(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
2020年8月27日(27.08.2020)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2020/170068 A1

(51) 国際特許分類:
C23C 14/08 (2006.01) *H01L 27/32* (2006.01)
H01L 21/336 (2006.01) *H01L 29/786* (2006.01)
H01L 21/363 (2006.01) *H01L 29/788* (2006.01)
H01L 21/8242 (2006.01) *H01L 29/792* (2006.01)
H01L 27/108 (2006.01) *H01L 51/50* (2006.01)
H01L 27/1156 (2017.01)

(21) 国際出願番号： PCT/IB2020/051041

(22) 国際出願日： 2020年2月11日(11.02.2020)

(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 2019-030883 2019年2月22日(22.02.2019) JP
特願 2019-093145 2019年5月16日(16.05.2019) 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３９８ Kanagawa (JP).

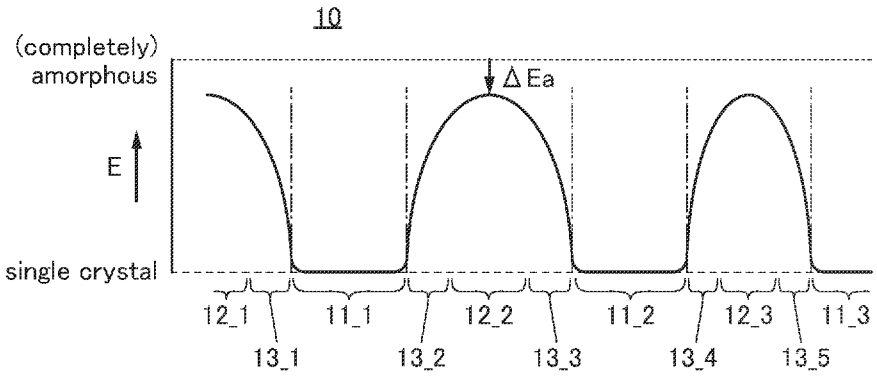
(72) 発明者: 山崎 舜平 (**YAMAZAKI, Shunpei**); 〒2430036 神奈川県厚木市長谷３９８株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP). 中山智則(**NAKAYAMA, Tomonori**); 〒2430036 神奈川県厚木市長谷３９８株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP). 高橋正弘(**TAKAHASHI, Masahiro**); 〒2430036 神奈川県厚木市長谷３９８株式会社半導体エネルギー研究所内 Kanagawa (JP).

(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,

(54) **Title:** METAL OXIDE, AND TRANSISTOR HAVING METAL OXIDE

(54) 発明の名称： 金属酸化物、および金属酸化物を有するトランジスタ

図1A



(57) **Abstract:** Provided is a novel metal oxide. The metal oxide has a first region and a second region, and has a third region between the first region and the second region. An interface of the first region is covered by the third region. The crystallinity of the third region is lower than the crystallinity of the first region, and the crystallinity of the second region is lower than the crystallinity of the third region. In addition, the size of the first region as measured from an observation image using a transmission type electron microscope is 1-3 nm.

(57) 要約: 新規の金属酸化物を提供する。 金属酸化物は、第１の領域と、第２の領域と、を有し、第１の領域と、第２の領域との間には、第３の領域を有し、第１の領域の界面は、第３の領域に覆われており、第３の領域の結晶性は、第１の領域の結晶性よりも低く、第２の領域の結晶性は、第３の領域の結晶性よりも低い。また、透過型電子顕微鏡による観察像から測定される第１の領域のサイズは、１ｎｍ以上３ｎｍ以下である。

WO 2020/170068 A1

[続葉有]

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, 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、および金属酸化物を有するトランジスタ

技術分野

［０００１］

本発明の一態様は、金属酸化物に関する。また、本発明の一態様は、金属酸化物を有するトランジスタに関する。また、本発明の一態様は、半導体装置、半導体ウエハ、モジュール、および電子機器に関する。

［０００２］

なお、本明細書等において半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能し得る装置全般を指す。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。表示装置（液晶表示装置、発光表示装置など）、投影装置、照明装置、電気光学装置、蓄電装置、記憶装置、半導体回路、撮像装置、電子機器などは、半導体装置を有すると言える場合がある。

［０００３］

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は、物、方法、または、製造方法に関するものである。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）に関するものである。

背景技術

［０００４］

絶縁表面を有する基板上に形成された半導体薄膜を用いてトランジスタを構成する技術が注目されている。当該トランジスタは集積回路（ＩＣ）や画像表示装置（単に表示装置とも表記する。）のような電子デバイスに広く応用されている。トランジスタに適用可能な半導体薄膜としてシリコン系半導体材料が広く知られているが、その他の材料として酸化物半導体が注目されている。

［０００５］

酸化物半導体において、Ｉｎと、Ｇａと、Ｚｎと、を含む非晶質酸化物が開示されている（特許文献１参照。）。また、特許文献１では、当該非晶質酸化物を用いてトランジスタを作製する技術が開示されている。

[先行技術文献]

[特許文献]

［０００６］

[特許文献１] 特開２００６－１６５５２９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

［０００７］

特許文献１では、微結晶を含み、微結晶粒界界面がアモルファス構造で覆われている、Ｉｎと、Ｇａと、Ｚｎと、を含む非晶質酸化物が開示されている。しかしながら、微結晶とアモルファス構造とが接することで、微結晶とアモルファス構造が接する界面およびその近傍の原子配列が乱れてしまう。これにより、当該界面およびその近傍に欠陥準位が形成され、当該界面およびその近傍は、キャリアトラップやキャリア発生源となる場合がある。よって、当該非晶質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、信頼性が低くなる場合がある。

［０００８］

そこで、本発明の一態様は、新規の金属酸化物を提供することを課題の一つとする。また、本発明の一態様は、信頼性の高いトランジスタを提供することを課題の一つとする。また、本発明の一態様は、信頼性が良好な半導体装置を提供することを課題の一つとする。また、本発明の一態様は、良好な電気特性を有する半導体装置を提供することを課題の一つとする。また、本発明の一態様は、微細化または高集積化が可能な半導体装置を提供することを課題の一つとする。また、本発明の一態様は、オン電流が大きい半導体装置を提供することを課題の一つとする。

［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、自ずと明らかとなるものであり、明細書、図面、請求項などの記載から、これら以外の課題を抽出することが可能である。

課題を解決するための手段

［００１０］

本発明の一態様は、微結晶と、非晶質と、を有し、微結晶と、非晶質との間に、低秩序領域を有し、微結晶の界面は、低秩序領域に覆われている、金属酸化物である。

［００１１］

上記金属酸化物において、低秩序領域の結晶性は、微結晶の結晶性よりも低く、非晶質の結晶性よりも高い、ことが好ましい。または、低秩序領域のエネルギーは、微結晶のエネルギーよりも高く、非晶質のエネルギーよりも低い、ことが好ましい。

［００１２］

本発明の他の一態様は、第１の領域と、第２の領域と、を有し、第１の領域と、第２の領域との間に、第３の領域を有し、第１の領域の界面は、第３の領域に覆われており、第３の領域の結晶性は、第１の領域の結晶性よりも低く、第２の領域の結晶性は、第３の領域の結晶性よりも低い、金属酸化物である。

［００１３］

また、本発明の他の一態様は、第１の領域と、第２の領域と、を有し、第１の領域と、第２の領域との間に、第３の領域を有し、第１の領域の界面は、第３の領域に覆われており、第３の領域は、第１の領域よりもエネルギー的に不安定であり、第２の領域は、第３の領域よりもエネルギー的に不安定である、金属酸化物である。

［００１４］

上記金属酸化物において、第１の領域のサイズは、１ｎｍ以上３ｎｍ以下である、ことが好ましい。また、第１の領域のサイズは、透過型電子顕微鏡による観察像から測定される、ことが好ましい。

［００１５］

上記金属酸化物において、極微電子線回折により、ダイレクトスポットからの動径方向の距離が、２．９ｎｍ$^{-1}$から４．２ｎｍ$^{-1}$の範囲にある領域内に、複数のスポットが観測される、ことが好ましい。また、極微電子線回折は、プローブ径を１ｎｍ以上３０ｎｍ以下の電子線回折を用いて行われる、ことが好ましい。

［００１６］

上記金属酸化物において、極微電子線回折により、複数のスポットが第４の領域内に観察され、かつ、一または複数のスポットが第５の領域内に観察され、ダイレクトスポットから第４の領域までの距離に対する、ダイレクトスポットから第５の領域までの距離の比は、１．５以上１．８以下である、ことが好ましい。また、極微電子線回折は、プローブ径を１ｎｍ以上３０ｎｍ以下の電子線回折を用いて行われる、ことが好ましい。

［００１７］

また、上記金属酸化物において、インジウムと、元素Ｍ（Ｍは、ガリウム、アルミニウム、イットリウム、および錫のいずれか一または複数）と、亜鉛と、を有する、ことが好ましい。

［００１８］

本発明の他の一態様は、上記に記載の金属酸化物をチャネル形成領域として有する、トランジスタである。

発明の効果

［００１９］

本発明の一態様により、新規の金属酸化物を提供することができる。また、本発明の一態様により、信頼性の高いトランジスタを提供することができる。また、本発明の一態様により、信頼性が良好な半導体装置を提供することができる。また、本発明の一態様により、良好な電気特性を有する半導体装置を提供することができる。また、本発明の一態様により、微細化または高集積化が可能な半導体装置を提供することができる。また、本発明の一態様により、オン電流が大きい半導体装置を提供することができる。

［００２０］

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

図面の簡単な説明

［００２１］

図１Ａは本発明の一態様である金属酸化物のエネルギーの推移を示す模式図である。図１Ｂは本発明の一態様である金属酸化物の結晶化度の推移を示す模式図である。

図２Ａ乃至図２Ｅは、計算モデルを示す図である。

図３Ａは、温度と平均エネルギーの関係を示す図である。図３Ｂは、温度と平均エネルギーの差の関係を示す図である。

図４Ａ乃至図４Ｅは、計算モデルを示す図である。

図５Ａおよび図５Ｂは、欠陥の生成エネルギーを説明する図である。

図６は電子線回折パターンの概略図である。

図７ＡはＩＧＺＯの結晶構造の分類を説明する図である。図７Ｂは石英ガラスのＸＲＤスペクトルを説明する図である。図７Ｃは結晶性ＩＧＺＯのＸＲＤスペクトルを説明する図である。

図８Ａは半導体装置の上面図である。図８Ｂ、図８Ｃは半導体装置の断面図である。

図９Ａ、図９Ｂは半導体装置の断面図である。

図１０Ａは半導体装置の上面図である。図１０Ｂ、図１０Ｃは半導体装置の断面図である。

図１１Ａは半導体装置の上面図である。図１１Ｂ、図１１Ｃは半導体装置の断面図である。
図１２Ａ、図１２Ｂは半導体装置の断面図である。
図１３Ａ乃至図１３Ｃは表示装置の構成例である。
図１４は表示装置の断面構成例である。
図１５は表示装置の断面構成例である。
図１６は表示装置の断面構成例である。
図１７Ａは表示装置のブロック図である。図１７Ｂ、図１７Ｃは表示装置が有する画素回路の回路図である。
図１８Ａ、図１８Ｃ、図１８Ｄは表示装置の回路図である。図１８Ｂはタイミングチャートである。
図１９Ａ、図１９Ｂは表示モジュールの構成例である。
図２０Ａ乃至図２０Ｃは電子機器の構成例である。
図２１Ａ乃至図２１Ｅは電子機器の構成例である。
図２２Ａ乃至図２２Ｇは電子機器の構成例である。
図２３Ａ乃至図２３Ｄは電子機器の構成例である。
図２４Ａは半導体装置の上面図である。図２４Ｂ、図２４Ｃは半導体装置の断面図である。
図２５Ａは記憶装置の構成例を示すブロック図である。図２５Ｂは記憶装置の構成例を示す斜視図である。
図２６Ａ乃至図２６Ｈは記憶装置の構成例を示す回路図である。

発明を実施するための形態

［００２２］

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。したがって、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。

［００２３］

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。例えば、実際の製造工程において、エッチングなどの処理により層やレジストマスクなどが意図せずに目減りすることがあるが、理解を容易とするため、図に反映しないことがある。また、図面において、同一部分または同様な機能を有する部分には同一の符号を異なる図面間で共通して用い、その繰り返しの説明は省略する場合がある。また、同様の機能を指す場合には、ハッチパターンを同じくし、特に符号を付さない場合がある。

［００２４］

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

［００２５］

また、本明細書等において、第１、第２等として付される序数詞は便宜上用いるものであり、工程順または積層順を示すものではない。そのため、例えば、「第１の」を「第２の」または「第３

の」などと適宜置き換えて説明することができる。また、本明細書等に記載されている序数詞と、本発明の一態様を特定するために用いられる序数詞は一致しない場合がある。

［００２６］

また、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。したがって、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。

［００２７］

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

［００２８］

ここで、Ｘ、Ｙは、対象物（例えば、装置、素子、回路、配線、電極、端子、導電膜、層、など）であるとする。

［００２９］

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）の間にチャネルが形成される領域（以下、チャネル形成領域ともいう。）を有しており、チャネル形成領域を介して、ソースとドレインとの間に電流を流すことができるものである。なお、本明細書等において、チャネル形成領域とは、電流が主として流れる領域をいう。

［００３０］

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場合がある。

［００３１］

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

［００３２］

チャネル幅とは、例えば、トランジスタの上面図において、半導体（またはトランジスタがオン状態のときに半導体の中で電流の流れる部分）とゲート電極とが互いに重なる領域、またはチャネル形成領域における、チャネル長方向を基準として垂直方向のチャネル形成領域の長さをいう。なお、一つのトランジスタにおいて、チャネル幅がすべての領域で同じ値をとるとは限らない。すな

わち、一つのトランジスタのチャネル幅は、一つの値に定まらない場合がある。そのため、本明細書では、チャネル幅は、チャネル形成領域における、いずれか一の値、最大値、最小値または平均値とする。

［００３３］

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

［００３４］

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

［００３５］

本明細書では、単にチャネル幅と記載した場合には、見かけ上のチャネル幅を指す場合がある。または、本明細書では、単にチャネル幅と記載した場合には、実効的なチャネル幅を指す場合がある。なお、チャネル長、チャネル幅、実効的なチャネル幅、見かけ上のチャネル幅などは、断面ＴＥＭ像などを解析することなどによって、値を決定することができる。

［００３６］

なお、半導体の不純物とは、例えば、半導体を構成する主成分以外をいう。例えば、濃度が０．１原子％未満の元素は不純物と言える。不純物が含まれることにより、例えば、半導体の欠陥準位密度が高くなることや、結晶性が低下することなどが起こる場合がある。半導体が酸化物半導体である場合、半導体の特性を変化させる不純物としては、例えば、第１族元素、第２族元素、第１３族元素、第１４族元素、第１５族元素、および酸化物半導体の主成分以外の遷移金属などがあり、例えば、水素、リチウム、ナトリウム、シリコン、ホウ素、リン、炭素、窒素などがある。酸化物半導体の場合、水も不純物として機能する場合がある。また、酸化物半導体の場合、例えば不純物の混入によって酸素欠損を形成する場合がある。また、半導体がシリコンである場合、半導体の特性を変化させる不純物としては、例えば、酸素、水素を除く第１族元素、第２族元素、第１３族元素、第１５族元素などがある。

［００３７］

なお、本明細書等において、酸化窒化シリコンとは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多いものである。また、窒化酸化シリコンとは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多いものである。

［００３８］

また、本明細書等において、「絶縁体」という用語を、絶縁膜または絶縁層と言い換えることができる。また、「導電体」という用語を、導電膜または導電層と言い換えることができる。また、「半導体」という用語を、半導体膜または半導体層と言い換えることができる。

［００３９］
また、本明細書等において、「平行」とは、二つの直線が－１０度以上１０度以下の角度で配置されている状態をいう。したがって、－５度以上５度以下の場合も含まれる。また、「概略平行」とは、二つの直線が－３０度以上３０度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度以上１００度以下の角度で配置されている状態をいう。したがって、８５度以上９５度以下の場合も含まれる。また、「概略垂直」とは、二つの直線が６０度以上１２０度以下の角度で配置されている状態をいう。
［００４０］
なお、本明細書において、バリア膜とは、水、水素などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する膜のことであり、当該バリア膜に導電性を有する場合は、導電性バリア膜と呼ぶことがある。
［００４１］
本明細書等において、金属酸化物（ｍｅｔａｌ　ｏｘｉｄｅ）とは、広い意味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、トランジスタの半導体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トランジスタと記載する場合においては、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。
［００４２］
なお、本明細書等において、窒素を有する金属酸化物も金属酸化物（ｍｅｔａｌ　ｏｘｉｄｅ）と総称する場合がある。また、窒素を有する金属酸化物を、金属酸窒化物（ｍｅｔａｌ　ｏｘｙｎｉｔｒｉｄｅ）と呼称してもよい。
［００４３］
また、本明細書等において、ノーマリーオフとは、ゲートに電位を印加しない、またはゲートに接地電位を与えたときに、トランジスタに流れるチャネル幅１μｍあたりの電流が、室温において１×１０$^{-20}$Ａ以下、８５℃において１×１０$^{-18}$Ａ以下、または１２５℃において１×１０$^{-16}$Ａ以下であることをいう。
［００４４］
（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。なお、本発明の一態様である金属酸化物は、半導体として機能する場合がある。よって、本発明の一態様である金属酸化物を、酸化物半導体と呼ぶ場合がある。
［００４５］
金属酸化物は、少なくともインジウムまたは亜鉛を含むことが好ましい。特に、インジウムおよび亜鉛を含むことが好ましい。また、それらに加えて、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、錫などが含まれていることが好ましい。また、ホウ素、シリコン、チタン、鉄、ニッケル、ゲルマニウム、ジルコニウム、モリブデン、ランタン、セリウム、ネオジム、ハフニウム、タンタル、タングステン、マグネシウムなどから選ばれた一種、または複数種が含まれていてもよい。
［００４６］
ここでは、金属酸化物が、インジウム、元素Ｍおよび亜鉛を有するＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物である

場合を考える。なお、元素Mは、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、または錫とする。そのほかの元素Mに適用可能な元素としては、ホウ素、シリコン、チタン、鉄、ニッケル、ゲルマニウム、ジルコニウム、モリブデン、ランタン、セリウム、ネオジム、ハフニウム、タンタル、タングステン、マグネシウムなどがある。ただし、元素Mとして、前述の元素を複数組み合わせても構わない場合がある。

［００４７］

本発明の一態様である金属酸化物１０は、領域１１と、領域１２と、を有し、領域１１と、領域１２との間に、領域１３を有する。領域１１の界面は、領域１３に覆われている。または、本発明の一態様である金属酸化物１０は、領域１１と、領域１１を覆うように存在する領域１３と、領域１３を覆うように存在する領域１２と、を有する。

［００４８］

金属酸化物１０が有する、領域１１、領域１２、および領域１３は、互いに結晶性が異なる。領域１１、領域１２、および領域１３の結晶性について、図１Ｂを用いて説明する。

［００４９］

図１Ｂは、金属酸化物１０中の結晶化度の推移を示す模式図である。図１Ｂの縦軸は、ある領域における結晶化度である。ここで、ある領域における結晶化度とは、当該領域における結晶構造を有する領域が占める割合をいう。つまり、結晶化度の高い領域は、結晶性が高い領域であり、原子配列に周期性を有する領域である。また、結晶化度の低い領域は、結晶性が低い領域である。

［００５０］

図１Ｂでは、結晶化度の最も高い構造を、単結晶（ｓｉｎｇｌｅ　ｃｒｙｓｔａｌ）とする。また、結晶化度の最も低い構造を、非晶質（ａｍｏｒｐｈｏｕｓ）または完全な非晶質（ｃｏｍｐｌｅｔｅｌｙ　ａｍｏｒｐｈｏｕｓ）とする。なお、図１Ｂの縦軸においては、下側ほど結晶化度が高く、上側ほど結晶化度が低い。

［００５１］

領域１１（領域１１＿１乃至領域１１＿ｎ（ｎは２以上の整数である。）の一または複数）は、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領域である。また、領域１１は、単結晶または単結晶に近い結晶を有する領域である。つまり、領域１１は、結晶化度が高い領域である。なお、領域１１のサイズが、例えば、１ｎｍ以上１０ｎｍ以下、特に１ｎｍ以上３ｎｍ以下であることから、領域１１を微結晶（ｎｃ：ｎａｎｏｃｒｙｓｔａｌ）または微結晶領域と呼ぶ場合がある。

［００５２］

なお、複数の領域１１が連結することで、原子配列に周期性を有する領域のサイズが、１０ｎｍ以上となる場合がある。このとき、領域１１同士の境界が明確に判別できない場合がある。よって、領域のサイズが１０ｎｍ以上である領域１１が観察される場合がある。

［００５３］

図１Ｂに示すように、領域１１の結晶化度は、領域１１の密度、原子配列などの影響により、単結晶よりも低い場合がある。また、領域１３近傍の領域１１の結晶化度は、領域１３の影響を受けて、領域１１の中心部よりも低い場合がある。また、領域１１同士の間隔（領域１１＿１と領域１１＿２の間隔、領域１１＿２と領域１１＿３の間隔、など）は必ずしも一定とは限らない。

［００５４］

なお、図１Ｂでは、領域１１と領域１３との境界、および、領域１３と領域１２との境界を一点鎖線を用いて明確に示しているが、金属酸化物１０中の結晶化度は連続的に変化することから、当該境界を明確に判別できない場合がある。

［００５５］

なお、領域１１が有する単結晶または単結晶に近い結晶は、金属酸化物１０の組成において形成される単結晶または単結晶に近い結晶に限られない。単結晶または単結晶に近い結晶は、金属酸化物１０を構成する元素の一または複数において形成される単結晶または単結晶に近い結晶であってもよい。例えば、金属酸化物１０がＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物である場合、単結晶または単結晶に近い結晶は、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物が形成する単結晶または単結晶に近い結晶、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物が形成する単結晶または単結晶に近い結晶、酸化インジウムの単結晶または単結晶に近い結晶、酸化亜鉛の単結晶または単結晶に近い結晶などである。また、単結晶または単結晶に近い結晶は、領域１１＿１乃至領域１１＿ｎのそれぞれで異なってもよい。

［００５６］

Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物が形成する単結晶または単結晶に近い結晶として、例えば、組成式が$In_{(1+\alpha)}M_{(1-\alpha)}O_3(ZnO)_m$（αは０以上１以下の実数であり、ｍは０以上の実数である。）で表される単結晶または単結晶に近い結晶がある。また、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物の単結晶または単結晶に近い結晶として、例えば、組成式が$In_2O_3(ZnO)_m$（ｍは０以上の実数である。）で表される単結晶または単結晶に近い結晶、ウルツ鉱型結晶を有する酸化亜鉛の金属サイトにインジウムが存在する単結晶または単結晶に近い結晶、ビックスバイト構造を有する酸化インジウムの金属サイトに亜鉛が存在する単結晶または単結晶に近い結晶などがある。

［００５７］

また、領域１１＿１乃至領域１１＿ｎそれぞれの組成は、異なってもよい。また、領域１１を構成する元素の組成は、金属酸化物１０における組成と一致しなくてもよく、領域１１、領域１２、および領域１３を合わせたときの組成が、金属酸化物１０における組成と一致すればよい。

［００５８］

また、異なる領域１１間（例えば、領域１１＿１と領域１１＿２）で結晶方位に規則性が見られなくてもよい。このとき、金属酸化物１０の膜全体で配向性が見られない。なお、一部またはすべての領域１１で、結晶方位に規則性が見られてもよい。

［００５９］

領域１２（領域１２＿１乃至領域１２＿ｐ（ｐは１以上の整数である。）の一または複数）は、非晶質領域、または完全な非晶質（ｃｏｍｐｌｅｔｅｌｙ　ａｍｏｒｐｈｏｕｓ）領域である。つまり、領域１２は、結晶化度が低い領域である。

［００６０］

領域１２は、領域１１および領域１３を覆うように存在する。よって、例えば、領域１３＿１、領域１１＿１、および領域１３＿２を覆うように存在する領域１２＿１と領域１２＿２とは、連続した領域を有する場合がある。または、領域１２＿１と領域１２＿２とは、１つの領域とみなすことができる場合がある。領域１２＿１および領域１２＿２以外の領域１２（図１Ｂに示す領域１２＿３など）においても同様のことが言える。

［００６１］

なお、領域１２の幅（広がり）は必ずしも同じとは限らない。領域１２の幅（広がり）は、金属

酸化物１０となる金属酸化膜をスパッタリング法によって成膜する際の成膜条件、当該金属酸化膜を成膜した後の工程などに依存する。

［００６２］

領域１３（領域１３＿１乃至領域１３＿ｑ（ｑは２以上の整数である。）の一または複数）は、領域１１よりも結晶化度が低く、領域１２よりも結晶化度が高い領域である。なお、領域１３は、領域１１よりも結晶化度が低いことから、本明細書では、領域１３を、低秩序領域と呼ぶ場合がある。また、領域１３は、領域１１と領域１２との間に存在することから、本明細書では、領域１３を、遷移領域または中間領域と呼ぶ場合がある。

［００６３］

領域１３は、領域１１の少なくとも一部を覆うように存在する。よって、例えば、領域１１＿１を覆うように存在する領域１３＿１と領域１３＿２とは、連続した領域を有する場合がある。または、領域１３＿１と領域１３＿２とは、１つの領域とみなすことができる場合がある。領域１３＿１および領域１３＿２以外の領域１３（図１Ｂに示す領域１３＿３乃至領域１３＿５など）においても同様のことが言える。

［００６４］

なお、領域１３の幅（広がり）は必ずしも同じとは限らない。領域１３の幅（広がり）は、金属酸化物１０となる金属酸化膜をスパッタリング法によって成膜する際の成膜条件、当該金属酸化膜を成膜した後の工程などに依存する。

［００６５］

領域１３が存在することで、領域１１と領域１２との間に生じる原子配列の乱れが低減され、領域１１と領域１２との間の結晶化度の不連続性が緩和される。よって、領域１１の界面、および領域１１側の領域１２に欠陥準位が形成されるのを抑制し、キャリアトラップやキャリア発生源を低減することができる。したがって、金属酸化物１０をトランジスタに用いることで、電気特性の変動が抑制され、安定した電気特性を有し、信頼性が良好なトランジスタを提供することができる。

［００６６］

また、領域１１と領域１２との間において、結晶化度の不連続性が緩和されることで、金属酸化物１０は、明確な結晶粒界を確認することが難しい。つまり、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。よって、金属酸化物１０の電子移動度が保持されることで、金属酸化物１０を用いたトランジスタのオン電流は大きく、当該トランジスタの電気特性を向上させることができる。

［００６７］

なお、上記では、領域１１が、単結晶または単結晶に近い結晶を有する領域であり、領域１２が、非晶質領域、または完全な非晶質（ｃｏｍｐｌｅｔｅｌｙ　ａｍｏｒｐｈｏｕｓ）領域である例を示したが、これに限られない。例えば、領域１１は、短距離秩序および長距離秩序を有する領域であり、領域１２は、短距離秩序を有するが、長距離秩序を有さない領域であり、領域１３は、短距離秩序を有し、長距離における秩序性が領域１１よりも低く、領域１２よりも高い領域であってもよい。また、例えば、領域１１は、最近接（第１近接）原子間距離および第２近接原子間距離に秩序性を有し、かつ長距離秩序を有する領域であり、領域１２は、最近接原子間距離に秩序性を有するが、第２近接原子間距離に秩序性を有さず、長距離秩序を有さない領域であり、領域１３は、最近接原子間距離および第２近接原子間距離に秩序性を有するが、長距離秩序性を有さない領域であ

ってもよい。なお、上記長距離秩序は、第３近接原子間距離以上１．０ｎｍ以内の範囲、または、第３近接原子間距離以上０．５ｎｍ以内の範囲の秩序性を指す場合がある。

［００６８］

図１Ａに、金属酸化物１０のエネルギーの推移を示す。図１Ａの縦軸は、ある領域におけるエネルギー（Ｅ）である。本実施の形態で示すエネルギーとは、例えば、凝集エネルギーの負（－１倍した凝集エネルギー）である。なお、凝集エネルギーとは、孤立原子のエネルギーから凝集状態のエネルギーを引いた値であり、正の値をとる。

［００６９］

上記のことから、ある領域におけるエネルギーが小さいほど、凝集エネルギーが高いため、当該領域はより安定な状態である。このことを、当該領域はエネルギー的に安定である、ともいう。なお、エネルギー的に安定な領域とは、例えば、熱、光などが与えられても、原子配列などの変化が小さい領域である。一方、ある領域におけるエネルギーが大きいほど、凝集エネルギーが小さいため、当該領域はより不安定な状態である。このことを、当該領域はエネルギー的に不安定である、ともいう。

［００７０］

図１Ａでは、エネルギーの最も低い構造（エネルギー的に最も安定な構造）を、単結晶（ｓｉｎｇｌｅ　ｃｒｙｓｔａｌ）とする。また、エネルギーの最も高い構造（エネルギー的に最も不安定な構造）を、非晶質（ａｍｏｒｈｐｏｕｓ）または完全な非晶質（ｃｏｍｐｌｅｔｅｌｙ　ａｍｏｒｐｈｏｕｓ）とする。なお、図１Ａの縦軸においては、下側ほどエネルギーが低く（エネルギー的に安定であり）、上側ほどエネルギーが高い（エネルギー的に不安定である）。

［００７１］

図１Ａに示すように、原子配列に周期性を有する領域１１は、エネルギー的に安定な領域（エネルギーの低い領域）である。また、原子配列が乱れている領域１２は、エネルギー的に不安定な領域（エネルギーの高い領域）である。また、領域１３は、結晶性が領域１１よりも低く、領域１２よりも高いことから、領域１１よりもエネルギー的に不安定であり、領域１２よりもエネルギー的に安定な領域である。

［００７２］

なお、上記エネルギーを、部分エネルギーとみなしてもよい。本明細書では、部分エネルギーを、１つの原子が凝集状態に寄与するエネルギーとする。部分エネルギーを、例えば、凝集状態のエネルギーから、１つの原子が取り除かれた凝集状態のエネルギーを引いた値とする。このとき、領域１１は、部分エネルギーの値が小さい（負の大きな値となる）。また、領域１２は、部分エネルギーの値が大きい（負の小さな値となる）。また、領域１３は、部分エネルギーの値が領域１１よりも大きく、領域１２よりも小さい。つまり、領域１３の部分エネルギーの値は、領域１１と領域１２の間の値となる。

［００７３］

領域１２は、本来はエネルギー的に極めて不安定であり、領域１２のみを有する金属酸化物は存在できない。しかしながら、領域１２の近傍に領域１１が存在することで、領域１２は、エネルギー的に安定な領域１１の影響を受けて、ΔＥａの分だけエネルギー的に安定となる。よって、金属酸化物１０が領域１１を有することで、金属酸化物１０中に領域１２が存在しうる。したがって、領域１１、領域１２、および領域１３を有する金属酸化物１０は、物性の安定性が高い、といえる。

また、図１Ａに示すように、完全な非晶質（ｃｏｍｐｌｅｔｅｌｙ　ａｍｏｒｐｈｏｕｓ）領域からΔＥａ分だけエネルギー的に安定になることで、領域１２を擬似非晶質（ａ－ｌｉｋｅ：ａｍｏｒｐｈｏｕｓ－ｌｉｋｅ）領域と言い換えることができる。ただし、領域１２と比較して、領域１１および領域１３は、エネルギー的に安定である。よって、領域１１および領域１３が金属酸化物１０を占める割合は、領域１２よりも多い方が好ましい。

［００７４］

上述のように、領域１１は、領域１２を ΔＥａの分だけエネルギー的に安定化させる。つまり、領域１１は、領域１２をエネルギー的に安定化させるためのスタビライザとして機能する。別言すると、領域１１が、ある一定の分散で金属酸化物１０中に存在しないと、領域１２は、室温（Ｒ．Ｔ．）では原理的に存在できないと推測される。または、領域１２のみで構成される金属酸化物を形成することはできないと推測される。

［００７５］

なお、領域１２の幅（広がり）は必ずしも同じとは限らず、領域１３の幅（広がり）は必ずしも同じとは限らないことから、領域１２＿１乃至領域１２＿ｐそれぞれの ΔＥａの値は、異なってもよい。

［００７６］

図１Ａおよび図１Ｂでは、例えば、金属酸化物１０は、領域１１＿１と領域１１＿２との間に、領域１３＿２、領域１２＿２、および領域１３＿３を有する構成を示しているが、これに限られず、例えば、領域１１＿１と領域１１＿２との間に、領域１３＿２または領域１３＿３を有する構成であってもよい。

［００７７］

［ｎｃ膜の安定性］

本項では、微小な結晶領域を有する金属酸化物膜（以下、ｎｃ膜ともいう）の安定性について、第一原理計算の結果を用いて説明する。

［００７８］

なお、ｎｃ膜の安定性を説明するため、２つの計算モデル（計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａ）を用意する。計算モデル１Ａは、結晶領域を有する計算モデルであり、ｎｃ膜を模した計算モデルである。また、計算モデル２Ａは、結晶領域を有さない計算モデルであり、非晶質膜を模した計算モデルである。なお、結晶領域については後述する。

［００７９］

〔計算モデル１Ａの作成方法〕

以下では、計算モデル１Ａの作成方法について説明する。

［００８０］

はじめに、Ｉｎ：Ｇａ：Ｚｎ：Ｏ＝１：１：１：４［原子数比］のＩｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物の結晶構造から、六角柱状の領域（結晶領域と呼ぶ。）を切り出し、当該結晶領域を計算モデルの中心に配置する。なお、当該結晶領域に含まれる原子の数は８７個である。以降では、結晶領域に位置する原子とは、結晶領域に配置される８７個の原子のことを指す。また、結晶領域に位置する原子のいずれか一または複数は、以降に行う計算によって、結晶領域の外周部に移動する場合がある。

［００８１］

次に、上記結晶領域の外周部に、複数のＩｎ原子、複数のＧａ原子、複数のＺｎ原子、および複

数のＯ原子をランダムに配置する。なお、当該外周部に配置する、Ｉｎ原子の数、Ｇａ原子の数、Ｚｎ原子の数、およびＯ原子の数、ならびに、当該外周部のサイズは、上記結晶領域および当該外周部に配置する原子の原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ：Ｏ＝１：１：１：４となり、かつ、計算モデルの密度が６．１ｇ／ｃｍ^{3}となるように、調整している。なお、当該外周部に配置した原子の数は２９１個である。よって、計算モデルに含まれる原子の数は３７８個である。また、当該外周部に配置した原子のいずれか一または複数は、以降に行う計算によって、結晶領域に移動する場合がある。

［００８２］

次に、上記結晶領域に位置する原子の座標を固定して、上記外周部を融解するための計算を行う。具体的には、温度を３５００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を６０００回に設定する。以降では、温度、時間刻み幅、およびステップ数を設定して行う計算を、第一原理分子動力学計算、または量子分子動力学計算と呼ぶ場合がある。

［００８３］

計算には、第一原理計算ソフトウェアＶＡＳＰ（Ｔｈｅ　Ｖｉｅｎｎａ　Ａｂ　ｉｎｉｔｉｏ　ｓｉｍｕｌａｔｉｏｎ　ｐａｃｋａｇｅ）を用いる。上記した条件以外の計算条件を表１に示す。上記外周部を融解するための計算では、計算条件を表１に示す条件１に設定する。

［００８４］

［表１］

	条件1	条件2	条件3
ソフトウェア	VASP		
基底関数	平面波		
汎関数	GGA／PBE		
擬ポテンシャル	PAW		
電子数	中性		
酸素の擬ポテンシャル	O_s	O	O
カットオフエネルギー	280 eV	400 eV	400 eV
k点のグリッド	Γ点のみ	Γ点のみ	2×2×2

［００８５］

電子状態擬ポテンシャルにはＰｒｏｊｅｃｔｏｒ　Ａｕｇｍｅｎｔｅｄ　Ｗａｖｅ（ＰＡＷ）法により生成されたポテンシャルを、汎関数にはＧＧＡ／ＰＢＥ（Ｇｅｎｅｒａｌｉｚｅｄ－Ｇｒａｄｉｅｎｔ－Ａｐｐｒｏｘｉｍａｔｉｏｎ／Ｐｅｒｄｅｗ－Ｂｕｒｋｅ－Ｅｒｎｚｅｒｈｏｆ）を用いる。

［００８６］

なお、本実施の形態で行われる、第一原理分子動力学計算、および後述する、計算モデルの構造を最適化するための計算（最適化計算ともいう。）において、Ｉｎ、Ｇａ、およびＺｎのポテンシャルでは、３ｄ状態または４ｄ状態は、価電子帯として考慮されていない。また、計算モデルの格子ベクトル（軸の長さ、および軸間の角度）は固定されている。つまり、第一原理分子動力学計算は、粒子数（Ｎ）、体積（Ｖ）、温度（Ｔ）が一定の条件（ＮＶＴアンサンブル）で行われる。また、第一原理分子動力学計算では、温度を制御するための手法として、Ｎｏｓｅ－Ｈｏｏｖｅｒ　ｔｈｅｒｍｏｓｔａｔが用いられる。

［００８７］

次に、融解した外周部を温度５００Ｋまで冷却するための計算を行う。なお、冷却速度は、５００Ｋ／ｐｓとする。具体的には、まず、結晶領域に位置する原子の座標を固定し、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を１０００回、その他の計算条件を表１に示す条件１に設定する。そして、上記外周部を融解するための計算で得られる計算モデルに対して、温度を３５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を３０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を２５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を２０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を１５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を１０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。以上により、外周部を冷却するための計算が完了する。

［００８８］

次に、冷却した外周部の構造を緩和するための計算を行う。具体的には、外周部を冷却するための計算で得られる計算モデルに対して、結晶領域に位置する原子の座標を固定し、温度を３００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を５０００回、その他の計算条件を表１に示す条件１に設定し、第一原理分子動力学計算を行う。

［００８９］

次に、計算条件を表１に示す条件２に設定し、外周部の構造を緩和するための計算で得られる計算モデルに対して、結晶領域に位置する原子の座標を固定し、外周部の構造を最適化するための計算を行う。その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して、外周部に位置する原子の座標と、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標とを固定して、結晶領域の構造を最適化するための計算を行う。その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して、当該Ｉｎ原子のみ座標を固定して、計算モデル全体（結晶領域および外周部）の構造を最適化するための計算を行う。その後、計算条件を表１に示す条件３に設定し、当該計算後に得られる計算モデルに対して、当該Ｉｎ原子のみ座標を固定して、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。

［００９０］

以上の方法により、計算モデル１Ａを作成する。作成した計算モデル１Ａを図２Ａ乃至図２Ｄに示す。図２Ａおよび図２Ｃは、計算モデル１Ａの全体像を示す図である。また、図２Ｂおよび図２Ｄは、計算モデル１Ａの結晶領域を示す図である。また、図２Ａおよび図２Ｂはそれぞれ、計算モデル１Ａの全体像および計算モデル１Ａの結晶領域を、六角柱状の領域の側面から見た図である。また、図２Ｃおよび図２Ｄはそれぞれ、計算モデル１Ａの全体像および計算モデル１Ａの結晶領域を、六角柱状の領域の上面から見た図である。

［００９１］

〔計算モデル２Ａの作成方法〕

以下では、計算モデル２Ａの作成方法について説明する。なお、計算モデル２Ａを作成するための計算は、表１に示す計算条件を用いる。

［００９２］

はじめに、計算モデル１Ａの結晶領域および外周部を融解するための計算を行う。具体的には、計算モデル１Ａを用意し、全原子の座標を固定せずに、温度を３５００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、

ステップ数を６０００回、その他の計算条件を表１に示す条件１に設定して、第一原理分子動力学計算を行う。

［００９３］

次に、融解した計算モデル全体を温度５００Ｋまで冷却するための計算を行う。なお、冷却速度は、５００Ｋ／ｐｓとする。具体的には、まず、全原子の座標を固定せずに、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を１０００回、その他の計算条件を表１に示す条件１に設定する。そして、結晶領域および外周部を融解するための計算で得られる計算モデルに対して、温度を３５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を３０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を２５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を２０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を１５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を１０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。次に、当該計算後に得られる計算モデルに対して、温度を５００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算を行う。以上により、計算モデル全体を冷却するための計算が完了する。

［００９４］

次に、冷却した計算モデル全体の構造を緩和するための計算を行う。具体的には、計算モデル全体を冷却するための計算で得られる計算モデルに対して、全原子の座標を固定せずに、温度を３００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を５０００回、その他の計算条件を表１に示す条件１に設定し、第一原理分子動力学計算を行う。

［００９５］

次に、計算条件を表１に示す条件２に設定し、計算モデル全体を緩和するための計算で得られる計算モデルに対して、全原子の座標を固定せずに、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。その後、計算条件を表１に示す条件３に設定し、当該計算後に得られる計算モデルに対して、全原子の座標を固定せずに、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。

［００９６］

以上の方法で、計算モデル２Ａを作成する。計算モデル２Ａの全体像を、図２Ｅに示す。

［００９７］

計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａのそれぞれに対して、全エネルギーを算出し、比較する。具体的には、計算条件を表１に示す条件３に設定して、計算モデル１Ａに対しては、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子のみ座標を固定して１点計算を行い、計算モデル２Ａに対しては、全原子の座標を固定せずに１点計算を行う。当該計算で算出される全エネルギーを比較する。

［００９８］

上記計算の結果、計算モデル１Ａの全エネルギーの値は、計算モデル２Ａの全エネルギーの値よりも小さく、具体的には、６．８３ｅＶ小さい。したがって、結晶領域を有する計算モデル１Ａは、結晶領域を有さない計算モデル２Ａよりも安定であることが分かる。すなわち、ｎｃ膜は、結晶領域を有することで、安定化していることが示唆される。

［００９９］

次に、計算モデル１Ａと比較するための、計算モデル３Ａを用意する。なお、計算モデル３Ａの構造は、単結晶構造である。

［０１００］

はじめに、ＩｎＧａＺｎＯ$_4$の単結晶構造（空間群は、Ｒ－３ｍである。）を有し、原子数比がＩｎ：Ｇａ：Ｚｎ：Ｏ＝１：１：１：４であり、密度が６．３６ｇ／ｃｍ^{3}であり、１１２原子を含む計算モデルを用意する。次に、ｋ点のグリッドを２×２×３に設定し、その他の計算条件を表１に示す条件３に設定し、当該計算モデルの原子の座標を最適化するための計算を行う。以上により、計算モデル３Ａを作成する。

［０１０１］

上記方法で作成した計算モデル３Ａに対して、全エネルギーを算出する。具体的には、ｋ点のグリッドを２×２×３に設定し、その他の計算条件を表１に示す条件３に設定して、１点計算を行う。当該計算で算出される全エネルギーを３．３７５（＝３７８／１１２）倍した値を、単結晶構造の計算モデルの全エネルギーの値とする。

［０１０２］

上記計算の結果、単結晶構造の計算モデルの全エネルギーの値は、計算モデル１Ａの全エネルギーの値よりも小さく、具体的には、５４．８８ｅＶ小さい。つまり、膜中の結晶性が向上することで、膜は、エネルギー的に安定になることがわかる。

［０１０３］

以上より、計算モデル１Ａは、計算モデル３Ａよりもエネルギーは高いものの、計算モデル２Ａよりも安定であることが分かる。よって、結晶領域の存在が、ｎｃ膜の安定化に寄与していることが示唆される。

［０１０４］

以上が、ｎｃ膜の安定性についての説明である。

［０１０５］

［ｎｃ膜の熱安定性］

本項では、ｎｃ膜の熱安定性について、第一原理計算の結果を用いて説明する。なお、ｎｃ膜の熱安定性は、内部エネルギーを用いて評価する。

［０１０６］

ここで、内部エネルギーについて説明する。本明細書では、内部エネルギーＵを、下式を用いて算出する。

［０１０７］

［数１］

$$U=\sum_I \frac{1}{2}M_I {v_I}^2+\sum_I\sum_{J>I}\frac{Z_I Z_J}{r_{IJ}}+\langle\Psi|\sum_i\left(-\frac{\hbar^2}{2m}{\nabla_i}^2\right)+\sum_i\sum_{j>i}\frac{e^2}{r_{ij}}|\Psi\rangle+\langle\Psi|\sum_i\sum_I\frac{eZ_I}{r_{iI}}|\Psi\rangle$$

［０１０８］

ここで、M_IはＩ番目（Ｉは自然数である。）の原子核の質量であり、ｍは電子の質量である。また、v_IはＩ番目の原子核の速度である。つまり、上式の右辺の第１項は、原子核の運動エネルギーを表し、上式の右辺の第３項は、電子の運動エネルギーを表す。

［０１０９］

また、Z_IはＩ番目の原子核の電荷であり、ｅは電子の電荷である。また、r_{IJ}は、Ｉ番目の原子核とＪ番目（Ｊは、Ｉよりも大きい整数である。）の原子核との距離であり、r_{ij}は、ｉ番目

（ｉは自然数である。）の電子とｊ番目（ｊは、ｉよりも大きい整数である。）の電子との距離である。つまり、上式の右辺の第２項は、原子核と原子核の相互作用に関するポテンシャルエネルギーであり、上式の右辺の第４項は、電子と電子の相互作用に関するポテンシャルエネルギーであり、上式の右辺の第５項は、原子核と電子の相互作用に関するポテンシャルエネルギーである。

［０１１０］

以上より、内部エネルギーＵは、運動エネルギーとポテンシャルエネルギーとの和として算出される。

［０１１１］

なお、平衡状態における相の安定性などは、ヘルムホルツの自由エネルギーＦによって記述される。ここで、ヘルムホルツの自由エネルギーＦは、内部エネルギーＵから、温度Ｔとエントロピーの積を引いた値（Ｆ＝Ｕ－ＴＳ）である。しかしながら、エントロピーＳの評価は困難なため、本明細書では、内部エネルギーＵを用いて、熱力学的な相安定性について検証を行う。

［０１１２］

以上が、内部エネルギーの説明である。次に、ｎｃ膜の熱安定性を評価するための、具体的な方法を説明する。

［０１１３］

上述の計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａのそれぞれに対して、温度を３００Ｋ、６７３Ｋ、１０００Ｋ、１５００Ｋ、または２０００Ｋに設定して、第一原理分子動力学計算を行う。なお、計算モデル１Ａを用いる場合、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標を固定して当該第一原理分子動力学計算を行う。また、計算モデル２Ａを用いる場合、全原子の座標を固定せずに当該第一原理分子動力学計算を行う。また、当該第一原理分子動力学計算では、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を１００００回、その他の計算条件を、表１に示す条件２に設定する。

［０１１４］

ここで、温度を３００Ｋ、６７３Ｋ、１０００Ｋ、１５００Ｋ、または２０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算が行われる計算モデル１Ａを、それぞれ、計算モデル１Ｂ、計算モデル１Ｃ、計算モデル１Ｄ、計算モデル１Ｅ、または計算モデル１Ｆとする。また、温度を３００Ｋ、６７３Ｋ、１０００Ｋ、１５００Ｋ、または２０００Ｋに設定して第一原理分子動力学計算が行われる計算モデル２Ａを、それぞれ、計算モデル２Ｂ、計算モデル２Ｃ、計算モデル２Ｄ、計算モデル２Ｅ、または計算モデル２Ｆとする。

［０１１５］

次に、計算モデル１Ｂ乃至計算モデル１Ｆ、ならびに計算モデル２Ｂ乃至計算モデル２Ｆそれぞれの、内部エネルギーを算出する。具体的には、各計算モデルに対して、ステップが９００１回から１００００回までの内部エネルギーの平均値を算出する。なお、計算モデル１Ｂの内部エネルギーの平均値を基準（０．０ｅＶ）としたときの、内部エネルギーの平均値を、平均エネルギーと呼ぶ。

［０１１６］

温度と、上記方法で算出された平均エネルギーの関係を図３Ａに示す。図３Ａでは、横軸は温度［Ｋ］であり、縦軸は平均エネルギー［ｅＶ］である。また、図３Ａの黒菱形で示すスポットは、計算モデル１Ａを用いた場合の、平均エネルギーのプロットであり、計算モデル１Ｂ乃至計算モデル１Ｆの平均エネルギーのプロットである。また、白四角のプロットは、計算モデル２Ａを用いた

場合の、平均エネルギーのプロットであり、計算モデル２Ｂ乃至計算モデル２Ｆの平均エネルギーのプロットである。

［０１１７］

次に、上記第一原理分子動力学計算が行われた後の計算モデル１Ｂ乃至計算モデル１Ｆのそれぞれに対して、計算条件を表１に示す条件２に設定して、計算モデルの構造を最適化するための計算を行う。なお、当該最適化計算を、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標を固定して行う。その後、当該最適化計算が行われた後の計算モデル１Ｂ乃至計算モデル１Ｆのそれぞれに対して、計算条件を表１に示す条件３に設定して、計算モデルの構造を最適化するための計算を行う。

［０１１８］

上記最適化計算が行われた後の計算モデル１Ｂ乃至計算モデル１Ｆの一部を、それぞれ図４Ａ乃至図４Ｅに示す。なお、図４Ａ乃至図４Ｅでは、計算モデルのうち、結晶領域の外周部に原子を配置する前に結晶領域へ配置された８７個の原子の配列を示す。図４Ａは、温度が３００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｂ）であり、図４Ｂは、温度が６７３Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｃ）であり、図４Ｃは、温度が１０００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｄ）であり、図４Ｄは、温度が１５００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｅ）であり、図４Ｅは、温度が２０００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｆ）である。

［０１１９］

図４Ａ乃至図４Ｅより、温度が１５００Ｋ以下に設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｂ乃至計算モデル１Ｅ）では、結晶領域の格子配列が保たれている。また、温度が２０００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｆ）では、結晶構造が壊れている。また、図４Ｄより、温度が１５００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｅ）では、結晶領域の格子配列は保たれているものの、温度が１０００Ｋに設定された第一原理分子動力学計算、および最適化計算を行うことで得られる計算モデル（計算モデル１Ｄ）と比較すると原子配列の乱れが大きく、結晶構造が崩れ始める兆候が見えている。

［０１２０］

ここで、計算モデル１Ａの平均エネルギーと、計算モデル２Ａの平均エネルギーとの差を、各温度で算出し、計算モデル１Ａと計算モデル２Ａの熱安定性を比較する。つまり、計算モデル１Ｂの平均エネルギーと計算モデル２Ｂの平均エネルギーとの差、計算モデル１Ｃの平均エネルギーと計算モデル２Ｃの平均エネルギーとの差、計算モデル１Ｄの平均エネルギーと計算モデル２Ｄの平均エネルギーとの差、計算モデル１Ｅの平均エネルギーと計算モデル２Ｅの平均エネルギーとの差、および、計算モデル１Ｆの平均エネルギーと計算モデル２Ｆの平均エネルギーとの差を算出する。なお、温度と、計算モデル１Ａおよび計算モデル２Ａの平均エネルギーの関係は、図３Ａに示すとおりである。

［０１２１］

温度と、計算モデル１Ａの平均エネルギーから、計算モデル２Ａの平均エネルギーを引いた値（平均エネルギーの差ともいう。）との関係を図３Ｂに示す。図３Ｂでは、横軸は温度［Ｋ］であり、縦軸は平均エネルギーの差［ｅＶ］である。

［０１２２］

図３Ｂより、温度が２０００Ｋに設定された場合、平均エネルギーの差はゼロに近く、計算モデル１Ａを用いた場合の平均エネルギーと、計算モデル２Ａを用いた場合の平均エネルギーとはほぼ等しいことがわかる。一方、温度が１５００Ｋ以下に設定された場合、いずれの温度でも、平均エネルギーの差は負の値であり、計算モデル１Ａを用いた場合の平均エネルギーは、計算モデル２Ａを用いた場合の平均エネルギーよりも、小さいことがわかる。つまり、結晶領域の格子配列が保たれる温度では、結晶領域を有する計算モデルは、結晶領域を有さない計算モデルよりも熱に対して安定であると推定される。したがって、高温域を除き、結晶領域が存在することで、膜の熱安定性が向上することが示唆される。

［０１２３］

以上が、ｎｃ膜の熱安定性についての説明である。

［０１２４］

［ｎｃ膜における欠陥の生成しやすさ］

本項では、ｎｃ膜における欠陥の生成しやすさについて、第一原理計算の結果を用いて説明する。具体的には、酸素欠損（以下、V_Oと呼ぶ場合がある）、および酸素欠損に水素が入った欠陥（以下、V_OHまたはH_Oと呼ぶ場合がある。）の生成エネルギーを、第一原理計算より算出する。

［０１２５］

酸化物半導体を用いたトランジスタは、酸化物半導体中のチャネル形成領域に酸素欠損が存在すると、トランジスタの電気特性が変動しやすく、信頼性が悪くなる場合がある。また、酸素欠損近傍の水素が、H_Oを形成する場合がある。H_Oは、キャリアとなる電子を生成する場合がある。このため、酸化物半導体中のチャネル形成領域にH_Oが生成されると、トランジスタはノーマリーオン特性（ゲート電極に電圧を印加しなくてもチャネルが存在し、トランジスタに電流が流れる特性）となりやすい。したがって、酸化物半導体中のチャネル形成領域では、水素、および酸素欠損はできる限り低減されていることが好ましい。言い換えると、酸化物半導体中のチャネル形成領域は、キャリア濃度が低減され、ｉ型化（真性化）または実質的にｉ型化されていることが好ましい。

［０１２６］

ここで、欠陥の生成エネルギーについて説明する。本明細書では、欠陥の生成エネルギーを、下式を用いて算出する。欠陥の生成エネルギーが小さいほど、当該欠陥は生成しやすいといえる。

［０１２７］

［数２］

$$E_{\mathrm{form}}(\mathrm{defect}) = E(\mathrm{defect}) - \left\{ E(\mathrm{no\ \ defect}) + \sum_{\mathrm{X}} n_{\mathrm{X}}\mu(\mathrm{X}) \right\}$$

［０１２８］

ここで、E_{form}（ｄｅｆｅｃｔ）は欠陥の生成エネルギーであり、Ｅ（ｄｅｆｅｃｔ）は欠陥を１つ含む計算モデルの全エネルギーであり、Ｅ（ｎｏ　ｄｅｆｅｃｔ）は欠陥を含まない計算モデルの全エネルギーであり、原子Ｘは欠陥を生成することで増減した原子であり、μ（Ｘ）は原子Ｘ

の化学ポテンシャルであり、n_Xは原子Xの増減数である。例えば、欠陥がV_Oである場合、Xは酸素原子（O）であり、n_Oは－１である。また、欠陥がH_Oである場合、Xは酸素原子（O）および水素原子（H）であり、n_Oは－１であり、n_Hは＋１である。

［０１２９］

また、酸素原子の化学ポテンシャルμ（O）および水素原子の化学ポテンシャルμ（H）は、下式を用いて算出する。

［０１３０］

［数３］

$$\mu(O) = E(O_2)/2$$
$$\mu(H) = E(H_2O)/2 - E(O_2)/4$$

［０１３１］

ここで、E（O_2）は、酸素分子（O_2）の全エネルギーであり、E（H_2O）は、水分子（H_2O）の全エネルギーである。

［０１３２］

なお、E（O_2）は、１つのO_2を１nm^3の格子内に配置した計算モデルに対して、計算条件を表１に示す条件２に設定して、O_2の構造を最適化するための計算を行い、当該計算後に得られる計算モデルに対して１点計算を行うことで、算出される。また、E（H_2O）は、１つのH_2Oを１nm^3の格子内に配置した計算モデルに対して、計算条件を表１に示す条件２に設定して、H_2Oの構造を最適化するための計算を行い、当該計算後に得られる計算モデルに対して１点計算を行うことで、算出される。

［０１３３］

以上が、欠陥の生成エネルギーに関する説明である。

［０１３４］

欠陥の生成エネルギーを算出するために、計算モデル４Ａを用意する。以下では、計算モデル４Ａの作成方法について説明する。なお、計算モデル４Ａを作成するための計算は、表１に示す計算条件を用いる。

［０１３５］

はじめに、計算モデル１Ａを用意し、計算モデル１Ａの外周部の構造を緩和するための計算を行う。具体的には、計算モデル１Ａの結晶領域に位置する原子の座標を固定して、温度を１０００Ｋ、時間刻み幅を１ｆｓ、ステップ数を１００００回、その他の計算条件を表１に示す条件２に設定して、第一原理分子動力学計算を行う。

［０１３６］

次に、計算条件を表１に示す条件２に設定したまま、外周部の構造を緩和するための計算で得られる計算モデルに対して、結晶領域に位置する原子の座標を固定して、外周部の構造を最適化するための計算を行う。その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して、外周部に位置する原子の座標と、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標とを固定して、結晶領域の構造を最適化するための計算を行う。その後、当該計算後に得られる計算モデルに対して、結晶領域中心に存在する１つのＩｎ原子の座標を固定して、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。その後、計算条件を表１に示す条件３に設定し、当該計算後に得られる計算モデルに対して、結晶領域

中心に存在する１つのＩｎ原子の座標を固定して、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。

［０１３７］

以上の方法で、計算モデル４Ａを作成する。

［０１３８］

上記方法で作成した計算モデル４Ａを用いて、V_OおよびH_Oの生成エネルギーを算出する。具体的には、計算モデル４Ａ中の１つの酸素原子を取り除くことで、V_Oを１つ含む計算モデルを用意する。また、計算モデル４Ａ中の１つの酸素原子を１つの水素原子に置換することで、H_Oを１つ含む計算モデルを用意する。なお、計算モデル４Ａ中の酸素原子の数は２１６個であるため、V_Oを１つ含む計算モデル、H_Oを１つ含む計算モデルのそれぞれは、２１６個用意される。なお、欠陥を含まない計算モデルは、計算モデル４Ａそのものである。

［０１３９］

V_Oを１つ含む計算モデル、H_Oを１つ含む計算モデル、および欠陥を含まない計算モデルのそれぞれに対して、計算条件を表１に示す条件３に設定して、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う。当該計算後に得られる、V_Oを１つ含む計算モデルの全エネルギー、およびH_Oを１つ含む計算モデルの全エネルギーをＥ（ｄｅｆｅｃｔ）とし、当該計算後に得られる、欠陥を含まない計算モデルの全エネルギーをＥ（ｎｏ　ｄｅｆｅｃｔ）とする。なお、H_Oを１つ含む計算モデルに対して当該計算を行うことで、H_Oが別の欠陥（例えば、酸素欠損および水素、など）に変わる場合がある。

［０１４０］

なお、ここでは説明を容易にするため、結晶領域中の、結晶領域中心に存在するＩｎ原子を中心とし、ＩｎおよびＯを有する層の一部およびその近傍の領域を、結晶のｃｏｒｅ領域、または結晶内部領域と呼ぶ場合がある。また、結晶領域中の、結晶のｃｏｒｅ領域以外領域を、結晶のｓｈｅｌｌ領域、または結晶外部領域と呼ぶ場合がある。なお、結晶のｃｏｒｅ領域に位置する酸素の数は１２個であり、結晶のＳｈｅｌｌ領域に位置する酸素の数は３８個である。

［０１４１］

上記の方法で算出した、Ｅ（ｄｅｆｅｃｔ）およびＥ（ｎｏ　ｄｅｆｅｃｔ）を用いて、欠陥の生成エネルギーを算出する。算出した欠陥（H_O、およびV_O）の生成エネルギーを図５Ａおよび図５Ｂに示す。図５Ａは、H_Oの生成エネルギーであり、図５Ｂは、V_Oの生成エネルギーである。図５Ａ、および図５Ｂでは、縦軸は結晶領域中心に存在するＩｎ原子から、計算モデル全体の構造を最適化するための計算を行う前の計算モデルに配置した欠陥までの距離（Ｄｉｓｔａｎｃｅ）［ｎｍ］であり、縦軸は、欠陥の生成エネルギー（Ｆｏｒｍａｔｉｏｎ　ｅｎｅｒｇｙ）［ｅＶ］である。なお、図５Ａ、および図５Ｂに示す黒四角のプロットは、結晶のｃｏｒｅ領域に位置する欠陥の生成エネルギーであり、図５Ａ、および図５Ｂに示す白四角のプロットは、結晶のｓｈｅｌｌ領域に位置する欠陥の生成エネルギーであり、図５Ａ、図５Ｂに示すバツ印のプロットは、外周部に位置する欠陥の生成エネルギーである。

［０１４２］

図５Ａより、結晶のｃｏｒｅ領域に位置するH_O、結晶のｓｈｅｌｌ領域に位置するH_O、外周部に位置するH_Oの生成エネルギーの平均値は、それぞれ、２．７５ｅＶ、２．５０ｅＶ、２．１５ｅＶとなる。また、結晶のｃｏｒｅ領域と比較して、結晶のｓｈｅｌｌ領域では、H_Oの生成エネ

ルギーのバラツキが大きく、H_Oの生成エネルギーの値が小さいH_Oが存在する。これは、結晶領域においても、結晶領域と外周部との界面に近い領域では、構造が歪んでいるためと推測される。

［０１４３］

また、結晶領域（結晶のｃｏｒｅ領域、および結晶のｓｈｅｌｌ領域）と比較して、外周部では、H_Oの生成エネルギーのバラツキが大きく、H_Oの生成エネルギーの値が小さいH_Oが多いことが分かる。これは、結晶領域と比較して、結晶性の低い外周部の方が結合長の揺らぎが大きく、金属原子との結合力が弱くなっている酸素原子が多いためと推測される。

［０１４４］

図５Ａ、図５Ｂより、結晶のｃｏｒｅ領域、結晶のｓｈｅｌｌ領域、外周部の順に、欠陥の生成エネルギーが低下する傾向がみられる。

［０１４５］

図５Ｂより、外周部において、結晶領域から離れた領域に位置するV_Oほど、V_Oの生成エネルギーの値が低下する傾向がみられる。

［０１４６］

したがって、結晶領域の存在により、結晶度の低い領域においても欠陥生成が抑制させることが示唆される。つまり、構造が安定化する過程で、構造が徐々に変化する中間領域が生成されると推測される。

［０１４７］

以上より、結晶領域は欠陥（V_O、およびH_O）が生成されにくく、結晶性の低い領域（上記外周部）では、欠陥が生成されやすいことが示唆される。したがって、結晶領域が存在することにより、欠陥の生成が抑制される。よって、ｎｃ膜をトランジスタに用いることで、トランジスタの電気特性の変動を抑制することができる。

［０１４８］

以上が、ｎｃ膜における欠陥の生成しやすさについての説明である。

［０１４９］

上述した領域１１のサイズは、領域１１の形状が長方形または平行四辺形である場合、例えば、長方形または平行四辺形の、長辺の長さである。また、領域１１の形状が多角形である場合、領域１１のサイズは、例えば、多角形の対角線のうち、最長である対角線の長さである。また、金属酸化物１０がＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物である場合、領域１１は、層状の結晶構造を有する傾向がある。このとき、領域１１のサイズは、例えば、層の幅（長さ）である。なお、領域１１のサイズは、例えば、透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ：Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ　Ｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｅ）による観察像から測定することができる。

［０１５０］

また、金属酸化物１０は、例えば、ＴＥＭ像では、領域１１同士の境界、即ち結晶粒界（グレインバウンダリー）を明確に確認できない場合がある。

［０１５１］

金属酸化物１０に対し、領域１１よりも大きい径のＸ線を用いるＸＲＤ装置を用いて構造解析を行うと、ｏｕｔ－ｏｆ－ｐｌａｎｅ法による解析では、結晶面を示すピークが検出されない場合がある。

［０１５２］

また、金属酸化物１０に対し、領域１１よりも大きいプローブ径（例えば５０ｎｍ以上）の電子線を用いる電子線回折（制限視野電子線回折ともいう。）を行うと、ハローパターンのような回折パターンが観測される。一方、金属酸化物１０に対し、領域１１のサイズに近い、または、領域１１のサイズより小さいプローブ径（例えば１ｎｍ以上３０ｎｍ以下）の電子線を用いる電子線回折（極微電子線回折ともいう。）を行うと、環状の領域内に複数のスポットが観測される。

［０１５３］

図６に、金属酸化物１０の極微電子線回折により観測される回折パターン（電子線回折パターンともいう。）の概略図を示す。図６に示すように、金属酸化物１０の電子線回折パターンには、試料を透過した入射電子線のスポット（ダイレクトスポット２０）と、ダイレクトスポット２０に近い側にスポット２１と、スポット２１よりも遠い側にスポット２２が観測される。

［０１５４］

スポット２１は、ダイレクトスポットからの動径方向の距離ｒが距離ｒ１及びその近傍に位置する環状の領域３１内に観測される。また、スポット２２は、ダイレクトスポットからの動径方向の距離ｒが距離ｒ２及びその近傍に位置する領域３２内に観測される。領域３２は、領域３１よりも外側に位置する。すなわち距離ｒ２は、距離ｒ１よりも大きい。

［０１５５］

電子線回折パターンでは、領域３１内に複数のスポット２１が観測される。スポット２１は、動径方向の位置（具体的にはダイレクトスポット２０からスポット２１までの距離）に、ばらつきがある。また、ここでは示さないが、スポット２１の検出強度にもばらつきがある。

［０１５６］

また、電子線回折パターンでは、領域３２内に一または複数のスポット２２が観測される。スポット２２は、動径方向のばらつきは、スポット２１に比べて小さい。また、結晶性が低い領域であるため、多くの場合、スポット２２の観測される数は、スポット２１よりも少なくなる。また、検出強度も比較的小さくなる場合がある。

［０１５７］

金属酸化物１０がＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物である場合、領域３１は、例えば、ダイレクトスポットからの動径方向の距離ｒが、２．９ｎｍ$^{-1}$から４．２ｎｍ$^{-1}$の範囲にある領域（距離ｒ１が、３．４ｎｍ$^{-1}$およびその近傍に位置する環状の領域）をさす。また、領域３２は、例えば、ダイレクトスポットからの動径方向の距離ｒが、５．０ｎｍ$^{-1}$から６．７ｎｍ$^{-1}$の範囲にある領域（距離ｒ２が、６．０ｎｍ$^{-1}$およびその近傍に位置する環状の領域）をさす。

［０１５８］

また、金属酸化物１０がＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物である場合、距離ｒ１に対する距離ｒ２の比は、１．２以上２．３以下、好ましくは１．５以上１．８以下である。

［０１５９］

トランジスタは、チャネル形成領域を含む半導体層に、半導体として機能する金属酸化物を用いることが好ましい。金属酸化物は、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、極めて小さいオフ電流が得られるため、好ましい。

［０１６０］

また、半導体として機能する金属酸化物は、バンドギャップが２ｅＶ以上のものを用いることが好ましく、２．５ｅＶ以上のものを用いることがより好ましい。このように、バンドギャップの大

き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。

［０１６１］

チャネル形成領域に金属酸化物を用いたトランジスタは、非導通状態において極めてリーク電流（オフ電流）が小さいため、低消費電力の半導体装置を提供できる。また、金属酸化物は、スパッタリング法などを用いて成膜できるため、高集積型の半導体装置を構成するトランジスタに用いることができる。

［０１６２］

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場合、キャリア濃度が低い、ｉ型化（真性化）または実質的にｉ型化された酸化物半導体を用いることが好ましい。キャリア濃度が低い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、当該トランジスタのオフ電流を小さく抑えることができる、または、当該トランジスタの信頼性を向上させることができる。

［０１６３］

トランジスタのチャネル形成領域に、金属酸化物１０を適用することができる。物性の安定性が高い金属酸化物１０をトランジスタのチャネル形成領域に適用することで、信頼性の高いトランジスタを提供することができる。

［０１６４］

［金属酸化物の構造］

酸化物半導体（金属酸化物）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は、例えば、ＣＡＡＣ－ＯＳ（ｃ－ａｘｉｓ ａｌｉｇｎｅｄ ｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ ｏｘｉｄｅ ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）、多結晶酸化物半導体、ｎｃ－ＯＳ（ｎａｎｏｃｒｙｓｔａｌｌｉｎｅ ｏｘｉｄｅ ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）、擬似非晶質酸化物半導体（ａ－ｌｉｋｅ ＯＳ：ａｍｏｒｐｈｏｕｓ－ｌｉｋｅ ｏｘｉｄｅ ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）、および非晶質酸化物半導体などがある。

［０１６５］

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。

［０１６６］

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、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、明確な結晶粒界を確認することは難しい。すなわち、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である。なお、明確な結晶粒界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。

［０１６７］

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

［０１６８］

ＣＡＡＣ－ＯＳは結晶性の高い金属酸化物である。一方、ＣＡＡＣ－ＯＳは、明確な結晶粒界を確認することが難しいため、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、金属酸化物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）の少ない金属酸化物ともいえる。したがって、ＣＡＡＣ－ＯＳを有する金属酸化物は、物理的性質が安定する。そのため、ＣＡＡＣ－ＯＳを有する金属酸化物は熱に強く、信頼性が高い。

［０１６９］

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。

［０１７０］

なお、インジウムと、ガリウムと、亜鉛と、を有する金属酸化物の一種である、Ｉｎ－Ｇａ－Ｚｎ酸化物（以下、ＩＧＺＯ）は、上述のナノ結晶とすることで安定な構造をとる場合がある。特に、ＩＧＺＯは、大気中では結晶成長がし難い傾向があるため、大きな結晶（ここでは、数ｍｍの結晶、または数ｃｍの結晶）よりも小さな結晶（例えば、上述のナノ結晶）とする方が、構造的に安定となる場合がある。

［０１７１］

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金属酸化物である。ａ－ｌｉｋｅ　ＯＳは、鬆または低密度領域を有する。すなわち、ａ－ｌｉｋｅ　ＯＳは、ｎｃ－ＯＳおよびＣＡＡＣ－ＯＳと比べて、結晶性が低い。

［０１７２］

酸化物半導体（金属酸化物）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。

［０１７３］

また、非単結晶酸化物半導体として、ＣＡＣ（Ｃｌｏｕｄ－Ａｌｉｇｎｅｄ　Ｃｏｍｐｏｓｉｔｅ）－ＯＳを用いてもよい。なお、ＣＡＣ－ＯＳは材料構成に関する。

［０１７４］

［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（またはホール）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に付与することができる。ＣＡＣ－ＯＳ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。

［０１７５］

また、ＣＡＣ－ＯＳ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。

［０１７６］

また、ＣＡＣ－ＯＳ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。

［０１７７］

また、ＣＡＣ－ＯＳ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－ＯＳ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。

［０１７８］

すなわち、ＣＡＣ－ＯＳは、マトリックス複合材（ｍａｔｒｉｘ　ｃｏｍｐｏｓｉｔｅ）、また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。

［０１７９］

また、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７Ａを用いて説明を行う。図７Ａ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。

［０１８０］

図７Ａ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、ｎｃ、及びＣＡＣが含まれる。また、Ｃｒｙｓｔａｌの中には、ｓｉｎｇｌｅ　ｃｒｙｓｔａｌ、及びｐｏｌｙ　ｃｒｙｓｔａｌが含まれる。

［０１８１］

なお、図７Ａに示す太枠内の構造は、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。

［０１８２］

なお、膜または基板の結晶構造は、Ｘ線回折（ＸＲＤ：Ｘ－Ｒａｙ　Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）スペクトル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７Ｂおよび図７Ｃに示す。また、図７Ｂが石英ガラス、図７Ｃが結晶性ＩＧＺＯのＸＲＤスペクトルである。なお、図７Ｃ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７Ｃに示す結晶性ＩＧＺＯの厚さは、５００ｎｍである。

［０１８３］

図７Ｂ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７Ｃ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が左右対称でないと、Ａｍｏｒｐｈｏｕｓであるとは言えない。

［０１８４］

［不純物］

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。

［０１８５］

酸化物半導体に不純物が混入すると、欠陥準位または酸素欠損が形成される場合がある。よって、酸化物半導体のチャネル形成領域に不純物が混入することで、酸化物半導体を用いたトランジスタの電気特性が変動しやすく、信頼性が悪くなる場合がある。また、チャネル形成領域に酸素欠損が含まれていると、トランジスタはノーマリーオン特性（ゲート電極に電圧を印加しなくてもチャネルが存在し、トランジスタに電流が流れる特性）となりやすい。

［０１８６］

金属酸化物を用いたトランジスタは、金属酸化物中の不純物及び酸素欠損によって、その電気特性が変動し、ノーマリーオン特性となりやすい。また、金属酸化物中に、適量値を超えた過剰な酸素を有した状態で、該トランジスタを駆動した場合、過剰な酸素原子の価数が変化し、該トランジスタの電気特性が変動することで、信頼性が悪くなる場合がある。

［０１８７］

したがって、トランジスタには、キャリア濃度の低い金属酸化物をチャネル形成領域に用いることが好ましい。金属酸化物のキャリア濃度を低くする場合においては、金属酸化物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または実質的に高純度真性という。なお、本明細書等においては、チャネル形成領域の金属酸化物のキャリア濃度が$１\times１０^{16}ｃｍ^{-3}$以下の場合を実質的に高純度真性として定義する。

［０１８８］

また、チャネル形成領域の金属酸化物のキャリア濃度は、$１\times１０^{18}ｃｍ^{-3}$以下であることが好ましく、$１\times１０^{17}ｃｍ^{-3}$以下であることがより好ましく、$１\times１０^{16}ｃｍ^{-3}$以下であることがさらに好ましく、$１\times１０^{13}ｃｍ^{-3}$未満であることがさらに好ましく、$１\times１０^{12}ｃｍ^{-3}$未満であることがさらに好ましい。なお、チャネル形成領域の金属酸化物のキャリア濃度の下限値につい

ては、特に限定は無いが、例えば、１×１０$^{-9}$ｃｍ$^{-3}$とすることができる。

［０１８９］

なお、金属酸化物中の不純物としては、例えば、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。特に、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、金属酸化物中に酸素欠損を形成する場合がある。金属酸化物中のチャネル形成領域に酸素欠損が含まれていると、トランジスタはノーマリーオン特性となる場合がある。さらに、金属酸化物中の酸素欠損に水素が入った場合、酸素欠損と水素とが結合しＶ$_{O}$Ｈを形成する場合がある。酸素欠損に水素が入った欠陥（Ｖ$_{O}$Ｈ）はドナーとして機能し、キャリアである電子が生成されることがある。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場合がある。従って、水素が多く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。また、金属酸化物中の水素は、熱、電界などのストレスによって動きやすいため、金属酸化物に多くの水素が含まれると、トランジスタの信頼性が悪化する恐れもある。

［０１９０］

本発明の一態様においては、金属酸化物中のＶ$_{O}$Ｈをできる限り低減し、高純度真性または実質的に高純度真性にすることが好ましい。このように、Ｖ$_{O}$Ｈが十分低減された金属酸化物を得るには、金属酸化物中の水分、水素などの不純物を除去すること（脱水、脱水素化処理と記載する場合がある。）と、金属酸化物に酸素を供給して酸素欠損を補填すること（加酸素化処理と記載する場合がある。）が重要である。Ｖ$_{O}$Ｈなどの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。

［０１９１］

酸素欠損に水素が入った欠陥（Ｖ$_{O}$Ｈ）は、金属酸化物のドナーとして機能しうる。しかしながら、当該欠陥を定量的に評価することは困難である。そこで、金属酸化物においては、ドナー濃度ではなく、キャリア濃度で評価される場合がある。よって、本明細書等では、金属酸化物のパラメータとして、ドナー濃度ではなく、電界が印加されない状態を想定したキャリア濃度を用いる場合がある。つまり、本明細書等に記載の「キャリア濃度」は、「ドナー濃度」と言い換えることができる場合がある。また、本明細書等に記載の「キャリア濃度」は、「キャリア密度」と言い換えることができる。

［０１９２］

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、二次イオン質量分析法（ＳＩＭＳ：Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ Ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）により得られる水素濃度を、１×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}未満、好ましくは１×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}未満、より好ましくは５×１０^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}未満、さらに好ましくは１×１０^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}未満とする。水素などの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。

［０１９３］

また、上記欠陥準位には、トラップ準位が含まれる場合がある。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をチャネル形成領域に有するトランジスタは、電気特性が不安定となる場合がある。

［０１９４］
また、酸化物半導体のチャネル形成領域に不純物が存在すると、チャネル形成領域の結晶性が低くなる場合がある、また、チャネル形成領域に接して設けられる酸化物の結晶性が低くなる場合がある。チャネル形成領域の結晶性が低いと、トランジスタの安定性または信頼性が悪化する傾向がある。また、チャネル形成領域に接して設けられる酸化物の結晶性が低いと、界面準位が形成され、トランジスタの安定性または信頼性が悪化する場合がある。

［０１９５］
したがって、トランジスタの安定性または信頼性を向上させるには、酸化物半導体のチャネル形成領域およびその近傍の不純物濃度を低減することが有効である。不純物としては、水素、窒素、アルカリ金属、アルカリ土類金属、鉄、ニッケル、シリコン等がある。

［０１９６］
具体的には、当該酸化物半導体のチャネル形成領域およびその近傍において、ＳＩＭＳにより得られる上記不純物の濃度を、1×10^{18}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下、好ましくは2×10^{16}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下にする。または、当該酸化物半導体のチャネル形成領域およびその近傍において、ＥＤＸを用いた元素分析により得られる上記不純物の濃度を、１．０ａｔｏｍｉｃ％以下にする。なお、当該酸化物半導体として元素Ｍを含む酸化物を用いる場合、当該酸化物半導体のチャネル形成領域およびその近傍において、元素Ｍに対する上記不純物の濃度比を、０．１０未満、好ましくは０．０５未満にする。ここで、上記濃度比を算出する際に用いる元素Ｍの濃度は、上記不純物の濃度を算出した領域と同じ領域の濃度でもよいし、当該酸化物半導体中の濃度でもよい。

［０１９７］
また、不純物濃度を低減した金属酸化物は、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。

［０１９８］
また、酸化物半導体を用いたトランジスタは、酸化物半導体中のチャネル形成領域に不純物および酸素欠損が存在すると、当該酸化物半導体が低抵抗化する場合がある。また、電気特性が変動しやすく、信頼性が悪くなる場合がある。

［０１９９］
チャネル形成領域に酸化物半導体を用いたトランジスタにおいては、チャネル形成領域に低抵抗領域が形成されると、当該低抵抗領域にトランジスタのソース電極とドレイン電極との間のリーク電流（寄生チャネル）が発生しやすい。また、当該寄生チャネルによって、トランジスタのノーマリーオン化、リーク電流の増大、ストレス印加によるしきい値電圧の変動（シフト）など、トランジスタの特性不良が起こりやすくなる。また、トランジスタの加工精度が低いと、当該寄生チャネルがトランジスタ毎にばらつくことで、トランジスタ特性にばらつきが生じてしまう。

［０２００］
したがって、酸化物半導体のチャネル形成領域およびその近傍において、当該不純物および酸素欠損はできる限り低減されていることが好ましい。

［０２０１］
［金属酸化膜の成膜方法］
以下では、金属酸化物１０となる金属酸化膜の成膜方法について説明する。

［０２０２］

金属酸化物１０となる金属酸化膜は、スパッタリング法を用いて成膜することが好ましい。スパッタリング法で成膜することで、金属酸化膜の膜密度を高められるため、好適である。

［０２０３］

金属酸化膜を成膜する際の温度としては、室温以上１４０℃未満とすることが好ましい。なお、室温とは、温度調節を行わない場合だけでなく、基板を冷却するなど温度調節を行う場合も含むものとする。

［０２０４］

スパッタリングガスは、希ガス（代表的にはアルゴン）もしくは酸素の単体ガス、または、希ガスおよび酸素の混合ガスを適宜用いる。混合ガスを用いる場合、混合ガス全体に占める酸素ガスの割合が、０％より大きく５０％以下、好ましくは５％以上３０％以下、さらに好ましくは７％以上２０％以下とする。スパッタリングガスとして酸素を含むと、金属酸化膜中における酸素欠損を低減し、微結晶領域を含む膜とすることができる。また、金属酸化膜の成膜と同時に、下層の膜に、酸素を添加し、酸素過剰領域を設けることができる。

［０２０５］

また、スパッタリングガスは高純度化することが好ましい。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膜に水分等が取り込まれることを可能な限り防ぐことができる。

［０２０６］

スパッタリング装置におけるチャンバーは、金属酸化膜にとって不純物となる水等を可能な限り除去すべくクライオポンプのような吸着式の真空排気ポンプを用いて高真空（５×１０$^{-7}$Ｐａから１×１０$^{-4}$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て排気系からチャンバー内に気体、特に炭素または水素を含む気体が逆流しないようにしておくことが好ましい。

［０２０７］

また、スパッタリング装置の電源には、ＤＣ電源、ＡＣ電源、またはＲＦ電源を用いればよい。

［０２０８］

また、スパッタリング装置において、ターゲットを回転または移動させても構わない。例えば、金属酸化膜の成膜中にマグネットユニットを上下または／及び左右に揺動させることによって、本発明の金属酸化物を成膜することができる。例えば、ターゲットを、０．１Ｈｚ以上１ｋＨｚ以下のビート（リズム、拍子、パルス、周波、周期、サイクルなどと言い換えてもよい。）で回転または揺動させればよい。または、マグネットユニットを、０．１Ｈｚ以上１ｋＨｚ以下のビートで揺動させればよい。

［０２０９］

スパッタリング用ターゲットとして、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ金属酸化物ターゲット（Ｍは、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、または錫）を用いることができる。なお、スパッタリング用ターゲットとして、複数の結晶粒を有する多結晶酸化物を含むターゲットを用いることが好ましい。

［０２１０］

例えば、スパッタリングガスとして、酸素ガスの割合が１０％程度の、希ガスおよび酸素の混合ガスを用い、基板温度を１３０℃とし、Ｉｎ－Ｇａ－Ｚｎ金属酸化物ターゲットを用いて成膜を行

うことで、金属酸化膜を成膜することができる。

［０２１１］

なお、金属酸化膜は、パルスレーザー堆積（ＰＬＤ：Ｐｕｌｓｅｄ　Ｌａｓｅｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法でも成膜することができる。このとき、上述した方法と同様に、金属酸化物ターゲットを用いて成膜することができる。金属酸化物ターゲットとしては、上記と同様の材料を用いることができる。

［０２１２］

また、液状の材料を用いた液相法により、金属酸化膜を成膜することもできる。例えばスピンコート法や、スプレー法などにより、基板に材料を塗布した後に、加熱処理を行うことにより金属酸化物を成膜することができる。液相法では、加熱処理を行っても膜中に配向性を有する結晶部が形成されにくい特徴がある。

［０２１３］

例えば、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ金属酸化膜を成膜する場合、酸化インジウム、元素Ｍの酸化物、および酸化亜鉛を含むコート剤を基板に塗布した後、例えば３００℃以上、または４００℃以上、または４５０℃以上、且つ基板の耐熱温度以下の温度で加熱処理することにより、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ金属酸化膜を成膜することができる。

［０２１４］

ここで、コート剤としては、Ｉｎ、元素Ｍ、及びＺｎそれぞれの比が、Ｉｎの含有比率が高くなるように混合された材料を用いることができる。組成としては、上述の金属酸化物ターゲットに用いることのできる材料と同様の組成とすればよい。

［０２１５］

なお、金属酸化膜の成膜方法としては、上記に限られない。そのほか、プラズマ化学気相堆積（ＰＥＣＶＤ）法、熱ＣＶＤ（Ｃｈｅｍｉｃａｌ　Ｖａｐｏｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法、原子層堆積（ＡＬＤ：Ａｔｏｍｉｃ　Ｌａｙｅｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法、真空蒸着法などを用いてもよい。熱ＣＶＤ法の例としては、ＭＯＣＶＤ（Ｍｅｔａｌ　Ｏｒｇａｎｉｃ　Ｃｈｅｍｉｃａｌ　Ｖａｐｏｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法等が挙げられる。

［０２１６］

特に、スパッタリング法やパルスレーザー堆積法などの物理堆積法を用いる場合、被形成面を構成する膜等に含まれ、金属酸化膜の結晶化を阻害する元素が金属酸化膜中に拡散する場合がある。その結果、膜厚方向に結晶性の分布を有する金属酸化膜が成膜される場合がある。

［０２１７］

以上が、金属酸化物１０となる金属酸化膜の成膜方法についての説明である。

［０２１８］

以上より、新規の金属酸化物を提供することができる。また、信頼性の高いトランジスタを提供することができる。また、本発明の一態様により、低消費電力の半導体装置を提供することができる。

［０２１９］

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

［０２２０］

（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適用した半導体装置の構成例について説明する。以下では、トランジスタを例に挙げて説明する。

［０２２１］

［構成例１］

〔構成例１－１〕

図８Ａは、トランジスタ３００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。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。なお、図８Ａにおいて、トランジスタ３００の構成要素の一部（ゲート絶縁層等）を省略している。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いる。

［０２２２］

トランジスタ３００は基板３０２上に設けられ、導電層３０４、絶縁層３０６、半導体層３０８、導電層３１２ａ、及び導電層３１２ｂ等を有する。絶縁層３０６は導電層３０４を覆って設けられている。半導体層３０８は島状の形状を有し、絶縁層３０６上に設けられている。導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂは、それぞれ半導体層３０８の上面に接し、且つ、半導体層３０８上で離間して設けられている。また、絶縁層３０６、導電層３１２ａ、導電層３１２ｂ、及び半導体層３０８を覆って絶縁層３１４が設けられ、絶縁層３１４上に絶縁層３１６が設けられている。

［０２２３］

半導体層３０８に、実施の形態１で例示した金属酸化物を適用することができる。

［０２２４］

基板３０２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、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３０２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３０２として用いてもよい。

［０２２５］

また、基板３０２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３０２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３０２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。

［０２２６］

導電層３０４は、ゲート電極として機能する。絶縁層３０６の一部は、ゲート絶縁層として機能する。導電層３１２ａは、ソース電極またはドレイン電極の一方として機能し、導電層３１２ｂは他方として機能する。半導体層３０８の導電層３０４と重畳する領域はチャネル形成領域として機能する。トランジスタ３００は、半導体層３０８よりも被形成面側にゲート電極が設けられた、いわゆるボトムゲート型のトランジスタである。ここで、半導体層３０８の導電層３０４側とは反対側の面をバックチャネル側の面と呼ぶことがある。トランジスタ３００は、半導体層３０８のバックチャネル側と、ソース電極及びドレイン電極との間に保護層を有さない、いわゆるチャネルエッ

チ構造のトランジスタである。

［０２２７］

半導体層３０８は、２層以上の積層構造を有していてもよい。このとき、半導体層３０８を構成する半導体膜は、金属酸化物を含むことが好ましい。半導体層３０８を２層構造とする場合、バックチャネル側に位置する半導体膜は、導電層３０４側に位置する半導体膜よりも結晶性の高い膜であることが好ましい。これにより、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂの加工時に、半導体層３０８の一部がエッチングされ、消失してしまうことを抑制することができる。

［０２２８］

例えば半導体層３０８は、インジウムと、Ｍ（Ｍは、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から選ばれた一種または複数種）と、亜鉛と、を有すると好ましい。特にＭはアルミニウム、ガリウム、イットリウム、またはスズとすることが好ましい。

［０２２９］

特に、半導体層３０８として、インジウム、ガリウム、及び亜鉛を含む酸化物を用いることが好ましい。

［０２３０］

導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂは、それぞれ被形成面側から順に、導電層３１３ａと導電層３１３ｂとが積層された積層構造を有する。

［０２３１］

導電層３１３ｂは、銅、銀、金、またはアルミニウム等を含む、低抵抗な導電性材料を用いることが好ましい。特に、導電層３１３ｂが銅またはアルミニウムを含むことが好ましい。これにより、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂを極めて低抵抗なものとすることができる。

［０２３２］

また、導電層３１３ａは、導電層３１３ｂとは異なる導電性材料を用いることができる。例えば、導電層３１３ａは、チタン、タングステン、モリブデン、クロム、タンタル、亜鉛、インジウム、白金、ルテニウム等を含む導電性材料を用いることが好ましい。

［０２３３］

このように、銅やアルミニウム等を含む導電層３１３ｂと半導体層３０８との間に、導電層３１３ａを設けることにより、導電層３１３ｂに含まれる金属元素が半導体層３０８中に拡散することを防ぐことができ、信頼性の高いトランジスタ３００を実現できる。また、導電層３１３ａは、半導体層３０８中の酸素が導電層３１３ｂに拡散することを防ぐバリア層として機能することが好ましい。

［０２３４］

なお、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂの構成は２層構造に限られず、銅、銀、金、またはアルミニウムを含む導電層を含む３層構造、または４層構造としてもよい。例えば、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂとして、導電層３１３ｂ上に導電層３１３ａと同様の導電性材料を含む導電層を積層した３層構造としてもよい。これにより、導電層３１３ｂの上面の酸化を抑制すること、及び導電層３１３ｂに含まれる金属元素が周囲に飛散することを防ぐことができ、信頼性の高いトランジスタを実現できる。

［０２３５］
導電層３０４は、導電層３１３ａまたは導電層３１３ｂに用いることのできる上述の導電性材料を適宜用いることができる。特に、銅を含む導電性材料を用いることが好ましい。

［０２３６］
半導体層３０８と接する絶縁層３０６及び絶縁層３１４には、酸化物を含む絶縁性材料を用いることが好ましい。また、絶縁層３０６や絶縁層３１４を積層構造とする場合には、半導体層３０８と接する層に、酸化物を含む絶縁性材料を用いる。

［０２３７］
また、絶縁層３０６には窒化シリコンや窒化アルミニウムなどの窒化絶縁膜を用いてもよい。酸化物を含まない絶縁性材料を用いる場合には、絶縁層３０６の上部に酸素を添加する処理を施し、酸素を含む領域を形成することが好ましい。酸素を添加する処理としては、例えば酸素を含む雰囲気下における加熱処理またはプラズマ処理や、イオンドーピング処理などがある。

［０２３８］
絶縁層３１６は、トランジスタ３００を保護する保護層として機能する。絶縁層３１６は、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化アルミニウムなどの無機絶縁材料を用いることができる。特に、絶縁層３１６として、窒化シリコンや酸化アルミニウムなどの酸素を拡散しにくい材料を用いることで、作製工程中にかかる熱などにより半導体層３０８や絶縁層３１４から絶縁層３１６を介して外部に酸素が脱離してしまうことを防ぐことができるため好ましい。

［０２３９］
また、絶縁層３１６として平坦化膜として機能する有機絶縁性材料を用いてもよい。または、絶縁層３１６として無機絶縁材料を含む膜と、有機絶縁材料を含む膜の積層膜を用いてもよい。

［０２４０］
また、半導体層３０８は、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂと接する部分及びその近傍に位置し、ソース領域及びドレイン領域として機能する一対の低抵抗領域が形成されていてもよい。当該領域は、半導体層３０８の一部であり、チャネル形成領域よりも低抵抗な領域である。また低抵抗領域は、キャリア濃度が高い領域、またはｎ型である領域などと言い換えることができる。また半導体層３０８において、一対の低抵抗領域に挟まれ、且つ、導電層３０４と重なる領域が、チャネル形成領域として機能する。

［０２４１］
〔構成例１－２〕
以下では、上記構成例１－１と一部の構成が異なるトランジスタの構成例について説明する。なお、以下では、上記構成例１－１と重複する部分は説明を省略する場合がある。

［０２４２］
図９Ａは、トランジスタ３００Ａのチャネル長方向の断面図であり、図９Ｂは、チャネル幅方向の断面図である。

［０２４３］
トランジスタ３００Ａは、絶縁層３１４上に導電層３２０を有する点で、構成例１－１と主に相違している。

［０２４４］

導電層３２０は、絶縁層３１４を介して半導体層３０８と重畳する領域を有する。

［０２４５］

トランジスタ３００Ａにおいて、導電層３０４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、導電層３２０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、絶縁層３１４の一部は、第２のゲート絶縁層として機能する。

［０２４６］

また、図９Ｂに示すように、導電層３２０は、絶縁層３１４、及び絶縁層３０６に設けられた開口部３４２を介して、導電層３０４と電気的に接続されていてもよい。これにより、導電層３２０と導電層３０４には同じ電位を与えることができ、オン電流の高いトランジスタを実現できる。

［０２４７］

また図９Ｂに示すように、チャネル幅方向において、導電層３０４及び導電層３２０が、半導体層３０８の端部よりも外側に延在していることが好ましい。このとき、図９Ｂに示すように、半導体層３０８のチャネル幅方向の全体が、導電層３０４及び導電層３２０に覆われた構成となる。

［０２４８］

このような構成とすることで、半導体層３０８を一対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３０４と導電層３２０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３０８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３００Ａ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３００Ａを微細化することもできる。

［０２４９］

なお、導電層３０４と導電層３２０とを接続しない構成としてもよい。このとき、一対のゲート電極の一方には定電位を与え、他方にトランジスタ３００Ａを駆動するための信号を与えてもよい。このとき、一方の電極に与える電位により、トランジスタ３００Ａを他方の電極で駆動する際のしきい値電圧を制御することができる。

［０２５０］

または、導電層３２０を導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂのいずれか一方と電気的に接続する構成としてもよい。特に、導電層３１２ａ及び導電層３１２ｂのうち、定電位が供給される導電層（例えばソース電極）と、導電層３２０とを電気的に接続することが好ましい。

［０２５１］

以上が構成例１についての説明である。

［０２５２］

［構成例２］

以下では、上記構成例１とは異なるトランジスタの構成例について説明する。

［０２５３］

〔構成例２－１〕

図１０Ａは、トランジスタ３５０の上面図であり、図１０Ｂは、図１０Ａに示す一点鎖線Ａ３－Ａ４における切断面の断面図に相当し、図１０Ｃは、図１０Ａに示す一点鎖線Ｂ３－Ｂ４における切断面の断面図に相当する。一点鎖線Ａ３－Ａ４方向はチャネル長方向、一点鎖線Ｂ３－Ｂ４方向はチャネル幅方向に相当する。

［０２５４］

トランジスタ３５０は、基板３５２上に設けられ、絶縁層３５３、半導体層３５８、絶縁層３６０、金属酸化物層３６４、導電層３６２、絶縁層３６８等を有する。島状の半導体層３５８は、絶縁層３５３上に設けられる。絶縁層３６０は、絶縁層３５３の上面、半導体層３５８の上面及び側面に接して設けられる。金属酸化物層３６４及び導電層３６２は、絶縁層３６０上にこの順に積層して設けられ、半導体層３５８と重畳する部分を有する。絶縁層３６８は、絶縁層３６０の上面、金属酸化物層３６４の側面、ならびに導電層３６２の上面及び側面を覆って設けられている。

［０２５５］

半導体層３５８に、実施の形態１で例示した金属酸化物を適用することができる。

［０２５６］

また、図１０Ａ、図１０Ｂに示すように、トランジスタ３５０は、絶縁層３６８上に導電層３７０ａ及び導電層３７０ｂを有していてもよい。導電層３７０ａ及び導電層３７０ｂ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３７０ａ及び導電層３７０ｂは、それぞれ絶縁層３６８、及び絶縁層３６０に設けられた開口部３９１ａまたは開口部３９１ｂを介して、低抵抗領域３５８ｎに電気的に接続される。

［０２５７］

導電層３６２の一部は、ゲート電極として機能する。絶縁層３６０の一部は、ゲート絶縁層として機能する。トランジスタ３５０は、半導体層３５８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。

［０２５８］

導電層３６２、及び金属酸化物層３６４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。

［０２５９］

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。

［０２６０］

絶縁層３６０と導電層３６２との間に位置する金属酸化物層３６４は、絶縁層３６０に含まれる酸素が導電層３６２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３６４は、導電層３６２に含まれる水素や水が絶縁層３６０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３６４は、例えば少なくとも絶縁層３６０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。

［０２６１］

金属酸化物層３６４により、導電層３６２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３６０から導電層３６２へ酸素が拡散することを防ぐことができる。また、導電層３６２が水素を含む場合であっても、導電層３６２から絶縁層３６０を介して半導体層３５８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３５８のチャネル形成領域におけるキャリア濃度を極めて低いものとすることができる。

［０２６２］

金属酸化物層３６４としては、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３６４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３６４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。

［０２６３］

金属酸化物層３６４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。

［０２６４］

金属酸化物層３６４として、例えば酸化インジウム、インジウムスズ酸化物（ＩＴＯ）、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。

［０２６５］

また、金属酸化物層３６４として、半導体層３５８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３５８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３６４として、半導体層３５８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。

［０２６６］

また、金属酸化物層３６４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で形成することで、絶縁層３６０や半導体層３５８中に好適に酸素を添加することができる。

［０２６７］

半導体層３５８は、導電層３６２と重畳する領域と、当該領域を挟む一対の低抵抗領域３５８ｎを有する。半導体層３５８の、導電層３６２と重畳する領域は、トランジスタ３５０のチャネル形成領域として機能する。一方、低抵抗領域３５８ｎは、トランジスタ３５０のソース領域またはドレイン領域として機能する。

［０２６８］

また低抵抗領域３５８ｎ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。

［０２６９］

半導体層３５８の低抵抗領域３５８ｎは、不純物元素を含む領域である。当該不純物元素としては、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、希ガスなどが挙げられる。なお、希ガスの代表例としては、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、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以上含んでいてもよい。

［０２７０］

低抵抗領域３５８ｎに不純物を添加する処理は、導電層３６２をマスクとして、絶縁層３６０を介して行うことができる。低抵抗領域３５８ｎに不純物を添加する処理としては、プラズマイオンドーピング法やイオン注入法を好適に用いることができる。

［０２７１］

低抵抗領域３５８ｎは、不純物濃度が、１×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１×１０^{23}ａｔｏ

ｍｓ／ｃｍ^{3}以下、好ましくは５×１０^{19}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、５×１０^{22}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下、より好ましくは１×１０^{20}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以上、１×１０^{22}ａｔｏｍｓ／ｃｍ^{3}以下である領域を含むことが好ましい。

［０２７２］

低抵抗領域３５８ｎに含まれる不純物の濃度は、例えばＳＩＭＳや、Ｘ線光電子分光法（ＸＰＳ：Ｘ－ｒａｙ　Ｐｈｏｔｏｅｌｅｃｔｒｏｎ　Ｓｐｅｃｔｒｏｓｃｏｐｙ）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。

［０２７３］

また、低抵抗領域３５８ｎ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、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３５８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３５８中の酸素を奪うことで、低抵抗領域３５８ｎ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３５８ｎは極めて低抵抗な状態となる。

［０２７４］

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３５８ｎ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、または測定下限の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。

［０２７５］

絶縁層３６０は、半導体層３５８のチャネル形成領域と接する領域、すなわち導電層３６２と重畳する領域を有する。また、絶縁層３６０は、半導体層３５８の低抵抗領域３５８ｎと接し、且つ導電層３６２と重畳しない領域を有する。

［０２７６］

絶縁層３６０の、低抵抗領域３５８ｎ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３５８ｎと同様に、絶縁層３６０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３６０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３６０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３６０から低抵抗領域３５８ｎ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３６０の一部は、酸素が拡散しにくい状態となるため、絶縁層３６０よりも上側から当該絶縁層３６０を介して低抵抗領域３５８ｎに酸素が供給されることで、高抵抗化することも防ぐことができる。

［０２７７］

絶縁層３６８は、トランジスタ３５０を保護する保護層として機能する。絶縁層３６８としては、

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は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化アルミニウム、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。

［０２７８］

〔構成例２－２〕

図１１Ａは、トランジスタ３５０Ａの上面図であり、図１１Ｂは、トランジスタ３５０Ａのチャネル長方向の断面図であり、図１１Ｃは、トランジスタ３５０Ａのチャネル幅方向の断面図である。

［０２７９］

トランジスタ３５０Ａは、構成例２－１で例示したトランジスタ３５０と比較して、絶縁層３６０の構成が異なる点、及び絶縁層３６６を有する点で、主に相違している。

［０２８０］

絶縁層３６０は、導電層３６２及び金属酸化物層３６４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３６０は、例えば導電層３６２及び金属酸化物層３６４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。

［０２８１］

絶縁層３６６は、半導体層３５８の導電層３６２、金属酸化物層３６４、及び絶縁層３６０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３６６は、絶縁層３５３の上面、絶縁層３６０の側面、金属酸化物層３６４の側面、ならびに導電層３６２の上面及び側面を覆って設けられている。

［０２８２］

絶縁層３６６は、低抵抗領域３５８ｎを低抵抗化させる機能を有する。このような絶縁層３６６としては、絶縁層３６６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３５８ｎ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３６６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３５８ｎ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。

［０２８３］

例えば、絶縁層３６６として、低抵抗領域３５８ｎ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３６６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３６６を半導体層３５８に接して形成することで、低抵抗領域３５８ｎに水素などの不純物を供給し、低抵抗領域３５８ｎを低抵抗化させることができる。

［０２８４］

絶縁層３６６は、成膜の際に用いる成膜ガスに、水素元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３６６の成膜温度を高めることで、半導体層３５８に効果的に多くの不純物を供給することができる。絶縁層３６６の成膜温度としては、例えば２００℃以上５００℃以下、好ましくは２２０℃以上４５０℃以下、より好ましくは２５０℃以上４００℃以下とすることができる。

［０２８５］

また、絶縁層３６６の成膜を減圧下で、且つ加熱して行うことで、半導体層３５８中の低抵抗領域３５８ｎとなる領域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

３５８に、水素などの不純物を供給することで、低抵抗領域３５８ｎ中のキャリア濃度が高まり、より効果的に低抵抗領域３５８ｎを低抵抗化させることができる。

［０２８６］

絶縁層３６６としては、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。

［０２８７］

また、絶縁層３６６は、半導体層３５８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３６６には、金属窒化物を用いることが特に好ましい。

［０２８８］

また、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。

［０２８９］

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５ｎｍ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、５００ｎｍ以下、好ましくは２００ｎｍ以下、より好ましくは５０ｎｍ以下とすることが好ましい。

［０２９０］

絶縁層３６６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３５０Ａ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。

［０２９１］

このような絶縁層３６６を低抵抗領域３５８ｎに接して設けることで、絶縁層３６６が低抵抗領域３５８ｎ中の酸素を吸引し、低抵抗領域３５８ｎ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３６６を形成した後に、加熱処理を行うことで、低抵抗領域３５８ｎ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３６６に金属酸化物を含む膜を用いた場合、絶縁層３６６が半導体層３５８中の酸素を吸引した結果、絶縁層３６６と低抵抗領域３５８ｎとの間に、絶縁層３６６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。

［０２９２］

ここで、半導体層３５８として、インジウムを含む金属酸化物を用いた場合、低抵抗領域３５８ｎの絶縁層３６６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３５８ｎ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、ＸＰＳ等の分析法で観測できる場合がある。

［０２９３］

〔構成例２－３〕

図１２Ａに、トランジスタ３５０Ｂの断面図を示している。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。

［０２９４］

トランジスタ３５０Ｂは、基板３５２と絶縁層３５３との間に導電層３５６を有する点で、構成例２－１と主に相違している。導電層３５６は半導体層３５８及び導電層３６２と重なる領域を有する。

［０２９５］

トランジスタ３５０Ｂにおいて、導電層３６２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３５６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３６０の一部は、第２のゲート絶縁層として機能し、絶縁層３５３の一部は、第１のゲート絶縁層として機能する。

［０２９６］

半導体層３５８の、導電層３６２及び導電層３５６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３５８の導電層３６２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３６２と重ならずに、導電層３５６と重なる部分（低抵抗領域３５８ｎを含む部分）にもチャネルが形成しうる。

［０２９７］

また、図１２Ａに示すように、導電層３５６は、金属酸化物層３６４、絶縁層３６０、及び絶縁層３５３に設けられた開口部３９２を介して、導電層３６２と電気的に接続されていてもよい。これにより、導電層３５６と導電層３６２には、同じ電位を与えることができる。

［０２９８］

導電層３５６と、導電層３７０ａ及び導電層３７０ｂのいずれか一方とを、電気的に接続する構成としてもよい。

［０２９９］

導電層３５６は、導電層３６２、導電層３７０ａ、または導電層３７０ｂと同様の材料を用いることができる。特に導電層３５６に銅を含む材料を用いると、配線抵抗を低減できるためこのましい。

［０３００］

図１２Ａでは、絶縁層３５３が、導電層３５６側から、絶縁層３５３ａと、絶縁層３５３ｂとが積層された積層構造を有する場合を示している。このとき、導電層３５６側に位置する絶縁層３５３ａには、導電層３５６に含まれる金属元素を拡散しにくい絶縁膜を用いることが好ましい。例えば窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、酸化ハフニウム膜などの無機絶縁膜を用いることが好ましい。また、半導体層３５８と接する絶縁層３５３ｂには、酸素を含む絶縁膜を用いることが好ましい。例えば酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜などを用いることが好ま

しい。

［０３０１］

また、図１２Ａに示すように、チャネル幅方向において、導電層３６２及び導電層３５６が、半導体層３５８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１２Ａに示すように、半導体層３５８のチャネル幅方向の全体が、絶縁層３６０と絶縁層３５３を介して、導電層３６２と導電層３５６に覆われた構成となる。

［０３０２］

このような構成とすることで、半導体層３５８を一対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３５６と導電層３６２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３５８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３５０Ｂ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３５０Ｂを微細化することも可能となる。

［０３０３］

なお、導電層３６２と導電層３５６とを接続しない構成としてもよい。このとき、一対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３５０Ｂを駆動するための信号を与えてもよい。このとき、一方の電極に与える電位により、トランジスタ３５０Ｂを他方の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。

［０３０４］

〔構成例２－４〕

図１２Ｂに、トランジスタ３５０Ｃの断面図を示している。図１２Ｂ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。

［０３０５］

トランジスタ３５０Ｃは、構成例２－２で例示したトランジスタ３５０Ａに、構成例２－３で例示した、第１のゲート電極として機能する導電層３５６を設けた場合の例である。

［０３０６］

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。

［０３０７］

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。

［０３０８］

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。

［０３０９］

（実施の形態３）

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を用いて作製できる表示装置の構成例について説明する。

［０３１０］

図１３Ａは、表示装置７００の上面概略図である。表示装置７００は、可撓性を有する基板７６２を有する。基板７６２には、表示部７０２、一対の回路部７６３、回路部７６４、配線７０４、

接続端子７０３ａ、及び接続端子７０３ｂが設けられている。

［０３１１］

回路部７６３及び回路部７６４は、表示部７０２を駆動する機能を有する。回路部７６３は、表示部７０２を挟んで２つ設けられている。回路部７６４は、表示部７０２と配線７０４との間に設けられている。回路部７６３は、例えばゲートドライバとしての機能を有し、回路部７６４は、例えばソースドライバ、またはその一部としての機能を有する。例えば回路部７６４は、バッファ回路、またはデマルチプレクサ回路を含んでいてもよい。

［０３１２］

表示部７０２に設けられる表示素子としては、例えば液晶素子または発光素子など、上述した各種表示素子を適用できる。特に、表示素子として、有機ＥＬ素子を用いることが好ましい。

［０３１３］

基板７６２は、配線７０４、接続端子７０３ａ及び接続端子７０３ｂが設けられる部分が、他の部分よりも突出した上面形状を有する。言い換えると、基板７６２の当該部分の幅が、表示部７０２が設けられる部分の幅よりも小さい形状を有する。

［０３１４］

また基板７６２の突出部は、配線７０４と重なる領域において、湾曲させることができる領域（湾曲部７６１ａ）を有する。また、基板７６２は、表示部７０２が設けられる領域において、湾曲させることができる一対の領域（湾曲部７６１ｂ）を有する。図１３Ａに示すように、基板７６２の一部が突出した形状を有することで、湾曲部７６１ａの湾曲方向と、湾曲部７６１ｂの湾曲方向とは、交差した方向とすることができる。

［０３１５］

接続端子７０３ａはＦＰＣ（Ｆｌｅｘｉｂｌｅ　Ｐｒｉｎｔｅｄ　Ｃｉｒｃｕｉｔ）が接続される端子として機能し、接続端子７０３ｂはＩＣが接続される端子として機能する。

［０３１６］

図１３Ｂ、図１３Ｃには、湾曲部７６１ａと湾曲部７６１ｂにおいて、表示面側とは反対側に基板７６２を湾曲させた場合の、表示装置７００の斜視図を示している。図１３Ｂは、表示面側を含む斜視図であり、図１３Ｃは、表示面側とは反対側を含む斜視図である。また図１３Ｃでは、接続端子７０３ａに接続したＦＰＣ７０６と、接続端子７０３ｂに接続したＩＣ７０７を明示している。

［０３１７］

図１３Ｂに示すように、表示部７０２の両側をそれぞれ湾曲させることにより、電子機器に表示装置７００を組み込む際に、電子機器の両側部に湾曲した表示部を設けることができる。これにより、機能性の高い電子機器を実現できる。

［０３１８］

また、図１３Ｂ、図１３Ｃに示すように、湾曲部７６１ａにより、基板７６２の一部を表示面側とは反対側に折り返すことができる。具体的には、配線７０４が外側になるように、基板７６２の突出部を折り返すことができる。これにより、接続端子７０３ａ、および接続端子７０３ｂを、表示面側とは反対側に配置することができ、さらにはＦＰＣ７０６を表示面側とは反対側に配置することができる。これにより、表示装置７００を電子機器に組み込む際に、非表示部の面積を縮小することが可能となる。

［０３１９］

また、基板７６２には、切欠き部７６５が設けられている。切欠き部７６５は、例えば電子機器が有するカメラのレンズ、光学センサ等の各種センサ、照明装置、意匠などを配置することのできる部分である。表示部７０２の一部が切りかかれることにより、より意匠性の高い電子機器を実現できる。また、これにより、筐体表面に対する画面の占有率を高めることができる。

［０３２０］

［断面構成例］

以下では、表示装置の断面構成例について説明する。

［０３２１］

〔構成例１〕

図１４に、表示装置７００の断面概略図を示す。図１４は、図１３Ａで示した表示装置７００の表示部７０２と、回路部７６３と、湾曲部７６１ａと、接続端子７０３ａと、を含む断面を示している。表示部７０２には、トランジスタ７５０及び容量素子７９０が設けられている。回路部７６３には、トランジスタ７５２が設けられている。

［０３２２］

トランジスタ７５０及びトランジスタ７５２は、チャネルが形成される半導体層に、酸化物半導体を適用したトランジスタである。なお、これに限られず、半導体層に、シリコン（アモルファスシリコン、多結晶シリコン、または単結晶シリコン）や、有機半導体を用いたトランジスタを適用することもできる。

［０３２３］

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を有する。該トランジスタは、オフ電流を著しく小さくできる。そのため、このようなトランジスタが適用された画素は、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ことができる。

［０３２４］

また、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、画素のスイッチングトランジスタと、回路部に使用するドライバ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。

［０３２５］

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る。すなわち、容量素子７９０は、一対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を有する。また、上部電極には、トランジスタ７５０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。

［０３２６］

また、トランジスタ７５０、トランジスタ７５２、及び容量素子７９０上には、平坦化膜として機能する絶縁層７７０が設けられている。

［０３２７］

表示部７０２が有するトランジスタ７５０と、回路部７６３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、上記回路部７６４についても、回路部７６３と同様である。

［０３２８］

なお、トランジスタ７５０及びトランジスタ７５２の構成については、上記実施の形態２を援用できる。

［０３２９］

接続端子７０３ａは、配線７０４の一部を有する。また図１４に示すように、接続端子７０３ａが、複数の導電膜が積層された積層構造を有すると、接続端子７０３ａの導電性や、機械的強度が高まるため好ましい。接続端子７０３ａは、接続層７８０を介してＦＰＣ７０６と電気的に接続されている。接続層７８０としては、例えば異方性導電材料等を用いることができる。

［０３３０］

表示装置７００は、それぞれ支持基板として機能する基板７６２と、基板７４０と、を有する。基板７６２及び基板７４０としては、例えばガラス基板、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。

［０３３１］

トランジスタ７５０、トランジスタ７５２、容量素子７９０等は、絶縁層７４４上に設けられる。基板７６２と絶縁層７４４とは、接着層７４２によって貼り合されている。

［０３３２］

また、表示装置７００は、発光素子７８２、着色層７３６、遮光層７３８等を有する。

［０３３３］

発光素子７８２は、導電層７７２、ＥＬ層７８６、及び導電層７８８を有する。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気的に接続される。導電層７７２は、絶縁層７７０上に設けられ、画素電極として機能する。また導電層７７２の端部を覆って絶縁層７３０が設けられ、絶縁層７３０及び導電層７７２上にＥＬ層７８６と導電層７８８が積層して設けられている。

［０３３４］

導電層７７２には、可視光に対して反射性を有する材料を用いることができる。例えば、アルミニウム、銀等を含む材料を用いることができる。また、導電層７８８には、可視光に対して透光性を有する材料を用いることができる。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。そのため、発光素子７８２は、被形成面とは反対側（基板７４０側）に光を射出する、トップエミッション型の発光素子である。

［０３３５］

ＥＬ層７８６は、有機化合物、量子ドットなどの無機化合物を有する。ＥＬ層７８６は、電流が流れた際に光を呈する発光材料を含む。

［０３３６］

発光材料としては、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。量子ドットに用いることのできる材料としては、コロイド状量子ドット材料、合金型量子ドット材料、コア・シェル型量子ドット材料、コア型量子ドット材料、などが挙げられる。

［０３３７］

遮光層７３８と、着色層７３６は、絶縁層７４６の一方の面に設けられている。着色層７３６は、発光素子７８２と重なる位置に設けられている。また、遮光層７３８は、表示部７０２において、発光素子７８２と重ならない領域に設けられている。また遮光層７３８は、回路部７６３等にも重ねて設けられていてもよい。

［０３３８］

基板７４０は、絶縁層７４６の他方の面に、接着層７４７によって貼り合されている。また、基板７４０と基板７６２とは、封止層７３２によって貼り合されている。

［０３３９］

ここでは、発光素子７８２が有するＥＬ層７８６として、白色の発光を呈する発光材料が適用されている。発光素子７８２が発する白色の発光は、着色層７３６により着色されて外部に射出される。ＥＬ層７８６は、異なる色を呈する画素に亘って設けられる。画素部には、赤色（Ｒ）、緑色（Ｇ）、または青色（Ｂ）のいずれかを透過する着色層７３６が設けられた画素をマトリクス状に配置することで、表示装置７００は、フルカラーの表示を行うことができる。

［０３４０］

また、導電層７８８として、半透過性、半反射性を有する導電膜を用いてもよい。このとき、導電層７７２と導電層７８８との間で微小共振器（マイクロキャビティ）構造を実現し、特定の波長の光を強めて射出する構成とすることができる。またこのとき、導電層７７２と導電層７８８との間に光学距離を調整するための光学調整層を配置し、当該光学調整層の厚さを異なる色の画素間で異ならせることで、それぞれの画素から射出される光の色純度を高める構成としてもよい。

［０３４１］

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、着色層７３６や、上述した光学調整層を設けない構成としてもよい。

［０３４２］

ここで、絶縁層７４４と絶縁層７４６とは、それぞれ透湿性の低いバリア膜として機能する無機絶縁膜を用いることが好ましい。このような絶縁層７４４と絶縁層７４６との間に、発光素子７８２やトランジスタ７５０等が挟持された構成とすることで、これらの劣化が抑制され、信頼性の高い表示装置を実現できる。

［０３４３］

〔構成例２〕

図１５には、図１４とは一部の構成が異なる表示装置７００の断面図を示している。また、図１５では、湾曲部７６１ａにおいて表示装置７００の一部が湾曲し、表示面側とは反対側に折り返された形態を明示している。

［０３４４］

図１５に示す表示装置７００は、図１４で示した接着層７４２と絶縁層７４４との間に、樹脂層

７４３が設けられている。また、基板７４０に換えて、保護層７４９を有する。

［０３４５］

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と基板７６２とは、接着層７４２によって貼りあわされている。樹脂層７４３は、基板７６２よりも薄いことが好ましい。

［０３４６］

保護層７４９は、封止層７３２と貼りあわされている。保護層７４９としては、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７４９として、偏光板（円偏光板を含む）、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。また、保護層７４９は、電子機器の筐体の一部（例えば画面となる部分）を構成する部材を含んでいてもよい。

［０３４７］

また、発光素子７８２が有するＥＬ層７８６は、絶縁層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、着色層７３６を用いずにカラー表示を実現することができる。

［０３４８］

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、導電層７８８側から絶縁層７４１ａ、絶縁層７４１ｂ、及び絶縁層７４１ｃがこの順で積層された積層構造を有している。このとき、絶縁層７４１ａと絶縁層７４１ｃには、水などの不純物に対してバリア性の高い無機絶縁膜を、絶縁層７４１ｂには平坦化膜として機能する有機絶縁膜を、それぞれ用いることが好ましい。また、保護層７４１は、回路部７６３等にも延在して設けられていることが好ましい。

［０３４９］

また、封止層７３２よりも内側において、トランジスタ７５０やトランジスタ７５２等を覆う有機絶縁膜が島状に形成されることが好ましい。言い換えると、当該有機絶縁膜の端部が、封止層７３２の内側、または封止層７３２の端部と重なる領域に位置することが好ましい。図１５では、絶縁層７７０、絶縁層７３０、及び絶縁層７４１ｂが、島状に加工されている例を示している。例えば封止層７３２と重なる部分では、絶縁層７４１ｃ及び絶縁層７４１ａが接して設けられている。このように、トランジスタ７５０やトランジスタ７５２を覆う有機絶縁膜の表面が、封止層７３２よりも外側に露出しない構成とすることで、外部から当該有機絶縁膜を介してトランジスタ７５０やトランジスタ７５２に水や水素が拡散することを好適に防ぐことができる。これにより、トランジスタの電気特性の変動が抑えられ、極めて信頼性の高い表示装置を実現できる。

［０３５０］

また、図１５において、湾曲部７６１ａは、基板７６２、接着層７４２の他、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。また湾曲部７６１ａにおいて、配線７０４が露出することを防ぐために、有機材料を含む絶縁層７７０が配線７０４を覆う構成を有している。図１５に示す構成では、湾曲部７６１ａが、樹脂層７４３、配線７０４、及び絶縁層７７０が積層された積層構造を有している。

［０３５１］

湾曲部７６１ａ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。また湾曲部７６１ａに基板７６２を設けないことで、極めて小さい曲率半径で、表示装置７００の一部を曲げることができる。

［０３５２］

また、接続端子７０３ａと重なる領域において、樹脂層７４３には、接着層７４８を介して支持体７２０が貼り合されている。支持体７２０は、基板７６２等よりも剛性の高い材料を用いることができる。または、支持体７２０は、電子機器の筐体の一部、または電子機器の内部に配置される部材の一部であってもよい。

［０３５３］

また、図１５において、保護層７４１上には導電層７３９が設けられている。導電層７３９は、配線や電極として用いることができる。

［０３５４］

また、導電層７３９は、表示装置７００に重ねてタッチセンサが設けられる場合に、画素を駆動する際の電気的なノイズが、当該タッチセンサに伝わることを防ぐための静電遮蔽膜として機能させることができる。このとき、導電層７３９には所定の定電位が与えられる構成とすればよい。

［０３５５］

または、導電層７３９は、例えばタッチセンサの電極として用いることができる。これにより、表示装置７００をタッチパネルとして機能させることができる。例えば、導電層７３９は、静電容量方式のタッチセンサの電極または配線として用いることができる。このとき、導電層７３９は、検知回路が接続される配線または電極や、センサ信号が入力される配線または電極として用いることができる。このように、発光素子７８２上にタッチセンサを作りこむことで、部品点数を削減でき、電子機器等の製造コストを削減することができる。

［０３５６］

導電層７３９は、発光素子７８２と重ならない部分に設けられることが好ましい。例えば導電層７３９は、絶縁層７３０と重なる位置に設けることができる。これにより、導電層７３９として、比較的導電性の低い透明導電膜を用いる必要がなく、導電性の高い金属や合金などを用いることができるため、センサの感度を高めることができる。

［０３５７］

なお、導電層７３９を用いて構成することのできるタッチセンサの方式としては、静電容量方式に限られず、抵抗膜方式、表面弾性波方式、赤外線方式、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て用いてもよい。

［０３５８］

〔構成例３〕

図１６には、表示素子として液晶素子を用いた場合の、表示装置７００ａの断面概略図を示している。図１６では、回路部７６３、表示部７０２、及び接続端子７０３ａを含む領域の断面図を示している。

［０３５９］

図１６に示す表示装置７００ａは、基板７０１と基板７０５との間に、トランジスタ７２１、トランジスタ７２２、液晶素子７１０等を有する。基板７０１と基板７０５とは、封止層７３２によ

って貼り合されている。

［０３６０］

ここでは、トランジスタ７２１とトランジスタ７２２として、ボトムゲート型のトランジスタを適用した場合について示している。

［０３６１］

液晶素子７１０は、導電層７１１、液晶７１２、及び導電層７１３を有する。導電層７１３は基板７０１上に設けられる。導電層７１３上に一以上の絶縁層が設けられ、当該絶縁層上に、導電層７１１が設けられている。また、液晶７１２は、導電層７１１と基板７０５の間に位置する。導電層７１３は、配線７２３と電気的に接続され、共通電極として機能する。導電層７１１は、トランジスタ７２１と電気的に接続され、画素電極として機能する。配線７２３には、共通電位が与えられる。

［０３６２］

図１６に示す液晶素子７１０は、横電界方式（例えば、ＦＦＳモード）が適用された液晶素子である。導電層７１１は、櫛歯状、またはスリットを有する上面形状を有する。液晶素子７１０は、導電層７１１と導電層７１３との間に生じる電界によって、液晶７１２の配向状態が制御される。

［０３６３］

また、導電層７１１、導電層７１３、及びこれらに挟持された一以上の絶縁層の積層構造により、保持容量として機能する容量素子７９０が形成されている。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。

［０３６４］

導電層７１１及び導電層７１３には、それぞれ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は、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は、例えば、アルミニウム、銀等を含む材料を用いるとよい。

［０３６５］

導電層７１１または導電層７１３のいずれか一方、または両方に反射性の材料を用いると、表示装置７００ａは反射型の液晶表示装置となる。一方、導電層７１１または導電層７１３の両方に透光性の材料を用いると、表示装置７００ａは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、一対の偏光板を設ける。

［０３６６］

図１６では、透過型の液晶表示装置の例を示している。基板７０１よりも外側に、偏光板７５５と、光源７５７が設けられ、基板７０５よりも外側に、偏光板７５６が設けられている。光源７５７は、バックライトとして機能する。

［０３６７］

基板７０５の、基板７０１側の面には、遮光層７３８及び着色層７３６が設けられている。また遮光層７３８及び着色層７３６を覆って、平坦化層として機能する絶縁層７３４が設けられている。絶縁層７３４の基板７０１側の面には、スペーサ７２７が設けられている。

［０３６８］

また、液晶７１２は、導電層７１１を覆う配向膜７２５と、絶縁層７３４を覆う配向膜７２６と

の間に位置している。なお、配向膜７２５及び配向膜７２６は、不要であれば設けなくてもよい。

［０３６９］

また、図１６には図示しないが、基板７０５よりも外側に、位相差フィルム、反射防止フィルムなどの光学部材（光学フィルム）、保護フィルム、防汚フィルム等を適宜設けることができる。反射防止フィルムとしては、ＡＧ（Ａｎｔｉ　Ｇｌｅａｒ）フィルム、ＡＲ（Ａｎｔｉ　Ｒｅｆｌｅｃｔｉｏｎ）フィルムなどがある。

［０３７０］

液晶７１２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。

［０３７１］

また、液晶素子のモードとしては、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。

［０３７２］

また、液晶７１２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、着色層７３６を設けずに白黒表示を行う構成としてもよいし、着色層７３６を用いてカラー表示を行う構成としてもよい。

［０３７３］

また、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、着色層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。

［０３７４］

図１６に示す表示装置７００ａは、画素電極として機能する導電層７１１や、共通電極として機能する導電層７１３の被形成面側に、平坦化層として機能する有機絶縁膜を設けない構成を有する。また、表示装置７００ａが有するトランジスタ７２１等として、作製工程を比較的短くできる、ボトムゲート型のトランジスタが適用されている。また配線７０４、接続端子７０３ａ等は、特別な工程を増やすことなく、トランジスタや液晶素子等の製造工程と共通の工程で作製することができる。このような構成とすることで、製造コストを低減でき、且つ、製造歩留りを高めることができ、信頼性の高い表示装置を安価で提供することが可能となる。

［０３７５］

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。

［０３７６］

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。

［０３７７］

（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１７Ａ乃至図１７Ｃを用いて説明を行う。

［０３７８］

図１７Ａ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。

［０３７９］

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。

［０３８０］

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表示素子を駆動する複数の画素回路５０１を有する。

［０３８１］

駆動回路部５０４は、走査線ＧＬ＿１乃至走査線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乃至データ線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。

［０３８２］

端子部５０７は、外部の回路から表示装置に電源、制御信号、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。

［０３８３］

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１７Ａ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の間の配線である走査線ＧＬ（走査線ＧＬ＿１乃至走査線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（データ線ＤＬ＿１乃至データ線ＤＬ＿Ｙ）等の各種配線に接続される。

［０３８４］

また、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、単結晶半導体膜または多結晶半導体膜で形成された駆動回路基板）をＣＯＧやＴＡＢ（Ｔａｐｅ　Ａｕｔｏｍａｔｅｄ　Ｂｏｎｄｉｎｇ）によって基板に実装する構成としてもよい。

［０３８５］

また、図１７Ａに示す複数の画素回路５０１は、例えば、図１７Ｂ、図１７Ｃに示す構成とすることができる。

［０３８６］
図１７Ｂ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、走査線ＧＬ＿ｍ、電位供給線ＶＬ等が接続されている。
［０３８７］
液晶素子５７０の一対の電極の一方の電位は、画素回路５０１の仕様に応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の一対の電極の一方に共通の電位（コモン電位）を与えてもよい。また、各行の画素回路５０１の液晶素子５７０の一対の電極の一方に異なる電位を与えてもよい。
［０３８８］
また、図１７Ｃに示す画素回路５０１は、トランジスタ５５２と、トランジスタ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、走査線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。
［０３８９］
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。
［０３９０］
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。
［０３９１］
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。
［０３９２］
（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１で例示した金属酸化物を有するトランジスタは、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。
［０３９３］
［回路構成］
図１８Ａ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。
［０３９４］
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。

［０３９５］
回路４０１は、少なくとも一の表示素子を含む回路である。表示素子としては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、液晶素子、またはＭＥＭＳ（Ｍｉｃｒｏ　Ｅｌｅｃｔｒｏ　Ｍｅｃｈａｎｉｃａｌ　Ｓｙｓｔｅｍｓ）素子等を適用することができる。
［０３９６］
トランジスタＭ１と容量Ｃ１とを接続するノードをＮ１、トランジスタＭ２と容量Ｃ１と回路４０１とを接続するノードをＮ２とする。
［０３９７］
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。
［０３９８］
ここで、トランジスタＭ１、トランジスタＭ２のうちの一方または両方に、実施の形態１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。そのため極めて小さいオフ電流により、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。
［０３９９］
［駆動方法例］
続いて、図１８Ｂを用いて、画素回路４００の動作方法の一例を説明する。図１８Ｂ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。
［０４００］
図１８Ｂ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。
［０４０１］
〔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。
［０４０２］
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。
［０４０３］
〔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としてもよい。

［０４０４］

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１８Ｂではｄ Ｖ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。

［０４０５］

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。

［０４０６］

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て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。

［０４０７］

また画素回路４００は、配線Ｓ１及び配線Ｓ２に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では、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では、オーバードライブ駆動等を実現できる。

［０４０８］

［適用例］

〔液晶素子を用いた例〕

図１８Ｃ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。

［０４０９］

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、それぞれ接続する。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。

［０４１０］

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。

［０４１１］

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。

［０４１２］

〔発光素子を用いた例〕

図１８Ｄ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。

［０４１３］
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、それぞれ接続する。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。
［０４１４］
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。
［０４１５］
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。
［０４１６］
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や発光素子ＥＬの電気特性のばらつきの補正を行うこともできる。
［０４１７］
なお、図１８Ｃ、図１８Ｄ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。
［０４１８］
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。
［０４１９］
（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。
［０４２０］
図１９Ａ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。
［０４２１］
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。
［０４２２］
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。
［０４２３］
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。
［０４２４］

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。

［０４２５］

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。バッテリー６０１１による電源であってもよい。

［０４２６］

図１９Ｂ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。

［０４２７］

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対の導光部（導光部６０１７ａ、導光部６０１７ｂ）を有する。

［０４２８］

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。

［０４２９］

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を通って受光部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。

［０４３０］

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。

［０４３１］

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。

［０４３２］

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。

［０４３３］

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。

［０４３４］

（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。

［０４３５］

図２０Ａ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。

［０４３６］

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、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。

［０４３７］

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。

［０４３８］

表示部６５０２は、切欠き部を有し、当該切欠き部に係合するように、カメラ６５０７及び光源６５０８が設けられている。このような構成とすることで、筐体６５０１に対する表示部６５０２の占有面積を大きくできる。

［０４３９］

また、図２０Ｂには、表示部６５０２が開口を有し、開口の内部に、カメラ６５０７と、カメラ６５０７を囲う、環状の光源６５０９が配置されている例を示している。また、表示部６５０２の切欠き部と係合するように、スピーカ６５０５が設けられている。また、表示部６５０２を、被写体を照明する光源として用いてもよい。このような構成とすることで、筐体６５０１に対する表示部６５０２の占有面積をより大きくできる。

［０４４０］

図２０Ｃは、筐体６５０１のマイク６５０６側の端部を含む断面概略図である。

［０４４１］

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。

［０４４２］

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。

［０４４３］

また、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。

［０４４４］

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、極めて軽量な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。

［０４４５］

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。

［０４４６］

（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。

［０４４７］

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。

［０４４８］

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。

［０４４９］

電子機器としては、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。

［０４５０］

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。

［０４５１］

図２１Ａ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。

［０４５２］

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。

［０４５３］

なおカメラ８０００は、レンズ８００６と筐体とが一体となっていてもよい。

［０４５４］

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。

［０４５５］

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。

［０４５６］

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

［０４５７］

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。

［０４５８］

ボタン８１０３は、電源ボタン等としての機能を有する。

［０４５９］

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。

［０４６０］

図２１Ｂ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。

［０４６１］

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８２０３、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。

［０４６２］

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。

［０４６３］

また、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。

［０４６４］

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。

［０４６５］

図２１Ｃ乃至図２１Ｅ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。

［０４６６］

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。

［０４６７］

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２１Ｅ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。

［０４６８］
図２２Ａ乃至図２２Ｇ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。
［０４６９］
図２２Ａ乃至図２２Ｇ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。
［０４７０］
図２２Ａ乃至図２２Ｇに示す電子機器の詳細について、以下説明を行う。
［０４７１］
図２２Ａ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。
［０４７２］
図２２Ｂ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２２Ｂ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の一例としては、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。
［０４７３］
図２２Ｃ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。
［０４７４］
図２２Ｄ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。

［０４７５］

図２２Ｅ乃至図２２Ｇ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２２Ｅは携帯情報端末９２０１を展開した状態、図２２Ｇは折り畳んだ状態、図２２Ｆは図２２Ｅと図２２Ｇ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１ｍｍ以上１５０ｍｍ以下で曲げることができる。

［０４７６］

図２３Ａ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。

［０４７７］

図２３Ａ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。

［０４７８］

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。

［０４７９］

図２３Ｂ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。

［０４８０］

図２３Ｃ、図２３Ｄに、デジタルサイネージ（Ｄｉｇｉｔａｌ　Ｓｉｇｎａｇｅ：電子看板）の一例を示す。

［０４８１］

図２３Ｃ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。

［０４８２］

また、図２３Ｄ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。

［０４８３］

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。

［０４８４］

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。

［０４８５］

また、図２３Ｃ、図２３Ｄ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。

［０４８６］

また、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。

［０４８７］

図２３Ａ乃至図２３Ｄ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。

［０４８８］

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。

［０４８９］

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。

［０４９０］

（実施の形態９）

本実施の形態では、本発明の一態様の金属酸化物を適用した半導体装置の一例について説明する。

［０４９１］

＜半導体装置の構成例＞

図２４Ａ乃至図２４Ｃは、トランジスタ２００を有する半導体装置の上面図および断面図である。図２４Ａは、当該半導体装置の上面図である。また、図２４Ｂおよび図２４Ｃは、当該半導体装置の断面図である。ここで、図２４Ｂは、図２４ＡにＡ１－Ａ２の一点鎖線で示す部位の断面図であり、トランジスタ２００のチャネル長方向の断面図でもある。また、図２４Ｃは、図２４ＡにＡ３－Ａ４の一点鎖線で示す部位の断面図であり、トランジスタ２００のチャネル幅方向の断面図でもある。なお、図２４Ａの上面図では、図の明瞭化のために一部の要素を省いている。

［０４９２］

本発明の一態様の半導体装置は、基板（図示せず）上の絶縁体２１１と、絶縁体２１１上の絶縁体２１２と、絶縁体２１２上の絶縁体２１４と、絶縁体２１４上のトランジスタ２００と、トランジスタ２００上の絶縁体２８０と、絶縁体２８０上の絶縁体２８２と、絶縁体２８２上の絶縁体２８３と、絶縁体２８３上の絶縁体２８４と、を有する。絶縁体２１１、絶縁体２１２、絶縁体２１

４、絶縁体２８０、絶縁体２８２、絶縁体２８３、および絶縁体２８４は層間膜として機能する。また、トランジスタ２００と電気的に接続し、プラグとして機能する、導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂを有する。なお、導電体２４０ａの側面に接して絶縁体２４１ａが設けられ、導電体２４０ｂの側面に接して絶縁体２４１ｂが設けられる。また、絶縁体２８４上、および導電体２４０ａ上には、導電体２４０ａと電気的に接続し、配線として機能する導電体２４６ａが設けられ、絶縁体２８４上、および導電体２４０ｂ上には、導電体２４０ｂと電気的に接続し、配線として機能する導電体２４６ｂが設けられる。また、導電体２４６ａ上、導電体２４６ｂ上、および絶縁体２８４上には、絶縁体２８６が設けられる。

［０４９３］

絶縁体２７２、絶縁体２７３、絶縁体２８０、絶縁体２８２、絶縁体２８３、および絶縁体２８４の開口の内壁に接して絶縁体２４１ａが設けられ、絶縁体２４１ａの側面に接して導電体２４０ａの第１の導電体が設けられ、さらに内側に導電体２４０ａの第２の導電体が設けられている。また、絶縁体２７２、絶縁体２７３、絶縁体２８０、絶縁体２８２、絶縁体２８３、および絶縁体２８４の開口の内壁に接して絶縁体２４１ｂが設けられ、絶縁体２４１ｂの側面に接して導電体２４０ｂの第１の導電体が設けられ、さらに内側に導電体２４０ｂの第２の導電体が設けられている。ここで、導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂの上面の高さと、導電体２４６ａおよび導電体２４６ｂと重なる領域の、絶縁体２８４の上面の高さと、は同程度にできる。なお、トランジスタ２００では、導電体２４０ａの第１の導電体および導電体２４０ａの第２の導電体を積層し、導電体２４０ｂの第１の導電体および導電体２４０ｂの第２の導電体を積層する構成について示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂのそれぞれを単層、または３層以上の積層構造として設ける構成にしてもよい。構造体が積層構造を有する場合、形成順に序数を付与し、区別する場合がある。

［０４９４］

［トランジスタ２００］

図２４Ａ乃至図２４Ｃに示すように、トランジスタ２００は、絶縁体２１４上の絶縁体２１６と、絶縁体２１４および／または絶縁体２１６に埋め込まれるように配置された導電体２０５（導電体２０５ａ、および導電体２０５ｂ）と、絶縁体２１６上、および導電体２０５上の絶縁体２２２と、絶縁体２２２上の絶縁体２２４と、絶縁体２２４上の酸化物２３０ａと、酸化物２３０ａ上の酸化物２３０ｂと、酸化物２３０ｂ上の、酸化物２４３ａ、酸化物２４３ｂ、および酸化物２３０ｃと、酸化物２３０ｃ上の絶縁体２５０と、絶縁体２５０上の導電体２６０（導電体２６０ａ、および導電体２６０ｂ）と、酸化物２４３ａ上の導電体２４２ａと、酸化物２４３ｂ上の導電体２４２ｂと、絶縁体２２４の上面の一部、酸化物２３０ａの側面、酸化物２３０ｂの側面、酸化物２４３ａの側面の一部、酸化物２４３ｂの側面の一部、導電体２４２ａの側面の一部、導電体２４２ａの上面、導電体２４２ｂの側面の一部、および導電体２４２ｂの上面と接する絶縁体２７２と、絶縁体２７２上の絶縁体２７３と、を有する。

［０４９５］

ここで、図２４Ｂおよび図２４Ｃに示すように、酸化物２３０ｃは、導電体２４２ａの側面および導電体２４２ｂの側面と接する。また、導電体２６０の上面は、絶縁体２５０の上面および酸化物２３０ｃの上面と略一致している。また、絶縁体２８２は、導電体２６０、絶縁体２５０、酸化物２３０ｃ、および絶縁体２８０のそれぞれの上面と接する。

［０４９６］
絶縁体２８０、絶縁体２７３、および絶縁体２７２には、酸化物２３０ｂに達する開口が設けられる。当該開口内に、酸化物２３０ｃ、絶縁体２５０、および導電体２６０が配置されている。また、トランジスタ２００のチャネル長方向において、導電体２４２ａおよび導電体２４２ｂの間に導電体２６０、絶縁体２５０、および酸化物２３０ｃが設けられている。絶縁体２５０は、導電体２６０の側面と重なる領域と、導電体２６０の底面と重なる領域と、を有する。また、酸化物２３０ｃは、酸化物２３０ｂと接する領域と、絶縁体２５０を介して導電体２６０の側面と重なる領域と、絶縁体２５０を介して導電体２６０の底面と重なる領域と、を有する。
［０４９７］
酸化物２３０は、絶縁体２２４の上に配置された酸化物２３０ａと、酸化物２３０ａの上に配置された酸化物２３０ｂと、酸化物２３０ｂの上に配置され、少なくとも一部が酸化物２３０ｂに接する酸化物２３０ｃと、を有することが好ましい。酸化物２３０ｂ下に酸化物２３０ａを有することで、酸化物２３０ａよりも下方に形成された構造物から、酸化物２３０ｂへの不純物の拡散を抑制することができる。また、酸化物２３０ｂ上に酸化物２３０ｃを有することで、酸化物２３０ｃよりも上方に形成された構造物から、酸化物２３０ｂへの不純物の拡散を抑制することができる。
［０４９８］
なお、トランジスタ２００では、酸化物２３０が、酸化物２３０ａ、酸化物２３０ｂ、および酸化物２３０ｃの３層を積層する構成について示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、酸化物２３０ｂの単層、酸化物２３０ａと酸化物２３０ｂの２層構造、酸化物２３０ｂと酸化物２３０ｃの２層構造、または４層以上の積層構造を設ける構成にしてもよいし、酸化物２３０ａ、酸化物２３０ｂ、および酸化物２３０ｃのいずれか一または複数が積層構造を有していてもよい。
［０４９９］
酸化物２３０ａ、酸化物２３０ｂ、および酸化物２３０ｃのいずれか一または複数は、チャネル形成領域として機能する。酸化物２３０ａ、酸化物２３０ｂ、および酸化物２３０ｃのいずれか一または複数に、実施の形態１で例示した金属酸化物を適用することができる。
［０５００］
トランジスタ２００では、トランジスタ２００のチャネル長方向の断面視において、酸化物２３０ｂに溝部を設け、当該溝部に、酸化物２３０ｃを埋め込むことが好ましい。このとき、酸化物２３０ｃは、当該溝部の内壁（側壁、および底面）を覆うように配置される。また、酸化物２３０ｃの膜厚は、当該溝部の深さと同程度であることが好ましい。
［０５０１］
上記溝部の深さは、代表的には、０ｎｍより大きく１０ｎｍ以下、好ましくは１ｎｍ以上７ｎｍ以下、さらに好ましくは２ｎｍ以上５ｎｍ以下である。
［０５０２］
また、上記溝部および導電体２６０と重なる領域の、酸化物２３０ｃの厚さ（膜厚）は、代表的には、０．５ｎｍ以上７ｎｍ以下、好ましくは１ｎｍ以上５ｎｍ以下、さらに好ましくは２ｎｍ以上４ｎｍ以下である。
［０５０３］
なお、酸化物２３０ｂに設ける溝部の深さに合わせて、キャリアの主たる経路を、酸化物２３０

ｂとしてもよいし、酸化物２３０ｃとしてもよいし、酸化物２３０ｂと酸化物２３０ｃとの界面およびその近傍としてもよい。

［０５０４］

ここで、酸化物２３０ｂの伝導帯下端は、酸化物２３０ａの伝導帯下端より真空準位から離れていることが好ましい。言い換えると、酸化物２３０ｂの電子親和力は、酸化物２３０ａの電子親和力より大きいことが好ましい。また、酸化物２３０ｃの伝導帯下端は、酸化物２３０ｂの伝導帯下端より真空準位に近い、または酸化物２３０ｂの伝導帯下端と略一致していることが好ましい。言い換えると、酸化物２３０ｃの電子親和力は、酸化物２３０ｂの電子親和力より大きい、または略一致していることが好ましい。このとき、キャリアの主たる経路は、酸化物２３０ｂ、酸化物２３０ｃ、または酸化物２３０ｂと酸化物２３０ｃとの界面およびその近傍となる。

［０５０５］

また、金属酸化物中のインジウムの比率を高めることで、トランジスタのオン電流、または電界効果移動度などを高めることができるため、酸化物２３０ｂに設ける溝部の深さ、トランジスタ２００の構成などに合わせて、酸化物２３０の組成を適宜調整すればよい。例えば、酸化物２３０ｃをキャリアの主たる経路とするには、酸化物２３０ｃにおいて、主成分である金属元素に対するインジウムの原子数比が、酸化物２３０ｂにおける、主成分である金属元素に対するインジウムの原子数比より大きくするとよい。

［０５０６］

上記構成にすることで、実効的なチャネル長を、トランジスタの平面視におけるチャネル長と同程度にすることができる。これにより、トランジスタのオン電流および電界効果移動度を大きくことができる。したがって、オン電流が大きい半導体装置を提供することができる。

［０５０７］

また、上記構成にすることで、酸化物２３０ｂの表面近傍の不純物を除去し、酸化物２３０ｂの表面近傍の低抵抗領域を低減し、トランジスタのソース電極とドレイン電極との間のリーク電流（寄生チャネル）の発生を抑制することができる。したがって、良好な電気特性を有する半導体装置を提供することができる。また、トランジスタ特性のばらつきが少なく、信頼性が良好な半導体装置を提供することができる。

［０５０８］

酸化物２３０ｂおよび酸化物２３０ｃは、結晶性を有することが好ましい。結晶性を有する酸化物は、不純物や欠陥（酸素欠損など）が少なく、結晶性の高い、緻密な構造を有している。よって、ソース電極またはドレイン電極による、酸化物２３０からの酸素の引き抜きを抑制することができる。これにより、熱処理を行っても、酸化物２３０から酸素が引き抜かれることを低減できるので、トランジスタ２００は、製造工程における高い温度（所謂サーマルバジェット）に対して安定である。

［０５０９］

また、酸化物２３０ｃとして、ＣＡＡＣ－ＯＳを用いてもよく、酸化物２３０ｃが有する結晶のｃ軸が、酸化物２３０ｃの被形成面または上面に概略垂直な方向を向いていてもよい。ＣＡＡＣ－ＯＳは、ｃ軸と垂直方向に酸素を移動させやすい性質を有する。したがって、酸化物２３０ｃが有する酸素を、酸化物２３０ｂに効率的に供給することができる。

［０５１０］

なお、酸化物２３０として、元素Ｍまたは亜鉛の含有量が少ないＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物を用いる場合、酸化物２３０の結晶性は低くてもよい。元素Ｍまたは亜鉛の含有量が少ないＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化膜は、結晶性を高めることで、多結晶膜となる場合がある。多結晶膜は結晶粒界を有し、当該結晶粒界は、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場合がある。よって、多結晶のＩｎ－Ｍ－Ｚｎ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、信頼性が低くなる場合がある。

［０５１１］

また、酸化物２３０ａ、酸化物２３０ｂ、および酸化物２３０ｃの接合部において、伝導帯下端はなだらかに変化するとよい。換言すると、酸化物２３０ａ、酸化物２３０ｂ、および酸化物２３０ｃの接合部における伝導帯下端は、連続的に変化または連続接合するともいうことができる。このようにするためには、酸化物２３０ａと酸化物２３０ｂとの界面、および酸化物２３０ｂと酸化物２３０ｃとの界面に形成される混合層の欠陥準位密度を低くするとよい。

［０５１２］

具体的には、酸化物２３０ａと酸化物２３０ｂ、酸化物２３０ｂと酸化物２３０ｃが、酸素以外に共通の元素を主成分として有することで、欠陥準位密度が低い混合層を形成することができる。例えば、酸化物２３０ｂがＩｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物の場合、酸化物２３０ａおよび酸化物２３０ｃとして、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物、Ｍ－Ｚｎ酸化物、元素Ｍの酸化物、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物、インジウム酸化物などを用いてもよい。

［０５１３］

また、酸化物２３０は、化学組成が異なる複数の酸化物層の積層構造を有することが好ましい。具体的には、酸化物２３０ａに用いる金属酸化物において、主成分である金属元素に対する元素Ｍの原子数比が、酸化物２３０ｂに用いる金属酸化物における、主成分である金属元素に対する元素Ｍの原子数比より、大きいことが好ましい。また、酸化物２３０ａに用いる金属酸化物において、Ｉｎに対する元素Ｍの原子数比が、酸化物２３０ｂに用いる金属酸化物における、Ｉｎに対する元素Ｍの原子数比より大きいことが好ましい。また、酸化物２３０ｂに用いる金属酸化物において、元素Ｍに対するＩｎの原子数比が、酸化物２３０ａに用いる金属酸化物における、元素Ｍに対するＩｎの原子数比より大きいことが好ましい。

［０５１４］

より具体的には、酸化物２３０ａとして、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：３：４［原子数比］もしくはその近傍の組成、またはＩｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：１：０．５［原子数比］もしくはその近傍の組成の金属酸化物を用いればよい。また、酸化物２３０ｂとして、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：１：１［原子数比］もしくはその近傍の組成、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝４：２：３［原子数比］もしくはその近傍の組成、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝５：１：３［原子数比］もしくはその近傍の組成、またはＩｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１０：１：３［原子数比］もしくはその近傍の組成の金属酸化物、または、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物を用いればよい。また、酸化物２３０ｃとして、酸化物２３０ａまたは酸化物２３０ｂに用いることができる金属酸化物を用いればよい。なお、近傍の組成とは、所望の原子数比の±３０％の範囲を含む。また、元素Ｍとして、ガリウムを用いることが好ましい。

［０５１５］

酸化物２３０ａ、酸化物２３０ｂ、および酸化物２３０ｃを上述の構成とすることで、酸化物２３０ａと酸化物２３０ｂとの界面、および酸化物２３０ｂと酸化物２３０ｃとの界面における欠陥

準位密度を低くすることができる。そのため、界面散乱によるキャリア伝導への影響が小さくなり、トランジスタ２００は大きいオン電流、および高い周波数特性を得ることができる。

［０５１６］

酸化物２３０ｃは、２層以上の積層構造を有していてもよい。例えば、酸化物２３０ｃを２層の積層構造とする場合、絶縁体２５０側に位置する酸化物２３０ｃ（酸化物２３０ｃの上層ともいう。）は、酸化物２３０ｂ側に位置する酸化物２３０ｃ（酸化物２３０ｃの下層ともいう。）に用いられる金属酸化物を構成する金属元素の少なくとも一つを含むことが好ましく、当該金属元素を全て含むことがより好ましい。例えば、酸化物２３０ｃの下層として、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物、またはインジウム酸化物を用い、酸化物２３０ｃの上層として、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物、Ｍ－Ｚｎ酸化物、または元素Ｍの酸化物を用いるとよい。これにより、酸化物２３０ｃの下層と酸化物２３０ｃの上層との界面における欠陥準位密度を低くすることができる。

［０５１７］

また、酸化物２３０ｃの上層の伝導帯下端が、酸化物２３０ｃの下層の伝導帯下端より真空準位に近いことが好ましい。言い換えると、酸化物２３０ｃの上層の電子親和力は、酸化物２３０ｃの下層の電子親和力より小さいことが好ましい。この場合、酸化物２３０ｃの上層は、酸化物２３０ａまたは酸化物２３０ｂに用いることができる金属酸化物を用いることが好ましい。このとき、キャリアの主たる経路は酸化物２３０ｂ、酸化物２３０ｃの下層、または酸化物２３０ｂと酸化物２３０ｃの下層との界面およびその近傍となる。

［０５１８］

具体的には、酸化物２３０ｃの下層として、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝５：１：３［原子数比］もしくはその近傍の組成、またはＩｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１０：１：３［原子数比］もしくはその近傍の組成の金属酸化物、または、Ｉｎ－Ｚｎ酸化物を用い、酸化物２３０ｃの上層として、Ｉｎ：Ｍ：Ｚｎ＝１：３：４［原子数比］もしくはその近傍の組成、Ｍ：Ｚｎ＝２：１［原子数比］もしくはその近傍の組成、またはＭ：Ｚｎ＝２：５［原子数比］もしくはその近傍の組成の金属酸化物、または、元素Ｍの酸化物を用いればよい。

［０５１９］

また、酸化物２３０ｃの上層は、酸化物２３０ｃの下層より、酸素の拡散または透過を抑制する金属酸化物であることが好ましい。絶縁体２５０と酸化物２３０ｃの下層との間に酸化物２３０ｃの上層を設けることで、絶縁体２８０に含まれる酸素が、絶縁体２５０に拡散するのを抑制することができる。したがって、当該酸素は、酸化物２３０ｃの下層を介して、酸化物２３０ｂに効率的に供給することができる。

［０５２０］

また、酸化物２３０ｃの上層に用いる金属酸化物において、主成分である金属元素に対するＩｎの原子数比が、酸化物２３０ｃの下層に用いる金属酸化物における、主成分である金属元素に対するＩｎの原子数比より小さくすることで、Ｉｎが絶縁体２５０側に拡散するのを抑制することができる。絶縁体２５０は、ゲート絶縁体として機能するため、Ｉｎが絶縁体２５０などに混入した場合、トランジスタの特性不良となる。したがって、酸化物２３０ｃの下層と絶縁体２５０との間に酸化物２３０ｃの上層を設けることで、信頼性の高い半導体装置を提供することが可能となる。

［０５２１］

なお、酸化物２３０ｃの下層と酸化物２３０ｃの上層とは、互いに結晶性の異なる層を用いても

よい。

［０５２２］

酸化物２３０ｃは、トランジスタ２００毎に設けてもよい。つまり、トランジスタ２００の酸化物２３０ｃと、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００の酸化物２３０ｃと、は、接しなくてもよい。また、トランジスタ２００の酸化物２３０ｃと、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００の酸化物２３０ｃと、を、離隔してもよい。別言すると、酸化物２３０ｃが、トランジスタ２００と、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００との間に配置されない構成としてもよい。

［０５２３］

複数のトランジスタ２００がチャネル幅方向に配置されている半導体装置において、上記構成にすることで、トランジスタ２００に酸化物２３０ｃがそれぞれ独立して設けられる。よって、トランジスタ２００と、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００との間に、寄生トランジスタが生じるのを抑制し、リークパスが生じるのを抑制することができる。したがって、良好な電気特性を有し、かつ、微細化または高集積化が可能な半導体装置を提供することができる。

［０５２４］

なお、導電体２６０、絶縁体２５０のそれぞれは、隣接するトランジスタ２００間で共通して用いられてもよい。つまり、トランジスタ２００の導電体２６０は、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００の導電体２６０と連続して設けられた領域を有する。また、トランジスタ２００の絶縁体２５０は、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００の絶縁体２５０と連続して設けられた領域を有する。また、絶縁体２５０は、トランジスタ２００と、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００との間に、絶縁体２２４に接する領域を有する。

［０５２５］

なお、酸化物２３０ｃを２層の積層構造とする場合、トランジスタ２００の酸化物２３０ｃの下層および酸化物２３０ｃの上層は、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００の酸化物２３０ｃの下層および酸化物２３０ｃの上層と、それぞれ離隔してもよいし、トランジスタ２００の酸化物２３０ｃの下層と、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００の酸化物２３０ｃの下層と、を離隔し、トランジスタ２００の酸化物２３０ｃの上層は、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００の酸化物２３０ｃの上層と連続して設けられた領域を有してもよい。このとき、酸化物２３０ｃの上層は、トランジスタ２００と、当該トランジスタ２００に隣接するトランジスタ２００との間に、絶縁体２２４に接する領域を有する。

［０５２６］

絶縁体２１１、絶縁体２１２、絶縁体２１４、絶縁体２７２、絶縁体２７３、絶縁体２８２、絶縁体２８３、絶縁体２８４、および絶縁体２８６は、水、水素などの不純物が、基板側から、または、トランジスタ２００の上方からトランジスタ２００に拡散するのを抑制するバリア絶縁膜として機能することが好ましい。したがって、絶縁体２１１、絶縁体２１２、絶縁体２１４、絶縁体２７２、絶縁体２７３、絶縁体２８２、絶縁体２８３、絶縁体２８４、および絶縁体２８６は、水素原子、水素分子、水分子、窒素原子、窒素分子、酸化窒素分子（N_2O、NO、NO_2など）、銅原子などの不純物の拡散を抑制する機能を有する（上記不純物が透過しにくい）絶縁性材料を用いることが好ましい。または、酸素（例えば、酸素原子、酸素分子などの少なくとも一）の拡散を抑制する機能を有する（上記酸素が透過しにくい）絶縁性材料を用いることが好ましい。

［０５２７］
例えば、絶縁体２１１、絶縁体２１２、絶縁体２８３、および絶縁体２８４として、窒化シリコンなどを用い、絶縁体２１４、絶縁体２７２、絶縁体２７３、および絶縁体２８２として、酸化アルミニウムなどを用いることが好ましい。これにより、水、水素などの不純物が絶縁体２１１、絶縁体２１２、および絶縁体２１４を介して、基板側からトランジスタ２００側に拡散するのを抑制することができる。または、絶縁体２２４などに含まれる酸素が、絶縁体２１１、絶縁体２１２、および絶縁体２１４を介して基板側に、拡散するのを抑制することができる。また、水、水素などの不純物が絶縁体２７３よりも上方に配置されている絶縁体２８０、導電体２４６ａ、導電体２４６ｂなどから絶縁体２７２および絶縁体２７３を介してトランジスタ２００側に拡散するのを抑制することができる。このように、トランジスタ２００を、水、水素などの不純物、および酸素の拡散を抑制する機能を有する絶縁体２１１、絶縁体２１２、絶縁体２１４、絶縁体２７２、絶縁体２７３、絶縁体２８２、絶縁体２８３、および絶縁体２８４で取り囲む構造とすることが好ましい。
［０５２８］
また、絶縁体２１１、絶縁体２８４、および絶縁体２８６の抵抗率を低くすることが好ましい場合がある。例えば、絶縁体２１１、絶縁体２８４、および絶縁体２８６の抵抗率を概略１×１０^{13}Ωｃｍとすることで、半導体装置作製工程のプラズマ等を用いる処理において、絶縁体２１１、絶縁体２８４、および絶縁体２８６が、導電体２０５、導電体２４２ａ、導電体２４２ｂ、導電体２６０、導電体２４６ａ、または導電体２４６ｂのチャージアップを緩和することができる場合がある。絶縁体２１１、絶縁体２８４、および絶縁体２８６の抵抗率は、好ましくは、１×１０^{10}Ωｃｍ以上１×１０^{15}Ωｃｍ以下とする。
［０５２９］
なお、絶縁体２１１または絶縁体２１２は、必ずしも設けなくてもよく、絶縁体２８３または絶縁体２８４は、必ずしも設けなくてもよい。例えば、絶縁体２１２、および絶縁体２８４を、水素原子を含まない、または水素原子の含有量が少ない、化合物ガスを用いて化学気相成長（ＣＶＤ：Ｃｈｅｍｉｃａｌ　Ｖａｐｏｒ　Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ）法により成膜する場合である。
［０５３０］
また、絶縁体２１６、および絶縁体２８０は、絶縁体２１４よりも誘電率が低いことが好ましい。誘電率が低い材料を層間膜とすることで、配線間に生じる寄生容量を低減することができる。例えば、絶縁体２１６、および絶縁体２８０として、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコン、空孔を有する酸化シリコンなどを適宜用いればよい。特に、酸化シリコンおよび酸化窒化シリコンは、熱的に安定であるため好ましい。特に、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、空孔を有する酸化シリコンなどの材料は、加熱により脱離する酸素を含む領域を容易に形成することができるため好ましい。
［０５３１］
また、絶縁体２１２、絶縁体２１４、絶縁体２１６、絶縁体２２２、絶縁体２２４、絶縁体２７２、絶縁体２７３、絶縁体２８０、および絶縁体２８２をパターニングし、絶縁体２８３、および絶縁体２８４で、絶縁体２１２、絶縁体２１４、絶縁体２１６、絶縁体２２２、絶縁体２２４、絶縁体２７２、絶縁体２７３、絶縁体２８０、および絶縁体２８２を覆う構造にしてもよい。つまり、絶縁体２８３は、絶縁体２８２の上面および側面と、絶縁体２８０の側面と、絶縁体２７３の側面

と、絶縁体２７２の側面と、絶縁体２２４の側面と、絶縁体２２２の側面と、絶縁体２１６の側面と、絶縁体２１４の側面と、絶縁体２１２の側面と、絶縁体２１１の上面とに接し、絶縁体２８４は、絶縁体２８３の上面および側面に接する。これにより、酸化物２３０などを含む、絶縁体２１２、絶縁体２１４、絶縁体２１６、絶縁体２２２、絶縁体２２４、絶縁体２７２、絶縁体２７３、絶縁体２８０、および絶縁体２８２は、絶縁体２８３および絶縁体２８４と、絶縁体２１１とによって、外部から隔離される。別言すると、トランジスタ２００は、絶縁体２８３および絶縁体２８４と絶縁体２１１とで封止された領域内に配置される。

［０５３２］

例えば、絶縁体２１２、絶縁体２１４、および絶縁体２８２を、水素を捕獲および水素を固着する機能を有する材料を用いて形成し、絶縁体２１１、絶縁体２８３、および絶縁体２８４を水素および酸素に対する拡散を抑制する機能を有する材料を用いて形成すると好ましい。代表的には、絶縁体２１２、絶縁体２１４、および絶縁体２８２としては、酸化アルミニウムを用いることができる。また、代表的には、絶縁体２１１、絶縁体２８３、および絶縁体２８４としては、窒化シリコンを用いることができる。

［０５３３］

上記構成にすることで、上記封止された領域外に含まれる水素が、上記封止された領域内に混入することを抑制することができる。

［０５３４］

また、絶縁体２１１、絶縁体２８３、および絶縁体２８４を、単層として設ける構成について示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、絶縁体２１１、絶縁体２８３、および絶縁体２８４のそれぞれを２層以上の積層構造として設ける構成にしてもよい。

［０５３５］

導電体２０５は、酸化物２３０、および導電体２６０と、重なるように配置する。

［０５３６］

なお、導電体２０５は、図２４Ａに示すように、酸化物２３０の導電体２４２ａおよび導電体２４２ｂと重ならない領域の大きさよりも、大きく設けるとよい。特に、図２４Ｃに示すように、導電体２０５は、酸化物２３０のチャネル幅方向と交わる端部よりも外側の領域においても、延伸していることが好ましい。つまり、酸化物２３０のチャネル幅方向における側面の外側において、導電体２０５と、導電体２６０とは、絶縁体を介して重畳していることが好ましい。当該構成を有することで、第１のゲート（トップゲートともいう。）電極として機能する導電体２６０の電界と、第２のゲート（バックゲートともいう。）電極として機能する導電体２０５の電界によって、酸化物２３０のチャネル形成領域を電気的に取り囲むことができる。本明細書において、第１のゲート、および第２のゲートの電界によって、チャネル形成領域を電気的に取り囲むトランジスタの構造を、ｓｕｒｒｏｕｎｄｅｄ　ｃｈａｎｎｅｌ（Ｓ－ｃｈａｎｎｅｌ）構造とよぶ。

［０５３７］

なお、本明細書等において、Ｓ－ｃｈａｎｎｅｌ構造のトランジスタとは、一対のゲート電極の一方および他方の電界によって、チャネル形成領域を電気的に取り囲むトランジスタの構造を表す。また、本明細書等で開示するＳ－ｃｈａｎｎｅｌ構造は、Ｆｉｎ型構造およびプレーナ型構造とは異なる。Ｓ－ｃｈａｎｎｅｌ構造を採用することで、短チャネル効果に対する耐性を高める、別言すると短チャネル効果が発生し難いトランジスタとすることができる。

［０５３８］
また、導電体２６０が第１のゲート電極として機能し、導電体２０５が第２のゲート電極として機能する場合、導電体２０５に印加する電位を、導電体２６０に印加する電位と、連動させず、独立して変化させることで、トランジスタ２００のしきい値電圧（Ｖｔｈ）を制御することができる。特に、導電体２０５に負の電位を印加することにより、トランジスタ２００のＶｔｈをより大きくし、オフ電流を低減することが可能となる。したがって、導電体２０５に負の電位を印加したほうが、印加しない場合よりも、導電体２６０に印加する電位が０Ｖのときのドレイン電流を小さくすることができる。
［０５３９］
また、図２４Ｃに示すように、導電体２０５は延伸させて、配線としても機能させている。ただし、これに限られることなく、導電体２０５の下に、配線として機能する導電体を設ける構成にしてもよい。また、導電体２０５は、必ずしも各トランジスタに一個ずつ設ける必要はない。例えば、導電体２０５を複数のトランジスタで共有する構成にしてもよい。
［０５４０］
なお、トランジスタ２００では、導電体２０５は、導電体２０５ａと導電体２０５ｂとを積層する構成について示しているが、本発明はこれに限られるものではない。例えば、導電体２０５は、単層、または３層以上の積層構造として設ける構成にしてもよい。
［０５４１］
ここで、導電体２０５ａは、水素原子、水素分子、水分子、窒素原子、窒素分子、酸化窒素分子（N_2O、ＮＯ、NO_2など）、銅原子などの不純物の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。または、酸素（例えば、酸素原子、酸素分子などの少なくとも一）の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。
［０５４２］
導電体２０５ａに、酸素の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることにより、導電体２０５ｂが酸化して導電率が低下することを抑制することができる。酸素の拡散を抑制する機能を有する導電性材料としては、例えば、タンタル、窒化タンタル、ルテニウム、酸化ルテニウムなどを用いることが好ましい。したがって、導電体２０５ａとしては、上記導電性材料を単層または積層とすればよい。例えば、導電体２０５ａは、タンタル、窒化タンタル、ルテニウム、または酸化ルテニウムと、チタンまたは窒化チタンとの積層としてもよい。
［０５４３］
また、導電体２０５ｂは、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることが好ましい。なお、導電体２０５ｂを単層で図示したが、積層構造としてもよく、例えば、チタンまたは窒化チタンと、当該導電性材料との積層としてもよい。
［０５４４］
絶縁体２２２、および絶縁体２２４は、第２のゲート絶縁体として機能する。
［０５４５］
絶縁体２２２は、水素（例えば、水素原子、水素分子などの少なくとも一）の拡散を抑制する機能を有することが好ましい。また、絶縁体２２２は、酸素（例えば、酸素原子、酸素分子などの少なくとも一）の拡散を抑制する機能を有することが好ましい。例えば、絶縁体２２２は、絶縁体２２４よりも水素および酸素の一方または双方の拡散を抑制する機能が高いことが好ましい。

［０５４６］
絶縁体２２２は、絶縁性材料であるアルミニウムおよびハフニウムの一方または双方の酸化物を含む絶縁体を用いるとよい。当該絶縁体として、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、アルミニウムおよびハフニウムを含む酸化物（ハフニウムアルミネート）などを用いることが好ましい。このような材料を用いて絶縁体２２２を形成した場合、絶縁体２２２は、酸化物２３０から基板側への酸素の放出や、トランジスタ２００の周辺部から酸化物２３０への水素等の不純物の拡散を抑制する層として機能する。よって、絶縁体２２２を設けることで、水素等の不純物が、トランジスタ２００の内側へ拡散することを抑制し、酸化物２３０中の酸素欠損の生成を抑制することができる。また、導電体２０５が、絶縁体２２４や、酸化物２３０が有する酸素と反応することを抑制することができる。

［０５４７］
または、上記絶縁体に、例えば、酸化アルミニウム、酸化ビスマス、酸化ゲルマニウム、酸化ニオブ、酸化シリコン、酸化チタン、酸化タングステン、酸化イットリウム、酸化ジルコニウムを添加してもよい。または、これらの絶縁体を窒化処理してもよい。また、絶縁体２２２は、これらの絶縁体に酸化シリコン、酸化窒化シリコンまたは窒化シリコンを積層して用いてもよい。

［０５４８］
また、絶縁体２２２は、例えば、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化タンタル、酸化ジルコニウム、チタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）、チタン酸ストロンチウム（$SrTiO_3$）、（Ｂａ，Ｓｒ）TiO_3（ＢＳＴ）などのいわゆるｈｉｇｈ－ｋ材料を含む絶縁体を単層または積層で用いてもよい。トランジスタの微細化、および高集積化が進むと、ゲート絶縁体の薄膜化により、リーク電流などの問題が生じる場合がある。ゲート絶縁体として機能する絶縁体にｈｉｇｈ－ｋ材料を用いることで、物理膜厚を保ちながら、トランジスタ動作時のゲート電位の低減が可能となる。

［０５４９］
酸化物２３０と接する絶縁体２２４は、加熱により酸素を脱離することが好ましい。例えば、絶縁体２２４は、酸化シリコン、酸化窒化シリコンなどを適宜用いればよい。酸素を含む絶縁体を酸化物２３０に接して設けることにより、酸化物２３０中の酸素欠損を低減し、トランジスタ２００の信頼性を向上させることができる。

［０５５０］
絶縁体２２４として、具体的には、加熱により一部の酸素が脱離する酸化物材料、別言すると、過剰酸素領域を有する絶縁体材料を用いることが好ましい。加熱により酸素を脱離する酸化膜とは、ＴＤＳ（Ｔｈｅｒｍａｌ　Ｄｅｓｏｒｐｔｉｏｎ　Ｓｐｅｃｔｒｏｓｃｏｐｙ）分析にて、酸素分子の脱離量が１．０×10^{18}ｍｏｌｅｃｕｌｅｓ／ｃｍ^{3}以上、好ましくは１．０×10^{19}ｍｏｌｅｃｕｌｅｓ／ｃｍ^{3}以上、さらに好ましくは２．０×10^{19}ｍｏｌｅｃｕｌｅｓ／ｃｍ^{3}以上、または３．０×10^{20}ｍｏｌｅｃｕｌｅｓ／ｃｍ^{3}以上である酸化膜である。なお、上記ＴＤＳ分析時における膜の表面温度としては１００℃以上７００℃以下、または１００℃以上４００℃以下の範囲が好ましい。

［０５５１］
なお、絶縁体２２２、および絶縁体２２４が、２層以上の積層構造を有していてもよい。その場合、同じ材料からなる積層構造に限定されず、異なる材料からなる積層構造でもよい。

［０５５２］

酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂは、酸素の透過を抑制する機能を有することが好ましい。ソース電極やドレイン電極として機能する導電体２４２ａまたは導電体２４２ｂと酸化物２３０ｂとの間に、酸素の透過を抑制する機能を有する酸化物２４３ａまたは酸化物２４３ｂを配置することで、導電体２４２ａまたは導電体２４２ｂと、酸化物２３０ｂとの間の電気抵抗が低減されるので好ましい。このような構成とすることで、トランジスタ２００の電気特性およびトランジスタ２００の信頼性を向上させることができる。

［０５５３］

酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂとして、元素Ｍを有する金属酸化物を用いてもよい。特に、元素Ｍは、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、または錫を用いるとよい。酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂは、酸化物２３０ｂよりも元素Ｍの濃度が高いことが好ましい。また、酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂとして、酸化ガリウムを用いてもよい。また、酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂとして、Ｉｎ－Ｍ－Ｚｎ酸化物等の金属酸化物を用いてもよい。具体的には、酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂに用いる金属酸化物において、Ｉｎに対する元素Ｍの原子数比が、酸化物２３０ｂに用いる金属酸化物における、Ｉｎに対する元素Ｍの原子数比より大きいことが好ましい。また、酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂの膜厚は、０．５ｎｍ以上５ｎｍ以下が好ましく、より好ましくは１ｎｍ以上３ｎｍ以下、さらに好ましくは１ｎｍ以上２ｎｍ以下である。また、酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂは、結晶性を有すると好ましい。酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂが結晶性を有する場合、酸化物２３０中の酸素の放出を好適に抑制することが出来る。例えば、酸化物２４３ａおよび酸化物２４３ｂとしては、六方晶などの結晶構造であれば、酸化物２３０中の酸素の放出を抑制できる場合がある。

［０５５４］

導電体２４２ａ、および導電体２４２ｂは、それぞれ酸化物２４３ａ上、および酸化物２４３ｂ上に設けられる。導電体２４２ａおよび導電体２４２ｂは、それぞれトランジスタ２００のソース電極またはドレイン電極として機能する。

［０５５５］

導電体２４２ａ、および導電体２４２ｂとしては、例えば、タンタルを含む窒化物、チタンを含む窒化物、モリブデンを含む窒化物、タングステンを含む窒化物、タンタルおよびアルミニウムを含む窒化物、チタンおよびアルミニウムを含む窒化物などを用いることが好ましく、タンタルを含む窒化物が特に好ましい。また、例えば、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物などを用いてもよい。これらの材料は、酸化しにくい導電性材料、または、酸素を吸収しても導電性を維持する材料であるため、好ましい。

［０５５６］

なお、酸化物２３０ｂ、酸化物２３０ｃなどに含まれる水素が、導電体２４２ａまたは導電体２４２ｂに拡散する場合がある。特に、導電体２４２ａおよび導電体２４２ｂに、タンタルを含む窒化物を用いることで、酸化物２３０ｂ、酸化物２３０ｃなどに含まれる水素は、導電体２４２ａまたは導電体２４２ｂに拡散しやすく、拡散した水素は、導電体２４２ａまたは導電体２４２ｂが有する窒素と結合することがある。つまり、酸化物２３０ｂ、酸化物２３０ｃなどに含まれる水素は、導電体２４２ａまたは導電体２４２ｂに吸い取られる場合がある。

［０５５７］

また、導電体２４２ａの側面と導電体２４２ａの上面との間、および、導電体２４２ｂの側面と

導電体２４２ｂの上面との間に、湾曲面を有する場合がある。つまり、側面の端部と上面の端部は、湾曲している場合がある。湾曲面は、例えば、導電体２４２ａおよび導電体２４２ｂの端部において、曲率半径が、３ｎｍ以上１０ｎｍ以下、好ましくは、５ｎｍ以上６ｎｍ以下とする。端部に角を有さないことで、以降の成膜工程における膜の被覆性が向上する。

［０５５８］

絶縁体２７２は、導電体２４２ａおよび導電体２４２ｂの上面に接して設けられており、バリア層として機能することが好ましい。当該構成にすることで、導電体２４２ａおよび導電体２４２ｂによる、絶縁体２８０が有する過剰酸素の吸収を抑制することができる。また、導電体２４２ａおよび導電体２４２ｂの酸化を抑制することで、トランジスタ２００と配線とのコンタクト抵抗の増加を抑制することができる。よって、トランジスタ２００に良好な電気特性および信頼性を与えることができる。

［０５５９］

したがって、絶縁体２７２は、酸素の拡散を抑制する機能を有することが好ましい。例えば、絶縁体２７２は、絶縁体２８０よりも酸素の拡散を抑制する機能が高いことが好ましい。絶縁体２７２としては、例えば、アルミニウムおよびハフニウムの一方または双方の酸化物を含む絶縁体を成膜するとよい。また、絶縁体２７２としては、例えば、窒化アルミニウムを含む絶縁体を用いればよい。

［０５６０］

また、絶縁体２７２形成時に絶縁体２２４に酸素を供給することができる場合がある。絶縁体２２４に供給された酸素は、絶縁体２７２および絶縁体２７３によって、絶縁体２２４が封止されるので、外方へ拡散することを抑制し、酸化物２３０へ効率良く供給することができる。また、絶縁体２２４中の水素が絶縁体２７２または絶縁体２７３に吸収される場合があり、好ましい。

［０５６１］

絶縁体２５０は、第１のゲート絶縁体として機能する。絶縁体２５０は、酸化物２３０ｃの少なくとも一部に接して配置することが好ましい。絶縁体２５０は、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコン、空孔を有する酸化シリコンなどを用いることができる。特に、酸化シリコン、および酸化窒化シリコンは熱に対し安定であるため好ましい。

［０５６２］

絶縁体２５０は、絶縁体２２４と同様に、加熱により酸素が放出される絶縁体を用いて形成することが好ましい。加熱により酸素が放出される絶縁体を、絶縁体２５０として、酸化物２３０ｃの少なくとも一部に接して設けることにより、酸化物２３０のチャネル形成領域に効果的に酸素を供給し、酸化物２３０のチャネル形成領域の酸素欠損を低減することができる。したがって、電気特性の変動が抑制され、安定した電気特性を有するとともに、信頼性を向上させたトランジスタを提供することができる。また、絶縁体２２４と同様に、絶縁体２５０中の水、水素などの不純物濃度が低減されていることが好ましい。絶縁体２５０の膜厚は、１ｎｍ以上２０ｎｍ以下とするのが好ましい。

［０５６３］

なお、図２４Ｂおよび図２４Ｃでは、絶縁体２５０を単層で図示したが、２層以上の積層構造としてもよい。絶縁体２５０を２層の積層構造とする場合、絶縁体２５０の下層は、加熱により酸素

が放出される絶縁体を用いて形成し、絶縁体２５０の上層は、酸素の拡散を抑制する機能を有する絶縁体を用いて形成することが好ましい。このような構成にすることで、絶縁体２５０の下層に含まれる酸素が、導電体２６０へ拡散するのを抑制することができる。つまり、酸化物２３０へ供給する酸素量の減少を抑制することができる。また、絶縁体２５０の下層に含まれる酸素による導電体２６０の酸化を抑制することができる。例えば、絶縁体２５０の下層は、上述した絶縁体２５０に用いることができる材料を用いて設け、絶縁体２５０の上層は、絶縁体２２２と同様の材料を用いて設けることができる。

［０５６４］

なお、絶縁体２５０の下層に酸化シリコンや酸化窒化シリコンなどを用いる場合、絶縁体２５０の上層は、比誘電率が高いｈｉｇｈ－ｋ材料である絶縁性材料を用いてもよい。ゲート絶縁体を、絶縁体２５０の下層と絶縁体２５０の上層との積層構造とすることで、熱に対して安定、かつ比誘電率の高い積層構造とすることができる。したがって、ゲート絶縁体の物理膜厚を保持したまま、トランジスタ動作時に印加するゲート電位の低減化が可能となる。また、ゲート絶縁体として機能する絶縁体の等価酸化膜厚（ＥＯＴ）の薄膜化が可能となる。

［０５６５］

絶縁体２５０の上層として、具体的には、ハフニウム、アルミニウム、ガリウム、イットリウム、ジルコニウム、タングステン、チタン、タンタル、ニッケル、ゲルマニウム、マグネシウムなどから選ばれた一種、もしくは二種以上が含まれた金属酸化物、または酸化物２３０として用いることができる金属酸化物を用いることができる。特に、アルミニウムおよびハフニウムの一方または双方の酸化物を含む絶縁体を用いることが好ましい。

［０５６６］

また、絶縁体２５０と導電体２６０との間に金属酸化物を設けてもよい。当該金属酸化物は、絶縁体２５０から導電体２６０への酸素の拡散を抑制することが好ましい。酸素の拡散を抑制する金属酸化物を設けることで、絶縁体２５０から導電体２６０への酸素の拡散が抑制される。つまり、酸化物２３０へ供給する酸素量の減少を抑制することができる。また、絶縁体２５０の酸素による導電体２６０の酸化を抑制することができる。

［０５６７］

なお、上記金属酸化物は、第１のゲート電極の一部としての機能を有することが好ましい。例えば、酸化物２３０として用いることができる金属酸化物を、上記金属酸化物として用いることができる。その場合、導電体２６０ａをスパッタリング法で成膜することで、上記金属酸化物の電気抵抗値を低下させて導電体とすることができる。これをＯＣ（Ｏｘｉｄｅ　Ｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）電極と呼ぶことができる。

［０５６８］

上記金属酸化物を有することで、導電体２６０からの電界の影響を弱めることなく、トランジスタ２００のオン電流の向上を図ることができる。また、絶縁体２５０と、上記金属酸化物との物理的な厚みにより、導電体２６０と、酸化物２３０との間の距離を保つことで、導電体２６０と酸化物２３０との間のリーク電流を抑制することができる。また、絶縁体２５０、および上記金属酸化物との積層構造を設けることで、導電体２６０と酸化物２３０との間の物理的な距離、および導電体２６０から酸化物２３０へかかる電界強度を、容易に適宜調整することができる。

［０５６９］

導電体２６０は、トランジスタ２００の第１のゲート電極として機能する。導電体２６０は、導電体２６０ａと、導電体２６０ａの上に配置された導電体２６０ｂと、を有することが好ましい。例えば、導電体２６０ａは、導電体２６０ｂの底面および側面を包むように配置されることが好ましい。なお、図２４Ｂおよび図２４Ｃでは、導電体２６０は、導電体２６０ａと導電体２６０ｂの２層構造として示しているが、単層構造でもよいし、３層以上の積層構造であってもよい。

［０５７０］

導電体２６０ａは、水素原子、水素分子、水分子、窒素原子、窒素分子、酸化窒素分子、銅原子などの不純物の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。または、酸素（例えば、酸素原子、酸素分子などの少なくとも一）の拡散を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。

［０５７１］

また、導電体２６０ａが酸素の拡散を抑制する機能を持つことにより、絶縁体２５０に含まれる酸素により、導電体２６０ｂが酸化して導電率が低下することを抑制することができる。酸素の拡散を抑制する機能を有する導電性材料としては、例えば、タンタル、窒化タンタル、ルテニウム、酸化ルテニウムなどを用いることが好ましい。

［０５７２］

また、導電体２６０は、配線としても機能するため、導電性が高い導電体を用いることが好ましい。例えば、導電体２６０ｂは、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることができる。また、導電体２６０ｂは積層構造としてもよく、例えば、チタン又は窒化チタンと上記導電性材料との積層構造としてもよい。

［０５７３］

また、トランジスタ２００では、導電体２６０は、絶縁体２８０などに形成されている開口を埋めるように自己整合的に形成される。導電体２６０をこのように形成することにより、導電体２４２ａと導電体２４２ｂとの間の領域に、導電体２６０を位置合わせすることなく確実に配置することができる。

［０５７４］

また、図２４Ｃに示すように、トランジスタ２００のチャネル幅方向において、導電体２６０の、導電体２６０と酸化物２３０ｂとが重ならない領域の底面は、酸化物２３０ｂの底面より低いことが好ましい。ゲート電極として機能する導電体２６０が、絶縁体２５０などを介して、酸化物２３０のチャネル形成領域の側面および上面を覆う構成とすることで、導電体２６０の電界を酸化物２３０のチャネル形成領域全体に作用させやすくなる。よって、トランジスタ２００のオン電流を増大させ、周波数特性を向上させることができる。

［０５７５］

絶縁体２８０は、絶縁体２７３上に設けられる。また、絶縁体２８０の上面は、平坦化されていてもよい。

［０５７６］

絶縁体２８０中の水、水素などの不純物濃度は低減されていることが好ましい。また、絶縁体２８０は、水素濃度が低く、過剰酸素領域または過剰酸素を有することが好ましく、例えば、絶縁体２１６と同様の材料を用いて設けてもよい。また、絶縁体２８０は、上記の材料が積層された構造でもよく、例えば、スパッタリング法で成膜した酸化シリコンと、その上にＣＶＤ法で成膜した酸

化窒化シリコンの積層構造とすればよい。また、さらに上に窒化シリコンを積層してもよい。

［０５７７］

絶縁体２８２または絶縁体２８３は、水、水素などの不純物が、上方から絶縁体２８０に拡散するのを抑制するバリア絶縁膜として機能することが好ましい。また、絶縁体２８２または絶縁体２８３は、酸素の透過を抑制するバリア絶縁膜として機能することが好ましい。絶縁体２８２および絶縁体２８３としては、例えば、酸化アルミニウム、窒化シリコン、窒化酸化シリコンなどの絶縁体を用いればよい。例えば、絶縁体２８２として、酸素に対してブロッキング性が高い酸化アルミニウムを用い、絶縁体２８３として、水素に対してブロッキング性が高い窒化シリコンを用いればよい。

［０５７８］

導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂは、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることが好ましい。また、導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂは積層構造としてもよい。

［０５７９］

また、導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂを積層構造とする場合、絶縁体２８４、絶縁体２８３、絶縁体２８２、絶縁体２８０、絶縁体２７３、および絶縁体２７２と接する導電体には、水、水素などの不純物の透過を抑制する機能を有する導電性材料を用いることが好ましい。例えば、タンタル、窒化タンタル、チタン、窒化チタン、ルテニウム、酸化ルテニウムなどを用いることが好ましい。また、水、水素などの不純物の透過を抑制する機能を有する導電性材料は、単層または積層で用いてもよい。当該導電性材料を用いることで、絶縁体２８０に添加された酸素が導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂに吸収されるのを防ぐことができる。また、絶縁体２８４より上層に含まれる水、水素などの不純物が、導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂを通じて酸化物２３０に混入するのを抑制することができる。

［０５８０］

絶縁体２４１ａおよび絶縁体２４１ｂとしては、例えば、窒化シリコン、酸化アルミニウム、窒化酸化シリコンなどの絶縁体を用いればよい。絶縁体２４１ａおよび絶縁体２４１ｂは、絶縁体２７３および絶縁体２７２に接して設けられるので、絶縁体２８０などに含まれる水、水素などの不純物が、導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂを通じて酸化物２３０に混入するのを抑制することができる。特に、窒化シリコンは水素に対するブロッキング性が高いので好適である。また、絶縁体２８０に含まれる酸素が導電体２４０ａおよび導電体２４０ｂに吸収されるのを防ぐことができる。

［０５８１］

また、導電体２４０ａの上面に接して配線として機能する導電体２４６ａを配置し、導電体２４０ｂの上面に接して配線として機能する導電体２４６ｂを配置してもよい。導電体２４６ａおよび導電体２４６ｂは、タングステン、銅、またはアルミニウムを主成分とする導電性材料を用いることが好ましい。また、当該導電体は、積層構造としてもよく、例えば、チタン又は窒化チタンと上記導電性材料との積層としてもよい。なお、当該導電体は、絶縁体に設けられた開口に埋め込むように形成してもよい。

［０５８２］

絶縁体２８６は、導電体２４６ａ上、導電体２４６ｂ上、および絶縁体２８４上に設けられる。

これにより、導電体２４６ａの上面、導電体２４６ａの側面、導電体２４６ｂの上面、および導電体２４６ｂの側面は、絶縁体２８６と接し、導電体２４６ａの下面および導電体２４６ｂの下面は、絶縁体２８４と接する。つまり、導電体２４６ａおよび導電体２４６ｂは、絶縁体２８４、および絶縁体２８６で包まれる構成とすることができる。当該構成とすることで、外方からの酸素の透過を抑制し、導電体２４６ａおよび導電体２４６ｂの酸化を防止することができる。また、導電体２４６ａおよび導電体２４６ｂから、水、水素などの不純物が外部に拡散することを防ぐことができるので好ましい。

［０５８３］

＜半導体装置の構成材料＞

以下では、半導体装置に用いることができる構成材料について説明する。

［０５８４］

［基板］

トランジスタ２００を形成する基板としては、例えば、絶縁体基板、半導体基板、または導電体基板を用いればよい。絶縁体基板としては、例えば、ガラス基板、石英基板、サファイア基板、安定化ジルコニア基板（イットリア安定化ジルコニア基板など）、樹脂基板などがある。また、半導体基板としては、例えば、シリコン、ゲルマニウムからなる半導体基板、または炭化シリコン、シリコンゲルマニウム、ヒ化ガリウム、リン化インジウム、酸化亜鉛、酸化ガリウムからなる化合物半導体基板などがある。さらには、前述の半導体基板内部に絶縁体領域を有する半導体基板、例えば、ＳＯＩ（Ｓｉｌｉｃｏｎ　Ｏｎ　Ｉｎｓｕｌａｔｏｒ）基板などがある。導電体基板としては、黒鉛基板、金属基板、合金基板、導電性樹脂基板などがある。または、金属の窒化物を有する基板、金属の酸化物を有する基板などがある。さらには、絶縁体基板に導電体または半導体が設けられた基板、半導体基板に導電体または絶縁体が設けられた基板、導電体基板に半導体または絶縁体が設けられた基板などがある。または、これらの基板に素子が設けられたものを用いてもよい。基板に設けられる素子としては、容量素子、抵抗素子、スイッチ素子、発光素子、記憶素子などがある。

［０５８５］

［絶縁体］

絶縁体としては、絶縁性を有する酸化物、窒化物、酸化窒化物、窒化酸化物、金属酸化物、金属酸化窒化物、金属窒化酸化物などがある。

［０５８６］

例えば、トランジスタの微細化、および高集積化が進むと、ゲート絶縁体の薄膜化により、リーク電流などの問題が生じる場合がある。ゲート絶縁体として機能する絶縁体に、ｈｉｇｈ－ｋ材料を用いることで物理膜厚を保ちながら、トランジスタ動作時の低電圧化が可能となる。一方、層間膜として機能する絶縁体には、比誘電率が低い材料を用いることで、配線間に生じる寄生容量を低減することができる。したがって、絶縁体の機能に応じて、材料を選択するとよい。

［０５８７］

また、比誘電率の高い絶縁体としては、酸化ガリウム、酸化ハフニウム、酸化ジルコニウム、アルミニウムおよびハフニウムを有する酸化物、アルミニウムおよびハフニウムを有する酸化窒化物、シリコンおよびハフニウムを有する酸化物、シリコンおよびハフニウムを有する酸化窒化物、またはシリコンおよびハフニウムを有する窒化物などがある。

［０５８８］

また、比誘電率が低い絶縁体としては、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、フッ素を添加した酸化シリコン、炭素を添加した酸化シリコン、炭素および窒素を添加した酸化シリコン、空孔を有する酸化シリコン、または樹脂などがある。

［０５８９］

また、金属酸化物を用いたトランジスタは、水素などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体で囲うことによって、トランジスタの電気特性を安定にすることができる。水素などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体としては、例えば、ホウ素、炭素、窒素、酸素、フッ素、マグネシウム、アルミニウム、シリコン、リン、塩素、アルゴン、ガリウム、ゲルマニウム、イットリウム、ジルコニウム、ランタン、ネオジム、ハフニウム、またはタンタルを含む絶縁体を、単層で、または積層で用いればよい。具体的には、水素などの不純物および酸素の透過を抑制する機能を有する絶縁体として、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化ガリウム、酸化ゲルマニウム、酸化イットリウム、酸化ジルコニウム、酸化ランタン、酸化ネオジム、酸化ハフニウム、酸化タンタルなどの金属酸化物、窒化アルミニウム、窒化酸化シリコン、窒化シリコンなどの金属窒化物を用いることができる。

［０５９０］

また、ゲート絶縁体として機能する絶縁体は、加熱により脱離する酸素を含む領域を有する絶縁体であることが好ましい。例えば、加熱により脱離する酸素を含む領域を有する酸化シリコンまたは酸化窒化シリコンを酸化物２３０と接する構造とすることで、酸化物２３０が有する酸素欠損を補償することができる。

［０５９１］

［導電体］

導電体としては、アルミニウム、クロム、銅、銀、金、白金、タンタル、ニッケル、チタン、モリブデン、タングステン、ハフニウム、バナジウム、ニオブ、マンガン、マグネシウム、ジルコニウム、ベリリウム、インジウム、ルテニウム、イリジウム、ストロンチウム、ランタンなど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ることが好ましい。例えば、窒化タンタル、窒化チタン、タングステン、チタンとアルミニウムを含む窒化物、タンタルとアルミニウムを含む窒化物、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物などを用いることが好ましい。また、窒化タンタル、窒化チタン、チタンとアルミニウムを含む窒化物、タンタルとアルミニウムを含む窒化物、酸化ルテニウム、窒化ルテニウム、ストロンチウムとルテニウムを含む酸化物、ランタンとニッケルを含む酸化物は、酸化しにくい導電性材料、または、酸素を吸収しても導電性を維持する材料であるため、好ましい。また、リン等の不純物元素を含有させた多結晶シリコンに代表される、電気伝導度が高い半導体、ニッケルシリサイドなどのシリサイドを用いてもよい。

［０５９２］

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

［０５９３］
なお、トランジスタのチャネル形成領域に酸化物を用いる場合において、ゲート電極として機能する導電体には、前述した金属元素を含む材料と、酸素を含む導電性材料と、を組み合わせた積層構造を用いることが好ましい。この場合は、酸素を含む導電性材料をチャネル形成領域側に設けるとよい。酸素を含む導電性材料をチャネル形成領域側に設けることで、当該導電性材料から離脱した酸素がチャネル形成領域に供給されやすくなる。

［０５９４］
特に、ゲート電極として機能する導電体として、チャネルが形成される金属酸化物に含まれる金属元素および酸素を含む導電性材料を用いることが好ましい。また、前述した金属元素および窒素を含む導電性材料を用いてもよい。例えば、窒化チタン、窒化タンタルなどの窒素を含む導電性材料を用いてもよい。また、インジウム錫酸化物、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、シリコンを添加したインジウム錫酸化物を用いてもよい。また、窒素を含むインジウムガリウム亜鉛酸化物を用いてもよい。このような材料を用いることで、チャネルが形成される金属酸化物に含まれる水素を捕獲することができる場合がある。または、外方の絶縁体などから混入する水素を捕獲することができる場合がある。

［０５９５］
本発明の一態様により、オン電流が大きい半導体装置を提供することができる。また、本発明の一態様により、トランジスタ特性のばらつきが少ない半導体装置を提供することができる。また、本発明の一態様により、信頼性が良好な半導体装置を提供することができる。また、本発明の一態様により、良好な電気特性を有する半導体装置を提供することができる。また、本発明の一態様により、微細化または高集積化が可能な半導体装置を提供することができる。

［０５９６］
以上、本実施の形態に示す構成、方法などは、他の実施の形態に示す構成、方法などと適宜組み合わせて用いることができる。

［０５９７］
（実施の形態１０）
本実施の形態では、図２５Ａ、図２５Ｂおよび図２６Ａ乃至図２６Ｈを用いて、本発明の一態様の金属酸化物を半導体に用いたトランジスタ（以下、ＯＳトランジスタと呼ぶ場合がある。）、および容量素子が適用されている記憶装置（以下、ＯＳメモリ装置と呼ぶ場合がある。）について説明する。ＯＳメモリ装置は、少なくとも容量素子と、容量素子の充放電を制御するＯＳトランジスタを有する記憶装置である。ＯＳトランジスタのオフ電流は極めて小さいので、ＯＳメモリ装置は優れた保持特性をもち、不揮発性メモリとして機能させることができる。

［０５９８］
＜記憶装置の構成例＞
図２５ＡにＯＳメモリ装置の構成の一例を示す。記憶装置１４００は、周辺回路１４１１、およびメモリセルアレイ１４７０を有する。周辺回路１４１１は、行回路１４２０、列回路１４３０、出力回路１４４０、およびコントロールロジック回路１４６０を有する。

［０５９９］
列回路１４３０は、例えば、列デコーダ、プリチャージ回路、センスアンプ、書き込み回路等を

有する。プリチャージ回路は、配線をプリチャージする機能を有する。センスアンプは、メモリセルから読み出されたデータ信号を増幅する機能を有する。なお、上記配線は、メモリセルアレイ１４７０が有するメモリセルに接続されている配線であり、詳しくは後述する。増幅されたデータ信号は、出力回路１４４０を介して、データ信号ＲＤＡＴＡとして記憶装置１４００の外部に出力される。また、行回路１４２０は、例えば、行デコーダ、ワード線ドライバ回路等を有し、アクセスする行を選択することができる。

［０６００］

記憶装置１４００には、外部から電源電圧として低電源電圧（ＶＳＳ）、周辺回路１４１１用の高電源電圧（ＶＤＤ）、メモリセルアレイ１４７０用の高電源電圧（ＶＩＬ）が供給される。また、記憶装置１４００には、制御信号（ＣＥ、ＷＥ、ＲＥ）、アドレス信号ＡＤＤＲ、データ信号ＷＤＡＴＡが外部から入力される。アドレス信号ＡＤＤＲは、行デコーダおよび列デコーダに入力され、データ信号ＷＤＡＴＡは書き込み回路に入力される。

［０６０１］

コントロールロジック回路１４６０は、外部から入力される制御信号（ＣＥ、ＷＥ、ＲＥ）を処理して、行デコーダ、列デコーダの制御信号を生成する。制御信号ＣＥは、チップイネーブル信号であり、制御信号ＷＥは、書き込みイネーブル信号であり、制御信号ＲＥは、読み出しイネーブル信号である。コントロールロジック回路１４６０が処理する信号は、これに限定されるものではなく、必要に応じて、他の制御信号を入力すればよい。

［０６０２］

メモリセルアレイ１４７０は、行列状に配置された、複数個のメモリセルＭＣと、複数の配線を有する。なお、メモリセルアレイ１４７０と行回路１４２０とを接続している配線の数は、メモリセルＭＣの構成、一列に有するメモリセルＭＣの数などによって決まる。また、メモリセルアレイ１４７０と列回路１４３０とを接続している配線の数は、メモリセルＭＣの構成、一行に有するメモリセルＭＣの数などによって決まる。

［０６０３］

なお、図２５Ａにおいて、周辺回路１４１１とメモリセルアレイ１４７０を同一平面上に形成する例について示したが、本実施の形態はこれに限られるものではない。例えば、図２５Ｂに示すように、周辺回路１４１１の一部の上に、メモリセルアレイ１４７０が重なるように設けられてもよい。例えば、メモリセルアレイ１４７０の下に重なるように、センスアンプを設ける構成にしてもよい。

［０６０４］

図２６Ａ乃至図２６Ｈに上述のメモリセルＭＣに適用できるメモリセルの構成例について説明する。

［０６０５］

［ＤＯＳＲＡＭ］

図２６Ａ乃至図２６Ｃに、ＤＲＡＭのメモリセルの回路構成例を示す。本明細書等において、１ＯＳトランジスタ１容量素子型のメモリセルを用いたＤＲＡＭを、ＤＯＳＲＡＭ（登録商標）（Ｄｙｎａｍｉｃ　Ｏｘｉｄｅ　Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ　Ｒａｎｄｏｍ　Ａｃｃｅｓｓ　Ｍｅｍｏｒｙ）と呼ぶ場合がある。図２６Ａに示す、メモリセル１４７１は、トランジスタＭ１と、容量素子ＣＡと、を有する。なお、トランジスタＭ１は、ゲート（トップゲートと呼ぶ場合がある。）、

及びバックゲートを有する。

［０６０６］

トランジスタＭ１の第１端子は、容量素子ＣＡの第１端子と接続され、トランジスタＭ１の第２端子は、配線ＢＩＬと接続され、トランジスタＭ１のゲートは、配線ＷＯＬと接続され、トランジスタＭ１のバックゲートは、配線ＢＧＬと接続されている。容量素子ＣＡの第２端子は、配線ＣＡＬと接続されている。

［０６０７］

配線ＢＩＬは、ビット線として機能し、配線ＷＯＬは、ワード線として機能する。配線ＣＡＬは、容量素子ＣＡの第２端子に所定の電位を印加するための配線として機能する。データの書き込み時、及び読み出し時において、配線ＣＡＬには、低レベル電位を印加するのが好ましい。配線ＢＧＬは、トランジスタＭ１のバックゲートに電位を印加するための配線として機能する。配線ＢＧＬに任意の電位を印加することによって、トランジスタＭ１のしきい値電圧を増減することができる。

［０６０８］

また、メモリセルＭＣは、メモリセル１４７１に限定されず、回路構成の変更を行うことができる。例えば、メモリセルＭＣは、図２６Ｂに示すメモリセル１４７２のように、トランジスタＭ１のバックゲートが、配線ＢＧＬでなく、配線ＷＯＬと接続される構成にしてもよい。また、例えば、メモリセルＭＣは、図２６Ｃに示すメモリセル１４７３ように、シングルゲート構造のトランジスタ、つまりバックゲートを有さないトランジスタＭ１で構成されたメモリセルとしてもよい。

［０６０９］

上記実施の形態に示す半導体装置をメモリセル１４７１等に用いる場合、トランジスタＭ１としてトランジスタ２００を用いることができる。トランジスタＭ１としてＯＳトランジスタを用いることによって、トランジスタＭ１のリーク電流を非常に小さくすることができる。つまり、書き込んだデータをトランジスタＭ１によって長時間保持することができるため、メモリセルのリフレッシュの頻度を少なくすることができる。または、メモリセルのリフレッシュ動作を不要にすることができる。また、リーク電流が非常に小さいため、メモリセル１４７１、メモリセル１４７２、メモリセル１４７３に対して多値データ、又はアナログデータを保持することができる。

［０６１０］

また、ＤＯＳＲＡＭにおいて、上記のように、メモリセルアレイ１４７０の下に重なるように、センスアンプを設ける構成にすると、ビット線を短くすることができる。これにより、ビット線容量が小さくなり、メモリセルの保持容量を低減することができる。

［０６１１］

［ＮＯＳＲＡＭ］

図２６Ｄ乃至図２６Ｇに、２トランジスタ１容量素子のゲインセル型のメモリセルの回路構成例を示す。図２６Ｄに示す、メモリセル１４７４は、トランジスタＭ２と、トランジスタＭ３と、容量素子ＣＢと、を有する。なお、トランジスタＭ２は、トップゲート、及びバックゲートを有する。本明細書等において、トランジスタＭ２にＯＳトランジスタを用いたゲインセル型のメモリセルを有する記憶装置を、ＮＯＳＲＡＭ（登録商標）（Ｎｏｎｖｏｌａｔｉｌｅ　Ｏｘｉｄｅ　Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ　ＲＡＭ）と呼ぶ場合がある。

［０６１２］

トランジスタＭ２の第１端子は、容量素子ＣＢの第１端子と接続され、トランジスタＭ２の第２

端子は、配線ＷＢＬと接続され、トランジスタＭ２のゲートは、配線ＷＯＬと接続され、トランジスタＭ２のバックゲートは、配線ＢＧＬと接続されている。容量素子ＣＢの第２端子は、配線ＣＡＬと接続されている。トランジスタＭ３の第１端子は、配線ＲＢＬと接続され、トランジスタＭ３の第２端子は、配線ＳＬと接続され、トランジスタＭ３のゲートは、容量素子ＣＢの第１端子と接続されている。

［０６１３］

配線ＷＢＬは、書き込みビット線として機能し、配線ＲＢＬは、読み出しビット線として機能し、配線ＷＯＬは、ワード線として機能する。配線ＣＡＬは、容量素子ＣＢの第２端子に所定の電位を印加するための配線として機能する。データの書き込み時、データ保持の最中、データの読み出し時において、配線ＣＡＬには、低レベル電位を印加するのが好ましい。配線ＢＧＬは、トランジスタＭ２のバックゲートに電位を印加するための配線として機能する。配線ＢＧＬに任意の電位を印加することによって、トランジスタＭ２のしきい値電圧を増減することができる。

［０６１４］

また、メモリセルＭＣは、メモリセル１４７４に限定されず、回路の構成を適宜変更することができる。例えば、メモリセルＭＣは、図２６Ｅに示すメモリセル１４７５のように、トランジスタＭ２のバックゲートが、配線ＢＧＬでなく、配線ＷＯＬと接続される構成にしてもよい。また、例えば、メモリセルＭＣは、図２６Ｆに示すメモリセル１４７６のように、シングルゲート構造のトランジスタ、つまりバックゲートを有さないトランジスタＭ２で構成されたメモリセルとしてもよい。また、例えば、メモリセルＭＣは、図２６Ｇに示すメモリセル１４７７のように、配線ＷＢＬと配線ＲＢＬを一本の配線ＢＩＬとしてまとめた構成であってもよい。

［０６１５］

上記実施の形態に示す半導体装置をメモリセル１４７４等に用いる場合、トランジスタＭ２としてトランジスタ２００を用いることができる。トランジスタＭ２としてＯＳトランジスタを用いることによって、トランジスタＭ２のリーク電流を非常に小さくすることができる。これにより、書き込んだデータをトランジスタＭ２によって長時間保持することができるため、メモリセルのリフレッシュの頻度を少なくすることができる。または、メモリセルのリフレッシュ動作を不要にすることができる。また、リーク電流が非常に小さいため、メモリセル１４７４に多値データ、又はアナログデータを保持することができる。メモリセル１４７５乃至メモリセル１４７７も同様である。

［０６１６］

なお、トランジスタＭ３は、チャネル形成領域にシリコンを有するトランジスタ（以下、Ｓｉトランジスタと呼ぶ場合がある）であってもよい。Ｓｉトランジスタの導電型は、ｎチャネル型としてもよいし、ｐチャネル型としてもよい。Ｓｉトランジスタは、ＯＳトランジスタよりも電界効果移動度が高くなる場合がある。よって、読み出しトランジスタとして機能するトランジスタＭ３として、Ｓｉトランジスタを用いてもよい。また、トランジスタＭ３にＳｉトランジスタを用いることで、トランジスタＭ３の上に積層してトランジスタＭ２を設けることができるので、メモリセルの占有面積を低減し、記憶装置の高集積化を図ることができる。

［０６１７］

また、トランジスタＭ３はＯＳトランジスタであってもよい。トランジスタＭ２およびトランジスタＭ３にＯＳトランジスタを用いた場合、メモリセルアレイ１４７０をｎ型トランジスタのみを用いて回路を構成することができる。

［０６１８］
また、図２６Ｈに３トランジスタ１容量素子のゲインセル型のメモリセルの一例を示す。図２６Ｈに示すメモリセル１４７８は、トランジスタＭ４乃至トランジスタＭ６、および容量素子ＣＣを有する。容量素子ＣＣは適宜設けられる。メモリセル１４７８は、配線ＢＩＬ、配線ＲＷＬ、配線ＷＷＬ、配線ＢＧＬ、および配線ＧＮＤＬに電気的に接続されている。配線ＧＮＤＬは低レベル電位を与える配線である。なお、メモリセル１４７８を、配線ＢＩＬに代えて、配線ＲＢＬ、配線ＷＢＬに電気的に接続してもよい。
［０６１９］
トランジスタＭ４は、バックゲートを有するＯＳトランジスタであり、バックゲートは配線ＢＧＬに電気的に接続されている。なお、トランジスタＭ４のバックゲートとゲートとを互いに電気的に接続してもよい。あるいは、トランジスタＭ４はバックゲートを有さなくてもよい。
［０６２０］
なお、トランジスタＭ５、トランジスタＭ６はそれぞれ、ｎチャネル型Ｓｉトランジスタまたはｐチャネル型Ｓｉトランジスタでもよい。或いは、トランジスタＭ４乃至トランジスタＭ６がＯＳトランジスタでもよい、この場合、メモリセルアレイ１４７０をｎ型トランジスタのみを用いて回路を構成することができる。
［０６２１］
上記実施の形態に示す半導体装置をメモリセル１４７８に用いる場合、トランジスタＭ４としてトランジスタ２００を用いることができる。トランジスタＭ４としてＯＳトランジスタを用いることによって、トランジスタＭ４のリーク電流を非常に小さくすることができる。
［０６２２］
なお、本実施の形態に示す、周辺回路１４１１、メモリセルアレイ１４７０等の構成は、上記に限定されるものではない。これらの回路、および当該回路に接続される配線、回路素子等の、配置または機能は、必要に応じて、変更、削除、または追加してもよい。
［０６２３］
本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。
［０６２４］
（実施の形態１１）
本実施の形態では、本発明の半導体装置が実装された記憶装置、チップ、および電子機器について説明する。
［０６２５］
＜記憶装置＞
先の実施の形態に示す半導体装置は、例えば、各種電子機器（例えば、情報端末、コンピュータ、スマートフォン、電子書籍端末、デジタルカメラ（ビデオカメラも含む）、録画再生装置、ナビゲーションシステムなど）の記憶装置に適用できる。ここで、コンピュータとは、タブレット型のコンピュータ、ノート型のコンピュータ、デスクトップ型のコンピュータの他、サーバシステムのような大型のコンピュータを含むものである。または、先の実施の形態に示す半導体装置は、メモリカード（例えば、ＳＤカード）、ＵＳＢメモリ、ＳＳＤ（ソリッド・ステート・ドライブ）等の各種のリムーバブル記憶装置に適用される。
［０６２６］

＜チップ＞

チップには、複数の回路（システム）が実装されている。このように、複数の回路（システム）を一つのチップに集積する技術を、システムオンチップ（Ｓｙｓｔｅｍ　ｏｎ　Ｃｈｉｐ：ＳｏＣ）と呼ぶ場合がある。

［０６２７］

チップは、ＣＰＵ、ＧＰＵ、一または複数のアナログ演算部、一または複数のメモリコントローラ、一または複数のインターフェース、一または複数のネットワーク回路等を有する。

［０６２８］

チップにはバンプが設けられ、プリント基板（Ｐｒｉｎｔｅｄ　Ｃｉｒｃｕｉｔ　Ｂｏａｒｄ：ＰＣＢ）の第１の面と接続する。また、ＰＣＢの第１の面の裏面には、複数のバンプが設けられており、マザーボードと接続する。

［０６２９］

マザーボードには、ＤＲＡＭ、フラッシュメモリ等の記憶装置が設けられていてもよい。例えば、ＤＲＡＭに先の実施の形態に示すＤＯＳＲＡＭを用いることができる。また、例えば、フラッシュメモリに先の実施の形態に示すＮＯＳＲＡＭを用いることができる。

［０６３０］

ＣＰＵは、複数のＣＰＵコアを有することが好ましい。また、ＧＰＵは、複数のＧＰＵコアを有することが好ましい。また、ＣＰＵ、およびＧＰＵは、それぞれ一時的にデータを格納するメモリを有していてもよい。または、ＣＰＵ、およびＧＰＵに共通のメモリが、チップに設けられていてもよい。該メモリには、前述したＮＯＳＲＡＭや、ＤＯＳＲＡＭを用いることができる。また、ＧＰＵは、多数のデータの並列計算に適しており、画像処理や積和演算に用いることができる。ＧＰＵに、本発明の酸化物半導体を用いた画像処理回路や、積和演算回路を設けることで、画像処理、および積和演算を低消費電力で実行することが可能になる。

［０６３１］

アナログ演算部はＡ／Ｄ（アナログ／デジタル）変換回路、およびＤ／Ａ（デジタル／アナログ）変換回路の一、または両方を有する。また、アナログ演算部に上記積和演算回路を設けてもよい。

［０６３２］

メモリコントローラは、ＤＲＡＭのコントローラとして機能する回路、およびフラッシュメモリのインターフェースとして機能する回路を有する。

［０６３３］

インターフェースは、表示装置、スピーカ、マイクロフォン、カメラ、コントローラなどの外部接続機器とのインターフェース回路を有する。

［０６３４］

ネットワーク回路は、ＬＡＮ（Ｌｏｃａｌ　Ａｒｅａ　Ｎｅｔｗｏｒｋ）などのネットワーク用の回路を有する。また、ネットワークセキュリティー用の回路を有してもよい。

［０６３５］

ＧＰＵを有するチップが設けられたＰＣＢ、ＤＲＡＭ、およびフラッシュメモリが設けられたマザーボードは、ＧＰＵモジュールと呼ぶことができる。

［０６３６］

ＧＰＵモジュールは、ＳｏＣ技術を用いたチップを有しているため、そのサイズを小さくするこ

とができる。また、画像処理に優れていることから、スマートフォン、タブレット端末、ラップトップＰＣ、携帯型（持ち出し可能な）ゲーム機などの携帯型電子機器に用いることが好適である。また、ＧＰＵを用いた積和演算回路により、ディープニューラルネットワーク（ＤＮＮ）、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ）、再帰型ニューラルネットワーク（ＲＮＮ）、自己符号化器、深層ボルツマンマシン（ＤＢＭ）、深層信念ネットワーク（ＤＢＮ）などの手法を実行することができるため、チップをＡＩチップ、またはＧＰＵモジュールをＡＩシステムモジュールとして用いることができる。

［０６３７］

＜電子機器＞

上記ＧＰＵまたは上記チップは、様々な電子機器に搭載することができる。電子機器の例としては、例えば、テレビジョン装置、デスクトップ型またはノート型の情報端末用などのモニタ、デジタルサイネージ（Ｄｉｇｉｔａｌ　Ｓｉｇｎａｇｅ：電子看板）、パチンコ機などの大型ゲーム機、大型コンピュータ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、電子ブックリーダー、携帯電話（スマートフォン）、携帯型ゲーム機、携帯情報端末、音響再生装置、移動体、電化製品、などが挙げられる。移動体としては、例えば、自動車、電車、モノレール、船、飛行体（ヘリコプター、無人航空機（ドローン）、飛行機、ロケット）などが挙げられる。また、電化製品としては、例えば、電気冷凍冷蔵庫、掃除機、電子レンジ、電子オーブン、炊飯器、湯沸かし器、ＩＨ調理器、ウォーターサーバ、エアーコンディショナーを含む冷暖房器具、洗濯機、乾燥機、オーディオビジュアル機器などが挙げられる。また、上記ＧＰＵまたは上記チップを電子機器に設けることにより、電子機器に人工知能を搭載することができる。

［０６３８］

本発明の一態様の電子機器は、アンテナを有していてもよい。アンテナで信号を受信することで、表示部で映像や情報等の表示を行うことができる。また、電子機器がアンテナ及び二次電池を有する場合、アンテナを、非接触電力伝送に用いてもよい。

［０６３９］

本発明の一態様の電子機器は、センサ（力、変位、位置、速度、加速度、角速度、回転数、距離、光、液、磁気、温度、化学物質、音声、時間、硬度、電場、電流、電圧、電力、放射線、流量、湿度、傾度、振動、においまたは赤外線を測定する機能を含むもの）を有していてもよい。

［０６４０］

本発明の一態様の電子機器は、様々な機能を有することができる。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）を実行する機能、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す機能等を有することができる。

［０６４１］

本実施の形態で説明した電子機器、その電子機器の機能、人工知能の応用例、その効果などは、他の電子機器の記載と適宜組み合わせることができる。

［０６４２］

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

[符号の説明]

［０６４３］

：１０：金属酸化物、１１：領域、１１＿１：領域、１１＿２：領域、１１＿３：領域、１１＿ｎ：領域、１２：領域、１２＿１：領域、１２＿２：領域、１２＿３：領域、１２＿ｐ：領域、１３：領域、１３＿１：領域、１３＿２：領域、１３＿３：領域、１３＿４：領域、１３＿５：領域、１３＿ｑ：領域、２０：ダイレクトスポット、２１：スポット、２２：スポット、３１：領域、３２：領域、２００：トランジスタ、２０５：導電体、２０５ａ：導電体、２０５ｂ：導電体、２１１：絶縁体、２１２：絶縁体、２１４：絶縁体、２１６：絶縁体、２２２：絶縁体、２２４：絶縁体、２３０：酸化物、２３０ａ：酸化物、２３０ｂ：酸化物、２３０ｃ：酸化物、２４０ａ：導電体、２４０ｂ：導電体、２４１ａ：絶縁体、２４１ｂ：絶縁体、２４２ａ：導電体、２４２ｂ：導電体、２４３ａ：酸化物、２４３ｂ：酸化物、２４６ａ：導電体、２４６ｂ：導電体、２５０：絶縁体、２６０：導電体、２６０ａ：導電体、２６０ｂ：導電体、２７２：絶縁体、２７３：絶縁体、２８０：絶縁体、２８２：絶縁体、２８３：絶縁体、２８４：絶縁体、２８６：絶縁体、３００：トランジスタ、３００Ａ：トランジスタ、３０２：基板、３０４：導電層、３０６：絶縁層、３０８：半導体層、３１２ａ：導電層、３１２ｂ：導電層、３１３ａ：導電層、３１３ｂ：導電層、３１４：絶縁層、３１６：絶縁層、３２０：導電層、３４２：開口部、３５０：トランジスタ、３５０Ａ：トランジスタ、３５０Ｂ：トランジスタ、３５０Ｃ：トランジスタ、３５２：基板、３５３：絶縁層、３５３ａ：絶縁層、３５３ｂ：絶縁層、３５６：導電層、３５８：半導体層、３５８ｎ：低抵抗領域、３６０：絶縁層、３６２：導電層、３６４：金属酸化物層、３６６：絶縁層、３６８：絶縁層、３７０ａ：導電層、３７０ｂ：導電層、３９１ａ：開口部、３９１ｂ：開口部、３９２：開口部、４００：画素回路、４００ＥＬ：画素回路、４００ＬＣ：画素回路、４０１：回路、４０１ＥＬ：回路、４０１ＬＣ：回路、５０１：画素回路、５０２：画素部、５０４：駆動回路部、５０４ａ：ゲートドライバ、５０４ｂ：ソースドライバ、５０６：保護回路、５０７：端子部、５５０：トランジスタ、５５２：トランジスタ、５５４：トランジスタ、５６０：容量素子、５６２：容量素子、５７０：液晶素子、５７２：発光素子、７００：表示装置、７００ａ：表示装置、７０１：基板、７０２：表示部、７０３ａ：接続端子、７０３ｂ：接続端子、７０４：配線、７０５：基板、７０６：ＦＰＣ、７０７：ＩＣ、７１０：液晶素子、７１１：導電層、７１２：液晶、７１３：導電層、７２０：支持体、７２１：トランジスタ、７２２：トランジスタ、７２３：配線、７２５：配向膜、７２６：配向膜、７２７：スペーサ、７３０：絶縁層、７３２：封止層、７３４：絶縁層、７３６：着色層、７３８：遮光層、７３９：導電層、７４０：基板、７４１：保護層、７４１ａ：絶縁層、７４１ｂ：絶縁層、７４１ｃ：絶縁層、７４２：接着層、７４３：樹脂層、７４４：絶縁層、７４６：絶縁層、７４７：接着層、７４８：接着層、７４９：保護層、７５０：トランジスタ、７５２：トランジスタ、７５５：偏光板、７５６：偏光板、７５７：光源、７６１ａ：湾曲部、７６１ｂ：湾曲部、７６２：基板、７６３：回路部、７６４：回路部、７６５：切欠き部、７７０：絶縁層、７７２：導電層、７８０：接続層、７８２：発光素子、７８６：ＥＬ層、７８８：導電層、７９０：容量素子、１４００：記憶装置、１４１１：周辺回路、１４２０：行回路、１４３０：列回路、１４４０：出力回路、１４６０：コントロールロジック回路、１４７０：メモリセルアレイ、１４７１：メモリセル、１４７２：メモリセル、１４７３：メモリセル、１４７４：メモリセル、１４７５：メモリセル、１４７６：メモリセル、１４７７：メモリセル、１４７８：メモリセル、６０００：表示モジュール、６００１：上部カバー、６００２：下部カバー、６００５：ＦＰＣ、６００６：表示装置、６００９：フレーム、６０１０：プリント基板、６０１

１：バッテリー、６０１５：発光部、６０１６：受光部、６０１７ａ：導光部、６０１７ｂ：導光部、６０１８：光、６５００：電子機器、６５０１：筐体、６５０２：表示部、６５０３：電源ボタン、６５０４：ボタン、６５０５：スピーカ、６５０６：マイク、６５０７：カメラ、６５０８：光源、６５０９：光源、６５１０：保護部材、６５１１：表示パネル、６５１２：光学部材、６５１３：タッチセンサパネル、６５１５：ＦＰＣ、６５１６：ＩＣ、６５１７：プリント基板、６５１８：バッテリー、７１００：テレビジョン装置、７１０１：筐体、７１０３：スタンド、７１１１：リモコン操作機、７２００：ノート型パーソナルコンピュータ、７２１１：筐体、７２１２：キーボード、７２１３：ポインティングデバイス、７２１４：外部接続ポート、７３００：デジタルサイネージ、７３０１：筐体、７３０３：スピーカ、７３１１：情報端末機、７４００：デジタルサイネージ、７４０１：柱、７５００：表示部、８０００：カメラ、８００１：筐体、８００２：表示部、８００３：操作ボタン、８００４：シャッターボタン、８００６：レンズ、８１００：ファインダー、８１０１：筐体、８１０２：表示部、８１０３：ボタン、８２００：ヘッドマウントディスプレイ、８２０１：装着部、８２０２：レンズ、８２０３：本体、８２０４：表示部、８２０５：ケーブル、８２０６：バッテリー、８３００：ヘッドマウントディスプレイ、８３０１：筐体、８３０２：表示部、８３０４：固定具、８３０５：レンズ、９０００：筐体、９００１：表示部、９００３：スピーカ、９００５：操作キー、９００６：接続端子、９００７：センサ、９００８：マイクロフォン、９０５０：アイコン、９０５１：情報、９０５２：情報、９０５３：情報、９０５４：情報、９０５５：ヒンジ、９１００：テレビジョン装置、９１０１：携帯情報端末、９１０２：携帯情報端末、９２００：携帯情報端末、９２０１：携帯情報端末

請求の範囲

[請求項１]

微結晶と、非晶質と、を有し、

前記微結晶と、前記非晶質との間に、低秩序領域を有し、

前記微結晶の界面は、前記低秩序領域に覆われている、

金属酸化物。

[請求項２]

請求項１において、

前記低秩序領域の結晶性は、前記微結晶の結晶性よりも低く、前記非晶質の結晶性よりも高い、

金属酸化物。

[請求項３]

請求項１において、

前記低秩序領域のエネルギーは、前記微結晶のエネルギーよりも高く、前記非晶質のエネルギーよりも低い、

金属酸化物。

[請求項４]

第１の領域と、第２の領域と、を有し、

前記第１の領域と、前記第２の領域との間に、第３の領域を有し、

前記第１の領域の界面は、前記第３の領域に覆われており、

前記第３の領域の結晶性は、前記第１の領域の結晶性よりも低く、

前記第２の領域の結晶性は、前記第３の領域の結晶性よりも低い、

金属酸化物。

[請求項５]

第１の領域と、第２の領域と、を有し、

前記第１の領域と、前記第２の領域との間に、第３の領域を有し、

前記第１の領域の界面は、前記第３の領域に覆われており、

前記第３の領域は、前記第１の領域よりもエネルギー的に不安定であり、

前記第２の領域は、前記第３の領域よりもエネルギー的に不安定である、

金属酸化物。

[請求項６]

請求項４または請求項５において、

前記第１の領域のサイズは、１ｎｍ以上３ｎｍ以下である、

金属酸化物。

[請求項７]

請求項６において、

前記第１の領域のサイズは、透過型電子顕微鏡による観察像から測定される、

金属酸化物。

[請求項８]

請求項４または請求項５において、

極微電子線回折により、ダイレクトスポットからの動径方向の距離が、２．９ｎｍ$^{-1}$から４．２

nm^{-1}の範囲にある領域内に、複数のスポットが観測される、

金属酸化物。

［請求項９］

請求項４または請求項５において、

極微電子線回折により、複数のスポットが第４の領域内に観察され、かつ、一または複数のスポットが第５の領域内に観察され、ダイレクトスポットから前記第４の領域までの距離に対する、前記ダイレクトスポットから前記第５の領域までの距離の比は、１．５以上１．８以下である、

金属酸化物。

［請求項１０］

請求項８または請求項９において、

前記極微電子線回折は、プローブ径を１ｎｍ以上３０ｎｍ以下の電子線回折を用いて行われる、

金属酸化物。

［請求項１１］

請求項１乃至請求項１０のいずれか一項において、

インジウムと、元素Ｍ（Ｍは、ガリウム、アルミニウム、イットリウム、および錫のいずれか一または複数）と、亜鉛と、を有する、

金属酸化物。

［請求項１２］

請求項１乃至請求項１１のいずれか一項に記載の金属酸化物をチャネル形成領域として有する、

トランジスタ。

図1A

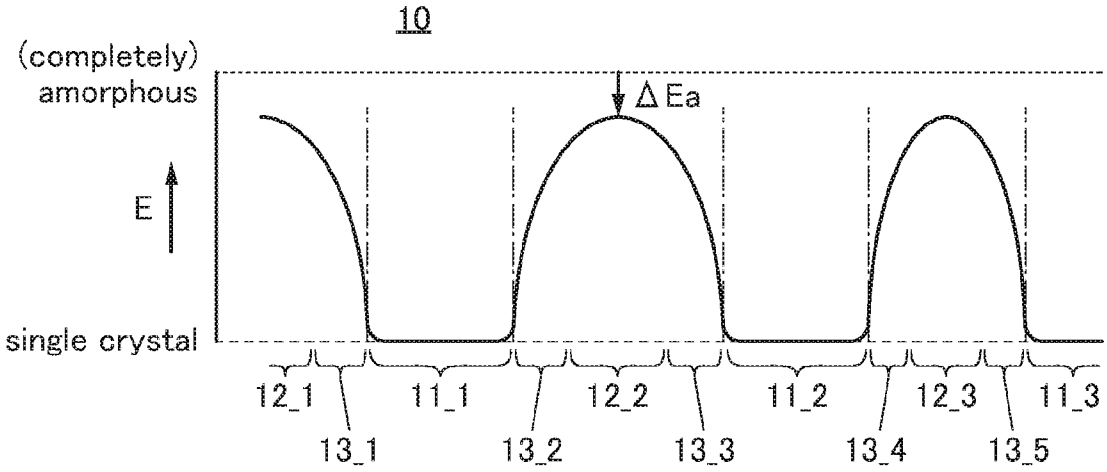

10
(completely)
amorphous
E
single crystal
ΔEa
12_1
11_1
12_2
11_2
12_3
11_3
13_1
13_2
13_3
13_4
13_5

図1B

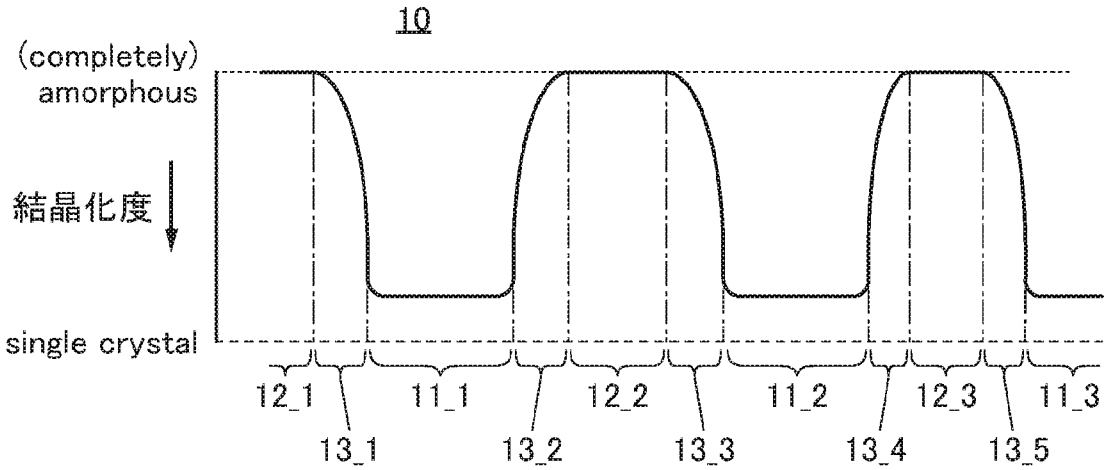
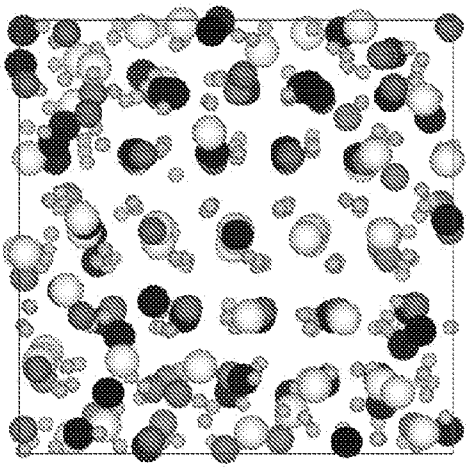
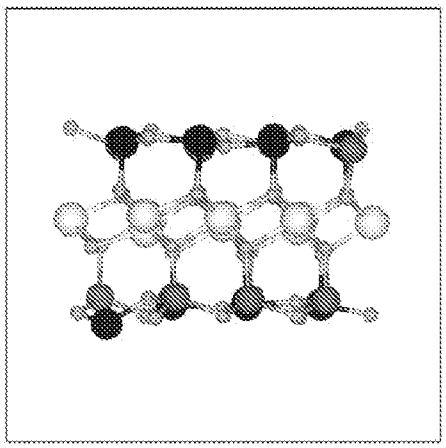

10
(completely)
amorphous
結晶化度
single crystal
12_1
11_1
12_2
11_2
12_3
11_3
13_1
13_2
13_3
13_4
13_5

図2A



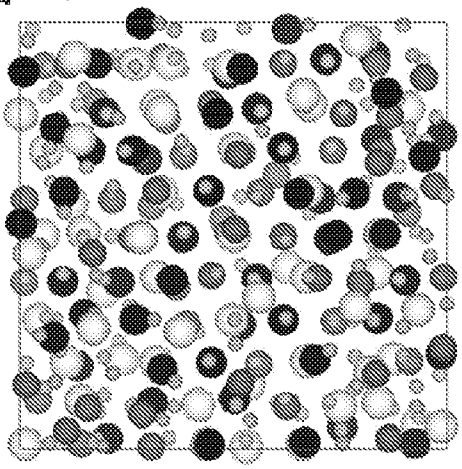
○: In ●: Ga ●: Zn ◎: O

図2B



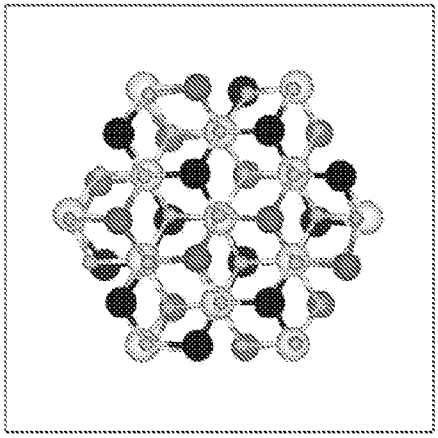
○: In ●: Ga ●: Zn ◎: O

図2C



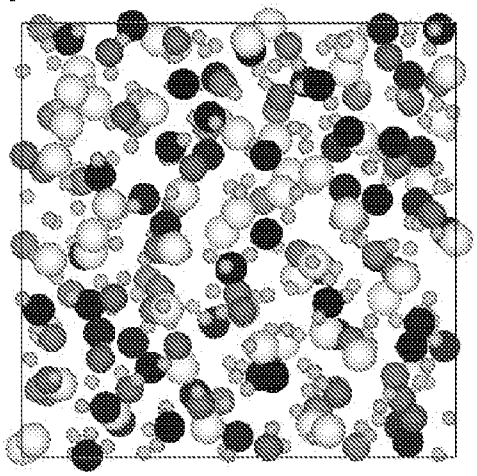
○: In ●: Ga ●: Zn ◎: O

図2D



○: In ●: Ga ●: Zn ◎: O

図2E



○: In ●: Ga ●: Zn ◎: O

図3A

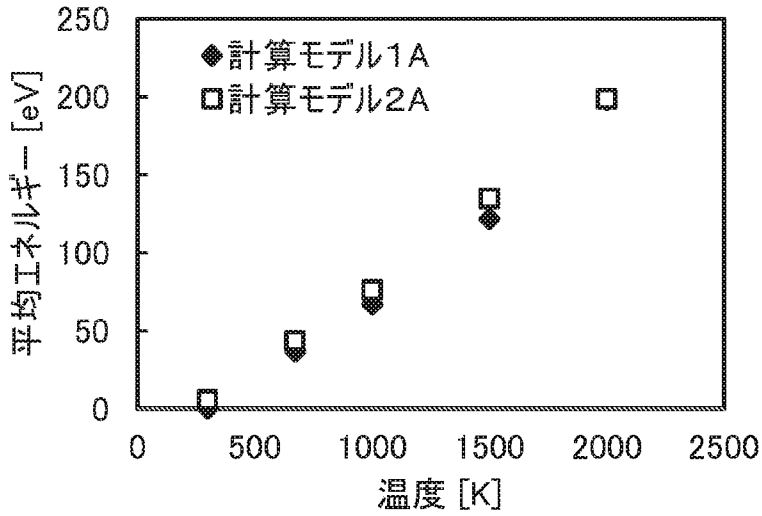

250
200
150
100
50
0
◆計算モデル1A
□計算モデル2A
平均エネルギー [eV]
0
500
1000
1500
2000
2500
温度 [K]

図3B

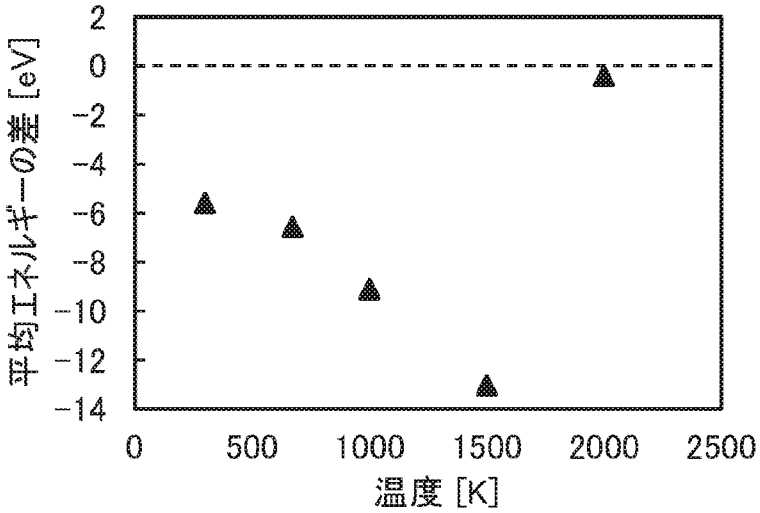
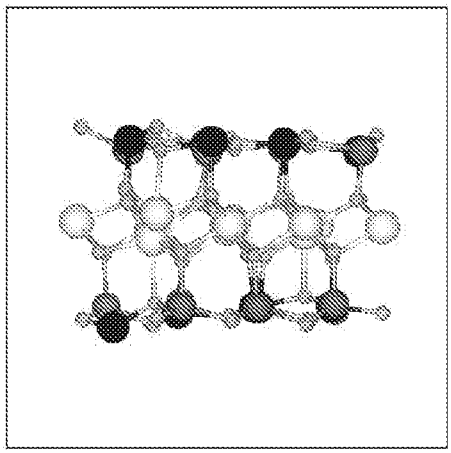
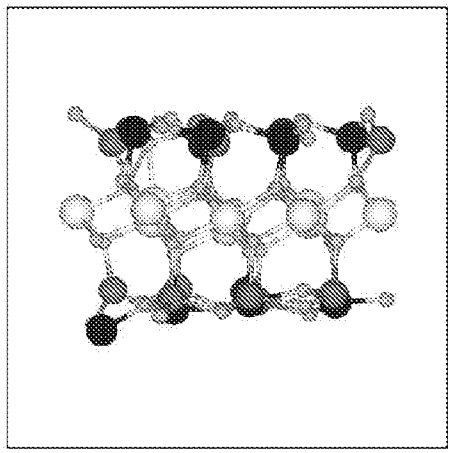

2
0
−2
−4
−6
−8
−10
−12
−14
平均エネルギーの差 [eV]
0
500
1000
1500
2000
2500
温度 [K]

図4A



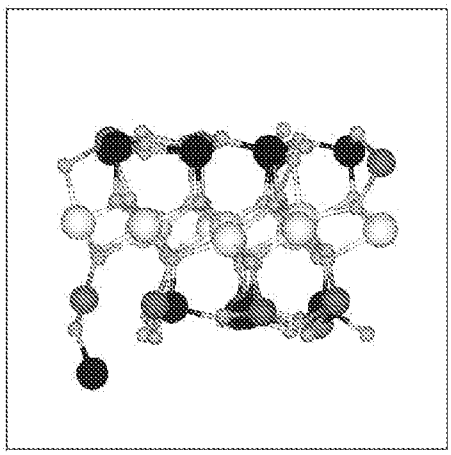
○: In ●: Ga ●: Zn ◈: O

図4B



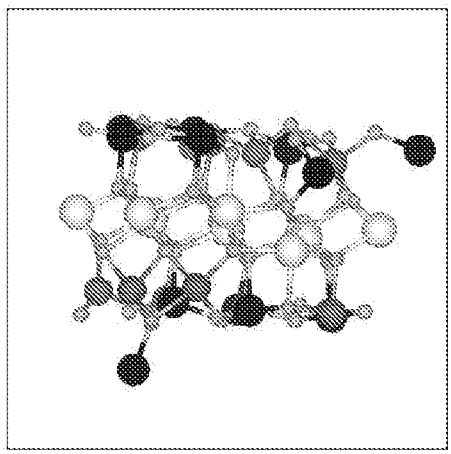
○: In ●: Ga ●: Zn ◈: O

図4C



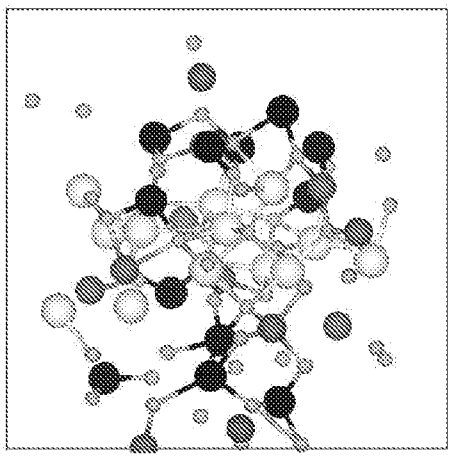
○: In ●: Ga ●: Zn ◈: O

図4D



○: In ●: Ga ●: Zn ◈: O

図4E



○: In ●: Ga ●: Zn ◈: O

図5A

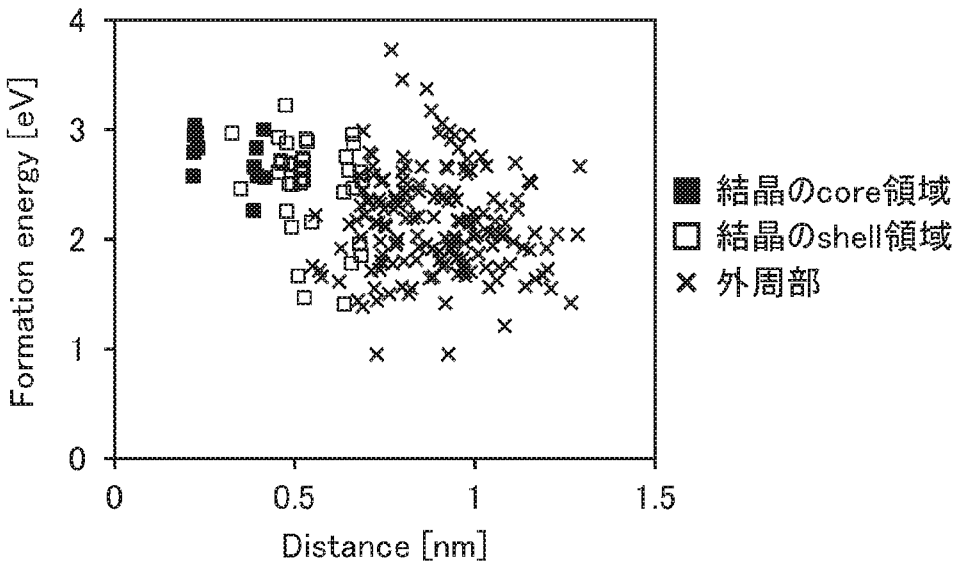

Formation energy [eV]
4
3
2
1
0
0
0.5
1
1.5
Distance [nm]
結晶のcore領域
結晶のshell領域
外周部

図5B

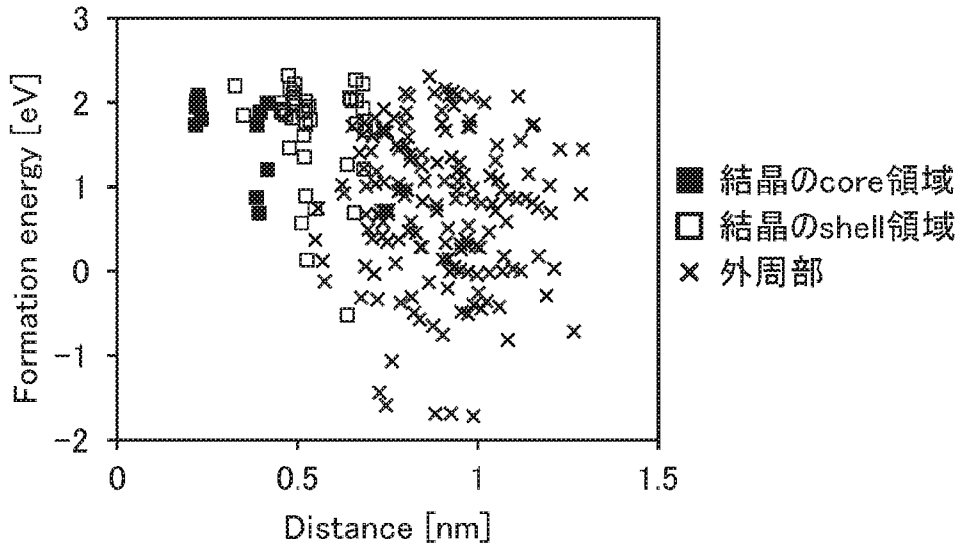

Formation energy [eV]
3
2
1
0
−1
−2
0
0.5
1
1.5
Distance [nm]
結晶のcore領域
結晶のshell領域
外周部

図6

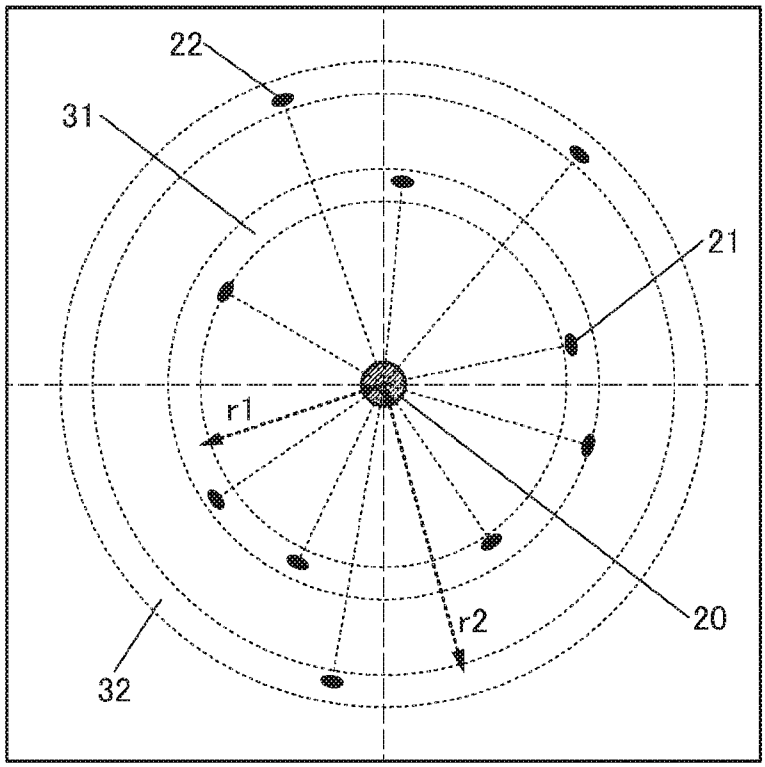


図7A

Amorphous	Crystalline	Crystal
completely amorphous	・CAAC ・nc ・CAC	・single crystal ・poly crystal

図7B

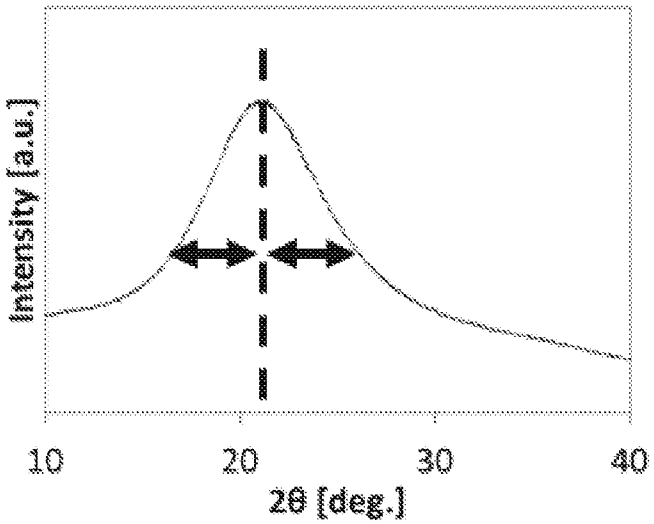


図7C

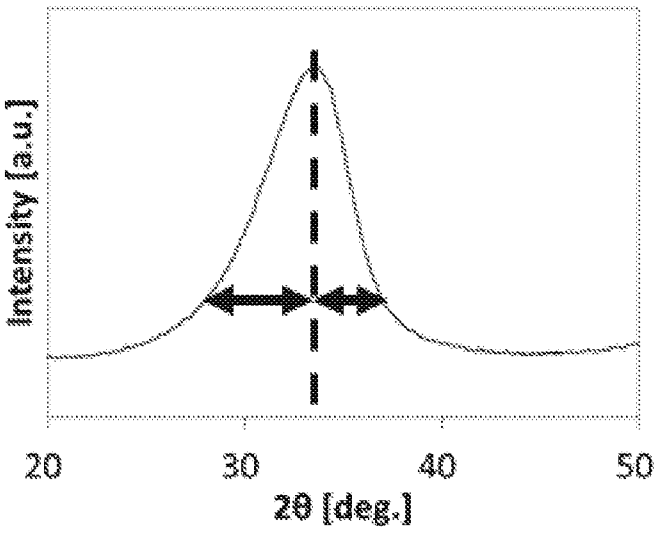


図8A

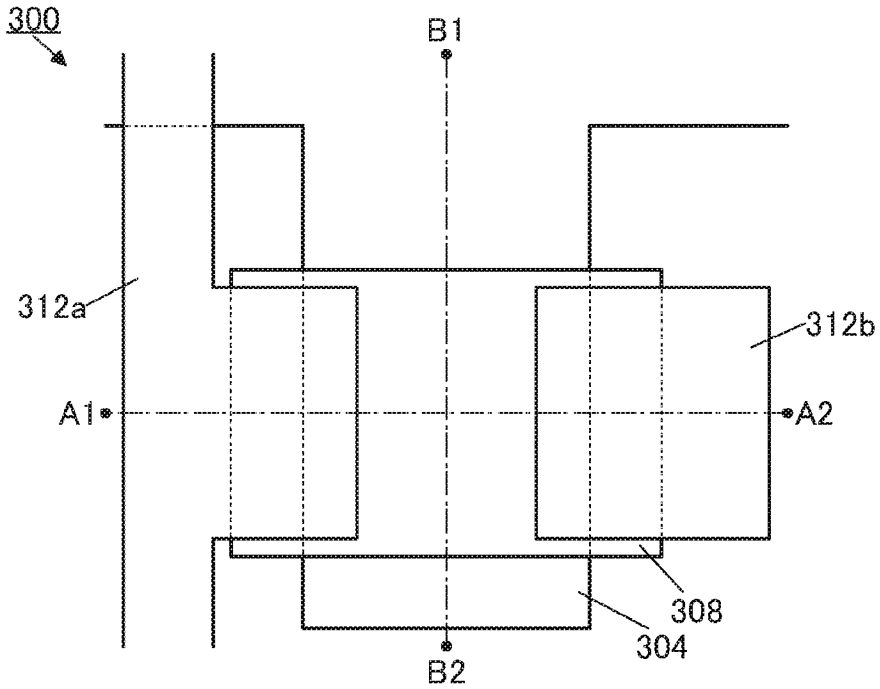

300
B1
312a
312b
A1
A2
308
304
B2

図8B

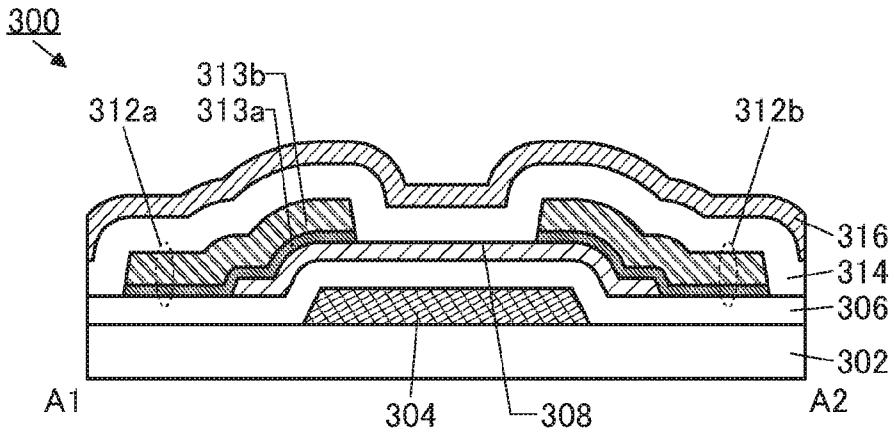

300
313b
312a
313a
312b
316
314
306
302
A1
304
308
A2

図8C

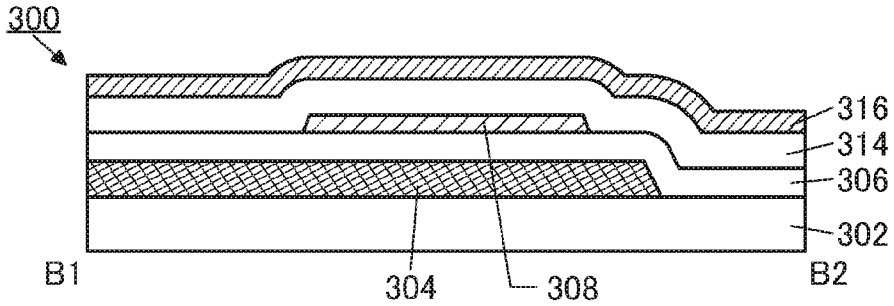

300
316
314
306
302
B1
304
308
B2

図9A

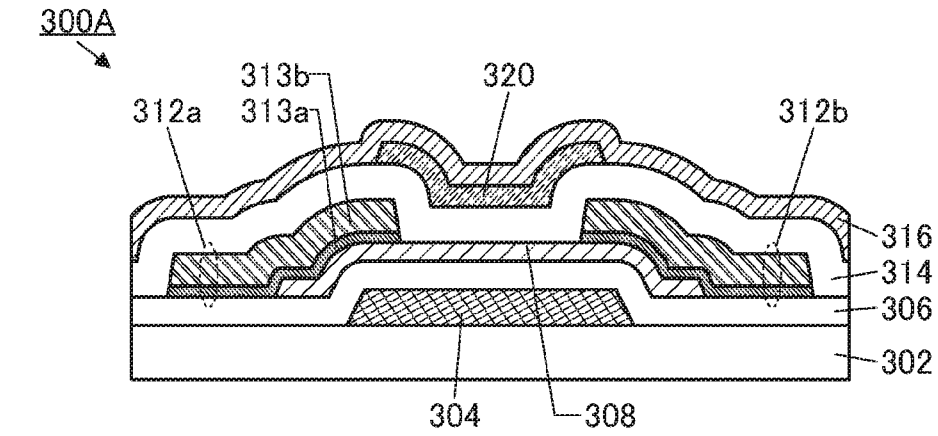

300A
313b
320
312a
313a
312b
316
314
306
302
304
308

図9B

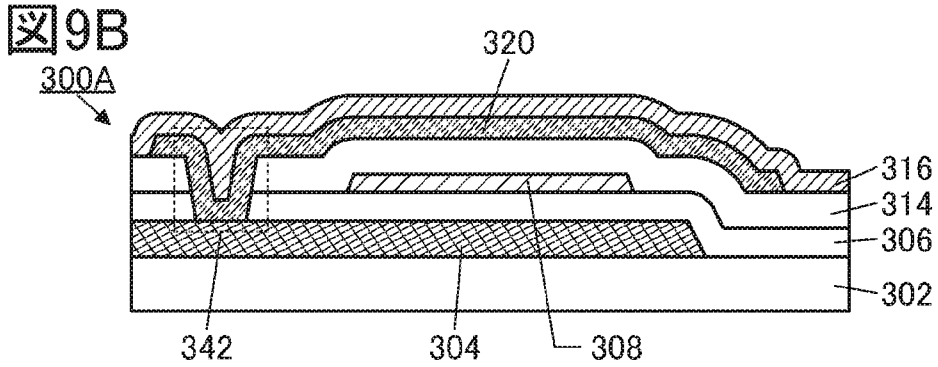

300A
320
316
314
306
302
342
304
308

図10A

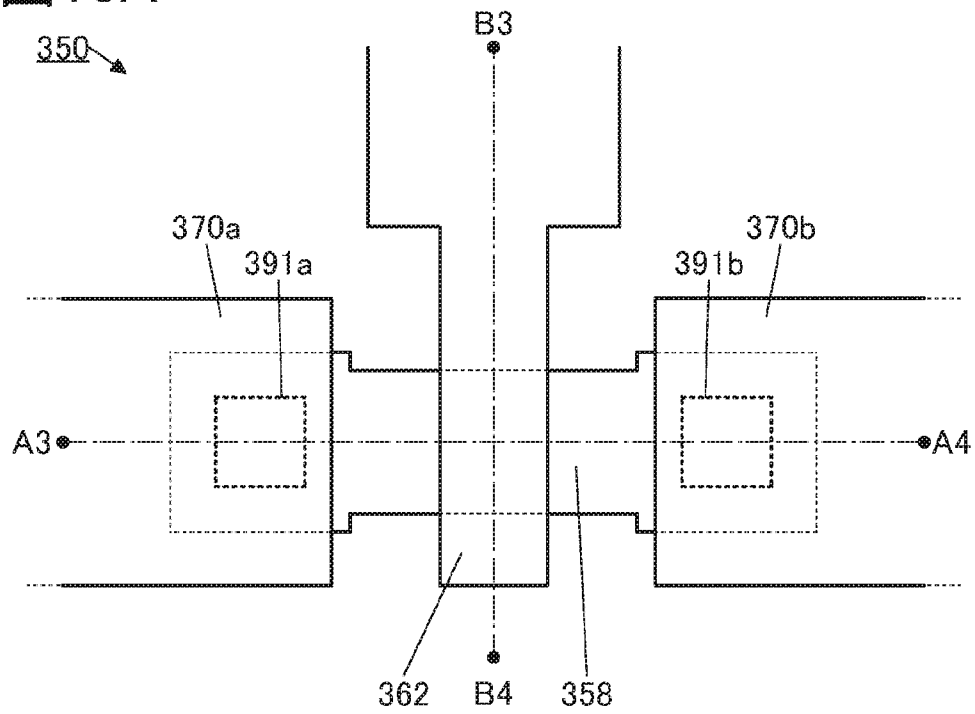


図10B

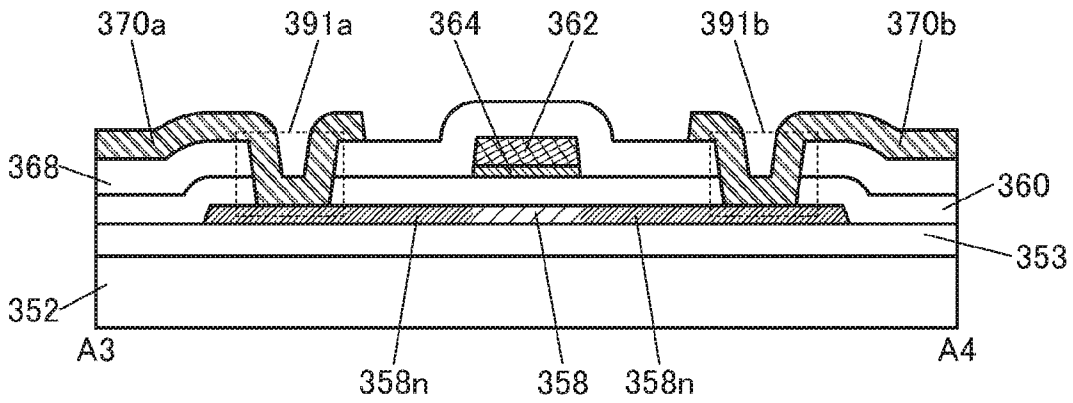


図10C

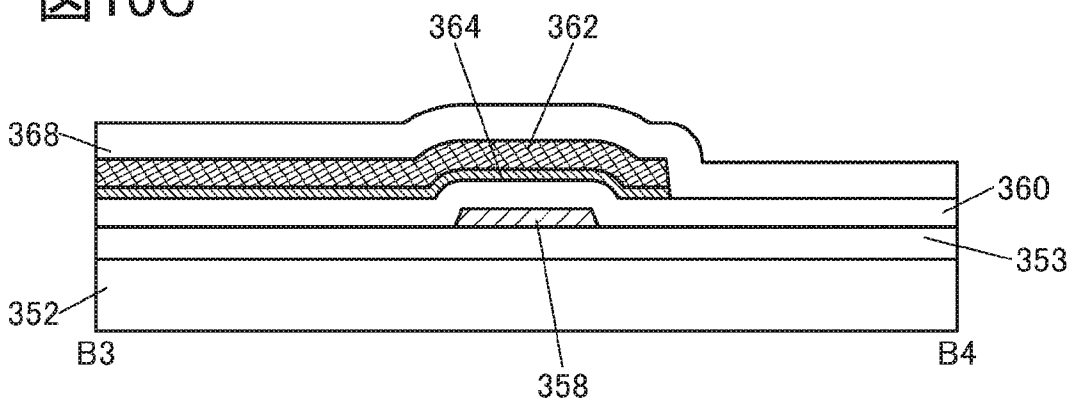


図11A

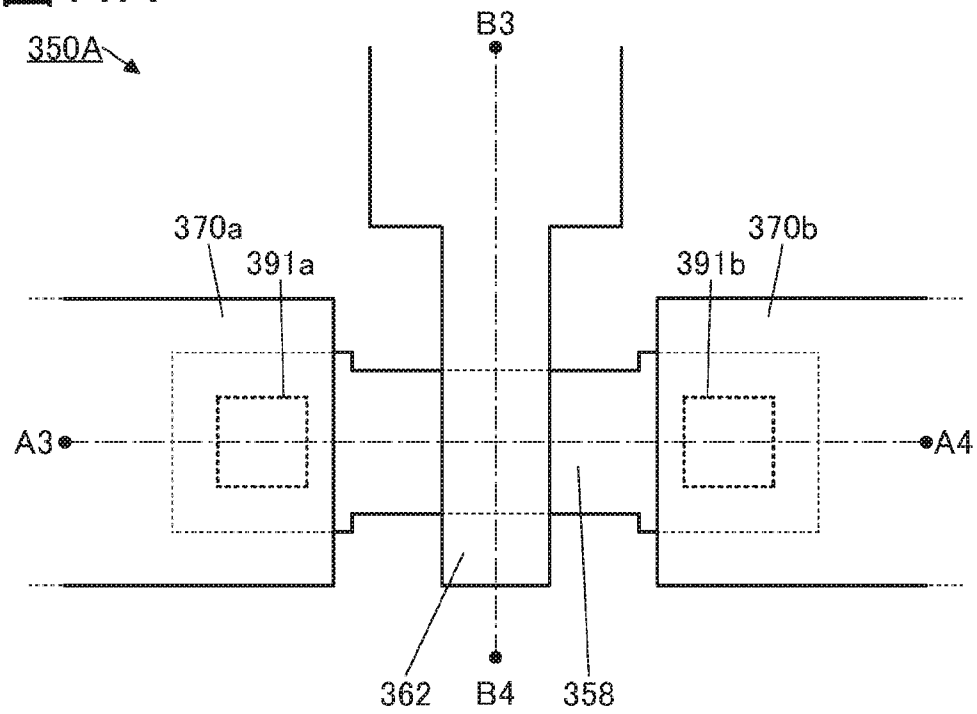


図11B

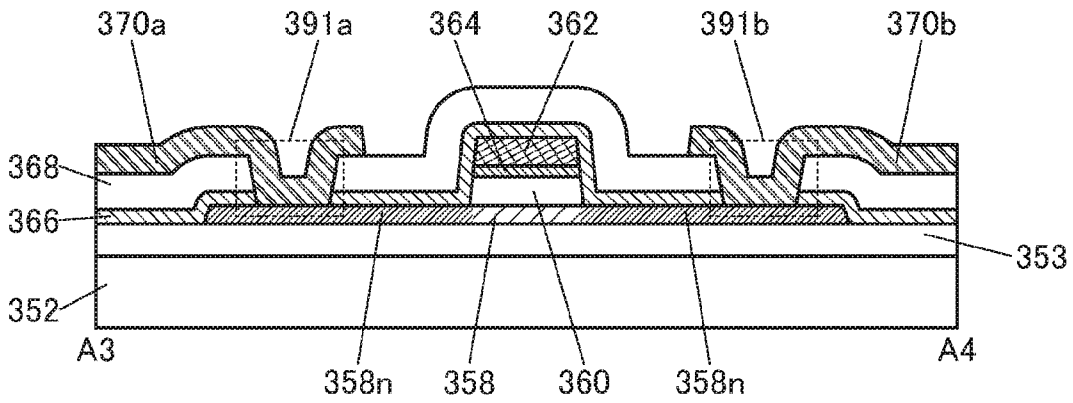


図11C

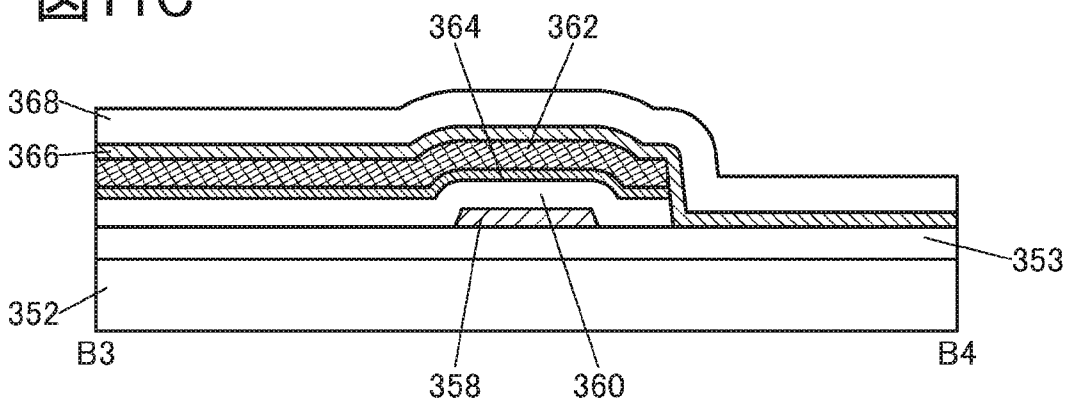


図12A

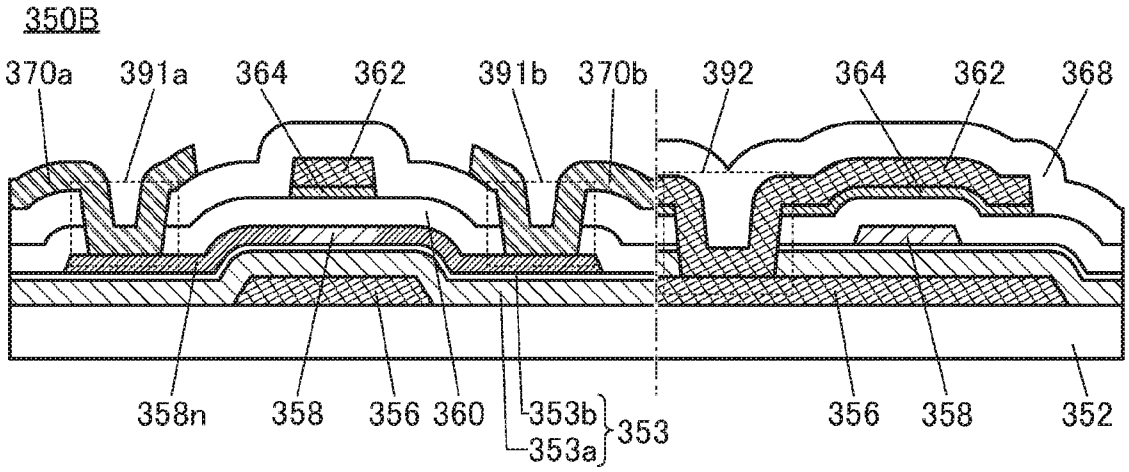

350B
370a
391a
364
362
391b
370b
392
364
362
368
358n
358
356
360
353b
353a
353
356
358
352

図12B

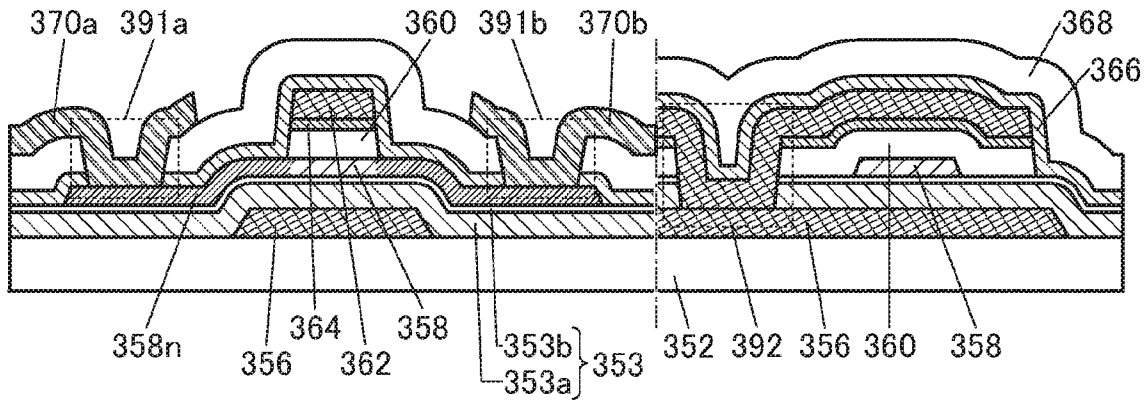

350C
370a
391a
360
391b
370b
368
366
358n
356
364
362
358
353b
353a
353
352
392
356
360
358

図13A

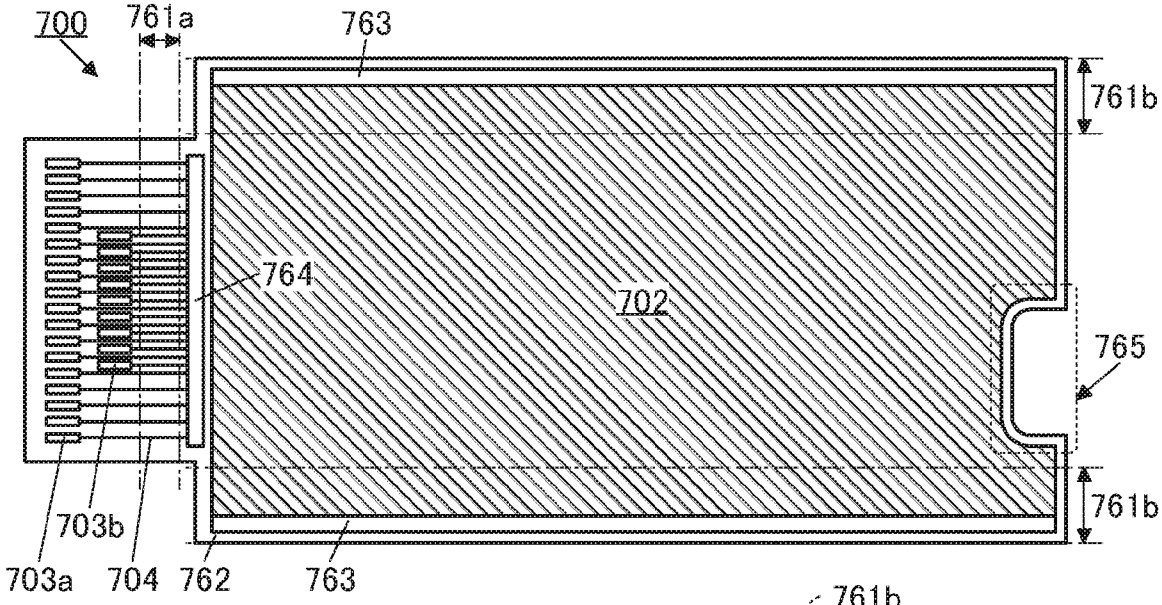


図13B

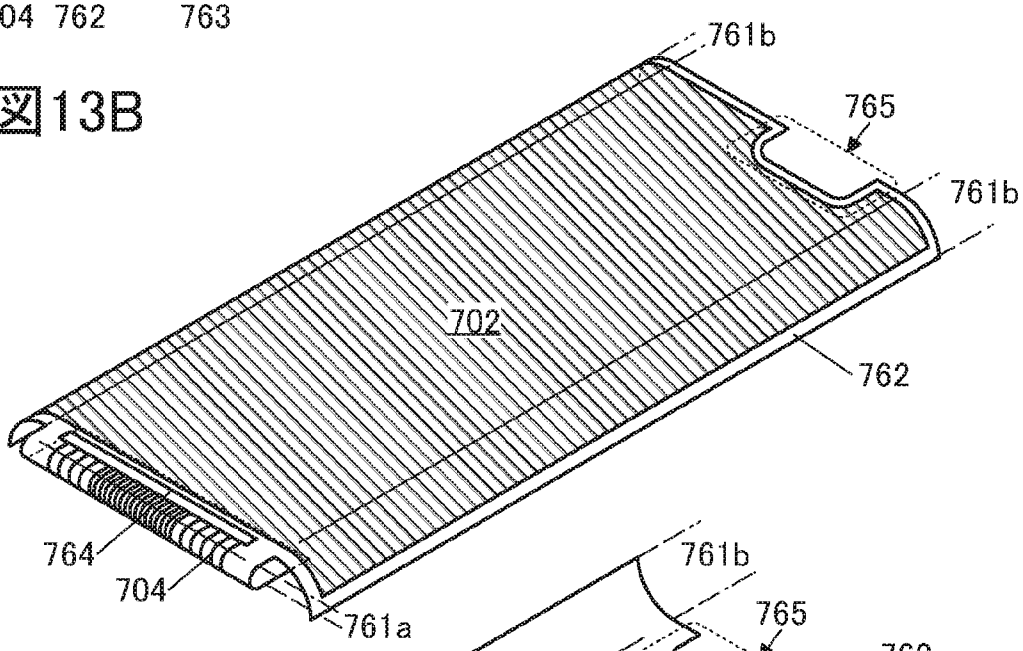
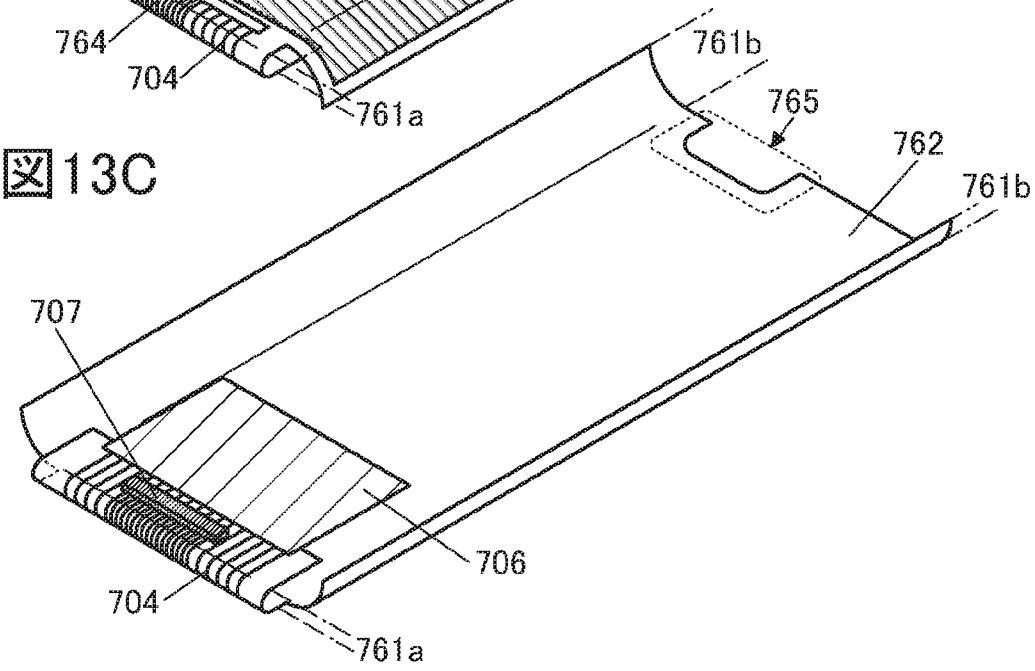


図13C



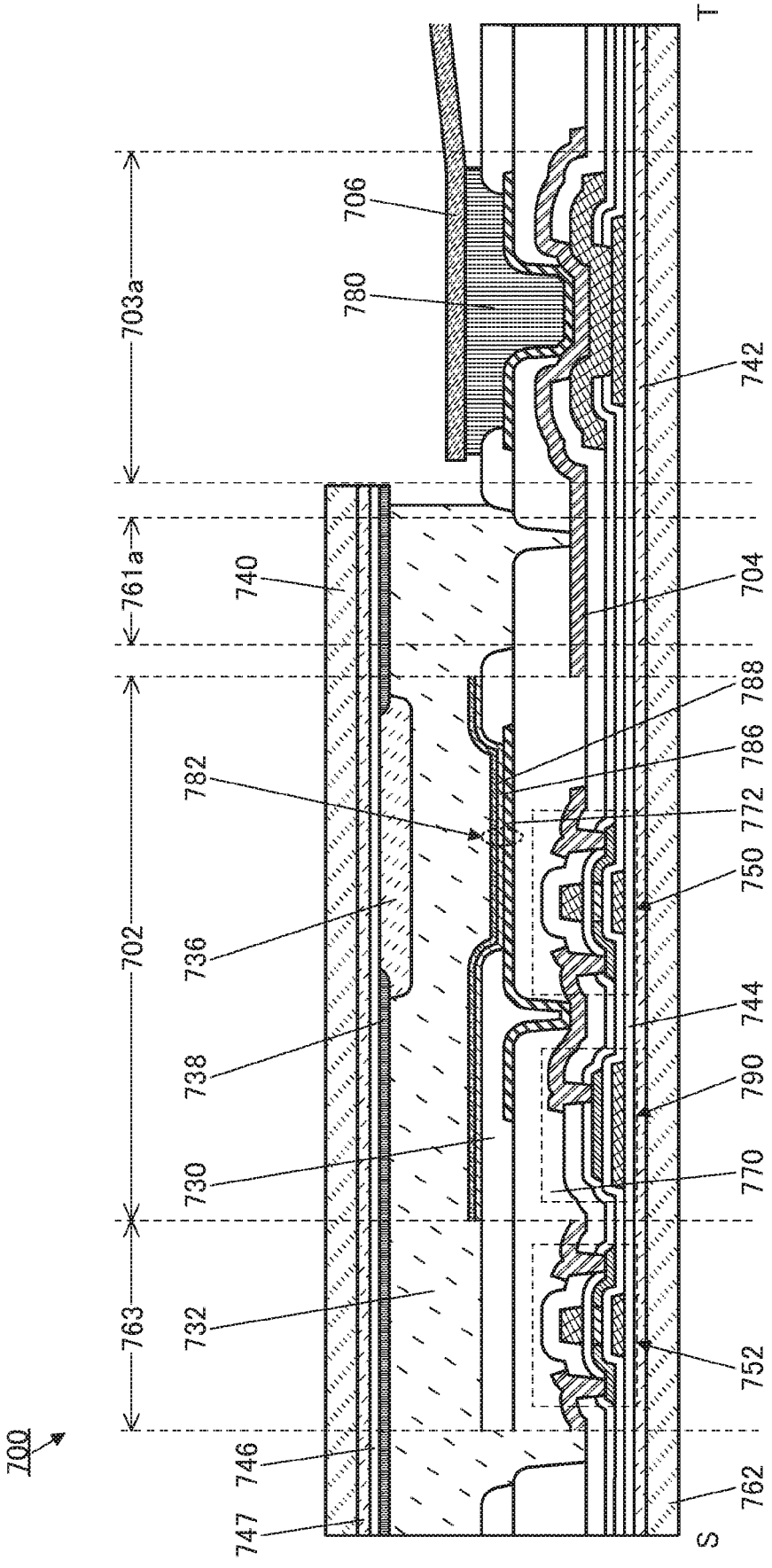

T
706
780
703a
742
761a
740
704
788
786
782
772
750
736
744
738
790
730
770
763
732
752
700
746
747
762
S

図14

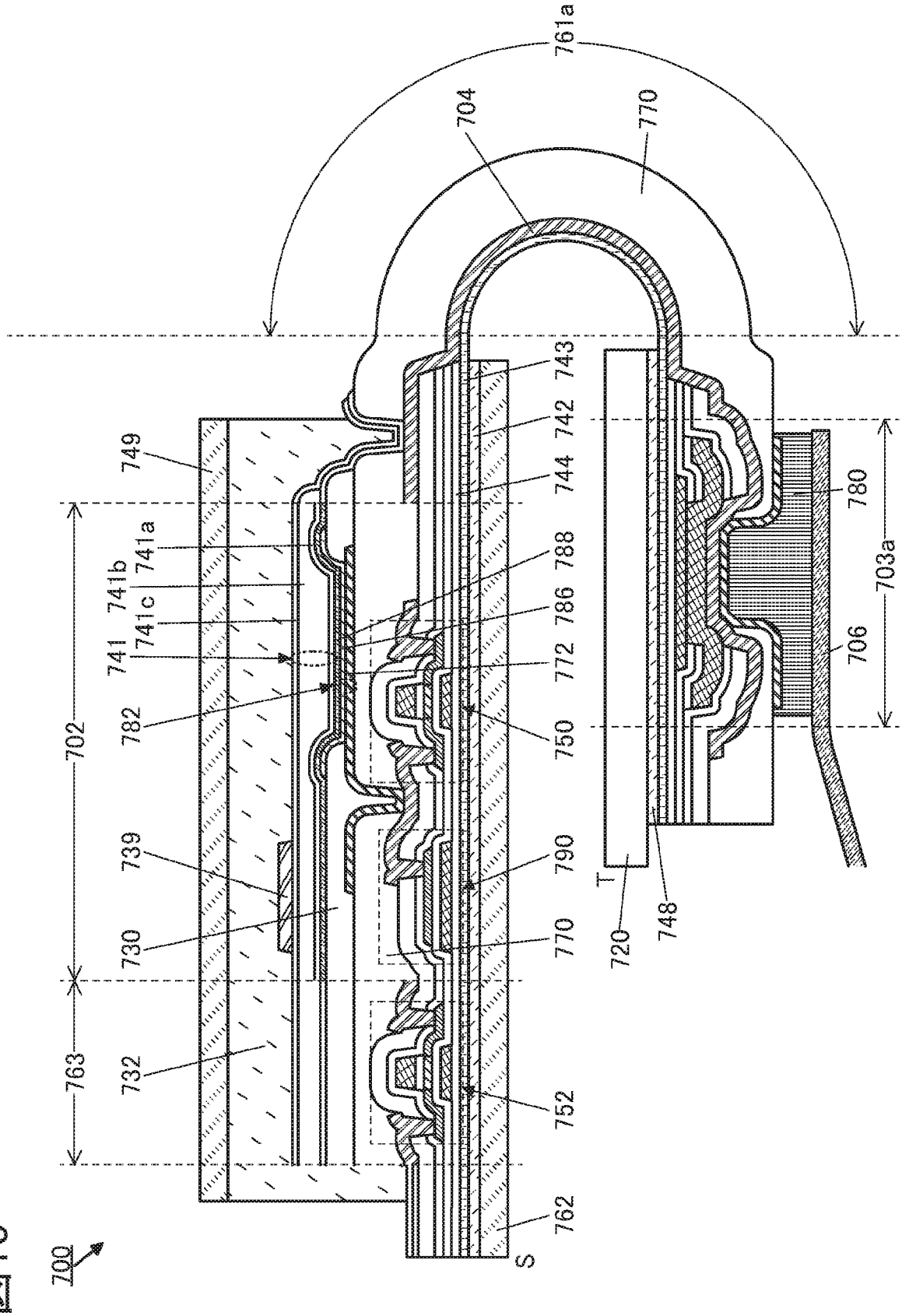

761a
704
770
743
742
744
749
780
741a
741b
741c
741
788
786
772
706
703a
782
750
702
739
790
730
770
720
748
T
763
732
752
762
S
700

図15

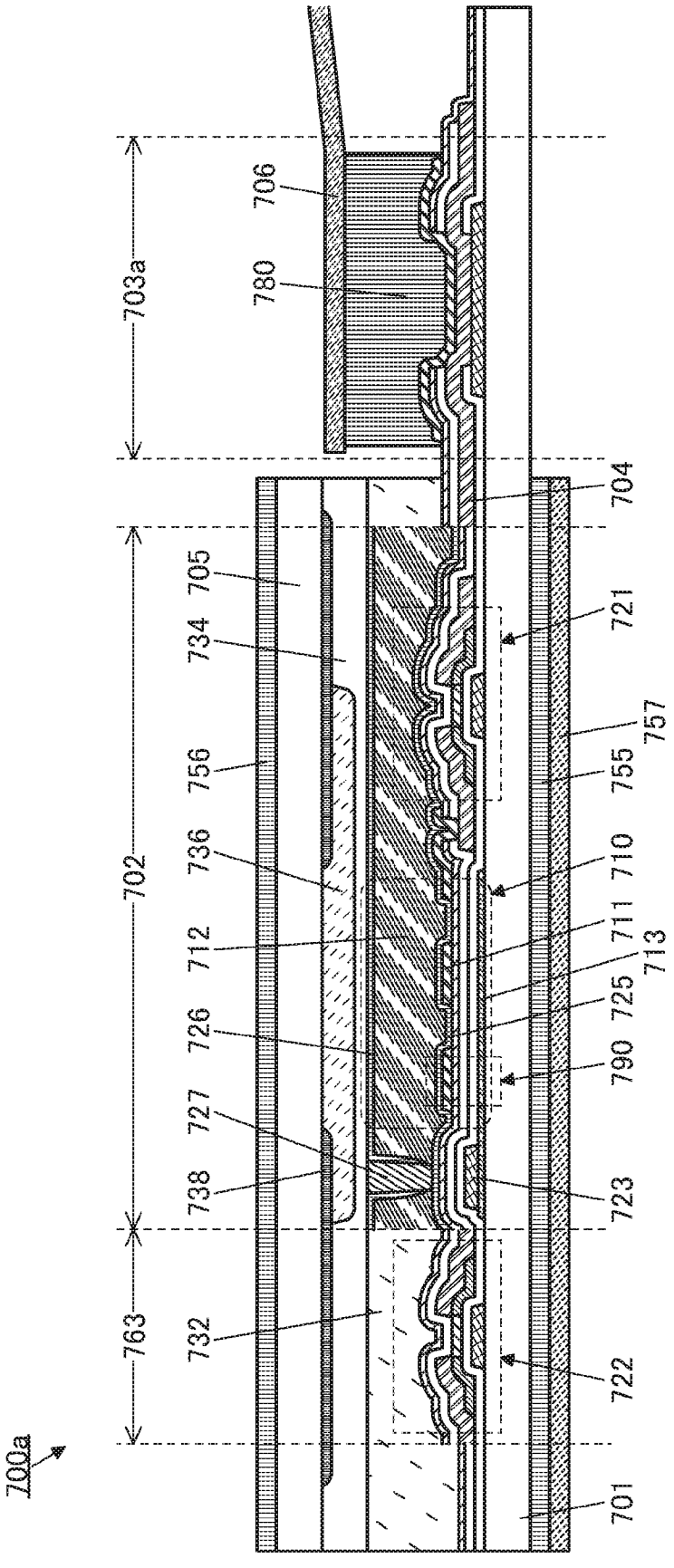

703a
706
780
704
705
734
721
757
756
755
736
710
702
712
711
713
725
726
790
727
738
723
763
732
722
700a
701

図16

図17A

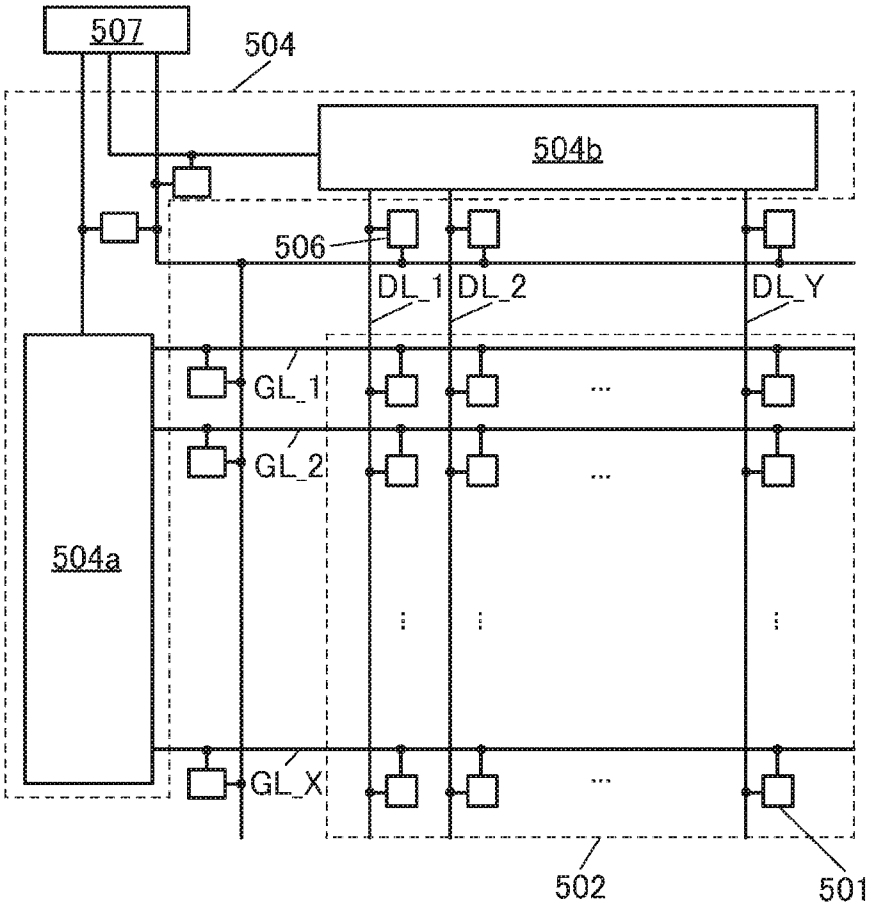


図17B

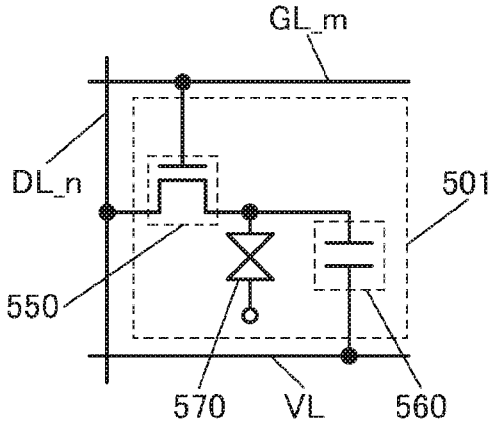


図17C

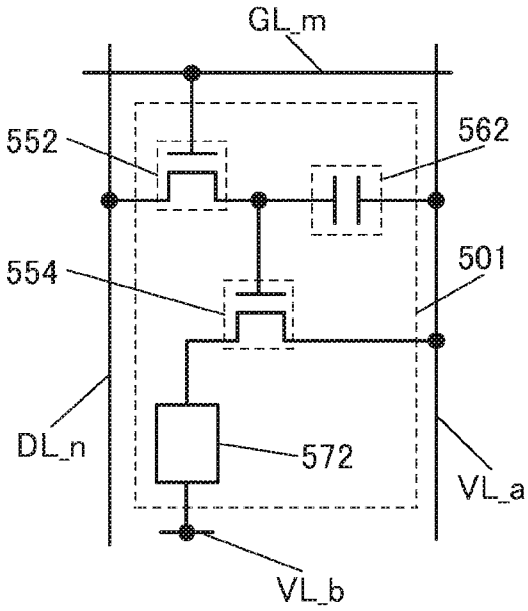


図18A

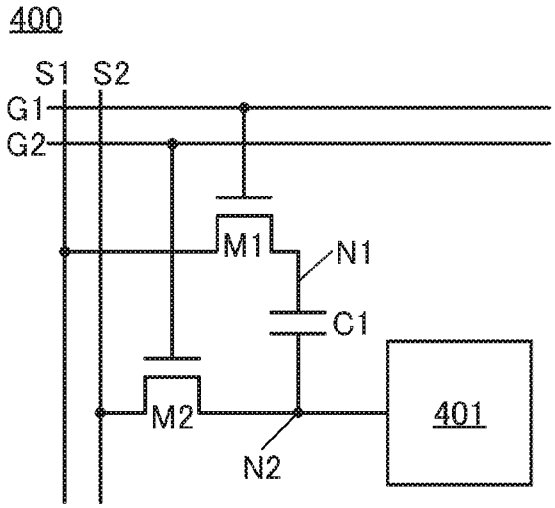


図18B

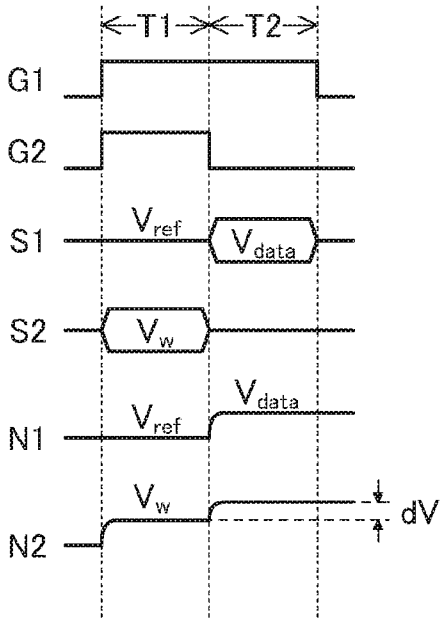


図18C

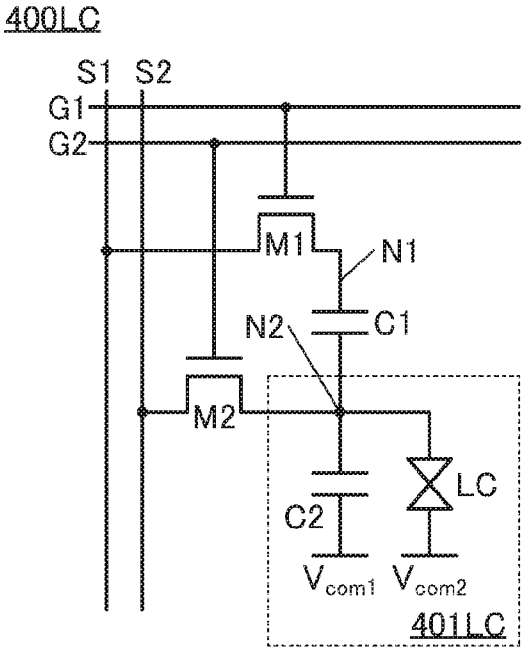


図18D

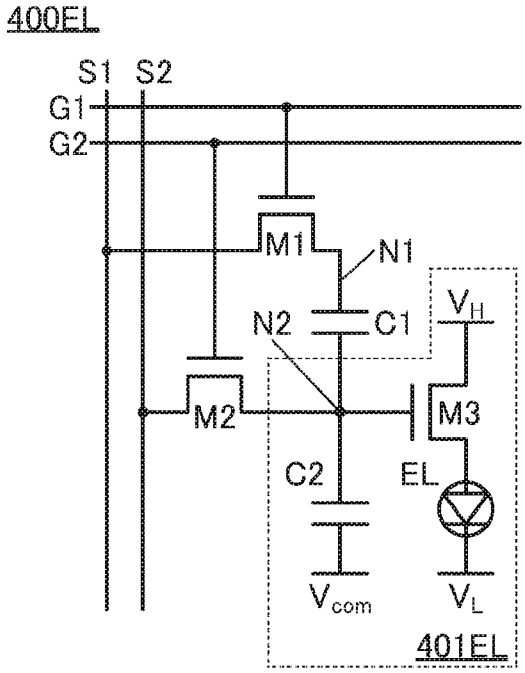


図19A

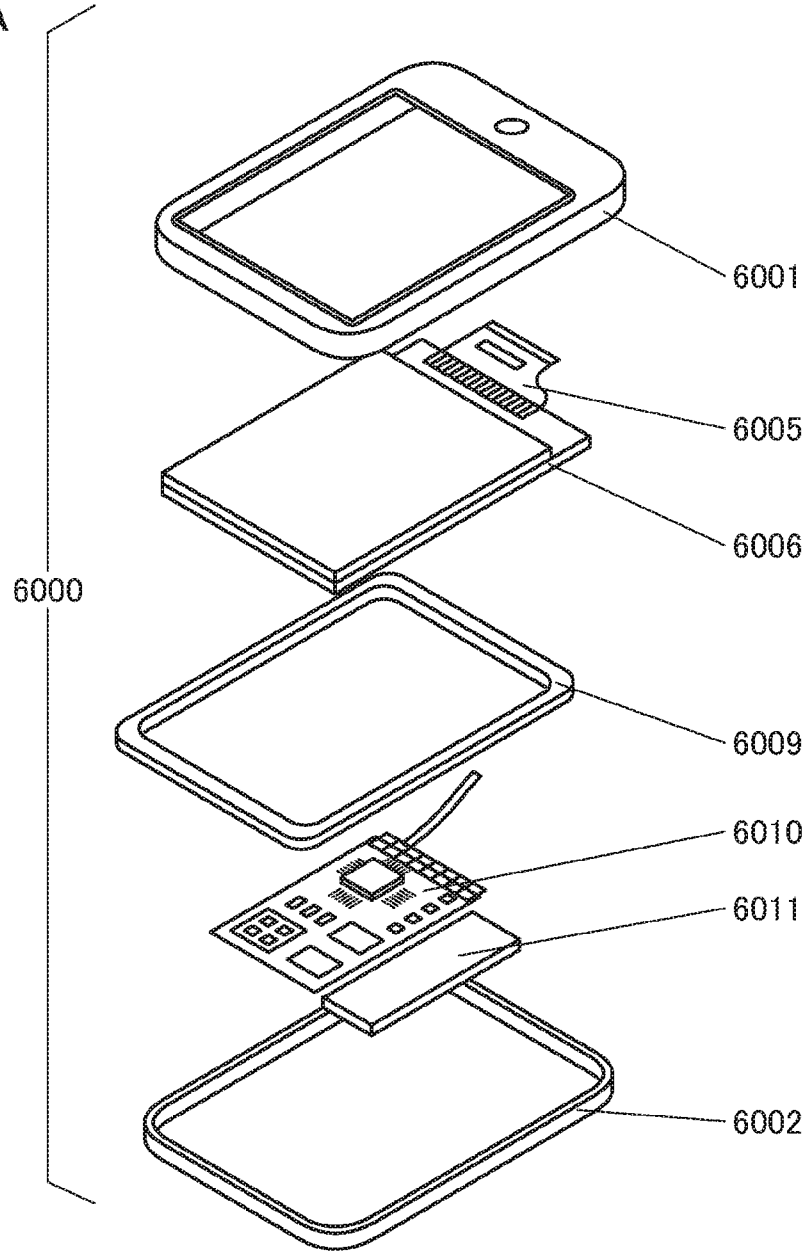

6001
6005
6006
6000
6009
6010
6011
6002

図19B

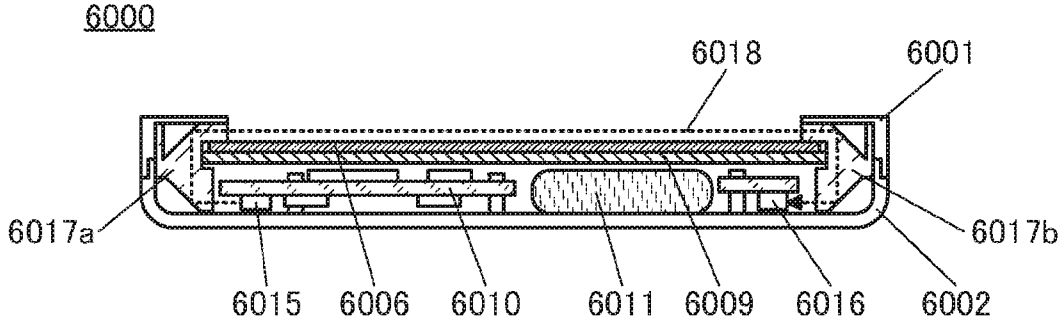

6000
6018
6001
6017a
6017b
6015
6006
6010
6011
6009
6016
6002

図20A

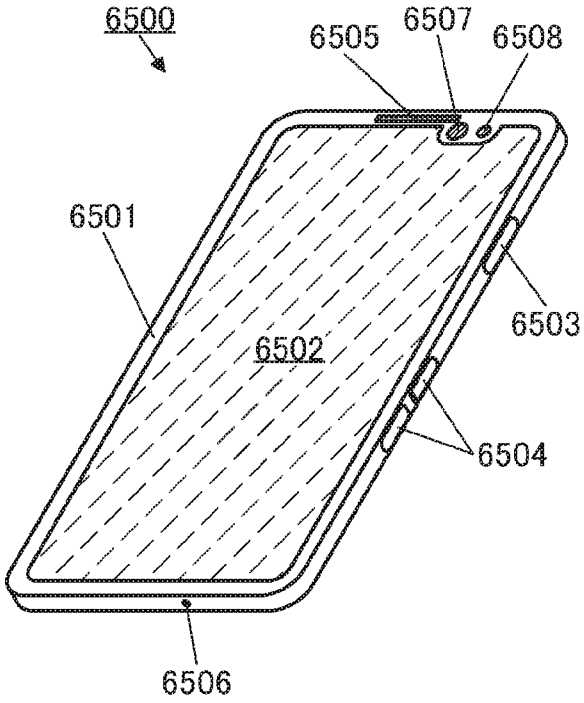


図20B

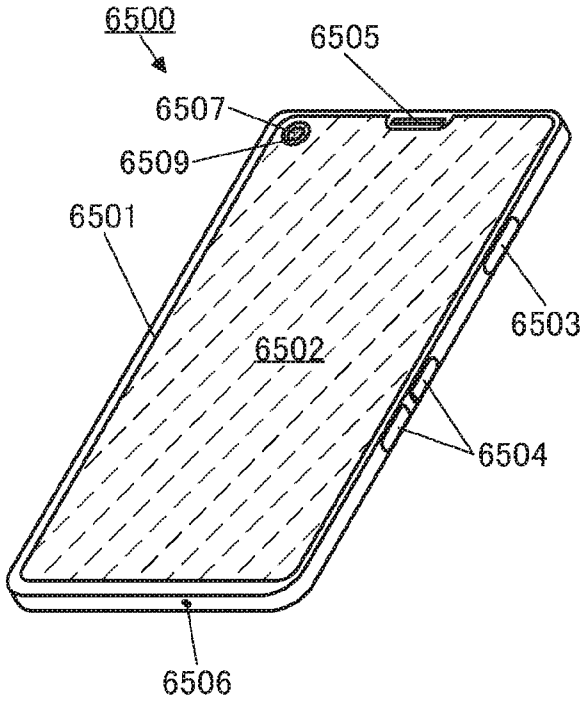


図20C

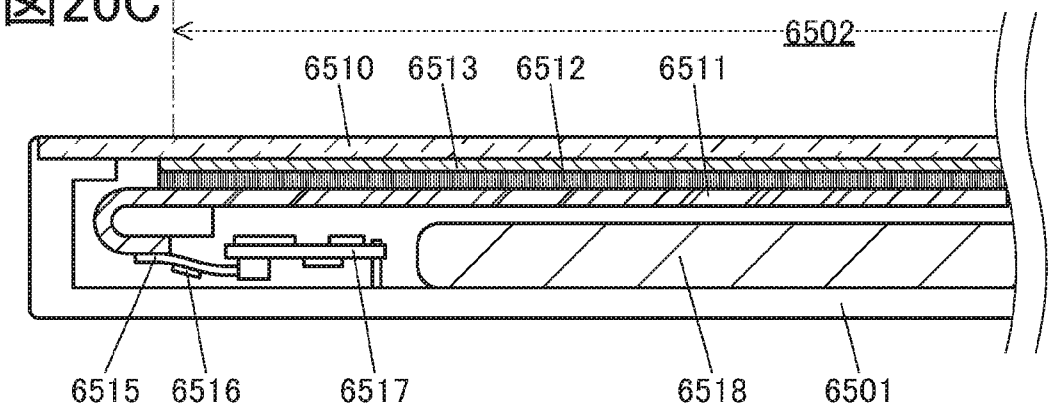


図21A

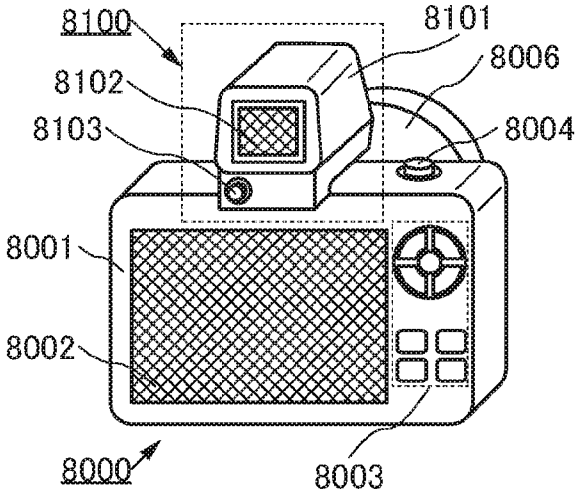


図21B

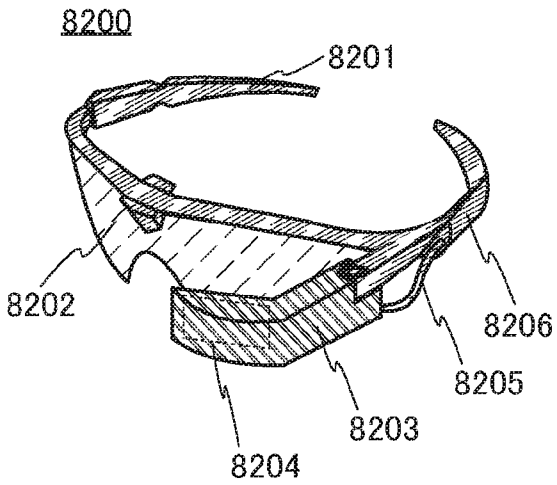


図21C

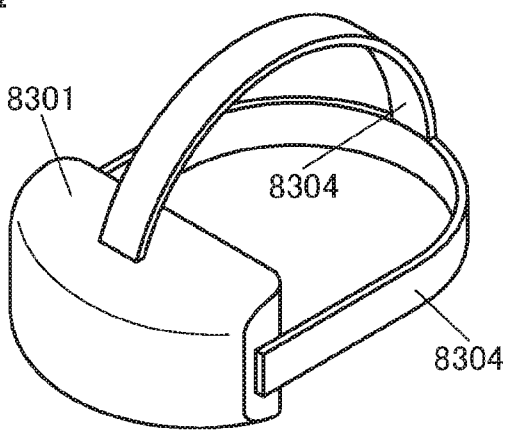


図21D

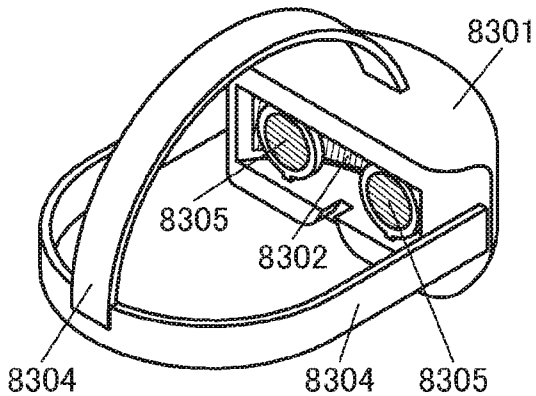


図21E

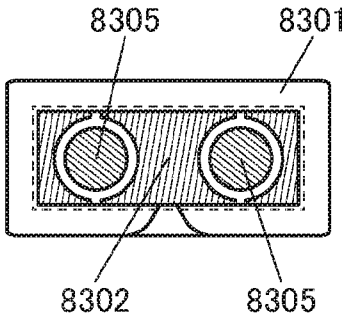


図22A

9100

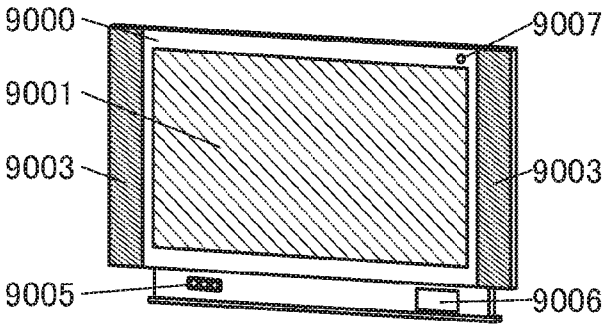


図22B

9101

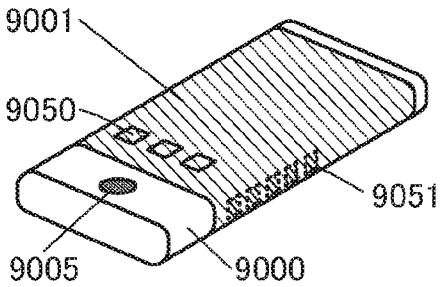


図22C

9102

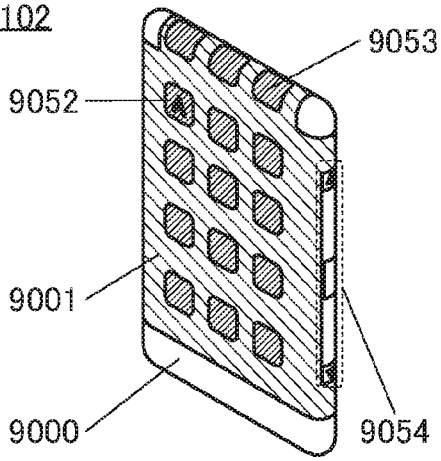


図22D

9200

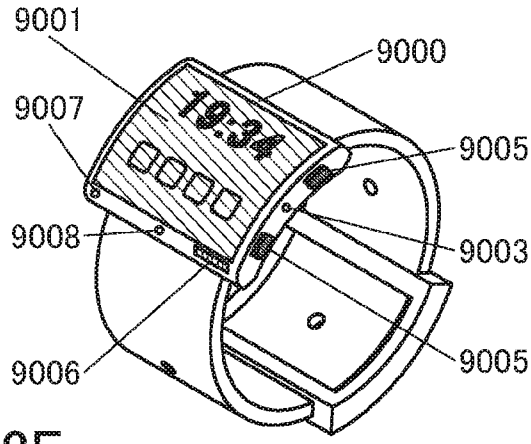


図22E

9201

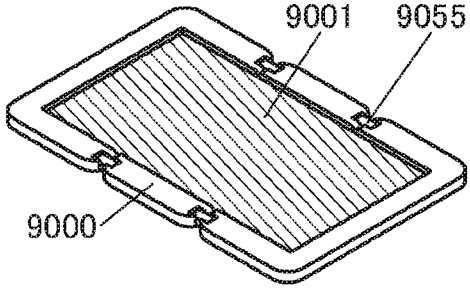


図22F

9201

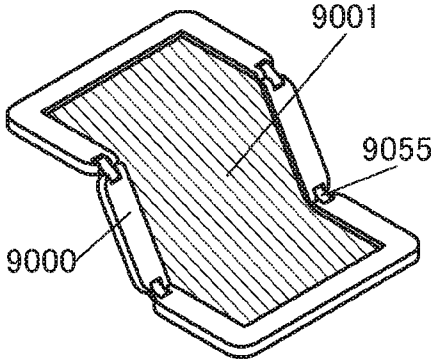


図22G

9201

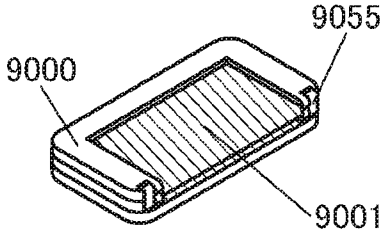


図23A

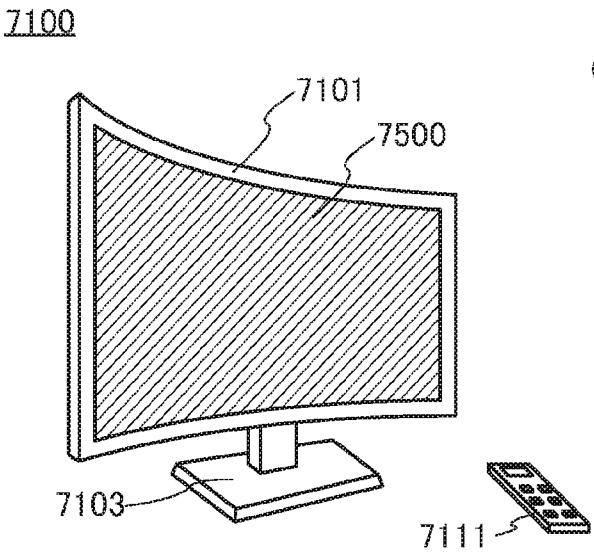


図23B

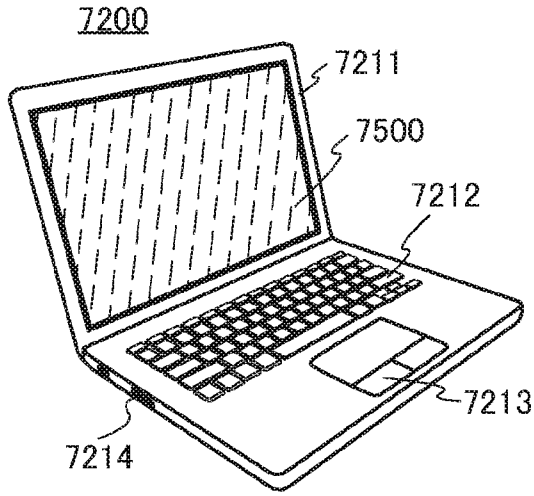


図23C

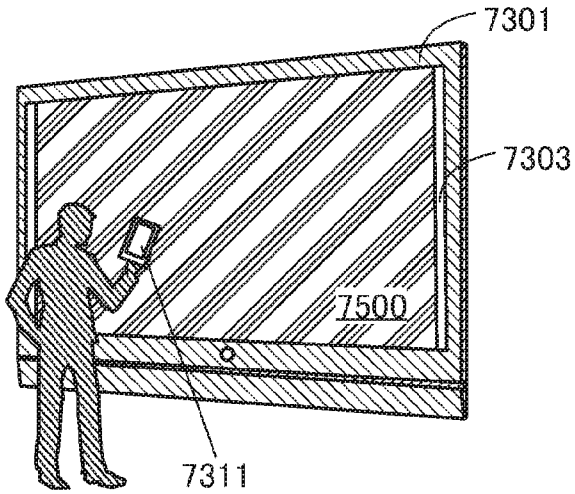


図23D

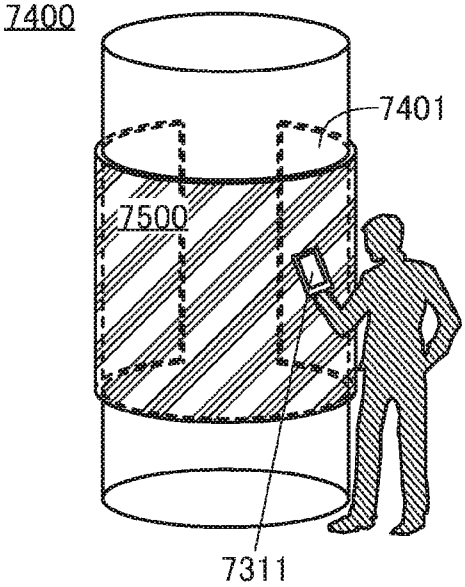


図24A

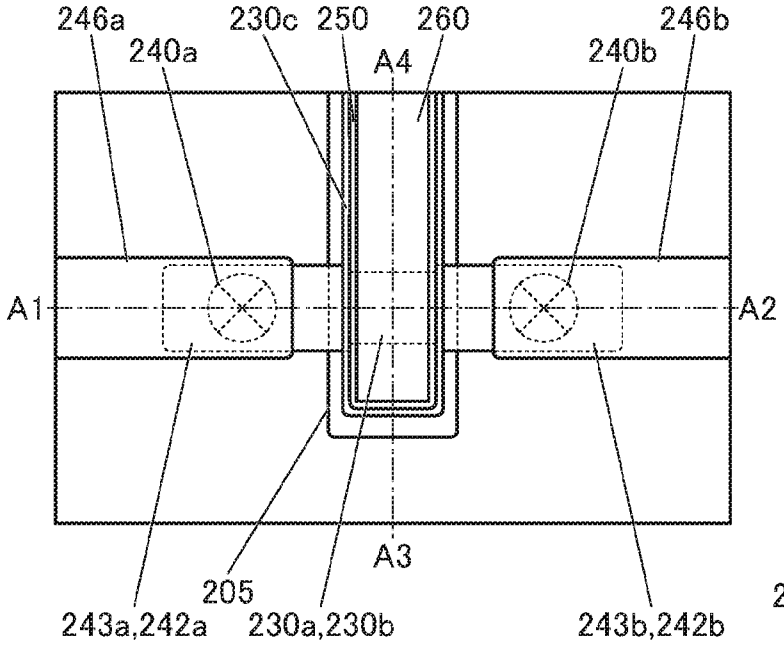


図24C

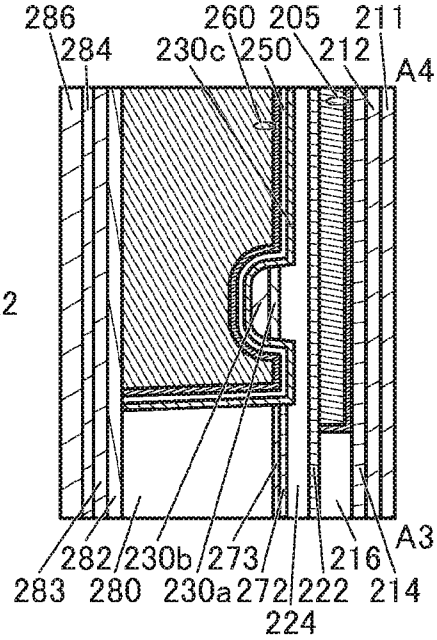


図24B

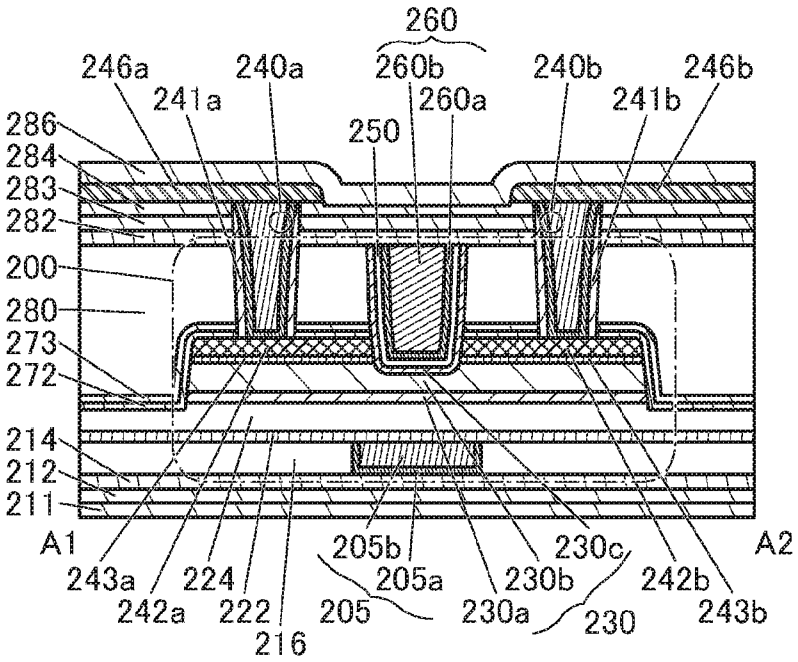


図25A

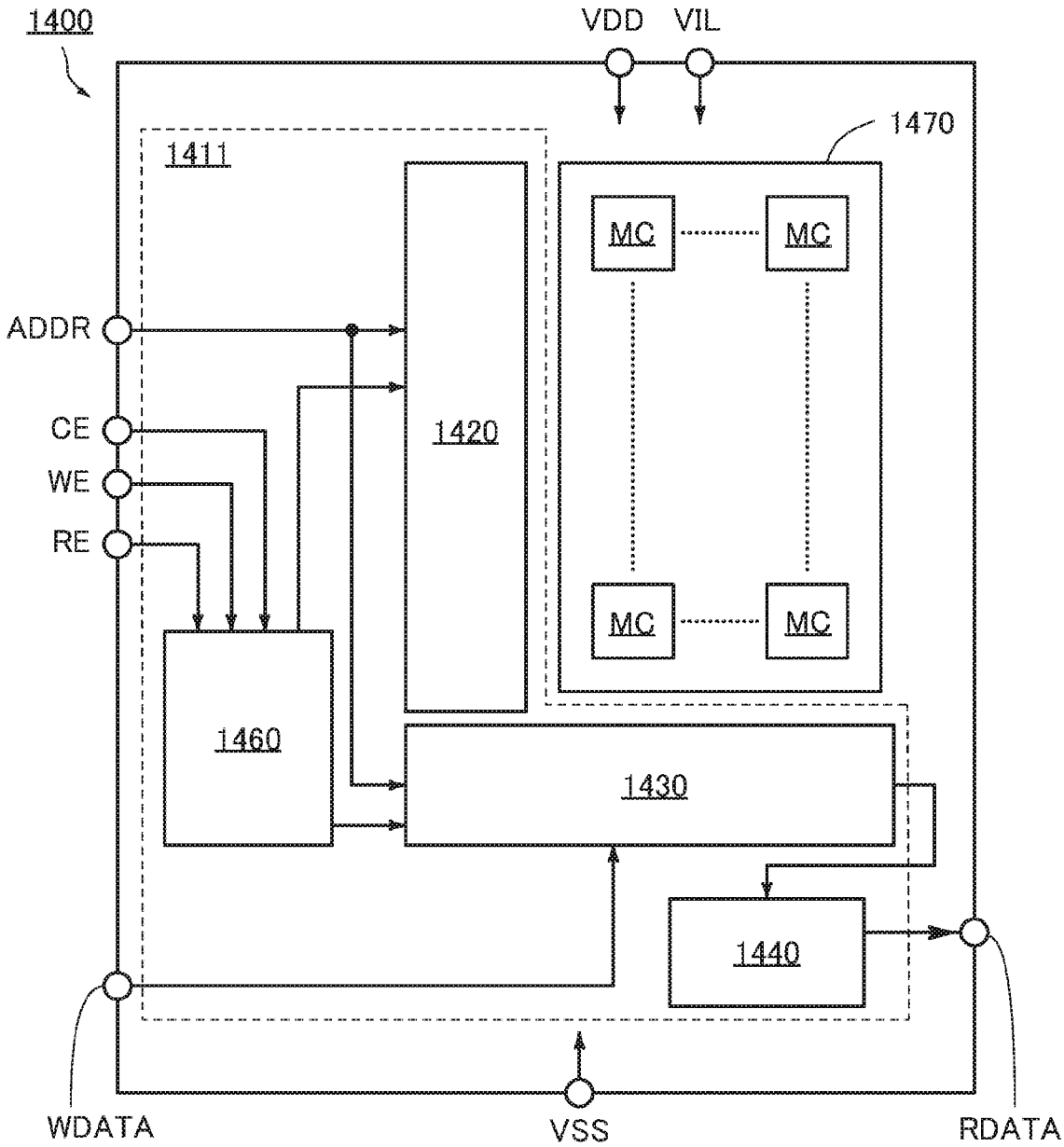

1400
VDD
VIL
1470
1411
MC
MC
MC
MC
ADDR
CE
WE
RE
1420
1460
1430
1440
WDATA
VSS
RDATA

図25B

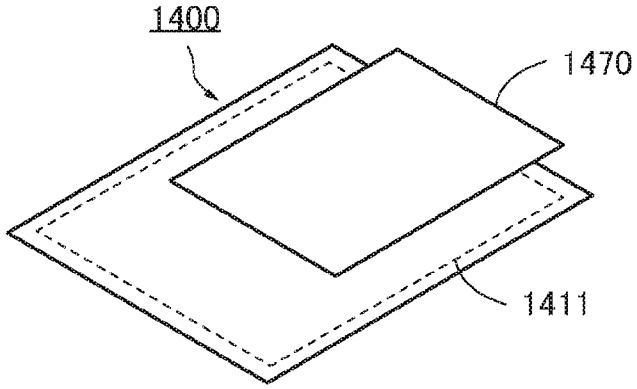

1400
1470
1411

図26A

1471

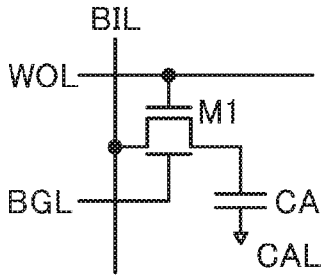


図26B

1472

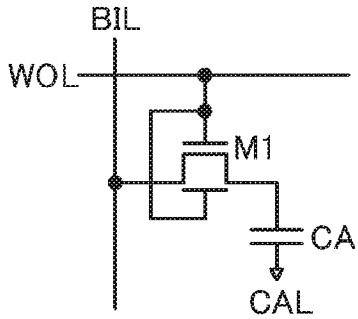


図26C

1473

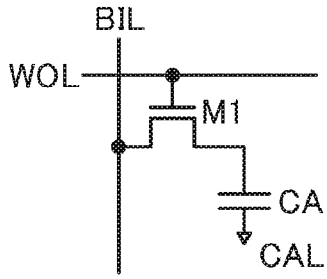


図26D

1474

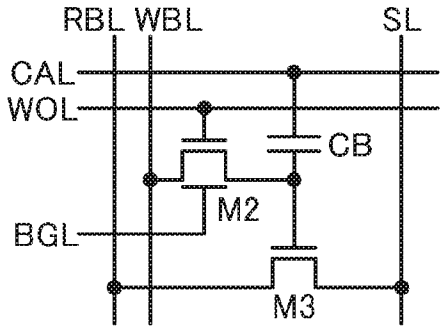


図26E

1475

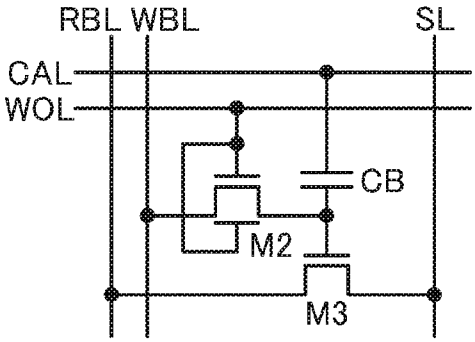


図26F

1476

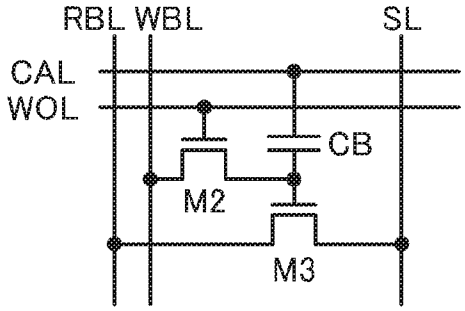


図26G

1477

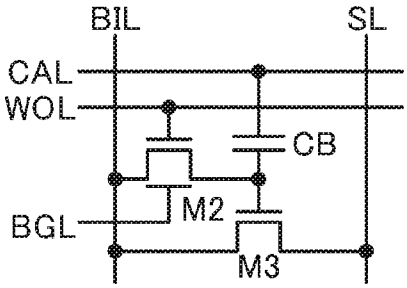
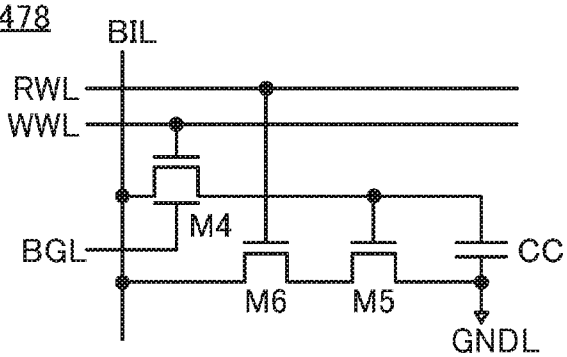


図26H

1478



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/IB2020/051041

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C23C 14/08(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 21/363(2006.01)i; H01L 21/8242(2006.01)i; H01L 27/108(2006.01)i; H01L 27/1156(2017.01)i; H01L 27/32(2006.01)i; H01L 29/786(2006.01)i; H01L 29/788(2006.01)i; H01L 29/792(2006.01)i; H01L 51/50(2006.01)i
FI: C23C14/08 K; H01L29/78 618E; H01L27/1156; H01L27/108 321; H01L27/108 621Z; H01L27/108 671C; H01L27/108 671Z; H01L29/78 371; H05B33/14 A; H05B33/14 B; H01L27/32; H01L29/78 618B; H01L21/363
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; H01L21/336; H01L21/363; H01L21/8242; H01L27/108; H01L27/1156; H01L27/32; H01L29/786; H01L29/788; H01L29/792; H01L51/50

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus (JDreamIII); JST7580 (JDreamIII); JSTChina (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2011-100997 A (SEMICONDUCTOR ENERGY LABORATORY CO., LTD.) 19.05.2011 (2011-05-19) claims 1-7, paragraphs [0001]-[0007], [0028]-[0125]	1-12
A	JP 2006-165529 A (CANON INC.) 22.06.2006 (2006-06-22) entire text	1-12

☐ 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	Date of mailing of the international search report
30 March 2020 (30.03.2020)	07 April 2020 (07.04.2020)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/IB2020/051041

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2011-100997 A	19 May 2011	US 2011/0084266 A1 claims 1-7, paragraphs [0001]-[0007], [0055]-[0152] WO 2011/043203 A1 CN 102648524 A KR 10-2012-0091061 A TW 201131780 A	
JP 2006-165529 A	22 Jun. 2006	US 2006/0108636 A1 entire text EP 1812969 A1 CA 2585190 A CN 101057339 A KR 10-2009-0089482 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/IB2020/051041

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

C23C 14/08(2006.01)i; H01L 21/336(2006.01)i; H01L 21/363(2006.01)i; H01L 21/8242(2006.01)i; H01L 27/108(2006.01)i; H01L 27/1156(2017.01)i; H01L 27/32(2006.01)i; H01L 29/786(2006.01)i; H01L 29/788(2006.01)i; H01L 29/792(2006.01)i; H01L 51/50(2006.01)i
FI: C23C14/08 K; H01L29/78 618E; H01L27/1156; H01L27/108 321; H01L27/108 621Z; H01L27/108 671C; H01L27/108 671Z; H01L29/78 371; H05B33/14 A; H05B33/14 B; H01L27/32; H01L29/78 618B; H01L21/363

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））

C23C14/08; H01L21/336; H01L21/363; H01L21/8242; H01L27/108; H01L27/1156; H01L27/32; H01L29/786; H01L29/788; H01L29/792; H01L51/50

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	１９７１－２０２０年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２０年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２０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）

JSTPlus (JDreamIII); JST7580 (JDreamIII); JSTChina (JDreamIII)

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
X	JP 2011-100997 A (株式会社半導体エネルギー研究所) 19.05.2011 (2011-05-19) 請求項1-7, [0001]-[0007], [0028]-[0125]	1-12
A	JP 2006-165529 A (キヤノン株式会社) 22.06.2006 (2006-06-22) 全文	1-12

☐ 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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日
30.03.2020	07.04.2020

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
末松　佳記 4G 3443

電話番号 03-3581-1101 内線 3465

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/IB2020/051041

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2011-100997 A	19.05.2011	US 2011/0084266 A1 請求項1-7, [0001]-[0007], [0055]-[0152] WO 2011/043203 A1 CN 102648524 A KR 10-2012-0091061 A TW 201131780 A	
JP 2006-165529 A	22.06.2006	US 2006/0108636 A1 全文 EP 1812969 A1 CA 2585190 A CN 101057339 A KR 10-2009-0089482 A	