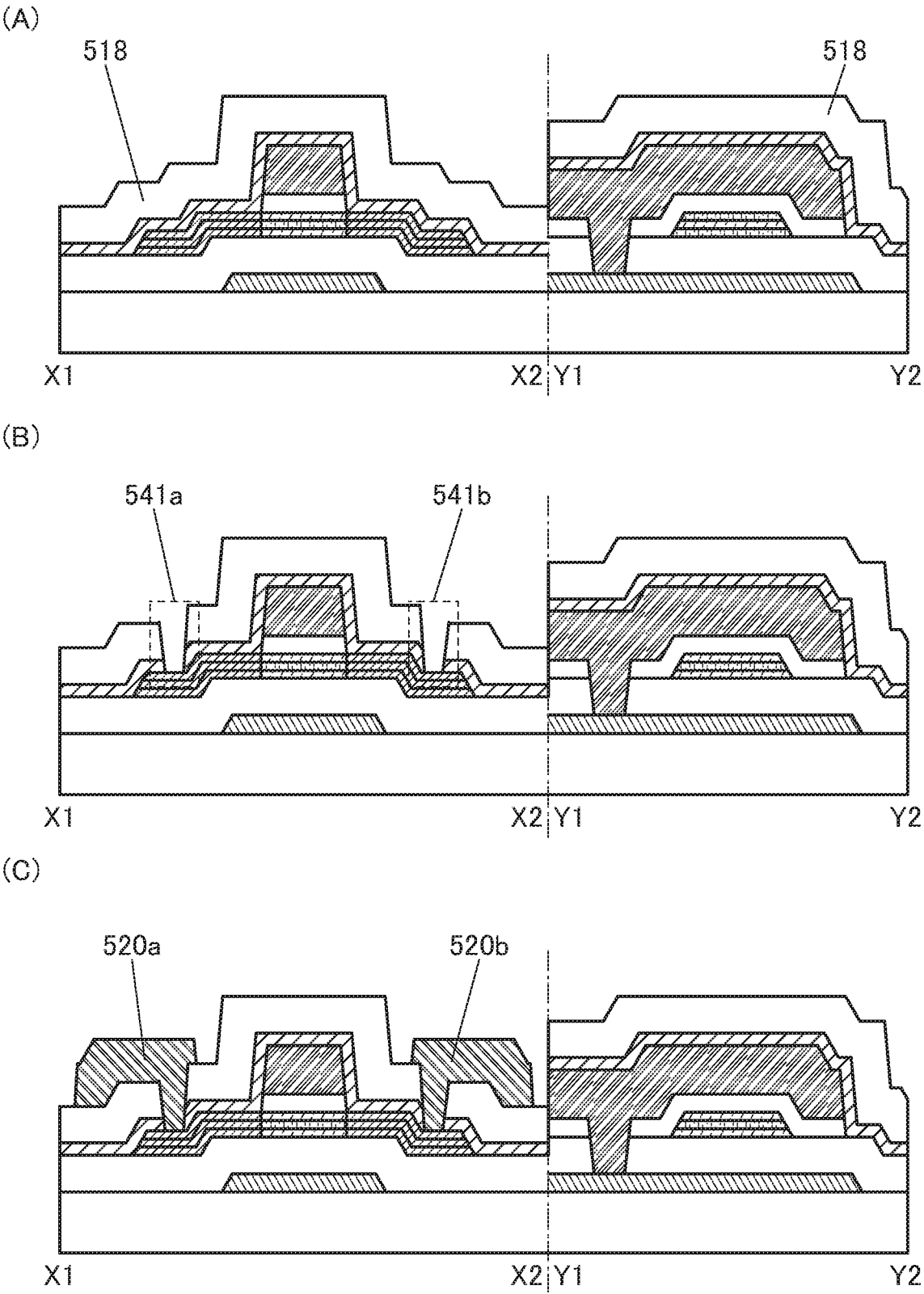


(C)



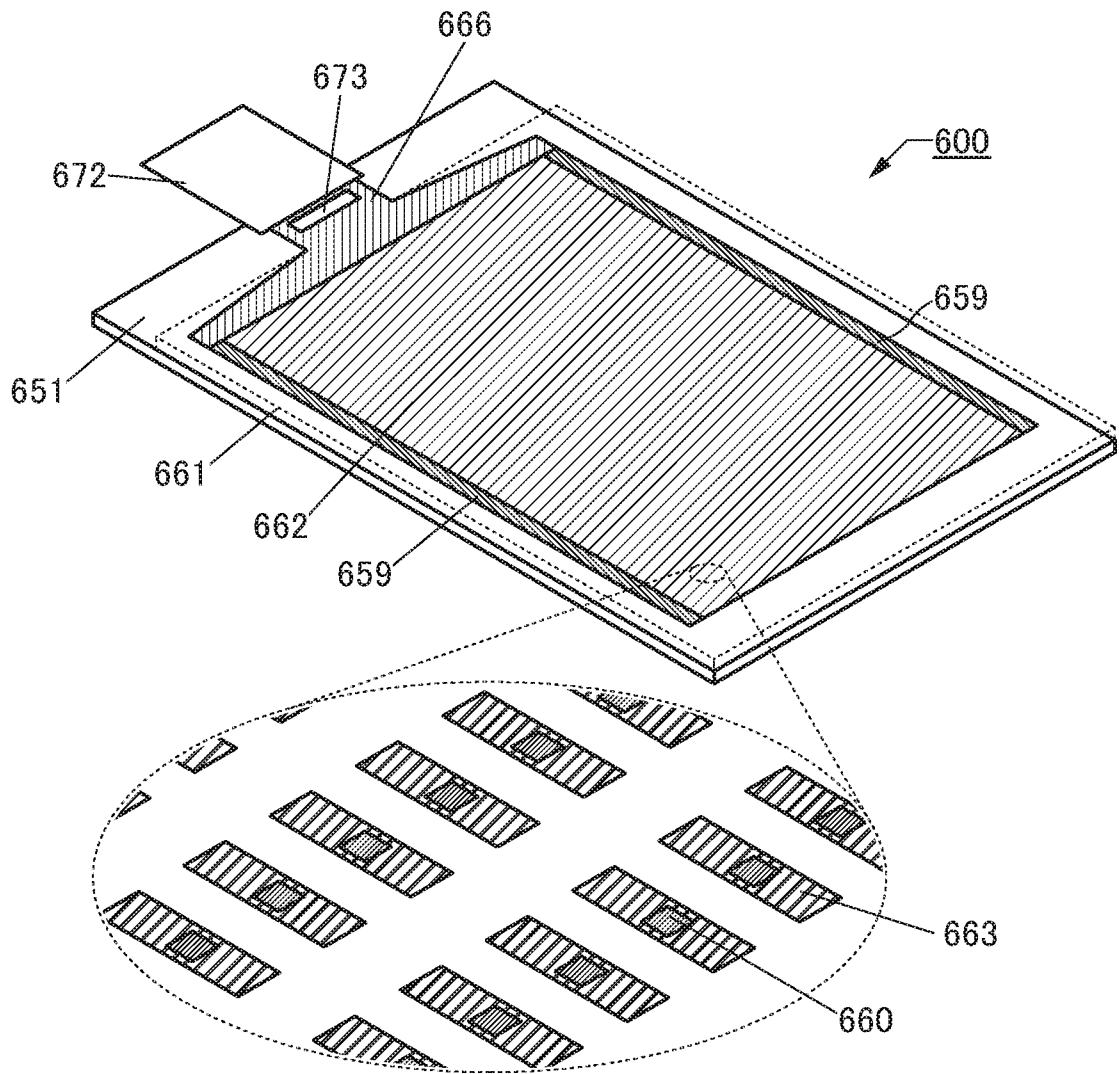
[図12]

12/14



[図13]

13/14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2017/053614

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C14/08(2006.01)i, H01L21/363(2006.01)i, H01L29/786(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C23C14/08, H01L21/363, H01L29/786

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CAPLUS/REGISTRY (STN)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-103389 A (Semiconductor Energy Laboratory Co., Ltd.), 05 June 2014 (05.06.2014), paragraphs [0023] to [0105] & US 2014/0110708 A1 paragraphs [0066] to [0147] & KR 10-2014-0052870 A	1-6
Y	JP 2007-123702 A (Toppan Printing Co., Ltd.), 17 May 2007 (17.05.2007), paragraphs [0016], [0022] (Family: none)	1-6
A	JP 2014-207396 A (Stanley Electric Co., Ltd.), 30 October 2014 (30.10.2014), (Family: none)	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 September 2017 (25.09.17)

Date of mailing of the international search report
10 October 2017 (10.10.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C23C14/08(2006.01)i, H01L21/363(2006.01)i, H01L29/786(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. C23C14/08, H01L21/363, H01L29/786

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

CAplus/REGISTRY (STN)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-103389 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 2014. 06. 05, 段落 0023-0105 & US 2014/0110708 A1([0066]-[0147]) & KR 10-2014-0052870 A	1-6
Y	JP 2007-123702 A (凸版印刷株式会社) 2007. 05. 17, 段落 0016, 0022 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2014-207396 A (スタンレー電気株式会社) 2014. 10. 30, (ファミリーなし)	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 09. 2017

国際調査報告の発送日

10. 10. 2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

塩谷 領大

4G

4665

電話番号 03-3581-1101 内線 3416