

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-1712

(P2016-1712A)

(43) 公開日 平成28年1月7日(2016.1.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/28 (2006.01)	HO 1 L 21/28 3 O 1 Z	3 K 1 0 7
HO 1 L 21/477 (2006.01)	HO 1 L 21/477	4 M 1 0 4
HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 8 B	5 C 0 9 4
HO 1 L 21/02 (2006.01)	HO 1 L 21/02 B	5 F 0 3 8
HO 5 B 33/10 (2006.01)	HO 5 B 33/10	5 F 1 1 0

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 113 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2014-235720 (P2014-235720)
 (22) 出願日 平成26年11月20日 (2014.11.20)
 (31) 優先権主張番号 特願2013-248320 (P2013-248320)
 (32) 優先日 平成25年11月29日 (2013.11.29)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2014-33904 (P2014-33904)
 (32) 優先日 平成26年2月25日 (2014.2.25)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2014-107582 (P2014-107582)
 (32) 優先日 平成26年5月23日 (2014.5.23)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000153878
 株式会社半導体エネルギー研究所
 神奈川県厚木市長谷398番地
 (72) 発明者 太田 将志
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 石原 典隆
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 中島 基
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 黒澤 陽一
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 最終頁に続く

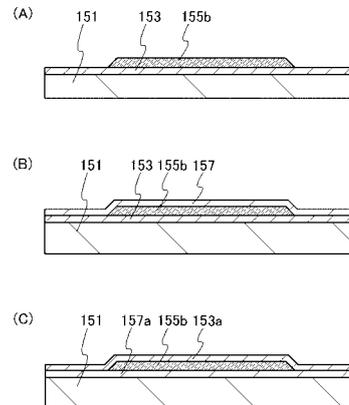
(54) 【発明の名称】 半導体装置の作製方法

(57) 【要約】

【課題】 導電性を有する酸化物半導体膜を備えた半導体装置の作製方法を提供する。または、透光性を有するとともに、導電性を有する酸化物半導体膜を備えた半導体装置の作製方法を提供する。

【解決手段】 第1の絶縁膜上に酸化物半導体膜を形成し、酸化物半導体膜に含まれる酸素が脱離する雰囲気中で第1の加熱処理を行った後、水素を含む雰囲気中で第2の加熱処理を行って、導電性を有する酸化物半導体膜を形成する半導体装置の作製方法である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の絶縁膜上に酸化物半導体膜を形成し、
前記酸化物半導体膜に含まれる酸素が脱離する雰囲気中で第 1 の加熱処理を行った後、水素を含む雰囲気中で第 2 の加熱処理を行って、導電性を有する酸化物半導体膜を形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 2】

請求項 1 において、 350 以上 800 以下で、且つ 1×10^{-7} Pa 以上 10 Pa 以下の雰囲気中で前記第 1 の加熱処理を行うことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 3】

第 1 の絶縁膜上に酸化物半導体膜を形成し、
前記酸化物半導体膜に希ガスを添加した後、水素を含む雰囲気中で加熱処理を行って、導電性を有する酸化物半導体膜を形成することを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 4】

請求項 3 において、
前記希ガスは、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、及びキセノンの一以上であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項において、
前記導電性を有する酸化物半導体膜の水素濃度は、 8×10^{19} atoms/cm³ 以上であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項において、
前記導電性を有する酸化物半導体膜の抵抗率は、抵抗率は、 1×10^{-3} cm 以上 1×10^4 cm 未満であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一項において、
前記導電性を有する酸化物半導体膜は、結晶部を含み、前記結晶部の c 軸が前記酸化物半導体膜の被形成面の法線ベクトルに平行であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項において、
前記導電性を有する酸化物半導体膜は、
In - Ga 酸化物、In - Zn 酸化物、及び In - M - Zn 酸化物 (M は Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、または Nd) の一以上を含む
ことを特徴とする半導体装置の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の一態様は、酸化物半導体を用いた半導体装置及びその作製方法に関する。

【0002】

なお、本発明の一態様は、上記の技術分野に限定されない。本明細書等で開示する発明の一態様の技術分野は、物、方法、または、製造方法に関するものである。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。そのため、より具体的に本明細書で開示する本発明の一態様の技術分野としては、半導体装置、表示装置、発光装置、蓄電装置、記憶装置、それらの駆動方法、または、それらの製造方法、を一例として挙げるができる。

【背景技術】

【0003】

液晶表示装置や発光表示装置に代表されるフラットパネルディスプレイの多くに用いら

10

20

30

40

50

れているトランジスタは、ガラス基板上に形成されたアモルファスシリコン、単結晶シリコンまたは多結晶シリコンなどのシリコン半導体によって構成されている。また、該シリコン半導体を用いたトランジスタは、集積回路（IC）などにも利用されている。

【0004】

近年、シリコン半導体に代わって、半導体特性を示す金属酸化物をトランジスタに用いる技術が注目されている。なお、本明細書中では、半導体特性を示す金属酸化物を酸化物半導体とよぶことにする。

【0005】

例えば、酸化物半導体として、酸化亜鉛、またはIn-Ga-Zn系酸化物を用いたトランジスタを作製し、該トランジスタを表示装置の画素のスイッチング素子などに用いる技術が開示されている（特許文献1及び特許文献2参照。）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2007-123861号公報

【特許文献2】特開2007-96055号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明の一態様は、導電性を有する酸化物半導体膜を備えた半導体装置の作製方法を提供する。または、本発明の一態様は、透光性を有するとともに、導電性を有する酸化物半導体膜を備えた半導体装置の作製方法を提供する。または、本発明の一態様は、少ない工程数で、トランジスタ及び容量素子を有する半導体装置の作製方法を提供する。または、本発明の一態様は、新規な半導体装置の作製方法を提供する。

20

【0008】

また、容量素子は一对の電極の間に誘電体膜が設けられており、一对の電極のうち、少なくとも一方の電極は、トランジスタを構成するゲート電極、ソース電極又はドレイン電極など遮光性を有する導電膜で形成されていることが多い。

【0009】

また、液晶表示装置において、容量素子の容量値を大きくするほど、電界を加えた状況において、液晶素子の液晶分子の配向を一定に保つことができる期間を長くすることができる。静止画を表示させる場合、当該期間を長くできることは、画像データを書き換える回数を低減することができ、消費電力の低減が望める。なお、画像データを書き換える回数を低減する駆動方法を低周波数駆動方法ともいう。

30

【0010】

容量素子の容量値を大きくするためには、容量素子の占有面積を大きくする、具体的には一对の電極が重畳している面積を大きくするという手段がある。しかしながら、液晶表示装置において、一对の電極が重畳している面積を大きくするために遮光性を有する導電膜の面積を大きくすると、画素の開口率が低減し、画像の表示品位が低下する。このような問題は、解像度の高い液晶表示装置において、特に顕著である。

40

【0011】

そこで、本発明の一態様は、開口率が高く、且つ容量値を増大させることが可能な容量素子を有する表示装置の作製方法を提供する。または、本発明の一態様は、消費電力が低減された表示装置の作製方法を提供する。または、本発明の一態様は、少ない工程数で、高開口率であり、広い視野角が得られる表示装置の作製方法を提供する。

【0012】

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。

50

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の一態様は、第1の絶縁膜上に酸化物半導体膜を形成し、酸化物半導体膜に含まれる酸素が脱離する雰囲気中で第1の加熱処理を行った後、水素を含む雰囲気中で第2の加熱処理を行って、導電性を有する酸化物半導体膜を形成する半導体装置の作製方法である。

【0014】

なお、第1の加熱処理は、350 以上800 以下、好ましくは450 以上800 以下で行うことが好ましい。350 以上で加熱処理を行うことで、酸化物半導体膜から酸素が脱離する。一方、800 以下で加熱処理を行うことで、酸化物半導体膜における結晶構造を維持しつつ、酸化物半導体膜から酸素を脱離させることができる。さらには、真空雰囲気、代表的には 1×10^{-7} Pa以上10 Pa以下、好ましくは 1×10^{-7} Pa以上1 Pa以下、好ましくは 1×10^{-7} Pa以上 1×10^{-1} Pa以下の圧力雰囲気中で加熱することが好ましい。

10

【0015】

また、本発明の一態様は、第1の絶縁膜上に酸化物半導体膜を形成し、酸化物半導体膜に希ガスを添加した後、水素を含む雰囲気中で加熱処理を行って、導電性を有する酸化物半導体膜を形成する半導体装置の作製方法である。

【0016】

なお、希ガスは、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、またはキセノンである。

【0017】

本発明の一態様は、第1の絶縁膜上に酸化物半導体膜を形成し、酸化物半導体膜上にスパッタリング法またはプラズマCVD法を用いて第2の絶縁膜を形成することで、導電性を有する酸化物半導体膜を形成する半導体装置の作製方法である。

20

【0018】

なお、第1の絶縁膜または第2の絶縁膜は、水素を含む絶縁膜であることが好ましく、代表的には、水素を含む窒化シリコン膜を有することが好ましい。

【0019】

導電性を有する酸化物半導体膜の水素濃度は、 8×10^{19} atoms/cm³以上であることが好ましい。

【0020】

導電性を有する酸化物半導体膜の抵抗率は、 1×10^{-3} cm以上 1×10^4 cm未満であることが好ましい。

30

【0021】

導電性を有する酸化物半導体膜は、結晶部を含み、結晶部のc軸が酸化物半導体膜の被形成面の法線ベクトルに平行であってもよい。

【0022】

導電性を有する酸化物半導体膜は、In-Ga酸化物、In-Zn酸化物、及びIn-M-Zn酸化物(MはAl、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNd)の一以上を含むことが好ましい。

【発明の効果】

40

【0023】

本発明の一態様により、導電性を有する酸化物半導体膜を備えた半導体装置を作製することができる。または、本発明の一態様により、透光性を有するとともに、導電性を有する酸化物半導体膜を備えた半導体装置を作製することができる。本発明の一態様により、少ない工程数で、トランジスタ及び容量素子を有する半導体装置を作製することができる。または、本発明の一態様により、新規な半導体装置を作製することができる。

【0024】

また、本発明の一態様により、開口率が高く、且つ容量値を増大させることが可能な容量素子を有する表示装置を作製することができる。または、本発明の一態様により、消費電力が低減された表示装置を作製することができる。または、本発明の一態様により、少

50

ない工程数で、高開口率であり、広い視野角が得られる表示装置を作製することができる。

【0025】

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

【図面の簡単な説明】

【0026】

- 【図1】本発明の半導体装置の一態様を説明する断面図。 10
- 【図2】本発明の半導体装置の作製方法の一態様を説明する断面図。
- 【図3】本発明の半導体装置の作製方法の一態様を説明する断面図。
- 【図4】本発明の半導体装置の作製方法の一態様を説明する断面図。
- 【図5】本発明の半導体装置の一態様を説明する断面図。
- 【図6】本発明の半導体装置の一態様を説明する断面図。
- 【図7】本発明の半導体装置の一態様を説明する断面図。
- 【図8】本発明の半導体装置の一態様を説明する回路図。
- 【図9】本発明の半導体装置の一態様を説明する上面図及び断面図。
- 【図10】本発明の半導体装置の一態様を説明する断面図。
- 【図11】本発明の半導体装置の一態様を説明する断面図。 20
- 【図12】本発明の半導体装置の一態様を説明する断面図。
- 【図13】計算モデルを説明する図。
- 【図14】 H_2O 添加モデルの初期配置の構造及び最適化後の構造を説明する図。
- 【図15】 c -IGZO結晶中の領域区分を説明する模式図。
- 【図16】 InO_2 面と $(Ga, Zn)O$ 面の間の領域における水素移動経路と、その経路上での活性化障壁を説明する図。
- 【図17】 $(Ga, Zn)O$ 領域における水素移動経路と、その経路上での活性化障壁を説明する図。
- 【図18】 InO_2 領域における水素移動経路と、その経路上での活性化障壁を説明する図。 30
- 【図19】 c 軸方向に沿った水素移動経路と、その経路上での活性化障壁を説明する図。
- 【図20】計算モデルを説明する図。
- 【図21】酸素欠損モデルの全エネルギーの相対値を説明する図。
- 【図22】計算モデルを説明する図。
- 【図23】初期状態のモデルと最終状態のモデルを説明する図。
- 【図24】活性化障壁を説明する図。
- 【図25】初期状態のモデルと最終状態のモデルを説明する図。
- 【図26】活性化障壁を説明する図。
- 【図27】 H_0 の遷移レベルを説明する図。
- 【図28】計算モデルを説明する図。 40
- 【図29】反応過程におけるモデルの構造を説明する図。
- 【図30】反応過程におけるエネルギー変化を説明する図。
- 【図31】表示装置の一形態を説明するブロック図及び回路図。
- 【図32】表示装置の一形態を説明する上面図。
- 【図33】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図34】表示装置の作製方法の一形態を説明する断面図。
- 【図35】表示装置の作製方法の一形態を説明する断面図。
- 【図36】表示装置の作製方法の一形態を説明する断面図。
- 【図37】表示装置の作製方法の一形態を説明する断面図。
- 【図38】表示装置の一形態を説明する断面図。 50

- 【図39】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図40】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図41】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図42】トランジスタの一形態を説明する断面図。
- 【図43】表示装置の一形態を説明する上面図。
- 【図44】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図45】表示装置の作製方法の一形態を説明する断面図。
- 【図46】表示装置の作製方法の一形態を説明する断面図。
- 【図47】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図48】表示装置の一形態を説明する断面図。 10
- 【図49】表示装置の作製方法の一形態を説明する断面図。
- 【図50】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図51】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図52】表示装置の一形態を説明する断面図。
- 【図53】表示モジュールを説明する図。
- 【図54】実施の形態に係る、電子機器の外観図を説明する図。
- 【図55】試料の水素濃度及び抵抗率を説明する図。
- 【図56】試料の透過率を説明する図。
- 【図57】試料のCPM測定の結果を示す図。
- 【図58】試料のHX-PE S分析の結果を説明する図。 20
- 【図59】試料のSIMS測定の結果を説明する図。
- 【図60】熱処理を行っていない試料のg値2.0付近のESRシグナルを説明する図。
- 【図61】窒素雰囲気中で熱処理を行った試料のg値1.9付近のESRシグナルを説明する図。
- 【図62】IGZO膜におけるg値1.93のESRシグナルの膜厚依存性を説明する図。
- 【図63】IGZO膜におけるg値1.93のESRシグナルの強度と線幅を説明する図。
- 【図64】試料の抵抗率及びESRスピン密度を説明する図。
- 【図65】試料のESRスピン密度と水素濃度の関係を示す図。 30
- 【図66】試料の水素濃度及び導電率を説明する図。
- 【図67】試料のESRスピン密度と $1/\rho$ との関係を説明する図。
- 【図68】試料のTDS分析の結果を説明する図。
- 【図69】試料のHX-PE S分析の結果を説明する図。
- 【図70】抵抗率の温度依存性を説明する図。
- 【図71】液晶表示装置の表示画像を説明する図。
- 【図72】CAAC-OSの断面におけるCs補正高分解能TEM像、およびCAAC-OSの断面模式図。
- 【図73】CAAC-OSの平面におけるCs補正高分解能TEM像。
- 【図74】CAAC-OSおよび単結晶酸化物半導体のXRDによる構造解析を説明する図。 40
- 【図75】CAAC-OSの電子回折パターンを示す図。
- 【図76】In-Ga-Zn酸化物の電子照射による結晶部の変化を示す図。
- 【図77】CAAC-OSおよびnc-OSの成膜モデルを説明する模式図。
- 【図78】InGaZnO₄の結晶、およびペレットを説明する図。
- 【図79】CAAC-OSの成膜モデルを説明する模式図。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0027】

以下、実施の形態について図面を参照しながら説明する。但し、実施の形態は多くの異なる態様で実施することが可能であり、趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態 50

及び詳細を様々に変更し得ることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は、以下の実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。

【0028】

また、図面において、大きさ、層の厚さ、又は領域は、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、図面に示す形状又は値などに限定されない。

【0029】

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

【0030】

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

【0031】

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層）とソース（ソース端子、ソース領域またはソース電極層）の間にチャンネル領域を有しており、ドレインとチャンネル領域とソースとを介して電流を流すことができるものである。なお、本明細書等において、チャンネル領域とは、電流が主として流れる領域をいう。

【0032】

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

【0033】

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

【0034】

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

【0035】

また、本明細書において、結晶が三方晶または菱面体晶である場合、六方晶系として表す。

【0036】

(実施の形態1)

本実施の形態では、本発明の一態様の半導体装置について、図1乃至図6を用いて説明する。本実施の形態では、導電性を有する酸化物半導体膜と、該導電性を有する酸化物半導体膜に接する導電膜の構造及びその作製方法について説明する。なお、ここでは、導電性を有する酸化物半導体膜は、電極または配線として機能する。

【0037】

10

20

30

40

50

図 1 に、半導体装置が有する、導電性を有する酸化物半導体膜の断面図を示す。

【 0 0 3 8 】

図 1 (A) において、絶縁膜 1 5 3 と、絶縁膜 1 5 3 上の導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b とが、基板 1 5 1 上に形成される。

【 0 0 3 9 】

また、図 1 (B) に示すように、絶縁膜 1 5 3 及び導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b 上に絶縁膜 1 5 7 が形成されてもよい。

【 0 0 4 0 】

また、図 1 (C) に示すように、絶縁膜 1 5 7 a 上に導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b が形成されてもよい。この場合、導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b 上に、絶縁膜 1 5 3 a を設けることができる。

10

【 0 0 4 1 】

導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b は、代表的には、In - Ga 酸化物、In - Zn 酸化物、In - M - Zn 酸化物 (M は Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、または Nd) 等を用いて形成される金属酸化物膜で形成される。なお、導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b は、透光性を有する。

【 0 0 4 2 】

なお、導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b が In - M - Zn 酸化物であるとき、In と M の原子数比率は、In および M の和を 1 0 0 a t o m i c % としたとき In が 2 5 a t o m i c % より多く、M が 7 5 a t o m i c % 未満、さらに好ましくは In が 3 4 a t o m i c % より多く、M が 6 6 a t o m i c % 未満とする。

20

【 0 0 4 3 】

導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b は、エネルギーギャップが 2 e V 以上、好ましくは 2 . 5 e V 以上、より好ましくは 3 e V 以上である。

【 0 0 4 4 】

導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b の厚さは、3 n m 以上 2 0 0 n m 以下、好ましくは 3 n m 以上 1 0 0 n m 以下、さらに好ましくは 3 n m 以上 5 0 n m 以下とする。

【 0 0 4 5 】

導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b が In - M - Zn 酸化物膜 (M は Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、または Nd) の場合、In - M - Zn 酸化物膜を成膜するために用いるスパッタリングターゲットの金属元素の原子数比は、In M、Zn M を満たすことが好ましい。このようなスパッタリングターゲットの金属元素の原子数比として、In : M : Zn = 1 : 1 : 1、In : M : Zn = 1 : 1 : 1 . 2、In : M : Zn = 2 : 1 : 1 . 5、In : M : Zn = 2 : 1 : 2 . 3、In : M : Zn = 2 : 1 : 3、In : M : Zn = 3 : 1 : 2 等が好ましい。なお、導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b の原子数比はそれぞれ、誤差として上記のスパッタリングターゲットに含まれる金属元素の原子数比のプラスマイナス 4 0 % の変動を含む。

30

【 0 0 4 6 】

また、導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b は、例えば非単結晶構造でもよい。非単結晶構造は、例えば、後述する C A A C - O S (C A x i s A l i g n e d C r y s t a l l i n e O x i d e S e m i c o n d u c t o r)、多結晶構造、後述する微結晶構造、または非晶質構造を含む。非単結晶構造において、非晶質構造は最も欠陥準位密度が高く、C A A C - O S は最も欠陥準位密度が低い。

40

【 0 0 4 7 】

なお、導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b が、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、C A A C - O S の領域、単結晶構造の二種以上の領域を有する混合膜であってもよい。混合膜は、例えば、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、C A A C - O S の領域、単結晶構造の領域のいずれか二種以上の領域を有する単層構造の場合がある。また、混合膜は、例えば、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、C A A C - O S の領域、単結晶構造の領域のいずれか二種以上の

50

領域の積層構造を有する場合がある。

【0048】

絶縁膜157及び絶縁膜157aは、水素を含む膜で形成されることが好ましく、代表的には水素を含む窒化シリコン膜を用いて形成されることが好ましい。酸化物半導体膜に接する絶縁膜157及び絶縁膜157aに水素が含まれると、該水素が酸化物半導体膜に供給され、導電性を有する酸化物半導体膜155bを形成することが可能である。

【0049】

導電性を有する酸化物半導体膜155bは不純物を含む。導電性を有する酸化物半導体膜155bに含まれる不純物としては、水素がある。なお、水素の代わりに不純物として、ホウ素、リン、窒素、スズ、アンチモン、希ガス元素、アルカリ金属、アルカリ土類金属等が含まれていてもよい。

10

【0050】

導電性を有する酸化物半導体膜155bの水素濃度は、 $8 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、好ましくは $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上である。

【0051】

導電性を有する酸化物半導体膜155bは、欠陥を有し、且つ不純物を含むことで、導電性を有する。導電性を有する酸化物半導体膜155bの抵抗率は、 $1 \times 10^{-3} \text{ cm}$ 以上 $1 \times 10^4 \text{ cm}$ 未満、さらに好ましくは、抵抗率が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}$ 以上 $1 \times 10^{-1} \text{ cm}$ 未満であることが好ましい。

20

【0052】

また、導電性を有する酸化物半導体膜155bの導電率は、代表的には $1 \times 10^{-2} \text{ S/m}$ 以上 $1 \times 10^5 \text{ S/m}$ 以下、または $1 \times 10^3 \text{ S/m}$ 以上 $1 \times 10^5 \text{ S/m}$ 以下であるとよい。

【0053】

また、導電性を有する酸化物半導体膜155bは、不純物とともに欠陥を含む。代表的には、導電性を有する酸化物半導体膜155bは、真空雰囲気での加熱処理における酸素の脱離によって欠陥が生成された膜である。または、希ガスが添加されることにより欠陥が生成された膜である。または、絶縁膜153aまたは絶縁膜157の成膜工程においてプラズマに曝されることにより、欠陥が生成された膜である。

30

【0054】

酸化物半導体において、酸素欠損サイトに水素が入ると、伝導帯近傍にドナー準位が形成される。この結果、酸化物半導体が導電体化され、導電性が高くなる。導電体化された酸化物半導体を酸化物導電体とすることができる。一般に、酸化物半導体は、ワイドギャップ半導体であるため、透光性を有している。その酸化物半導体が、広いバンドギャップを維持したまま、導電体化されているため、酸化物導電体は透光性を有する。

【0055】

基板151としては、様々な基板を用いることができ、特定のものに限定されることはない。基板の一例としては、半導体基板（例えば単結晶基板又はシリコン基板）、SOI基板、ガラス基板、石英基板、プラスチック基板、金属基板、ステンレス・スチル基板、ステンレス・スチル・ホイルを有する基板、タングステン基板、タングステン・ホイルを有する基板、可撓性基板、貼り合わせフィルム、繊維状の材料を含む紙、又は基材フィルムなどがある。ガラス基板の一例としては、バリウムホウケイ酸ガラス、アルミノホウケイ酸ガラス、又はソーダライムガラスなどがある。可撓性基板、貼り合わせフィルム、基材フィルムなどの一例としては、以下のものがあげられる。例えば、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリエチレンナフタレート（PEN）、ポリエーテルサルホン（PES）に代表されるプラスチックがある。または、一例としては、アクリル等の合成樹脂などがある。または、一例としては、ポリプロピレン、ポリエステル、ポリフッ化ビニル、又はポリ塩化ビニルなどがある。または、一例としては、ポリエステル、ポリアミド、ポリイミド、アラミド、エポキシ、無機蒸着フィルム、又は紙類などがある。特に、半

40

50

導体基板、単結晶基板、又はSOI基板などを用いてトランジスタを製造することによって、特性、サイズ、又は形状などのばらつきが少なく、電流能力が高く、サイズの小さいトランジスタを製造することができる。このようなトランジスタによって回路を構成すると、回路の低消費電力化、又は回路の高集積化を図ることができる。

【0056】

また、基板151として、可撓性基板を用い、可撓性基板上に直接、トランジスタを形成してもよい。または、基板151とトランジスタの間に剥離層を設けてもよい。剥離層は、その上に半導体装置を一部あるいは全部完成させた後、基板151より分離し、他の基板に転載するのに用いることができる。その際、トランジスタは耐熱性の劣る基板や可撓性の基板にも転載できる。なお、上述の剥離層には、例えば、タングステン膜と酸化シリコン膜との無機膜の積層構造の構成や、基板上にポリイミド等の有機樹脂膜が形成された構成等を用いることができる。

10

【0057】

トランジスタが転載される基板の一例としては、上述したトランジスタを形成することが可能な基板に加え、紙基板、セロファン基板、アラミドフィルム基板、ポリイミドフィルム基板、石材基板、木材基板、布基板（天然繊維（絹、綿、麻）、合成繊維（ナイロン、ポリウレタン、ポリエステル）若しくは再生繊維（アセテート、キュブラ、レーヨン、再生ポリエステル）などを含む）、皮革基板、又はゴム基板などがある。これらの基板を用いることにより、特性のよいトランジスタの形成、消費電力の小さいトランジスタの形成、壊れにくい装置の製造、耐熱性の付与、軽量化、又は薄型化を図ることができる。

20

【0058】

絶縁膜153、153aとしては、例えば酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ガリウムまたはGa-Zn系金属酸化物などを用いた酸化膜絶縁膜を用いればよく、積層または単層で設ける。なお、本明細書中において、酸化窒化シリコン膜とは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多い膜を指し、窒化酸化シリコン膜とは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多い膜を指す。

【0059】

また、絶縁膜157、157aとして、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化アルミニウム、窒化酸化アルミニウム等を用いた窒化物絶縁膜を用いて形成することができる。

30

【0060】

< 導電性を有する酸化物半導体膜155bの作製方法1 >

はじめに、図1(A)に示す導電性を有する酸化物半導体膜155bの作製方法について、図2を用いて説明する。

【0061】

まず、基板151を準備する。ここでは、基板151としてガラス基板を用いる。

【0062】

図2(A)に示すように、基板151上に絶縁膜153を形成し、絶縁膜153上に酸化物半導体膜155を形成する。次に、酸化物半導体膜155に、ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン等の希ガス154を添加する。

40

【0063】

絶縁膜153は、スパッタリング法、CVD法、真空蒸着法、パルスレーザー堆積(PLD)法、熱CVD法等により形成することができる。

【0064】

酸化物半導体膜155の形成方法を以下に説明する。

【0065】

スパッタリング法、塗布法、パルスレーザー蒸着法、レーザーアブレーション法、熱CVD法等などを用いて、酸化物半導体膜を形成する。次に、該酸化物半導体膜上にフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成した後、該マスクを用いて酸化物半導体膜をエッチングすることで、酸化物半導体膜155を形成することができる。

【0066】

50

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

【0067】

また、ターゲットは、形成する酸化物半導体膜の組成にあわせて、適宜選択すればよい。

【0068】

なお、酸化物半導体膜を形成する際に、例えば、スパッタリング法を用いる場合、基板温度を150以上750以下、好ましくは150以上450以下、さらに好ましくは200以上350以下として、酸化物半導体膜を成膜することで、CAAC-O

10

【0069】

また、酸化物半導体膜としてCAAC-O膜を成膜するために、以下の条件を適用することが好ましい。

【0070】

成膜時の不純物混入を抑制することで、不純物によって結晶状態が崩れることを抑制できる。例えば、成膜室内に存在する不純物濃度（水素、水、二酸化炭素、及び窒素など）を低減すればよい。また、成膜ガス中の不純物濃度を低減すればよい。具体的には、露点

20

【0071】

原子層成膜（ALD）を利用する成膜装置により酸化物半導体膜、例えばIn-Ga-Zn-O膜を成膜する場合には、In(CH₃)₃ガスとO₃ガスを順次繰り返し導入してIn-O層を形成し、その後、Ga(CH₃)₃ガスとO₃ガスを同時に導入してGaO層を形成し、更にその後Zn(CH₃)₂とO₃ガスを同時に導入してZnO層を形成する。なお、これらの層の順番はこの例に限らない。また、これらのガスを混ぜてIn-Ga-O層やIn-Zn-O層、Ga-Zn-O層などの混合化合物層を形成してもよい。なお、O₃ガスに変えてAr等の不活性ガスでパブリングして得られたH₂Oガスを用いてもよいが、Hを含まないO₃ガスを用いる方が好ましい。また、In(CH₃)₃ガスにかえて、In(C₂H₅)₃ガスを用いてもよい。また、Ga(CH₃)₃ガスにかえて、Ga(C₂H₅)₃ガスを用いてもよい。また、Zn(CH₃)₂ガスを用いても

30

【0072】

なお、この後、加熱処理を行って、酸化物半導体膜155に含まれる水素、水等を脱離させ、酸化物半導体膜155の水素濃度及び水濃度を低減してもよい。また、加熱処理により、酸化物半導体膜155から酸素が脱離し、欠陥を形成することができる。この結果、のちに形成される酸化物半導体膜155bの水素濃度のばらつきを低減することができる。該加熱処理の温度は、代表的には、250以上650以下、好ましくは300

40

【0073】

当該加熱処理は、電気炉、RTA装置等を用いることができる。RTA装置を用いることで、短時間に限り、基板の歪み点以上の温度で熱処理を行うことができる。そのため加熱処理時間を短縮することが可能であり、加熱処理中の基板の反りを低減することが可能であり、大面積基板において特に好ましい。

【0074】

また、加熱処理は、窒素、酸素、超乾燥空気（水の含有量が20ppm以下、好ましくは1ppm以下、好ましくは10ppb以下の空気）、または希ガス（アルゴン、ヘリウム等）の雰囲気下で行えばよい。なお、上記窒素、酸素、超乾燥空気、または希ガスに水素、水等が含まれないことが好ましい。

50

【0075】

希ガス154としては、ヘリウム、ネオン、アルゴン、キセノン、クリプトン等を適宜用いることができる。また、希ガス154を酸化物半導体膜155に添加する方法としては、ドーピング法、イオン注入法等がある。または、希ガス154を含むプラズマに酸化物半導体膜155を曝すことで、酸化物半導体膜155に希ガス154を添加することができる。

【0076】

この結果、図2(B)に示すように、欠陥を含む酸化物半導体膜155aを形成することができる。

【0077】

次に、欠陥を含む酸化物半導体膜155aを不純物を含む雰囲気中で加熱する。不純物を含む雰囲気としては、水素、窒素、水蒸気等のいずれか一以上を含む雰囲気がある。

【0078】

または、欠陥を含む酸化物半導体膜155aの表面を、ホウ素、リン、アルカリ金属、アルカリ土類金属を含む溶液に曝した後、加熱処理を行う。

【0079】

加熱処理は、酸化物半導体膜に不純物を供給できる条件を用いることが好ましく、代表的には、加熱温度が250以上350以下であることが好ましい。350以下で加熱処理を行うことで、酸化物半導体膜からの不純物の脱離を最小に抑えつつ、酸化物半導体膜へ不純物を供給が可能である。なお、当該加熱処理においては、0.1Pa以上、好ましくは0.1Pa以上101325Pa以下、好ましくは1Pa以上133Pa以下の圧力雰囲気中で加熱することが好ましい。

【0080】

この結果、図2(C)に示すように、導電性を有する酸化物半導体膜155bを形成することができる。導電性を有する酸化物半導体膜155bは、欠陥と不純物を含む。導電性を有する酸化物半導体膜155bは、欠陥及び不純物の作用により、酸化物半導体膜155と比較して導電性が高まる。欠陥及び不純物の作用の一例としては、酸素欠損に水素が入ることで、キャリアである電子が生成される。または、水素の一部が金属原子と結合する酸素と結合することで、キャリアである電子が生成される。これらの作用により、酸化物半導体膜の導電性が高まる。この結果、導電性を有する酸化物半導体膜155bは、電極または配線として機能する。また、導電性を有する酸化物半導体膜155bは透光性を有する。よって、透光性を有する電極または配線を形成することができる。

【0081】

以上の工程により、導電性を有する酸化物半導体膜を形成することができる。

【0082】

< 導電性を有する酸化物半導体膜155bの作製方法2 >

図2と異なる方法で、導電性を有する酸化物半導体膜155bを形成する方法について、図3を用いて説明する。

【0083】

図3(A)に示すように、基板151上に絶縁膜153を形成した後、絶縁膜153上に酸化物半導体膜155を形成する。次に、真空雰囲気中で加熱処理を行う。真空雰囲気中で加熱処理を行うことで、酸化物半導体膜155から酸素が脱離するため、図3(B)に示すように欠陥を有する酸化物半導体膜155aを形成することができる。なお、図3(B)に示す酸化物半導体膜155aに含まれる欠陥の代表例としては、酸素欠損がある。

【0084】

加熱処理は、酸化物半導体膜から酸素が脱離する条件を用いることが好ましく、代表的には、350以上800以下、好ましくは450以上800以下であることが好ましい。350以上で加熱処理を行うことで、酸化物半導体膜から酸素が脱離する。一方、800以下で加熱処理を行うことで、酸化物半導体膜における結晶構造を維持しつつ、酸化物半導体膜から酸素を脱離させることができる。さらには、真空雰囲気、代表的

10

20

30

40

50

には 1×10^{-7} Pa 以上 10 Pa 以下、好ましくは 1×10^{-7} Pa 以上 1 Pa 以下、好ましくは 1×10^{-7} Pa 以上 1×10^{-1} Pa 以下の圧力雰囲気中で加熱することが好ましい。

【0085】

次に、図2(B)と同様の方法により、欠陥を含む酸化物半導体膜155aを、不純物を含む雰囲気中で加熱する。不純物を含む雰囲気としては、水素、窒素、水蒸気等のいずれか一以上を含む雰囲気がある。

【0086】

または、欠陥を含む酸化物半導体膜155aの表面を、ホウ素、リン、アルカリ金属、アルカリ土類金属を含む溶液に曝した後、加熱処理を行う。

10

【0087】

この結果、図3(C)に示すように、導電性を有する酸化物半導体膜155bを形成することができる。

【0088】

<導電性を有する酸化物半導体膜155bの作製方法3>

図2及び図3と異なる方法で、導電性を有する酸化物半導体膜155bを形成する方法について、図4を用いて説明する。

【0089】

図4(A)に示すように、基板151上に絶縁膜153を形成した後、絶縁膜153上に酸化物半導体膜155を形成する。

20

【0090】

次に、図4(B)に示すように、絶縁膜153及び酸化物半導体膜155上に水素を含む絶縁膜157を形成する。絶縁膜157は、スパッタリング法、プラズマCVD法等を用いて形成する。絶縁膜157を加熱しながら形成してもよい。また、絶縁膜157を形成した後、加熱処理を行ってもよい。

【0091】

絶縁膜157の形成方法として、スパッタリング法、プラズマCVD法等を用いることで、酸化物半導体膜155にダメージが入り、欠陥が形成される。また、絶縁膜157に含まれる水素が酸化物半導体膜155に移動する。これらの結果、図4(C)に示すように、導電性を有する酸化物半導体膜155bを形成することができる。欠陥及び不純物の作用により、酸化物半導体膜155と比較して導電性が高まるため、導電性を有する酸化物半導体膜155bは、電極または配線として機能する。

30

【0092】

<変形例1>

本実施の形態に示す導電性を有する酸化物半導体膜155bは、金属膜で形成される導電膜と比較すると抵抗率が高い。このため、導電性を有する酸化物半導体膜155bに、引き回し配線として、金属膜で形成される導電膜が接していることが好ましい。このような構造について、図5を用いて説明する。

【0093】

図5(A)に、導電性を有する酸化物半導体膜及び該酸化物半導体膜に接する導電膜の断面図を示す。

40

【0094】

図5(A)において、絶縁膜153と、絶縁膜153上の導電性を有する酸化物半導体膜155bとが、基板151上に形成される。導電膜159は、導電性を有する酸化物半導体膜155b上に形成される。

【0095】

また、図5(B)に示すように、絶縁膜153、導電性を有する酸化物半導体膜155b、及び導電膜159上に絶縁膜157が形成されてもよい。

【0096】

また、図5(C)に示すように、絶縁膜157a上に導電性を有する酸化物半導体膜1

50

55bが形成されてもよい。この場合、導電性を有する酸化物半導体膜155b及び導電膜159上に、絶縁膜153aを設けることができる。

【0097】

導電膜159は、アルミニウム、チタン、クロム、ニッケル、銅、イットリウム、ジルコニウム、モリブデン、鉄、コバルト、銀、タンタル、またはタングステンからなる単体金属、またはこれを主成分とする合金を単層構造または積層構造として用いる。例えば、シリコンを含むアルミニウム膜の単層構造、マンガンを含む銅膜の単層構造、チタン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、タングステン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、銅-マグネシウム-アルミニウム合金膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜上に銅膜を積層する二層構造、タングステン膜上に銅膜を積層する二層構造、マンガンを含む銅膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜または窒化チタン膜と、そのチタン膜または窒化チタン膜上に重ねてアルミニウム膜または銅膜を積層し、さらにその上にチタン膜または窒化チタン膜を形成する三層構造、モリブデン膜または窒化モリブデン膜と、そのモリブデン膜または窒化モリブデン膜上に重ねてアルミニウム膜または銅膜を積層し、さらにその上にモリブデン膜または窒化モリブデン膜を形成する三層構造、マンガンを含む銅膜上に銅膜を積層し、さらにその上にマンガンを含む銅膜を形成する三層構造等がある。なお、酸化インジウム、酸化錫または酸化亜鉛を含む透明導電材料を用いてもよい。

10

【0098】

<変形例2>

ここでは、導電性を有する酸化物半導体膜及び導電膜の変形例を図6を用いて説明する。

20

【0099】

図6において、絶縁膜153及び導電性を有する酸化物半導体膜155bの間に、導電膜159を有してもよい。

【0100】

なお、導電膜159は、本実施の形態の変形例1に示す導電膜159の構造を適宜用いることができる。

【0101】

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

30

【0102】

(実施の形態2)

本実施の形態では、実施の形態1に示す導電性を有する酸化物半導体膜を含む抵抗素子について、図7乃至10を用いて説明する。

【0103】

図7に、半導体装置が有する抵抗素子の断面図を示す。

【0104】

図7(A)に示す抵抗素子160aは、導電性を有する酸化物半導体膜155bと、該導電性を有する酸化物半導体膜155bに接する一对の導電膜161、162を有する。導電性を有する酸化物半導体膜155b、一对の導電膜161、162はそれぞれ、基板151上に形成された絶縁膜153上に設けられる。

40

【0105】

また、一对の導電膜161、162がそれぞれ、単層、または2層以上の積層構造であってもよい。一对の導電膜161、162は、実施の形態1に示す導電膜159と同様の構造、材料及び形成方法を適宜用いることができる。

【0106】

また、図7(B)に示す抵抗素子160bのように、絶縁膜153、導電性を有する酸化物半導体膜155b、及び一对の導電膜161、162上に、水素を含む膜で形成された絶縁膜157が形成されてもよい。

【0107】

50

また、図7(C)に示す抵抗素子160cのように、水素を含む膜で形成された絶縁膜157a上に、導電性を有する酸化物半導体膜155b、及び一对の導電膜161、162が形成されてもよい。この場合、導電性を有する酸化物半導体膜155b及び一对の導電膜161、162上に、絶縁膜153aを設けることができる。

【0108】

導電性を有する酸化物半導体膜155bは、一对の導電膜161、162と比べると抵抗率が高い。このため、一对の導電膜161、162の間に導電性を有する酸化物半導体膜155bを設けることで、抵抗素子として機能する。

【0109】

導電性を有する酸化物半導体膜155bは、欠陥と不純物を含む。導電性を有する酸化物半導体膜155bは、欠陥及び不純物の作用により、導電性が高まる。また、導電性を有する酸化物半導体膜155bは、透光性を有する。この結果、透光性を有する抵抗素子を形成することができる。

10

【0110】

<保護回路の回路図>

ここで、本実施の形態に示す抵抗素子を用いた保護回路について、図8を用いて説明する。なお、ここでは、半導体装置として、表示装置を用いて説明するが、他の半導体装置に、保護回路を用いることができる。

【0111】

図8(A)に、半導体装置に含まれる具体的な保護回路170aの一例を示す。

20

【0112】

図8(A)に示す保護回路170aは、配線171と、配線172との間に抵抗素子173と、ダイオード接続されたトランジスタ174と、を有している。

【0113】

抵抗素子173は、トランジスタ174に直列に接続する構成とすることにより、トランジスタ174に流れる電流値の制御、またはトランジスタ174自身の保護抵抗として機能することができる。

【0114】

また、配線171は、例えば、表示装置に含まれる走査線やデータ線、または端子部から駆動回路部に引き回される配線に相当する。また、配線172は、例えば、ゲートドライバ、またはソースドライバに電源を供給するための電源線の電位(VDD、VSSまたはGND)が与えられる配線に相当する。または、配線172は、共通電位(コモン電位)が与えられる配線(コモン線)に相当する。

30

【0115】

配線172の一例としては、走査線駆動回路に電源を供給するための電源線、とくに低い電位を供給する配線と接続される構成が好適である。なぜなら、ゲート信号線は、殆どの期間において、低い電位となっている。したがって、配線172の電位も低い電位となっていると、通常の動作時において、ゲート信号線から配線172へ漏れてしまう電流を低減することが出来るからである。

【0116】

図8(A)においては、抵抗素子173は、ダイオード接続されたトランジスタと直列に接続する構成を例示したが、これに限定されず、ダイオード接続されたトランジスタと並列に接続することもできる。

40

【0117】

次に、図8(B)に、複数のトランジスタ及び複数の抵抗素子で構成される保護回路を示す。

【0118】

図8(B)に示す保護回路170bは、トランジスタ174a、174b、174c、174dと、抵抗素子173a、173b、173cと、を有する。また、保護回路170bは、表示装置に含まれる走査線駆動回路、信号線駆動回路、および画素部のいずれか

50

一以上と接続される配線 175、176、177 の間に設けられる。また、トランジスタ 174 a は、ソース電極としての機能を有する第 1 端子と、ゲート電極としての機能を有する第 2 端子と、が接続され、ドレイン電極としての機能を有する第 3 端子と、配線 177 と、が接続されている。トランジスタ 174 b は、ソース電極としての機能を有する第 1 端子と、ゲート電極としての機能を有する第 2 端子と、が接続され、ドレイン電極としての機能を有する第 3 端子と、トランジスタ 174 a の第 1 端子と、が接続されている。トランジスタ 174 c は、ソース電極としての機能を有する第 1 端子と、ゲート電極としての機能を有する第 2 端子と、が接続され、ドレイン電極としての機能を有する第 3 端子と、トランジスタ 174 b の第 1 端子と、が接続されている。トランジスタ 174 d は、ソース電極としての機能を有する第 1 端子と、ゲート電極としての機能を有する第 2 端子と、配線 177 及び配線 175 とが接続され、ドレイン電極としての機能を有する第 3 端子と、トランジスタ 174 c の第 1 の端子が接続されている。また、抵抗素子 173 a、173 c、は、配線 177 に設けられている。また、抵抗素子 173 b、は、配線 176 と、トランジスタ 174 b の第 1 端子およびトランジスタ 174 c の第 3 端子との間に設けられている。

10

【0119】

なお、配線 175 は、例えば、低電源電位 VSS が与えられる電源線として用いることができる。また、配線 176 は、例えば、コモン線として用いることができる。また、配線 177 は、例えば、高電源電位 VDD が与えられる電源線として用いることができる。

20

【0120】

図 8 (A) 及び図 8 (B) に示す抵抗素子に、本実施の形態に示す抵抗素子を適用することができる。なお、抵抗素子に含まれる導電性を有する酸化物半導体膜の形状、具体的には長さ、または幅を適宜調整することで、任意の抵抗値を有する抵抗素子とすることができる。図 9 に抵抗素子 160 d の一例を示す。図 9 (A) は、抵抗素子 160 d の上面図であり、図 9 (B) は図 9 (A) の一点破線 A - B における断面図である。図 9 に示す抵抗素子 160 d のように、導電性を有する酸化物半導体膜 155 c の上面形状をジグザグ状とし、抵抗素子の抵抗値を制御することが可能である。

【0121】

このように、保護回路 170 b は、複数のダイオード接続されたトランジスタと、複数の抵抗素子により、構成されている。すなわち、保護回路 170 b は、ダイオード接続されたトランジスタと抵抗素子を並列に組み合わせて用いることができる。

30

【0122】

このように半導体装置に保護回路を設けることによって、ESD (Electrostatic Discharge) などにより発生する過電流に対する耐性を高めることができる。したがって、信頼性が高められた半導体装置を提供することができる。

【0123】

さらに、保護回路として、抵抗素子を用い、該抵抗素子の抵抗値を任意に調整できることから、保護回路として用いるダイオード接続されたトランジスタ等も保護することが可能となる。

【0124】

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。

40

【0125】

<変形例 1>

ここでは、抵抗素子の変形例を図 10 を用いて説明する。

【0126】

図 10 に示す抵抗素子 160 g は、絶縁膜 153 及び導電性を有する酸化物半導体膜 155 b の間に、一对の導電膜 163、164 を有する。

【0127】

一对の導電膜 163、164 としては、実施の形態 1 に示す導電膜 159 の構造、材料

50

を適宜用いることができる。

【0128】

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

【0129】

(実施の形態3)

本実施の形態では、実施の形態1に示す導電性を有する酸化物半導体膜を含む容量素子について、図11及び図12を用いて説明する。

【0130】

図11に、半導体装置が有する容量素子の断面図を示す。

10

【0131】

図11(A)に示す容量素子180aは、導電性を有する酸化物半導体膜155bと、該導電性を有する酸化物半導体膜155bに接する絶縁膜157と、絶縁膜157を介して酸化物半導体膜155bと重なる導電膜181とを有する。また、導電性を有する酸化物半導体膜155bまたは導電膜181に、引き回し配線として機能する導電膜が接して形成されてもよい。ここでは、導電性を有する酸化物半導体膜155bに接する導電膜159を示す。なお、導電性を有する酸化物半導体膜155b、絶縁膜157、及び導電膜159はそれぞれ、基板151上に形成された絶縁膜153上に設けられる。

【0132】

導電膜159は、実施の形態1に示す導電膜159と同様の構造、材料及び形成方法を適宜用いることができる。

20

【0133】

また、図11(B)に示す容量素子180bのように、絶縁膜157a上に導電性を有する酸化物半導体膜155b、及び導電膜159が形成されてもよい。この場合、導電性を有する酸化物半導体膜155b及び導電膜181の間に、絶縁膜153aを設けることができる。

【0134】

導電膜181は、アルミニウム、チタン、クロム、ニッケル、銅、イットリウム、ジルコニウム、モリブデン、鉄、コバルト、銀、タンタル、またはタングステンからなる単体金属、またはこれを主成分とする合金を単層構造または積層構造として用いる。例えば、シリコンを含むアルミニウム膜の単層構造、マンガンを含む銅膜の単層構造、チタン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、タングステン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、銅-マグネシウム-アルミニウム合金膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜上に銅膜を積層する二層構造、タングステン膜上に銅膜を積層する二層構造、マンガンを含む銅膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜または窒化チタン膜と、そのチタン膜または窒化チタン膜上に重ねてアルミニウム膜または銅膜を積層し、さらにその上にチタン膜または窒化チタン膜を形成する三層構造、モリブデン膜または窒化モリブデン膜と、そのモリブデン膜または窒化モリブデン膜上に重ねてアルミニウム膜または銅膜を積層し、さらにその上にモリブデン膜または窒化モリブデン膜を形成する三層構造、マンガンを含む銅膜上に銅膜を積層し、さらにその上にマンガンを含む銅膜を形成する三層構造等がある。

30

40

【0135】

また、導電膜181として、導電膜159と同様の構造、材料を適宜用いることができる。

【0136】

また、導電膜181として、透光性を有する導電膜を用いることができる。透光性を有する導電膜は、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、ITO(インジウム錫酸化物(ITO、Indium Tin Oxide))、インジウム亜鉛酸化物、酸化ケイ素を添加したインジウム錫酸化物等を用いて形成する

50

ことができる。

【0137】

導電性を有する酸化物半導体膜155bは、欠陥と不純物を含む。導電性を有する酸化物半導体膜155bは、欠陥及び不純物の作用により、導電性が高まる。また、導電性を有する酸化物半導体膜155bは、透光性を有する。導電膜181として、透光性を有する導電膜を用いることで、透光性を有する容量素子を形成することができる。

【0138】

<変形例2>

図12に示す容量素子180eは、絶縁膜153及び導電性を有する酸化物半導体膜155bの間に、導電膜159を有する。

【0139】

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

【0140】

(実施の形態4)

本実施の形態では、酸化物半導体膜(以下、IGZOと示す。)中に水(以下、 H_2O と示す。)が入り、 H_2O がHとOHに分解した場合における、HとOHの挙動について説明する。

【0141】

<1. IGZO中の H_2O >

はじめに、IGZO中の H_2O の影響を調べるために、IGZOに H_2O が添加されたモデルの計算を行った。具体的な計算内容を以下に示す。

【0142】

InGaZnO₄結晶モデル(112原子)に対して H_2O 分子を配置し、構造最適化計算を行った。計算モデルを図13に示す。図13中の1、2、3は H_2O の初期配置を示す。

【0143】

計算条件を表1に示す。 H_2O が添加されたモデルの最適化後の構造を図14に示す。

【0144】

【表1】

ソフトウェア	VASP
モデル	InGaZnO ₄ 結晶(112原子)+ nH_2O (n=1~3)
計算内容	構造最適化(格子定数含む)
汎関数	GGA/PBE
カットオフエネルギー	500 eV
K点	$2 \times 2 \times 3$

【0145】

いずれのモデルにおいても、 H_2O はHとOHに分解した。よって、IGZO中では H_2O 分子としては安定に存在し難く、IGZO中の H_2O はHとOHに分解することが分かる。

【0146】

次にIGZO中のHとOHについて説明する。

【0147】

< 2 . I G Z O 中の H >

< 2 - (1) H の 拡 散 >

ここでは、I G Z O 結晶における水素移動の起こりやすさを、水素移動経路上の活性化障壁の観点から評価した。なお、水素の移動様式には、1つの酸素から他の酸素へのホッピング、および一つの酸素上における移動を想定した。

【 0 1 4 8 】

水素の拡散経路を検討した単結晶 I G Z O (c - I G Z O) 中の領域区分の模式図を図 1 5 に示す。ここでは、図 1 5 に示す、I n O ₂ 領域、(G a , Z n) O 領域、及び I n O ₂ - (G a , Z n) O 領域内それぞれにおける経路 (a b 面内方向)、および各領域を横切る経路 (c 軸方向) について検討した。

10

【 0 1 4 9 】

活性化障壁の評価には、第一原理電子状態・分子動力学計算パッケージ V A S P (V i e n n a a b i n i t i o s i m u l a t i o n p a c k a g e) を用いて行い、化学反応経路探索手法である N E B (N u d g e d E l a s t i c B a n d) 法を援用した。N E B 法とは初期状態と最終状態からその2つの状態を結ぶ状態の中で必要なエネルギーが最も低くなる状態を探し出す手法である。

【 0 1 5 0 】

< < I n O ₂ 面と (G a , Z n) O 面の中間領域 > >

図 1 6 に、I n O ₂ 面と (G a , Z n) O 面の間の領域の水素移動経路と、その経路上での活性化障壁を示す。ただし、経路上で最も安定な構造を基準とし、該構造のエネルギーをエネルギーの原点とした。図 1 6 (A) 及び図 1 6 (C) は、水素の移動の様子を示し、それぞれ経路 A、経路 B とする。なお、図 1 6 (A) 乃至図 1 6 (D) において、数字は水素の移動の順番を示す。経路 A では、水素が 3 から 4 に向かう経路について、直線的な経路である。一方、経路 B では、水素が 3 から 4 に向かう経路について、5 を経由した経路である。

20

【 0 1 5 1 】

また、図 1 6 (B) は、経路 A において、水素が 1 から 4 迄移動する経路における活性化障壁の計算結果を示し、図 1 6 (D) は、経路 B において、水素が 1 から 4 迄、5 を経由して移動する経路における活性化障壁の計算結果を示す。

【 0 1 5 2 】

図 1 6 (B) と比較して、図 1 6 (D) に示す活性化障壁の方が小さいため、水素が 3 から 4 に向かう場合、経路上の障壁が低い経路 B が起こりやすいと考えられる。すなわち、水素が I n O ₂ 面と (G a , Z n) O 面の間領域を移動する際には、経路上の障壁が低い経路 B が起こりやすいことが期待される。

30

【 0 1 5 3 】

< < (G a , Z n) O 領域 > >

次に、(G a , Z n) O 領域における水素移動経路と、その経路上での活性化障壁を、図 1 7 に示す。ただし、経路上で最も安定な構造を基準とし、該構造をエネルギー原点とした。図 1 7 (A) は、(G a , Z n) O 領域における水素移動経路における水素の移動の様子を示す。図 1 7 (A) において、数字は水素の移動の順番を示す。図 1 7 (B) は、図 1 7 (A) において、水素が 1 から 4 迄移動する経路における、活性化障壁の計算結果を示す。

40

【 0 1 5 4 】

図 1 7 (B) から、(G a , Z n) O 領域における水素移動では、活性化障壁は 0 . 1 6 e V 程度と低いことが分かる。障壁の高さのみを考えたとき、水素が (G a , Z n) O 領域に存在する場合は、I n O ₂ 面と (G a , Z n) O 面の間の領域に存在する場合と比較して、水素移動の頻度は高くなると予想される。

【 0 1 5 5 】

< < I n O ₂ 領域 > >

次に、I n O ₂ 領域における水素移動経路と、その経路上での活性化障壁を図 1 8 に示

50

す。ただし、経路上で最も安定な構造を基準とし、該構造をエネルギー原点とした。図 18 (A) は、InO₂ 領域における水素移動経路における水素の移動の様子を示す。図 18 (A) において、数字は水素の移動の順番を示す。図 18 (B) は、図 18 (A) において、水素が 1 から 4 迄移動する経路における、活性化障壁の計算結果を示す。

【0156】

図 18 から、他の領域における経路と比較して、活性化障壁が非常に大きくなっていることが分かる。したがって、他の領域に比べて InO₂ 領域では、水素移動は起こりにくいと考えられる。

【0157】

次に、c 軸方向に沿った水素移動経路とその経路上での活性化障壁を、図 19 に示す。ただし、経路上で最も安定な構造を基準とし、該構造をエネルギー原点とした。図 19 (A) は、c 軸方向に沿った水素移動経路における水素の移動の様子を示す。図 19 (A) において、数字は水素の移動の順番を示す。図 19 (B) は、図 19 (A) において、水素が 1 から 8 迄移動する経路における、活性化障壁の計算結果を示す。

10

【0158】

図 19 から、(Ga, Zn)O 領域へ入る、あるいは出る際に大きな活性化障壁が存在することが分かる。これは水素移動の経路が M (金属) - O 結合を遮るためと考えられる。また、InO₂ 領域の拡散でも大きな障壁の存在が確認される。このため、c 軸方向への連続した水素の移動は、その頻度が少ないと予想される。なお、活性化障壁が大きい原因として、In のイオン半径が大きいことが一因と考えられる。

20

【0159】

ここで、計算により得られた活性化障壁と以下の数式 1 より、反応頻度 () を算出した。

【0160】

【数 1】

$$\Gamma = \nu \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right)$$

30

【0161】

ここで、E_a は経路最大活性化障壁、k_B はボルツマン定数、T は絶対温度、 ν は頻度因子を示す。

【0162】

最後に、各経路上の最大障壁高さを用いて見積もった移動頻度を表 2 に示す。

【0163】

【表 2】

経路		経路最大 障壁高さ(eV)	450°C	27°C
InO ₂ 面と(Ga,Zn)O面の間の領域 (ab面方向)	A	1.12	1.6E+05	1.0E-06
InO ₂ 面と(Ga,Zn)O面の間の領域 (ab面方向)	B	0.23	2.5E+11	1.4E+09
(Ga,Zn)O面内 (ab面方向)		0.16	7.7E+11	2.1E+10
InO ₂ 面内 (c軸方向)		1.45	8.0E+02	4.6E-12
(Ga,Zn)O面へ入る(出る)経路 (c軸方向)		0.9	5.4E+06	7.8E-03

10

【0164】

20

27、450 共に、InO₂面と(Ga,Zn)O面の間の領域、および(Ga,Zn)O領域における移動頻度が最も高く、一方、InO₂領域(c軸方向)では高い活性化障壁のため、移動頻度が低い傾向にあることが分かった。すなわち、完全な結晶系では水素は優先的にab面に沿って拡散することを示唆している。しかし、450の加熱処理においては、HはIGZO膜中を十分拡散することが分かった。

【0165】

<2-(2)・酸素欠損V_Oのしやすいサイト>

金属-酸素間結合の強さは金属の種類や価数によって異なるため、IGZO中の酸素欠損V_Oのしやすいさは、結合相手の金属の種類、数、距離等で差が生じると考えられる。そこで、InGaZnO₄結晶モデルに対して酸素欠損のしやすいさを計算した。

30

【0166】

計算にはInGaZnO₄結晶モデル(112原子)を用いた。このモデルを図20に示す。(Ga,Zn)O領域内のGaおよびZnは、エネルギー的に安定となるような配置をとった。この時、結合相手と数より、酸素サイトの種類は4つとなる(図20中に示す1から4)。各酸素サイトについて表3に示す。

【0167】

【表 3】

酸素サイト		結合相手
InO ₂ 層	1	In×3、Ga×1
	2	In×3、Zn×1
(Ga,Zn)O層	3	Ga×2、Zn×2
	4	Ga×2、Zn×2

40

【0168】

上記モデルから酸素サイトの酸素を一個引き抜くことで、酸素欠損モデルを作成し、構

50

造最適化後の全エネルギーの比較を行った。計算条件を表 4 に示す。

【 0 1 6 9 】

【表 4】

ソフトウェア	VASP
汎関数	GGA-PBE
擬ポテンシャル	PAW
カットオフエネルギー	500 eV
k点	2×2×3

10

【 0 1 7 0 】

最適化された構造に対する全エネルギーの比較を行った。酸素サイト 4 の酸素欠損モデルの全エネルギーを基準 (0.0 eV) として、全エネルギーの相対値を図 2 1 に示す。図 2 1 より、酸素欠損が形成されやすいのは酸素サイト 4 であり、酸素サイト 2 も比較的
形成されやすいと考えられる。一方、酸素サイト 1 及び酸素サイト 3 については、酸素サ
イト 2 や酸素サイト 4 と比べると形成されにくいと考えられる。

20

【 0 1 7 1 】

< 2 - (3) . H_O の形成しやすさ及び安定性 >

IGZO 中では、特に加熱処理時には H は拡散するという計算結果を、< 2 - (1)
H の拡散 > において説明した。そこで、ここでは、酸素欠損 V_O が存在する場合、H は酸
素欠損 V_O に入りやすいか否かについて計算を行った。ここで、酸素欠損 V_O に H がある
状態を H_O (V_OH と表記する場合もある。) と表記する。

【 0 1 7 2 】

図 2 2 に示すように、計算には $InGaZnO_4$ 結晶モデルを用いた。ここで、 H_O 中
の H が V_O から出ていき、酸素と結合する反応経路の活性化障壁 (E_a) を NEB 法を用
いて計算した。計算条件を表 5 に示す。

30

【 0 1 7 3 】

【表 5】

ソフトウェア	VASP
計算手法	NEB法
汎関数	GGA-PBE
擬ポテンシャル	PAW
カットオフエネルギー	500 eV
k点	2×2×3

40

はじめに、< 2 - (2) . 酸素欠損 (V_O) のできやすいサイト > の計算結果をもとに
、酸素欠損 V_O を形成しやすい酸素サイトが 2 つある。はじめに、酸素欠損 V_O を形成し
やすい酸素サイトとして、3 個の In と 1 個の Zn と結合した酸素サイト (図 2 2 に示す
1) について計算を行った。

【 0 1 7 4 】

初期状態のモデルを図 2 3 (A) に示し、最終状態のモデルを図 2 3 (B) に示す。ま
た、初期状態及び最終状態において、算出した活性化障壁 (E_a) を図 2 4 に示す。なお

50

、ここでの初期状態とは、酸素欠損 V_O 中に H がある状態 (H_O) であり、最終状態とは、酸素欠損 V_O と、1 個の Ga 及び 2 個の Zn と結合した酸素と H とが結合した状態 ($H-O$) を有する構造である。

【0175】

計算の結果、酸素欠損 V_O 中の H が他の O と結合するには約 1.52 eV のエネルギーが必要であるのに対して、O と結合した H が酸素欠損 V_O 中に入るには約 0.46 eV のエネルギーが必要であった。

【0176】

ここで、計算により得られた活性化障壁 (E_a) と上記の数式 1 より、反応頻度 () を算出した。なお、数式 1 において、 k_B はボルツマン定数であり、 T は絶対温度である。

10

【0177】

頻度因子 $= 10^{13} [1/\text{sec}]$ と仮定して 350 における反応頻度を算出した。図 23 (A) に示すモデルから図 23 (B) に示すモデルへ H が移動する頻度は $5.52 \times 10^0 [1/\text{sec}]$ であった。また、図 23 (B) に示すモデルから図 23 (A) に示すモデルへ H が移動する頻度は $1.82 \times 10^9 [1/\text{sec}]$ であった。このことから、IGZO 中を拡散する H は、近くに酸素欠損 V_O があると H_O を形成しやすく、一旦 H_O を形成すると酸素欠損 V_O から放出されにくいと考えられる。

【0178】

次に、 $\langle 2 - (2) \cdot \text{酸素欠損 } V_O \text{ のできやすいサイト} \rangle$ の計算結果をもとに、酸素欠損 V_O を形成しやすい酸素サイトとして、1 個の Ga と 2 個の Zn と結合した酸素サイト (図 22 に示す 2) について計算を行った。

20

【0179】

初期状態のモデルを図 25 (A) に示し、最終状態のモデルを図 25 (B) に示す。また、初期状態及び最終状態において、算出した活性化障壁 (E_a) を図 26 に示す。なお、ここでの初期状態とは、酸素欠損 V_O 中に H がある状態 (H_O) であり、最終状態とは、酸素欠損 V_O と、1 個の Ga 及び 2 個の Zn と結合した酸素と H とが結合した状態 ($H-O$) を有する構造である。

【0180】

計算の結果、酸素欠損 V_O 中の H が他の O と結合するには約 1.75 eV のエネルギーが必要であるのに対して、O と結合した H が酸素欠損 V_O 中に入るには約 0.35 eV のエネルギーが必要であった。

30

【0181】

また、計算により得られた活性化障壁 (E_a) と上記の数式 1 より、反応頻度 () を算出した。

【0182】

頻度因子 $= 10^{13} [1/\text{sec}]$ と仮定して 350 における反応頻度を算出した。図 25 (A) に示すモデルから図 25 (B) に示すモデルへ H が移動する頻度は $7.53 \times 10^{-2} [1/\text{sec}]$ であった。また、図 25 (B) に示すモデルから図 25 (A) に示すモデルへ H が移動する頻度は $1.44 \times 10^{10} [1/\text{sec}]$ であった。このことから、一旦 H_O を形成すると酸素欠損 V_O から H は放出されにくいと考えられる。

40

【0183】

以上のことから、加熱処理時に IGZO 中の H は拡散し易く、酸素欠損 V_O がある場合は酸素欠損 V_O の中に入って H_O となりやすいことが分かった。

【0184】

$\langle 2 - (4) \cdot H_O \text{ の遷移レベル} \rangle$

IGZO 中において酸素欠損 V_O と H が存在する場合、 $\langle 2 - (3) \cdot H_O \text{ の形成しやすさ及び安定性} \rangle$ で示した、NEB 法を用いた計算より、酸素欠損 V_O と H は H_O を形成しやすく、さらに H_O は安定であると考えられる。そこで、 H_O がキャリアトラップに関与するかを調べるため、 H_O の遷移レベルの算出を行った。

50

【 0 1 8 5 】

計算には InGaZnO_4 結晶モデル (112 原子) を用いた。モデルを図 2 2 に示す。酸素欠損 V_O のできやすい酸素サイトは、3 個の In と 1 個の Zn と結合した酸素 (図 2 2 に示す 1)、あるいは 1 個の Ga と 2 個の Zn と結合した酸素 (図 2 2 に示す 2) であったので、酸素サイト 1 および酸素サイト 2 に対して H_O モデルを作成し、遷移レベルの算出を行った。計算条件を表 6 に示す。

【 0 1 8 6 】

【 表 6 】

ソフトウェア	VASP
モデル	InGaZnO_4 結晶 (112 原子)
汎関数	HSE06
交換項の混合比	0.25
擬ポテンシャル	GGA-PBE
カットオフエネルギー	800 eV
k 点	$1 \times 1 \times 1$

10

20

【 0 1 8 7 】

実験値に近いバンドギャップが出るよう、交換項の混合比を調整したことで、欠陥のない InGaZnO_4 結晶モデルのバンドギャップは 3.08 eV となり、実験値の 3.15 eV と近い結果となった。

【 0 1 8 8 】

欠陥 D をもつモデルの遷移レベル (q/q') は、以下の数式 2 により算出される。なお、 $E(D^q)$ は欠陥 D の電荷 q における形成エネルギーであり、数式 3 より算出される。

30

【 0 1 8 9 】

【 数 2 】

$$\varepsilon(q/q') = \frac{\Delta E(D^q) - \Delta E(D^{q'})}{q' - q}$$

【 0 1 9 0 】

【 数 3 】

40

$$\Delta E(D^q) = E_{tot}(D^q) - E_{tot}(bulk) + \sum_i \Delta n_i \mu_i + q(\varepsilon_{VBM} + \Delta V_q + E_F)$$

【 0 1 9 1 】

数式 2 及び数式 3 において、 $E_{tot}(D^q)$ は欠陥 D を含むモデルの電荷 q における全エネルギー、 $E_{tot}(bulk)$ は欠陥のないモデル (完全結晶) の全エネルギー、 n_i は欠陥に関する原子 i の増減数、 μ_i は原子 i の化学ポテンシャル、 ε_{VBM} は欠陥のないモデルにおける価電子帯上端のエネルギー、 V_q は静電ポテンシャルに関する

50

補正項、 E_F はフェルミエネルギーである。

【0192】

算出した H_0 の遷移レベルを図27に示す。図27中の数値は伝導帯下端からの深さである。図27より、酸素サイト1に対する H_0 の遷移レベルは伝導帯下端の下0.05 eVに存在し、酸素サイト2に対する H_0 の遷移レベルは伝導帯下端の下0.11 eVに存在するため、それぞれの H_0 は、電子トラップに関与すると考えられる。すなわち、 H_0 はドナーとして振る舞うことが明らかになった。また、 H_0 を有するIGZOは導電性を有することが明らかになった。

【0193】

< 2 - (5) . 表面での H_2O 脱離 >

次に、加熱処理により、IGZO中のHが、表面から H_2O として脱離する過程について計算を行った。

【0194】

InGaZnO₄結晶モデルの表面を劈開面と仮定した。すなわち、(Ga, Zn)O面を最表面としたモデル(原子数: 112個)を用いた。計算モデルを図28に、計算条件を表7に示す。

【0195】

【表7】

ソフトウェア	VASP
汎関数	GGA-PBE
擬ポテンシャル	PAW
カットオフエネルギー	500 eV
k点	2×2×1

10

20

30

40

50

【0196】

2個の水素がInO₂層のOと結合したInGaZnO₄表面モデルを反応経路の初期構造とし、 H_2O 脱離過程に関して、以下のステップの計算を行った。

【0197】

- (1) から (2) 1個目のHが表面のOの内側に結合するステップ
- (2) から (3) 1個目のHが表面のOの外側に出るステップ
- (3) から (4) 2個目のHが近づくステップ
- (4) から (5) 2個目のHが表面のOHの内側に結合するステップ
- (5) から (6) 2個目のHが表面上に出るステップ
- (6) から (7) H_2O が脱離するステップ

【0198】

上記ステップの反応過程におけるモデルの構造を図29に示し、初期構造をエネルギーの基準(0.00 eV)とした時のエネルギー変化を図30に示す。なお、図30において、上側は、図29の(1)から(7)、それぞれにおけるエネルギー変化を示し、下側は、(1)から(7)それぞれにおいてIGZOとその表面におけるOとHの反応の模式図を示した。

【0199】

計算の結果、表面のOの1つに2個のHが結合した状態から、 H_2O が脱離し酸素欠損 V_O が形成される反応過程((6)から(7)のステップ)において、1.04 eVと最もエネルギーが高いことが分かった。そこで、(6)から(7)のステップの反応頻度()を、数式1より算出した。

【0200】

頻度因子 $= 1 \times 10^{13} [1/\text{sec}]$ と仮定して反応頻度を算出したところ、350 では、反応頻度 $= 3.66 \times 10^4 [1/\text{sec}]$ であった。このことから、HがH₂Oとして脱離し、酸素欠損V_oが形成される反応は実際のプロセス内で起こりうると考えられる。

【0201】

(実施の形態5)

本実施の形態では、本発明の一態様である表示装置について、図面を用いて説明する。本実施の形態では、実施の形態1に示す導電性を有する酸化物半導体膜を含む容量素子を有する表示装置について、図31乃至図33を用いて説明する。

10

【0202】

図31(A)に、表示装置の一例を示す。図31(A)に示す表示装置は、画素部101と、走査線駆動回路104と、信号線駆動回路106と、各々が平行または略平行に配設され、且つ走査線駆動回路104によって電位が制御されるm本の走査線107と、各々が平行または略平行に配設され、且つ信号線駆動回路106によって電位が制御されるn本の信号線109と、を有する。さらに、画素部101はマトリクス状に配設された複数の画素103を有する。また、信号線109に沿って、各々が平行または略平行に配設された容量線115を有してもよい。なお、容量線115は、走査線107に沿って、各々が平行または略平行に配設されていてもよい。また、走査線駆動回路104及び信号線駆動回路106をまとめて駆動回路部という場合がある。

20

【0203】

なお、表示装置は、複数の画素を駆動させる駆動回路等を含む。また、表示装置は、別の基板上に配置された制御回路、電源回路、信号生成回路及びバックライトモジュール等を含み、液晶モジュールとよばれることもある。

【0204】

各走査線107は、画素部101においてm行n列に配設された画素103のうち、いずれかの行に配設されたn個の画素103と電氣的に接続される。また、各信号線109は、m行n列に配設された画素103のうち、いずれかの列に配設されたm個の画素103に電氣的と接続される。m、nは、ともに1以上の整数である。また、各容量線115は、m行n列に配設された画素103のうち、いずれかの列に配設されたm個の画素103と電氣的に接続される。なお、容量線115が、走査線107に沿って、各々が平行または略平行に配設されている場合は、m行n列に配設された画素103のうち、いずれかの行に配設されたn個の画素103に電氣的に接続される。

30

【0205】

なお、液晶表示装置がFFS駆動の場合、容量線は設けられず、コモン線またはコモン電極が容量線として機能する。

【0206】

なお、ここでは、一画素とは、走査線及び信号線で囲まれ、且つ一つの色を示す領域のことをいう。このため、R(赤)G(緑)B(青)の色要素からなるカラー表示装置の場合には、画像の最小単位は、Rの画素とGの画素とBの画素との三画素から構成される。なお、R(赤)G(緑)B(青)に、イエロー、シアン、マゼンタなどの画素を加えることで、色の再現性を高めることができる。また、R(赤)G(緑)B(青)に、W(白)の画素を加えることで表示装置の消費電力を低下することができる。また、液晶表示装置の場合、W(白)の画素をR(赤)G(緑)B(青)ごとに加えることで、液晶表示装置の明るさを高めることが可能であるため、バックライトの明るさを抑制できる。この結果、液晶表示装置の消費電力を低減することが可能である。

40

【0207】

図31(B)、(C)は、図31(A)に示す表示装置の画素103に用いることができる回路構成の一例を示している。

【0208】

50

図31(B)に示す画素103は、液晶素子121と、トランジスタ102と、容量素子105と、を有する。

【0209】

液晶素子121の一对の電極の一方の電位は、画素103の仕様に依りて適宜設定される。液晶素子121は、書き込まれるデータにより配向状態が設定される。また、複数の画素103のそれぞれが有する液晶素子121の一对の電極の一方に共通の電位(コモン電位)を与えてもよい。また、各行の画素103毎の液晶素子121の一对の電極の一方に異なる電位を与えてもよい。

【0210】

なお、液晶素子121は、液晶の光学的変調作用によって光の透過または非透過を制御する素子である。なお、液晶の光学的変調作用は、液晶にかかる電界(横方向の電界、縦方向の電界又は斜め方向の電界を含む)によって制御される。なお、液晶素子121としては、ネマチック液晶、コレステリック液晶、スメクチック液晶、サーモトロピック液晶、ライオトロピック液晶、強誘電液晶、反強誘電液晶等が挙げられる。

10

【0211】

液晶素子121を有する表示装置の駆動方法としては、例えば、TNモード、VAモード、ASM(Axially Symmetric Aligned Micro-cell)モード、OCB(Optically Compensated Birefringence)モード、MVAモード、PVA(Patterned Vertical Alignment)モード、IPSモード、FFSモード、またはTBA(Transverse Bend Alignment)モードなどを用いてもよい。ただし、これに限定されず、液晶素子及びその駆動方式として様々なものを用いることができる。

20

【0212】

また、ブルー相(Blue Phase)を示す液晶とカイラル剤とを含む液晶組成物により液晶素子を構成してもよい。ブルー相を示す液晶は、応答速度が1msec以下と短く、光学的等方性であるため、配向処理が不要であり、視野角依存性が小さい。

【0213】

図31(B)に示す画素103の構成において、トランジスタ102のソース電極及びドレイン電極の一方は、信号線109に電氣的に接続され、他方は液晶素子121の一对の電極の他方に電氣的に接続される。また、トランジスタ102のゲート電極は、走査線107に電氣的に接続される。トランジスタ102は、オン状態またはオフ状態になることにより、データ信号のデータの書き込みを制御する機能を有する。

30

【0214】

図31(B)に示す画素103の構成において、容量素子105の一对の電極の一方は、電位が供給される容量線115に電氣的に接続され、他方は、液晶素子121の一对の電極の他方に電氣的に接続される。なお、容量線115の電位の値は、画素103の仕様に依りて適宜設定される。容量素子105は、書き込まれたデータを保持する保持容量としての機能を有する。

【0215】

また、図31(C)に示す画素103は、表示素子のスイッチングを行うトランジスタ133と、画素の駆動を制御するトランジスタ102と、トランジスタ135と、容量素子105と、発光素子131と、を有する。

40

【0216】

トランジスタ133のソース電極及びドレイン電極の一方は、データ信号が与えられる信号線109に電氣的に接続される。さらに、トランジスタ133のゲート電極は、ゲート信号が与えられる走査線107に電氣的に接続される。

【0217】

トランジスタ133は、オン状態またはオフ状態になることにより、データ信号のデータの書き込みを制御する機能を有する。

【0218】

50

トランジスタ 102 のソース電極及びドレイン電極の一方は、アノード線として機能する配線 137 と電氣的に接続され、トランジスタ 102 のソース電極及びドレイン電極の他方は、発光素子 131 の一方の電極に電氣的に接続される。さらに、トランジスタ 102 のゲート電極は、トランジスタ 133 のソース電極及びドレイン電極の他方、及び容量素子 105 の一方の電極に電氣的に接続される。

【0219】

トランジスタ 102 は、オン状態またはオフ状態になることにより、発光素子 131 に流れる電流を制御する機能を有する。

【0220】

トランジスタ 135 のソース電極及びドレイン電極の一方はデータの基準電位が与えられる配線 139 と接続され、トランジスタ 135 のソース電極及びドレイン電極の他方は、発光素子 131 の一方の電極、及び容量素子 105 の他方の電極に電氣的に接続される。さらに、トランジスタ 135 のゲート電極は、ゲート信号が与えられる走査線 107 に電氣的に接続される。

10

【0221】

トランジスタ 135 は、発光素子 131 に流れる電流を調整する機能を有する。例えば、発光素子 131 が劣化等により、発光素子 131 の内部抵抗が上昇した場合、トランジスタ 135 のソース電極及びドレイン電極の一方が接続された配線 139 に流れる電流をモニタリングすることで、発光素子 131 に流れる電流を補正することができる。配線 139 に与えられる電位としては、例えば、0V とすることができる。

20

【0222】

容量素子 105 の一对の電極の一方は、トランジスタ 102 のゲート電極、及びトランジスタ 133 のソース電極及びドレイン電極の他方と電氣的に接続され、容量素子 105 の一对の電極の他方は、トランジスタ 135 のソース電極及びドレイン電極の他方、及び発光素子 131 の一方の電極に電氣的に接続される。

【0223】

図 31 (C) に示す画素 103 の構成において、容量素子 105 は、書き込まれたデータを保持する保持容量としての機能を有する。

【0224】

発光素子 131 の一对の電極の一方は、トランジスタ 135 のソース電極及びドレイン電極の他方、容量素子 105 の他方、及びトランジスタ 102 のソース電極及びドレイン電極の他方と電氣的に接続される。また、発光素子 131 の一对の電極の他方は、カソードとして機能する配線 141 に電氣的に接続される。

30

【0225】

発光素子 131 としては、例えば有機エレクトロルミネセンス素子（有機 EL 素子ともいう）などを用いることができる。ただし、発光素子 131 としては、これに限定されず、無機材料からなる無機 EL 素子を用いても良い。

【0226】

なお、配線 137 及び配線 141 の一方には、高電源電位 VDD が与えられ、他方には、低電源電位 VSS が与えられる。図 31 (C) に示す構成においては、配線 137 に高電源電位 VDD を、配線 141 に低電源電位 VSS を、それぞれ与える構成としている。

40

【0227】

なお、図 31 (B) 及び図 31 (C) では、表示素子として、液晶素子 121 や発光素子 131 を用いた例を示したが、本発明の実施形態の一態様は、これに限定されない。様々な表示素子を用いることも可能である。例えば、LED（白色 LED、赤色 LED、緑色 LED、青色 LED など）、トランジスタ（電流に応じて発光するトランジスタ）、電子放出素子、電子インク、電気泳動素子、グレーティングライトバルブ（GLV）、プラズマディスプレイ（PDP）、MEMS（マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム）を用いた表示素子、デジタルマイクロミラーデバイス（DMD）、DMS（デジタル・マイクロ・シャッター）、IMOD（インターフェアレンス・モジュレーション）素子、

50

シャッター方式のMEMS表示素子、光干渉方式のMEMS表示素子、エレクトロウェッティング素子、圧電セラミックディスプレイ、カーボンナノチューブ、など、電気磁気的作用により、コントラスト、輝度、反射率、透過率などが変化する表示媒体を有するものがある。EL素子を用いた表示装置の一例としては、ELディスプレイなどがある。電子放出素子を用いた表示装置の一例としては、フィールドエミッションディスプレイ(FED)又はSED方式平面型ディスプレイ(SED: Surface-conduction Electron-emitter Display)などがある。液晶素子を用いた表示装置の一例としては、液晶ディスプレイ(透過型液晶ディスプレイ、半透過型液晶ディスプレイ、反射型液晶ディスプレイ、直視型液晶ディスプレイ、投射型液晶ディスプレイ)などがある。電子インク又は電気泳動素子を用いた表示装置の一例としては、電子ペーパーなどがある。なお、半透過型液晶ディスプレイや反射型液晶ディスプレイを実現する場合には、画素電極の一部、または、全部が、反射電極としての機能を有するようになればよい。例えば、画素電極の一部、または、全部が、アルミニウム、銀、などを有するようになればよい。さらに、その場合、反射電極の下に、SRAMなどの記憶回路を設けることも可能である。これにより、さらに、消費電力を低減することができる。

10

20

30

40

50

【0228】

次に、表示装置に含まれる素子基板の具体的な構成について説明する。ここでは、画素103に液晶素子を用いた液晶表示装置の具体的な例について説明する。ここでは、図31(B)に示す画素103の上面図を図32に示す。

【0229】

ここでは、表示装置としてFFS駆動の液晶表示装置を用い、該液晶表示装置に含まれる複数の画素103a、103b、103cの上面図を図32に示す。

【0230】

図32において、走査線として機能する導電膜13は、信号線として機能する導電膜に略直交する方向(図中左右方向)に延伸して設けられている。信号線として機能する導電膜21aは、走査線として機能する導電膜に略直交する方向(図中上下方向)に延伸して設けられている。なお、走査線として機能する導電膜13は、走査線駆動回路104(図31を参照。)と電気的に接続されており、信号線として機能する導電膜21aは、信号線駆動回路106(図31を参照。)に電気的に接続されている。

【0231】

トランジスタ102は、走査線として機能する導電膜及び信号線として機能する導電膜が交差する領域に設けられている。トランジスタ102は、ゲート電極として機能する導電膜13、ゲート絶縁膜(図32に図示せず。)、ゲート絶縁膜上に形成されたチャネル領域が形成される酸化物半導体膜19a、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21bにより構成される。なお、導電膜13は、走査線として機能する導電膜としても機能し、酸化物半導体膜19aと重畳する領域がトランジスタ102のゲート電極として機能する。また、導電膜21aは、信号線として機能する導電膜としても機能し、酸化物半導体膜19aと重畳する領域がトランジスタ102のソース電極またはドレイン電極として機能する。また、図32において、走査線として機能する導電膜は、上面形状において端部が酸化物半導体膜19aの端部より外側に位置する。このため、走査線として機能する導電膜はバックライトなどの光源からの光を遮る遮光膜として機能する。この結果、トランジスタに含まれる酸化物半導体膜19aに光が照射されず、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。

【0232】

また、トランジスタ102において、酸化物半導体膜19aと重なる有機絶縁膜31を有する。有機絶縁膜31は、無機絶縁膜(図32に図示せず。)を介して、酸化物半導体膜19a、特に、酸化物半導体膜19aであって且つ導電膜21a、21bの間の領域と重なる。

【0233】

トランジスタ10ごとに有機絶縁膜31が分離して形成されているため、外部からの水

が有機絶縁膜 31 を通じて液晶表示装置内に拡散しないため、液晶表示装置内に設けられるトランジスタの電気特性のばらつきを低減することが可能である。

【0234】

また、導電膜 21b は、導電性を有する酸化物半導体膜 19b と電氣的に接続する。また、導電性を有する酸化物半導体膜 19b 上において、絶縁膜を介して共通電極 29 が設けられている。導電性を有する酸化物半導体膜 19b 上に設けられる絶縁膜において、一点破線で示す開口部 40 が設けられている。開口部 40 において、導電性を有する酸化物半導体膜 19b は、窒化物絶縁膜（図 32 に図示せず。）と接する。

【0235】

共通電極 29 は、信号線として機能する導電膜 21a と交差する方向に延伸した縞状の領域を有する。また、該縞状の領域は、信号線として機能する導電膜 21a と平行または略平行な方向に延伸した領域と接続する。このため、画素において、縞状の領域を有する共通電極 29 は、各縞状の領域が同電位である。

10

【0236】

容量素子 105 は、導電性を有する酸化物半導体膜 19b、及び共通電極 29 が重なる領域で形成される。導電性を有する酸化物半導体膜 19b 及び共通電極 29 は透光性を有する。即ち、容量素子 105 は透光性を有する。

【0237】

図 32 に示すように、FFS モードの液晶表示装置において、信号線として機能する導電膜と交差する方向に延伸した縞状の領域を有する共通電極が設けられるため、コントラストの優れた表示装置を作製することができる。

20

【0238】

また、容量素子 105 は透光性を有するため、画素 103 内に容量素子 105 を大きく（大面積に）形成することができる。従って、開口率を高めつつ、代表的には 50% 以上、好ましくは 60% 以上とすることが可能であると共に、容量値を増大させた表示装置を得ることができる。例えば、解像度の高い表示装置、例えば液晶表示装置においては、画素の面積が小さくなり、容量素子の面積も小さくなる。このため、解像度の高い表示装置において、容量素子に蓄積される容量値が小さくなる。しかしながら、本実施の形態に示す容量素子 105 は透光性を有するため、当該容量素子を画素に設けることで、各画素において十分な容量値を得つつ、開口率を高めることができる。代表的には、画素密度が 200 p p i 以上、さらには 300 p p i 以上、更には 500 p p i 以上である高解像度の表示装置に好適に用いることができる。

30

【0239】

また、液晶表示装置において、容量素子の容量値を大きくするほど、電界を加えた状況において、液晶素子の液晶分子の配向を一定に保つことができる期間を長くすることができる。静止画を表示させる場合、当該期間を長くできるため、画像データを書き換える回数を低減することが可能であり、消費電力を低減することができる。また、本実施の形態に示す構造により、高解像度の表示装置においても、開口率を高めることができるため、バックライトなどの光源の光を効率よく利用することができ、表示装置の消費電力を低減することができる。

40

【0240】

次いで、図 32 の一点鎖線 A - B、C - D における断面図を図 33 に示す。図 33 に示すトランジスタ 102 は、チャンネルエッチ型のトランジスタである。なお、一点破線 A - B は、トランジスタ 102 のチャンネル長方向、及び容量素子 105 の断面図であり、C - D における断面図は、トランジスタ 102 のチャンネル幅方向の断面図である。

【0241】

本実施の形態に示す液晶表示装置は、一对の基板（第 1 の基板 11 と第 2 の基板 342）と、第 1 の基板 11 に接する素子層と、第 2 の基板 342 に接する素子層と、各素子層の間の液晶層 320 とを有する。なお、素子層とは、基板と液晶層の間に形成される層を総称していう。また、基板及び素子層を素子基板として説明する場合がある。また、一对の

50

基板（第 1 の基板 1 1 と第 2 の基板 3 4 2 ）間に液晶素子 3 2 2 が挟持されている。

【 0 2 4 2 】

液晶素子 3 2 2 は、第 1 の基板 1 1 の上方の導電性を有する酸化物半導体膜 1 9 b と、コモン電極 2 9 と、窒化物絶縁膜 2 7 と、配向性を制御する膜（以下、配向膜 3 3 という。）と、液晶層 3 2 0 と、を有する。なお、導電性を有する酸化物半導体膜 1 9 b は、液晶素子 3 2 2 の一方の電極（画素電極ともいう。）として機能し、コモン電極 2 9 は、液晶素子 3 2 2 の他方の電極として機能する。

【 0 2 4 3 】

はじめに、第 1 の基板 1 1 に形成される素子層に関して説明する。図 3 3 に示すトランジスタ 1 0 2 は、シングルゲート構造のトランジスタであり、第 1 の基板 1 1 上に設けられるゲート電極として機能する導電膜 1 3 を有する。また、第 1 の基板 1 1 及びゲート電極として機能する導電膜 1 3 上に形成される窒化物絶縁膜 1 5 と、窒化物絶縁膜 1 5 上に形成される酸化物絶縁膜 1 7 と、窒化物絶縁膜 1 5 及び酸化物絶縁膜 1 7 を介して、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 と重なる酸化物半導体膜 1 9 a と、酸化物半導体膜 1 9 a に接する、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜 2 1 a、2 1 b とを有する。窒化物絶縁膜 1 5 及び酸化物絶縁膜 1 7 は、ゲート絶縁膜 1 4 として機能する。また、酸化物絶縁膜 1 7、酸化物半導体膜 1 9 a、及びソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜 2 1 a、2 1 b 上には、酸化物絶縁膜 2 3 が形成され、酸化物絶縁膜 2 3 上には酸化物絶縁膜 2 5 が形成される。窒化物絶縁膜 1 5、酸化物絶縁膜 2 3、酸化物絶縁膜 2 5、導電膜 2 1 b 上には窒化物絶縁膜 2 7 が形成される。酸化物絶縁膜 2 3、酸化物絶縁膜 2 5、及び窒化物絶縁膜 2 7 は、無機絶縁膜 3 0 として機能する。また、導電性を有する酸化物半導体膜 1 9 b が、酸化物絶縁膜 1 7 上に形成される。導電性を有する酸化物半導体膜 1 9 b は、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜 2 1 a、2 1 b の一方、ここでは導電膜 2 1 b に接続される。また、コモン電極 2 9 が、窒化物絶縁膜 2 7 上に形成される。また、無機絶縁膜 3 0 を介してトランジスタ 1 0 2 の酸化物半導体膜 1 9 a と重なる有機絶縁膜 3 1 を有する。

【 0 2 4 4 】

以下に、表示装置の構成の詳細について説明する。

【 0 2 4 5 】

基板 1 1 は、実施の形態 1 に示す基板 1 5 1 を適宜用いることができる。

【 0 2 4 6 】

ゲート電極として機能する導電膜 1 3 は、アルミニウム、クロム、銅、タンタル、チタン、モリブデン、タングステンから選ばれた金属元素、または上述した金属元素を成分とする合金か、上述した金属元素を組み合わせた合金等を用いて形成することができる。また、マンガン、ジルコニウムのいずれか一または複数から選択された金属元素を用いてもよい。また、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 は、単層構造でも、二層以上の積層構造としてもよい。例えば、シリコンを含むアルミニウム膜の単層構造、チタン膜上にアルミニウム膜を積層する二層構造、窒化チタン膜上にチタン膜を積層する二層構造、窒化チタン膜上にタングステン膜を積層する二層構造、窒化タンタル膜または窒化タングステン膜上にタングステン膜を積層する二層構造、チタン膜上に銅膜を積層する二層構造、モリブデン膜上に銅膜を積層する二層構造、チタン膜と、そのチタン膜上にアルミニウム膜を積層し、さらにその上にチタン膜を形成する三層構造等がある。また、アルミニウムに、チタン、タンタル、タングステン、モリブデン、クロム、ネオジム、スカンジウムから選ばれた元素の一または複数を組み合わせた合金膜、もしくは窒化膜を用いてもよい。

【 0 2 4 7 】

また、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 は、実施の形態 1 に示す導電膜 1 5 9 の構造及び材料を適宜用いることができる。また、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 は、実施の形態 3 に示す導電膜 1 8 1 で説明した透光性を有する導電膜を用いることができる。また、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 は、上記透光性を有する導電膜と、上記金属元素の積層構造とすることもできる。また、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 は、

実施の形態 1 に示す導電性を有する酸化物半導体膜 155b を用いて形成してもよい。

【0248】

窒化物絶縁膜 15 は、酸素の透過性の低い窒化物絶縁膜を用いることが可能である。更には、酸素、水素、及び水の透過性の低い窒化物絶縁膜を用いることが可能である。酸素の透過性の低い窒化物絶縁膜、酸素、水素、及び水の透過性の低い絶縁膜としては、窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、窒化酸化アルミニウム膜等がある。また、酸素の透過性の低い窒化物絶縁膜、酸素、水素、及び水の透過性の低い窒化物絶縁膜の代わりに、酸化アルミニウム膜、酸化窒化アルミニウム膜、酸化ガリウム膜、酸化窒化ガリウム膜、酸化イットリウム膜、酸化窒化イットリウム膜、酸化ハフニウム膜、酸化窒化ハフニウム膜等の酸化物絶縁膜を用いることができる。

10

【0249】

窒化物絶縁膜 15 の厚さは、5 nm 以上 100 nm 以下、より好ましくは 20 nm 以上 80 nm 以下とするとよい。

【0250】

酸化物絶縁膜 17 は、例えば酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化酸化シリコン、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ガリウムまたは Ga - Zn 系金属酸化物、窒化シリコンなどを用いればよく、積層または単層で設ける。

【0251】

また、酸化物絶縁膜 17 として、ハフニウムシリケート (HfSiO_x)、窒素が添加されたハフニウムシリケート ($\text{HfSi}_x\text{O}_y\text{N}_z$)、窒素が添加されたハフニウムアルミネート ($\text{HfAl}_x\text{O}_y\text{N}_z$)、酸化ハフニウム、酸化イットリウムなどの比誘電率の高い材料を用いることでトランジスタのゲートリークを低減できる。

20

【0252】

酸化物絶縁膜 17 の厚さは、5 nm 以上 400 nm 以下、より好ましくは 10 nm 以上 300 nm 以下、より好ましくは 50 nm 以上 250 nm 以下とするとよい。

【0253】

酸化物半導体膜 19a 及び導電性を有する酸化物半導体膜 19b は、同時に形成されるため、実施の形態 1 に示す導電性を有する酸化物半導体膜 155b と同様に、In - Ga 酸化物膜、In - Zn 酸化物膜、In - M - Zn 酸化物膜 (M は Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、または Nd) 等の金属酸化物膜で形成される。このため、酸化物半導体膜 19a 及び導電性を有する酸化物半導体膜 19b は、互いに同じ金属元素を有する膜である。

30

【0254】

しかしながら、導電性を有する酸化物半導体膜 19b は、酸化物半導体膜 19a と比較して欠陥量及び不純物濃度が高い。このため、酸化物半導体膜 19a 及び導電性を有する酸化物半導体膜 19b は、互いに電気特性が異なる。具体的には、酸化物半導体膜 19a は半導体特性を有し、酸化物半導体膜 19b は、導電性を有する。

【0255】

酸化物半導体膜 19a 及び導電性を有する酸化物半導体膜 19b の厚さは、3 nm 以上 200 nm 以下、好ましくは 3 nm 以上 100 nm 以下、さらに好ましくは 3 nm 以上 50 nm 以下とする。

40

【0256】

酸化物半導体膜 19a の一部がトランジスタのチャネル領域として機能するため、酸化物半導体膜 19a は、エネルギーギャップが 2 eV 以上、好ましくは 2.5 eV 以上、より好ましくは 3 eV 以上である。このように、エネルギーギャップの広い酸化物半導体を用いることで、トランジスタ 102 のオフ電流を低減することができる。

【0257】

酸化物半導体膜 19a としては、キャリア密度の低い酸化物半導体膜を用いる。例えば、酸化物半導体膜 19a は、キャリア密度が 1×10^{17} 個 / cm^3 以下、好ましくは 1×10^{15} 個 / cm^3 以下、さらに好ましくは 1×10^{13} 個 / cm^3 以下、より好まし

50

くは 1×10^{11} 個 / cm^3 以下、さらに好ましくは 1×10^{10} / cm^3 未満であり、
 1×10^{-9} / cm^3 以上である酸化物半導体膜を用いる。

【0258】

なお、これらに限られず、必要とするトランジスタの半導体特性及び電気特性（電界効果移動度、しきい値電圧等）に応じて適切な組成のものを用いればよい。また、必要とするトランジスタの半導体特性を得るために、酸化物半導体膜19aのキャリア密度や不純物濃度、欠陥密度、金属元素と酸素の原子数比、原子間距離、密度等を適切なものとする
ことが好ましい。

【0259】

なお、酸化物半導体膜19aとして、不純物濃度が低く、欠陥準位密度の低い酸化物半
導体膜を用いることで、さらに優れた電気特性を有するトランジスタを作製することがで
きる。ここでは、不純物濃度が低く、欠陥準位密度の低い（酸素欠損量の少ない）ことを
高純度真性または実質的に高純度真性とよぶ。高純度真性または実質的に高純度真性である
酸化物半導体は、キャリア発生源が少ないため、キャリア密度を低くすることができる
場合がある。従って、当該酸化物半導体膜にチャネル領域が形成されるトランジスタは、
しきい値電圧がマイナスとなる電気特性（ノーマリーオンともいう。）になることが少な
い。また、高純度真性または実質的に高純度真性である酸化物半導体膜は、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。また、高純度真性または実質的に
高純度真性である酸化物半導体膜は、オフ電流が著しく小さく、チャネル幅が 1×10^6
 μm でチャネル長 L が $10 \mu\text{m}$ の素子であっても、ソース電極とドレイン電極間の電圧（
ドレイン電圧）が 1V から 10V の範囲において、オフ電流が、半導体パラメータアナライ
ザの測定限界以下、すなわち $1 \times 10^{-13}\text{A}$ 以下という特性を得ることができる。従
って、当該酸化物半導体膜にチャネル領域が形成されるトランジスタは、電気特性の変動
が小さく、信頼性の高いトランジスタとなる。不純物としては、水素、窒素、アルカリ金
属、またはアルカリ土類金属等がある。

【0260】

酸化物半導体膜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と共に、
酸素が脱離した格子（または酸素が脱離した部分）に酸素欠損が形成される。当該酸素欠
損に水素が入ることで、キャリアである電子が生成される場合がある。また、水素の一部
が金属原子と結合する酸素と結合することで、キャリアである電子を生成する場合がある
。従って、水素が含まれている酸化物半導体を用いたトランジスタはノーマリーオン特性
となりやすい。

【0261】

このため、酸化物半導体膜19aは酸素欠損と共に、水素ができる限り低減されている
ことが好ましい。具体的には、酸化物半導体膜19a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、 $5 \times 10^{19}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{19}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下、
好ましくは $5 \times 10^{18}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 未満、好ましくは $1 \times 10^{18}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下、
好ましくは $5 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下、
好ましくは $1 \times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下とする。

【0262】

酸化物半導体膜19aにおいて、第14族元素の一つであるシリコンや炭素が含まれる
と、酸化物半導体膜19aにおいて酸素欠損が増加し、n型化してしまう。このため、酸
化物半導体膜19aにおけるシリコンや炭素の濃度（二次イオン質量分析法により得られ
る濃度）を、 $2 \times 10^{18}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下、好ましくは $2 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下とする。

【0263】

また、酸化物半導体膜19aにおいて、二次イオン質量分析法により得られるアルカリ
金属またはアルカリ土類金属の濃度を、 $1 \times 10^{18}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下、好ましく
は $2 \times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下にする。アルカリ金属及びアルカリ土類金属は、

10

20

30

40

50

酸化物半導体と結合するとキャリアを生成する場合があります、トランジスタのオフ電流が増大してしまうことがある。このため、酸化物半導体膜 19 a のアルカリ金属またはアルカリ土類金属の濃度を低減することが好ましい。

【0264】

また、酸化物半導体膜 19 a に窒素が含まれていると、キャリアである電子が生じ、キャリア密度が増加し、n型化しやすい。この結果、窒素が含まれている酸化物半導体を用いたトランジスタはノーマリーオン特性となりやすい。従って、当該酸化物半導体膜において、窒素はできる限り低減されていることが好ましい、例えば、二次イオン質量分析法により得られる窒素濃度は、 $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下にすることが好ましい。

10

【0265】

導電性を有する酸化物半導体膜 19 b は、酸化物半導体膜 19 a と同時に形成された酸化物半導体膜に、欠陥、一例としては酸素欠損と、不純物とを有せしめることで、導電性を有する膜となる。このため、導電性を有する酸化物半導体膜 19 b は、電極として機能し、本実施の形態では、画素電極として機能する。

【0266】

酸化物半導体膜 19 a 及び導電性を有する酸化物半導体膜 19 b は共に、酸化物絶縁膜 17 上に形成されるが、不純物濃度が異なる。具体的には、酸化物半導体膜 19 a と比較して、導電性を有する酸化物半導体膜 19 b の不純物濃度が高い。例えば、酸化物半導体膜 19 a に含まれる水素濃度は、 $5 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、 $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である。一方、導電性を有する酸化物半導体膜 19 b に含まれる水素濃度は、 $8 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、好ましくは $1 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上である。また、酸化物半導体膜 19 a と比較して、導電性を有する酸化物半導体膜 19 b に含まれる水素濃度は 2 倍、好ましくは 10 倍以上である。

20

【0267】

また、導電性を有する酸化物半導体膜 19 b は、酸化物半導体膜 19 a より抵抗率が低い。導電性を有する酸化物半導体膜 19 b の抵抗率が、酸化物半導体膜 19 a の抵抗率の 1×10^{-8} 倍以上 1×10^{-1} 倍未満であることが好ましく、代表的には $1 \times 10^{-3} \text{ cm}$ 以上 $1 \times 10^4 \text{ cm}$ 未満、さらに好ましくは、抵抗率が $1 \times 10^{-3} \text{ cm}$ 以上 $1 \times 10^{-1} \text{ cm}$ 未満であるとよい。

30

【0268】

また、酸化物半導体膜 19 a 及び導電性を有する酸化物半導体膜 19 b は、実施の形態 1 に示す導電性を有する酸化物半導体膜 155 b と同様の結晶構造を適宜選択することができる。

【0269】

ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜 21 a、21 b は、実施の形態 1 に示す導電膜 159 の構造、材料を適宜用いることができる。

40

【0270】

酸化物絶縁膜 23 または酸化物絶縁膜 25 として、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を用いることが好ましい。ここでは、酸化物絶縁膜 23 として、酸素を透過する酸化物絶縁膜を形成し、酸化物絶縁膜 25 として、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を形成する。

【0271】

酸化物絶縁膜 23 は、酸素を透過する酸化物絶縁膜である。このため、酸化物絶縁膜 23 上に設けられる、酸化物絶縁膜 25 から脱離する酸素を、酸化物絶縁膜 23 を介して酸化物半導体膜 19 a に移動させることができる。また、酸化物絶縁膜 23 は、後に形成する酸化物絶縁膜 25 を形成する際の、酸化物半導体膜 19 a へのダメージ緩和膜としても

50

機能する。

【0272】

酸化物絶縁膜23としては、厚さが5nm以上150nm以下、好ましくは5nm以上50nm以下の酸化シリコン、酸化窒化シリコン等を用いることができる。

【0273】

また、酸化物絶縁膜23は、窒素を含み、且つ欠陥量の少ない酸化物絶縁膜であることが好ましい。

【0274】

窒素を含み、且つ欠陥量の少ない酸化物絶縁膜の代表例としては、酸化窒化シリコン膜、酸化窒化アルミニウム膜等がある。

10

【0275】

欠陥の少ない酸化物絶縁膜は、100K以下のESRで測定して得られたスペクトルにおいてg値が2.037以上2.039以下の第1のシグナル、g値が2.001以上2.003以下の第2のシグナル、及びg値が1.964以上1.966以下の第3のシグナルが観測される。なお、第1のシグナル及び第2のシグナルのスプリット幅、並びに第2のシグナル及び第3のシグナルのスプリット幅は、XバンドのESR測定において約5mTである。また、g値が2.037以上2.039以下の第1のシグナル、g値が2.001以上2.003以下の第2のシグナル、及びg値が1.964以上1.966以下である第3のシグナルのスピンの密度の合計が、 1×10^{18} spins/cm³未満であり、代表的には 1×10^{17} spins/cm³以上 1×10^{18} spins/cm³未満である。

20

【0276】

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

【0277】

酸化物絶縁膜23が、上記のように、窒素酸化物の含有量が少ないと、酸化物絶縁膜23と酸化物半導体膜との界面におけるキャリアのトラップを低減することが可能である。この結果、半導体装置に含まれるトランジスタのしきい値電圧の変動量を低減することが可能であり、トランジスタの電気特性の変動を低減することができる。

30

【0278】

また、酸化物絶縁膜23は、SIMS(Secondary Ion Mass Spectrometry)で測定される窒素濃度が 6×10^{20} atoms/cm³以下であることが好ましい。この結果、酸化物絶縁膜23において、窒素酸化物が生成されにくくなり、酸化物絶縁膜23と、酸化物半導体膜19aとの界面におけるキャリアのトラップを低減することが可能である。また、半導体装置に含まれるトランジスタのしきい値電圧の変動量を低減することが可能であり、トランジスタの電気特性の変動を低減することができる。

40

【0279】

なお、酸化物絶縁膜23において、膜中に窒素酸化物及びアンモニアが含まれると、作製工程のプロセスにおける加熱処理において、窒素酸化物及びアンモニアが反応し、窒素酸化物が窒素ガスとなって脱離する。この結果、酸化物絶縁膜23の窒素濃度及び窒素酸化物の含有量を低減することができる。また、酸化物絶縁膜23と、酸化物半導体膜19aとの界面におけるキャリアのトラップを低減することが可能である。また、半導体装置に含まれるトランジスタのしきい値電圧の変動量を低減することが可能であり、トランジスタの電気特性の変動を低減することができる。

50

【0280】

なお、酸化物絶縁膜23においては、外部から酸化物絶縁膜23に入った酸素が全て酸化物絶縁膜23の外部に移動せず、酸化物絶縁膜23にとどまる酸素もある。また、酸化物絶縁膜23に酸素が入ると共に、酸化物絶縁膜23に含まれる酸素が酸化物絶縁膜23の外部へ移動することで酸化物絶縁膜23において酸素の移動が生じる場合もある。

【0281】

酸化物絶縁膜23として酸素を透過する酸化物絶縁膜を形成すると、酸化物絶縁膜23上に設けられる、酸化物絶縁膜25から脱離する酸素を、酸化物絶縁膜23を介して酸化物半導体膜19aに移動させることができる。

【0282】

酸化物絶縁膜23に接するように酸化物絶縁膜25が形成されている。酸化物絶縁膜25は、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を用いて形成する。化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜は、加熱により酸素の一部が脱離する。化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜は、TDS分析にて、酸素原子に換算しての酸素の脱離量が $1.0 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、好ましくは $3.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ 以上である酸化物絶縁膜である。なお、上記TDS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500以下の範囲が好ましい。

【0283】

酸化物絶縁膜25としては、厚さが30nm以上500nm以下、好ましくは50nm以上400nm以下の、酸化シリコン、酸化窒化シリコン等を用いることができる。

【0284】

また、酸化物絶縁膜25は、欠陥量が少ないことが好ましく、代表的には、ESR測定により、 $g = 2.001$ に現れる信号のスピン密度が $1.5 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 未満、更には $1 \times 10^{18} \text{ spins/cm}^3$ 以下であることが好ましい。なお、酸化物絶縁膜25は、酸化物絶縁膜23と比較して酸化物半導体膜19aから離れているため、酸化物絶縁膜23より、欠陥密度が多くともよい。

【0285】

窒化物絶縁膜27は、窒化物絶縁膜15と同様に酸素の透過性の低い窒化物絶縁膜を用いることが可能である。更には、酸素、水素、及び水の透過性の低い窒化物絶縁膜を用いることが可能である。

【0286】

窒化物絶縁膜27としては、厚さが50nm以上300nm以下、好ましくは100nm以上200nm以下の、窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、窒化酸化アルミニウム膜等がある。

【0287】

酸化物絶縁膜23または酸化物絶縁膜25において、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜が含まれると、酸化物絶縁膜23または酸化物絶縁膜25に含まれる酸素の一部を酸化物半導体膜19aに移動させ、酸化物半導体膜19aに含まれる酸素欠損量を低減することが可能である。

【0288】

酸化物半導体膜中に酸素欠損が含まれている酸化物半導体膜を用いたトランジスタは、しきい値電圧がマイナス方向に変動しやすく、ノーマリーオン特性となりやすい。これは、酸化物半導体膜に含まれる酸素欠損に起因して電荷が生じ、低抵抗化するためである。トランジスタがノーマリーオン特性を有すると、動作時に動作不良が発生しやすくなる、または非動作時の消費電力が高くなるなどの、様々な問題が生じる。また、経時変化やストレス試験により、トランジスタの電気特性、代表的にはしきい値電圧の変動量が增大するという問題がある。

【0289】

しかしながら、本実施の形態に示すトランジスタ102は、酸化物半導体膜19a上に

10

20

30

40

50

設けられる酸化物絶縁膜 23 または酸化物絶縁膜 25 が、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜である。さらに、酸化物半導体膜 19a、酸化物絶縁膜 23、及び酸化物絶縁膜 25 を、窒化物絶縁膜 15 及び酸化物絶縁膜 17 で包み込む。この結果、酸化物絶縁膜 23 または酸化物絶縁膜 25 に含まれる酸素が、効率よく酸化物半導体膜 19a に移動し、酸化物半導体膜 19a の酸素欠損量を低減することが可能である。この結果、ノーマリーオフ特性を有するトランジスタとなる。また、経時変化やストレス試験により、トランジスタの電気特性、代表的にはしきい値電圧の変動量を低減することができる。

【0290】

コモン電極 29 は、透光性を有する膜、好ましくは透光性を有する導電膜を用いる。透光性を有する導電膜は、酸化タンゲステンを含むインジウム酸化物膜、酸化タンゲステンを含むインジウム亜鉛酸化物膜、酸化チタンを含むインジウム酸化物膜、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物膜、ITO 膜、インジウム亜鉛酸化物膜、酸化ケイ素を添加したインジウム錫酸化物膜等がある。

10

【0291】

なお、コモン電極 29 として、実施の形態 1 に示す導電性を有する酸化物半導体膜 155b を用いて形成してもよい。

【0292】

信号線として機能する導電膜 21a の延伸方向とコモン電極 29 の延伸方向が交差する。このため、信号線として機能する導電膜 21a とコモン電極 29 との間で生じる電界と、導電性を有する酸化物半導体膜 19b で形成される画素電極とコモン電極 29 との間で生じる電界との間で、方位ずれが生じ、且つそのずれの角度が大きい。このため、ネガ型液晶分子を用いた場合、信号線として機能する導電膜近傍の液晶分子の配向状態と、隣接する画素に設けられた画素電極とコモン電極との間で生じる電界により生じた画素電極近傍の液晶分子の配向状態とは、互いに影響されにくい。この結果、画素の透過率の変化が抑制される。この結果、画像のちらつきを低減することが可能である。

20

【0293】

また、リフレッシュレートが低い液晶表示装置において、保持期間であっても、信号線として機能する導電膜 21a 近傍の液晶分子の配向は、隣接する画素に設けられた画素電極とコモン電極 29 との間で生じる電界による画素電極近傍の液晶分子の配向状態へ影響を与えにくい。この結果、保持期間において、画素の透過率を維持することが可能であり、ちらつきを低減することができる。

30

【0294】

また、コモン電極 29 は、信号線として機能する導電膜 21a と交差する方向に縞状に延伸する領域を有する。このため、導電性を有する酸化物半導体膜 19b 及び導電膜 21a 近傍において、意図しない液晶分子の配向を防ぐことが可能であり、光漏れを抑制することができる。この結果、コントラストの優れた表示装置を作製することができる。

【0295】

なお、コモン電極 29 の形状は図 32 に示す形状に限定されず、直線状の縞状であってもよい。また、縞状の場合、延伸方向が、信号線として機能する導電膜と平行であってもよい。また、コモン電極 29 は、櫛歯状であってもよい。または、コモン電極は第 1 の基板 11 上に全面に形成されてもよい。または、導電性を有する酸化物半導体膜 19b とは異なる透光性を有する導電膜がコモン電極 29 上に絶縁膜を介して形成されてもよい。

40

【0296】

有機絶縁膜 31 の厚さは、500nm 以上 10 μ m 以下であることが好ましい。図 33 に示す有機絶縁膜 31 の厚さは、第 1 の基板 11 上に形成された無機絶縁膜 30 と第 2 の基板 342 に形成された素子層との間隔より小さい。このため、有機絶縁膜 31 と第 2 の基板 342 に形成された素子層との間に、液晶層 320 を有する。すなわち、有機絶縁膜 31 上の配向膜 33 と、第 2 の基板 342 の素子層に含まれる配向膜 352 との間において液晶層 320 を有する。

50

【0297】

なお、図示しないが、有機絶縁膜31上の配向膜33と、第2の基板342上に設けられた素子層に含まれる配向膜352とが接する構造であってもよい。この場合、有機絶縁膜31は、スペーサとして機能するため、液晶表示装置のセルギャップを有機絶縁膜で維持することができる。

【0298】

また、図33において、配向膜33は、有機絶縁膜上に設けられているが、本発明の実施形態の一態様は、これに限定されない。場合によっては、または、状況に応じて、有機絶縁膜31は、配向膜33上に設けられていてもよい。この場合、ラビング工程は、一例としては、配向膜33を形成した直後ではなく、配向膜33上に有機絶縁膜31を形成した後に行ってもよい。

10

【0299】

ゲート電極として機能する導電膜13に負の電圧が印加されると、電界が発生する。該電界は、酸化物半導体膜19aで遮蔽されず、無機絶縁膜30にまで影響するため、無機絶縁膜30の表面に弱い正の電荷が帯電する。また、ゲート電極として機能する導電膜13に負の電圧が印加されると、空気中に含まれる正の荷電粒子が無機絶縁膜30の表面に吸着し、無機絶縁膜30の表面に弱い正の電荷が帯電する。

【0300】

無機絶縁膜30の表面に正の電荷が帯電することにより、電界が生じ、該電界が酸化物半導体膜19a及び無機絶縁膜30の界面まで影響する。この結果、酸化物半導体膜19a及び無機絶縁膜30の界面において、実質的に正のバイアスが印加された状態となり、トランジスタのしきい値電圧が負にシフトしてしまう。

20

【0301】

一方、本実施の形態に示すトランジスタ102は、無機絶縁膜30上に有機絶縁膜31を有する。有機絶縁膜31は、500nm以上と厚さが大きいため、ゲート電極として機能する導電膜13に負の電圧が印加されることによって発生する電界の影響が有機絶縁膜31の表面にまで影響せず、有機絶縁膜31の表面に正の電荷が帯電しにくい。また、空気中に含まれる正の荷電粒子が、有機絶縁膜31の表面に吸着しても、有機絶縁膜31は、500nm以上と厚さが厚いため、有機絶縁膜31の表面に吸着した正の荷電粒子の電界は、酸化物半導体膜19a及び無機絶縁膜30の界面まで影響しにくい。この結果、酸化物半導体膜19a及び無機絶縁膜30の界面において、実質的に正のバイアスが印加された状態とならず、トランジスタのしきい値電圧の変動が少ない。

30

【0302】

有機絶縁膜31において、水等が拡散しやすいが、トランジスタ10上において有機絶縁膜が分離して形成されているため、外部からの水が有機絶縁膜31を通じて半導体装置内に拡散しない。また、無機絶縁膜30が窒化物絶縁膜を有することで、有機絶縁膜31に拡散した水が酸化物半導体膜19aに拡散することを防ぐことが可能である。

【0303】

コモン電極29、窒化物絶縁膜27、及び有機絶縁膜31上に配向膜33が形成される。

40

【0304】

次に、図33に示すトランジスタ102及び容量素子105の作製方法について、図34乃至図36を用いて説明する。

【0305】

図34(A)に示すように、第1の基板11上に導電膜13となる導電膜12を形成する。導電膜12は、スパッタリング法、化学気相堆積(CVD)法(有機金属化学堆積(MOCVD)法、メタル化学気相堆積法、原子層成膜(ALD)法あるいはプラズマ化学気相堆積(PECVD)法を含む。)、蒸着法、パルスレーザー堆積(PLD)法等により形成する。有機金属化学堆積(MOCVD)法、メタル化学気相堆積法、原子層成膜(ALD)法を用いることで、プラズマによるダメージの少ない導電膜を形成することがで

50

きる。また、導電膜 1 2 として、実施の形態 1 に示す導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b を用いる場合、導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b の作製方法を適宜用いることができる。

【0306】

ここでは、第 1 の基板 1 1 としてガラス基板を用いる。また、導電膜 1 2 として、厚さ 1 0 0 n m のタングステン膜をスパッタリング法により形成する。

【0307】

次に、導電膜 1 2 上に、第 1 のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成する。次に、該マスクを用いて導電膜 1 2 の一部をエッチングして、図 3 4 (B) に示すように、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 を形成する。この後、マスクを除去する。

10

【0308】

なお、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 は、上記形成方法の代わりに、電解メッキ法、印刷法、インクジェット法等で形成してもよい。

【0309】

ここでは、ドライエッチング法によりタングステン膜をエッチングして、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 を形成する。

【0310】

次に、図 3 4 (C) に示すように、ゲート電極として機能する導電膜 1 3 上に、窒化物絶縁膜 1 5 と、後に酸化物絶縁膜 1 7 となる酸化物絶縁膜 1 6 を形成する。次に、酸化物絶縁膜 1 6 上に、後に酸化物半導体膜 1 9 a、導電性を有する酸化物半導体膜 1 9 b となる酸化物半導体膜 1 8 を形成する。

20

【0311】

窒化物絶縁膜 1 5 及び酸化物絶縁膜 1 6 は、スパッタリング法、化学気相堆積 (C V D) 法 (有機金属化学堆積 (M O C V D) 法、メタル化学気相堆積法、原子層成膜 (A L D) 法あるいはプラズマ化学気相堆積 (P E C V D) 法を含む。)、蒸着法、パルスレーザー堆積 (P L D) 法、塗布法、印刷法等により形成する。有機金属化学堆積 (M O C V D) 法、メタル化学気相堆積法、原子層成膜 (A L D) 法を用いることで、プラズマによるダメージの少ない窒化物絶縁膜 1 5 及び酸化物絶縁膜 1 6 を形成することができる。また、原子層成膜 (A L D) 法を用いることで、窒化物絶縁膜 1 5 及び酸化物絶縁膜 1 6 の被覆性を高めることが可能である。

30

【0312】

ここでは、シラン、窒素、及びアンモニアを原料ガスとしたプラズマ C V D 法を用いて、窒化物絶縁膜 1 5 として、厚さ 3 0 0 n m の窒化シリコン膜を形成する。

【0313】

酸化物絶縁膜 1 6 として酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、または窒化酸化シリコン膜を形成する場合、原料ガスとしては、シリコンを含む堆積性気体及び酸化性気体を用いることが好ましい。シリコンを含む堆積性気体の代表例としては、シラン、ジシラン、トリシラン、フッ化シラン等がある。酸化性気体としては、酸素、オゾン、一酸化二窒素、二酸化窒素等がある。

40

【0314】

酸化物絶縁膜 1 6 として酸化ガリウム膜を形成する場合、M O C V D (M e t a l O r g a n i c C h e m i c a l V a p o r D e p o s i t i o n) 法を用いて形成することができる。

【0315】

ここでは、シラン及び一酸化二窒素を原料ガスとしたプラズマ C V D 法を用いて、酸化物絶縁膜 1 6 として、厚さ 5 0 n m の酸化窒化シリコン膜を形成する。

【0316】

酸化物半導体膜 1 8 は、実施の形態 1 に示す酸化物半導体膜 1 5 5 と同様の形成方法を適宜用いて形成することができる。

50

【0317】

ここでは、In-Ga-Zn酸化物ターゲット(In:Ga:Zn=1:1:1)を用いたスパッタリング法により、酸化物半導体膜として厚さ35nmのIn-Ga-Zn酸化物膜を形成する。

【0318】

次に、酸化物半導体膜18上に、第2のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成した後、該マスクを用いて酸化物半導体膜の一部をエッチングすることで、図34(D)に示すような、分離された酸化物半導体膜19a、19cを形成する。この後、マスクを除去する。

【0319】

ここでは、酸化物半導体膜18上にマスクを形成し、ウェットエッチング法により酸化物半導体膜18の一部を選択的にエッチングすることで、酸化物半導体膜19a、19cを形成する。

【0320】

次に、図35(A)に示すように、のちに導電膜21a、21bとなる導電膜20を形成する。

【0321】

導電膜20は、実施の形態1に示す導電膜159と同様の方法を適宜用いて形成することができる。

【0322】

ここでは、厚さ50nmのCu-Mn合金膜及び厚さ300nmの銅膜を順にスパッタリング法により積層する。

【0323】

次に、導電膜20上に第3のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成する。次に、該マスクを用いて導電膜20をエッチングして、図35(B)に示すように、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21bを形成する。この後、マスクを除去する。

【0324】

ここでは、銅膜上にフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成する。次に、当該マスクを用いてCu-Mn膜及び銅膜をエッチングして、導電膜21a、21bを形成する。なお、ウェットエッチング法を用いることで、Cu-Mn膜及び銅膜を1回のエッチング工程でエッチングして、導電膜21a、21bを形成することができる。

【0325】

次に、図35(C)に示すように、酸化物半導体膜19a、19c、及び導電膜21a、21b上に、後に酸化物絶縁膜23となる酸化物絶縁膜22、及び後に酸化物絶縁膜25となる酸化物絶縁膜24を形成する。酸化物絶縁膜22及び酸化物絶縁膜24は、窒化物絶縁膜15及び酸化物絶縁膜16と同様の方法を適宜用いて形成することができる。

【0326】

なお、酸化物絶縁膜22を形成した後、大気に曝すことなく、連続的に酸化物絶縁膜24を形成することが好ましい。酸化物絶縁膜22を形成した後、大気開放せず、原料ガスの流量、圧力、高周波電力及び基板温度の一以上を調整して、酸化物絶縁膜24を連続的に形成することで、酸化物絶縁膜22及び酸化物絶縁膜24における界面の大気成分由来の不純物濃度を低減することができると共に、酸化物絶縁膜24に含まれる酸素を酸化物半導体膜19aに移動させることが可能であり、酸化物半導体膜19aの酸素欠損量を低減することができる。

【0327】

酸化物絶縁膜22としては、堆積性気体に対する酸化性気体を20倍より大きく100倍未満、好ましくは40以上80以下とし、処理室内の圧力を100Pa未満、好ましくは50Pa以下とするCVD法を用いることで、窒素を含み、且つ欠陥量の少ない酸化物絶縁膜を用いて形成することができる。

10

20

30

40

50

【0328】

酸化物絶縁膜22の原料ガスとしては、シリコンを含む堆積性気体及び酸化性気体を用いることが好ましい。シリコンを含む堆積性気体の代表例としては、シラン、ジシラン、トリシラン、フッ化シラン等がある。酸化性気体としては、酸素、オゾン、一酸化二窒素、二酸化窒素等がある。

【0329】

上記条件を用いることで、酸化物絶縁膜22として酸素を透過する酸化物絶縁膜を形成することができる。また、酸化物絶縁膜22を設けることで、酸化物絶縁膜24の形成工程において、酸化物半導体膜19aへのダメージ低減が可能である。

【0330】

ここでは、酸化物絶縁膜22として、流量50sccmのシラン及び流量2000sccmの一酸化二窒素を原料ガスとし、処理室内の圧力を20Pa、基板温度を220とし、27.12MHzの高周波電源を用いて100Wの高周波電力を平行平板電極に供給したプラズマCVD法により、厚さ50nmの酸化窒化シリコン膜を形成する。当該条件により、窒素を含み、且つ欠陥量の少ない酸化窒化シリコン膜を形成することができる。

【0331】

酸化物絶縁膜24としては、プラズマCVD装置の真空排気された処理室内に載置された基板を180以上280以下、さらに好ましくは200以上240以下に保持し、処理室に原料ガスを導入して処理室内における圧力を100Pa以上250Pa以下、さらに好ましくは100Pa以上200Pa以下とし、処理室内に設けられる電極に0.17W/cm²以上0.5W/cm²以下、さらに好ましくは0.25W/cm²以上0.35W/cm²以下の高周波電力を供給する条件により、酸化シリコン膜または酸化窒化シリコン膜を形成する。

【0332】

酸化物絶縁膜24の原料ガスとしては、シリコンを含む堆積性気体及び酸化性気体を用いることが好ましい。シリコンを含む堆積性気体の代表例としては、シラン、ジシラン、トリシラン、フッ化シラン等がある。酸化性気体としては、酸素、オゾン、一酸化二窒素、二酸化窒素等がある。

【0333】

酸化物絶縁膜24の成膜条件として、上記圧力の処理室において上記パワー密度の高周波電力を供給することで、プラズマ中で原料ガスの分解効率が高まり、酸素ラジカルが増加し、原料ガスの酸化が進むため、酸化物絶縁膜24中における酸素含有量が化学量論比よりも多くなる。一方、基板温度が、上記温度で形成された膜では、シリコンと酸素の結合力が弱いため、後の工程の加熱処理により膜中の酸素の一部が脱離する。この結果、化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含み、加熱により酸素の一部が脱離する酸化物絶縁膜を形成することができる。また、酸化物半導体膜19a上に酸化物絶縁膜22が設けられている。このため、酸化物絶縁膜24の形成工程において、酸化物絶縁膜22が酸化物半導体膜19aの保護膜となる。この結果、酸化物半導体膜19aへのダメージを低減しつつ、パワー密度の高い高周波電力を用いて酸化物絶縁膜24を形成することができる。

【0334】

ここでは、酸化物絶縁膜24として、流量200sccmのシラン及び流量4000sccmの一酸化二窒素を原料ガスとし、処理室の圧力を200Pa、基板温度を220とし、27.12MHzの高周波電源を用いて1500Wの高周波電力を平行平板電極に供給したプラズマCVD法により、厚さ400nmの酸化窒化シリコン膜を形成する。なお、プラズマCVD装置は電極面積が6000cm²である平行平板型のプラズマCVD装置であり、供給した電力を単位面積あたりの電力(電力密度)に換算すると0.25W/cm²である。

【0335】

また、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21bを形成する際

10

20

30

40

50

、導電膜のエッチングによって、酸化物半導体膜 19 a はダメージを受け、酸化物半導体膜 19 a のバックチャネル（酸化物半導体膜 19 a において、ゲート電極として機能する導電膜 13 と対向する面と反対側の面）側に酸素欠損が生じる。しかし、酸化物絶縁膜 24 に化学量論的組成を満たす酸素よりも多くの酸素を含む酸化物絶縁膜を適用することで、加熱処理によって当該バックチャネル側に生じた酸素欠損を修復することができる。これにより、酸化物半導体膜 19 a に含まれる欠陥を低減することができるため、トランジスタ 102 の信頼性を向上させることができる。

【0336】

次に、酸化物絶縁膜 24 上に、第 4 のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成する。次に、該マスクを用いて酸化物絶縁膜 22 及び酸化物絶縁膜 24 の一部をエッチングして、図 36 (A) に示すように、開口部 40 を有する酸化物絶縁膜 23 及び酸化物絶縁膜 25 を形成する。この後、マスクを除去する。

10

【0337】

当該工程において、ドライエッチング法により、酸化物絶縁膜 22 及び酸化物絶縁膜 24 をエッチングすることが好ましい。この結果、酸化物半導体膜 19 c はエッチング処理においてプラズマに曝されるため、酸化物半導体膜 19 c の酸素欠損量を増加させることが可能である。

【0338】

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

20

【0339】

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

【0340】

加熱処理は、窒素、酸素、超乾燥空気（水の含有量が 20 ppm 以下、好ましくは 1 ppm 以下、好ましくは 10 ppb 以下の空気）、または希ガス（アルゴン、ヘリウム等）の雰囲気下で行えばよい。なお、上記窒素、酸素、超乾燥空気、または希ガスに水素、水等が含まれないことが好ましい。

【0341】

当該加熱処理により、酸化物絶縁膜 25 に含まれる酸素の一部を酸化物半導体膜 19 a に移動させ、酸化物半導体膜 19 a に含まれる酸素欠損量をさらに低減することができる。

30

【0342】

また、酸化物絶縁膜 23 及び酸化物絶縁膜 25 に水、水素等が含まれる場合であって、窒化物絶縁膜 26 が、さらに水、水素等に対するバリア性を有する場合、窒化物絶縁膜 26 を後に形成し、加熱処理を行うと、酸化物絶縁膜 23 及び酸化物絶縁膜 25 に含まれる水、水素等が、酸化物半導体膜 19 a に移動し、酸化物半導体膜 19 a に欠陥が生じてしまう。しかしながら、当該加熱により、酸化物絶縁膜 23 及び酸化物絶縁膜 25 に含まれる水、水素等を脱離させることが可能であり、トランジスタ 102 の電気特性のばらつきを低減すると共に、しきい値電圧の変動を抑制することができる。

40

【0343】

なお、加熱しながら酸化物絶縁膜 24 を、酸化物絶縁膜 22 上に形成することで、酸化物半導体膜 19 a に酸素を移動させ、酸化物半導体膜 19 a に含まれる酸素欠損量を低減することが可能であるため、当該加熱処理を行わなくともよい。

【0344】

また、当該加熱処理は、酸化物絶縁膜 22 及び酸化物絶縁膜 24 を形成した後に行ってもよいが、酸化物絶縁膜 23 及び酸化物絶縁膜 25 を形成した後の加熱処理の方が、酸化物半導体膜 19 c への酸素の移動が生じないと共に、酸化物半導体膜 19 c が露出されているため酸化物半導体膜 19 c から酸素が脱離し、酸素欠損が形成されるため、より導電

50

性を有する膜を形成でき、好ましい。

【0345】

ここでは、窒素及び酸素雰囲気、350、1時間の加熱処理を行う。

【0346】

次に、図36(B)に示すように、窒化物絶縁膜26を形成する。

【0347】

窒化物絶縁膜26は、窒化物絶縁膜15及び酸化物絶縁膜16と同様の方法を適宜用いて形成することができる。窒化物絶縁膜26をスパッタリング法、CVD法等により形成することで、酸化物半導体膜19cがプラズマに曝されるため、酸化物半導体膜19cの酸素欠損量を増加させることができる。

10

【0348】

また、酸化物半導体膜19cは導電性が向上し、導電性を有する酸化物半導体膜19bとなる。なお、窒化物絶縁膜26として、プラズマCVD法により窒化シリコン膜を形成すると、窒化シリコン膜に含まれる水素が酸化物半導体膜19cに拡散するため、酸化物半導体膜の導電性を高めることができる。なお、導電性を有する酸化物半導体膜19bの作製方法は、実施の形態1に示す他の導電性を有する酸化物半導体膜155bの作製方法を適宜用いることができる。

【0349】

窒化物絶縁膜26としてプラズマCVD法で窒化シリコン膜を形成する場合、プラズマCVD装置の真空排気された処理室内に載置された基板を300以上400以下、さら

20

【0350】

窒化シリコン膜を形成する場合、シリコンを含む堆積性気体、窒素、及びアンモニアを原料ガスとして用いることが好ましい。原料ガスとして、窒素と比較して少量のアンモニアを用いることで、プラズマ中でアンモニアが解離し、活性種が発生する。当該活性種が、シリコンを含む堆積性気体に含まれるシリコン及び水素の結合、及び窒素の三重結合を切断する。この結果、シリコン及び窒素の結合が促進され、シリコン及び水素の結合が少なく、欠陥が少なく、緻密な窒化シリコン膜を形成することができる。一方、原料ガスにおいて、窒素に対するアンモニアの量が多いと、シリコンを含む堆積性気体及び窒素それぞれの分解が進まず、シリコン及び水素結合が残存してしまい、欠陥が増大した、且つ粗な窒化シリコン膜が形成されてしまう。これらのため、原料ガスにおいて、アンモニアに対する窒素の流量比を5以上50以下、好ましくは10以上50以下とすることが好ましい。

30

【0351】

ここでは、プラズマCVD装置の処理室に、流量50sccmのシラン、流量5000sccmの窒素、及び流量100sccmのアンモニアを原料ガスとし、処理室の圧力を100Pa、基板温度を350とし、27.12MHzの高周波電源を用いて1000Wの高周波電力を平行平板電極に供給したプラズマCVD法により、窒化物絶縁膜26として、厚さ50nmの窒化シリコン膜を形成する。なお、プラズマCVD装置は電極面積

40

【0352】

次に、加熱処理を行ってもよい。該加熱処理の温度は、代表的には、150以上400以下、好ましくは300以上400以下、好ましくは320以上370以下とする。この結果、しきい値電圧のマイナスシフトを低減することができる。また、しきい値電圧の変動量を低減することができる。

【0353】

次に、図示しないが、第5のフォトリソグラフィ工程により、マスクを形成する。次に、該マスクを用いて、窒化物絶縁膜15、酸化物絶縁膜16、酸化

50

物絶縁膜 2 3、酸化物絶縁膜 2 5、窒化物絶縁膜 2 6 のそれぞれ一部をエッチングして、窒化物絶縁膜 2 7 を形成すると共に、導電膜 1 3 と同時に形成された接続端子の一部を露出する開口部を形成する。または、酸化物絶縁膜 2 3、酸化物絶縁膜 2 5、窒化物絶縁膜 2 6 のそれぞれ一部をエッチングして、窒化物絶縁膜 2 7 を形成すると共に、導電膜 2 1 a、2 1 b と同時に形成された接続端子の一部を露出する開口部を形成する。

【0354】

次に、図 3 6 (C) に示すように、窒化物絶縁膜 2 7 上に、後にコモン電極 2 9 となる導電膜 2 8 を形成する。

【0355】

導電膜 2 8 は、スパッタリング法、CVD 法、蒸着法等により導電膜を形成する。

10

【0356】

また、導電膜 2 8 として、実施の形態 1 に示す導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b を用いる場合、導電性を有する酸化物半導体膜 1 5 5 b の作製方法を適宜用いることができる。

【0357】

次に、導電膜 2 8 上に、第 6 のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成する。次に、該マスクを用いて導電膜 2 8 の一部をエッチングして、図 3 7 (A) に示すように、コモン電極 2 9 を形成する。なお、図示しないが、コモン電極 2 9 は、導電膜 1 3 と同時に形成された接続端子、または導電膜 2 1 a、2 1 b と同時に形成された接続端子と接続する。この後、マスクを除去する。

20

【0358】

次に、図 3 7 (B) に示すように、窒化物絶縁膜 2 7 上に有機絶縁膜 3 1 を形成する。有機絶縁膜は、塗布法、印刷法等を適宜用いて形成することができる。

【0359】

塗布法を用いて有機絶縁膜を形成する場合、感光性の組成物を窒化物絶縁膜 2 7 及びコモン電極 2 9 上に塗布した後、第 7 のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程により組成物を露光及び現像し、その後加熱処理を行う。なお、非感光性の組成物を窒化物絶縁膜 2 7 及びコモン電極 2 9 上に塗布した場合、非感光性の組成物上にレジストを塗布し、第 7 のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程によりレジストを加工してマスクを形成し、該マスクを用いて非感光性の組成物をエッチングすることで、有機絶縁膜 3 1

30

【0360】

以上の工程により、トランジスタ 1 0 2 を作製すると共に、容量素子 1 0 5 を作製することができる。

【0361】

本実施の形態に示す表示装置の素子基板は、無機絶縁膜を介してトランジスタと重なる有機絶縁膜を有する。このため、トランジスタの信頼性を高めることが可能であり、表示品質が維持された表示装置を作製することができる。

【0362】

また、本実施の形態に示す表示装置の素子基板は、上面形状がジグザグ状であり、且つ信号線として機能する導電膜と交差する方向に縞状に延伸した領域を有するコモン電極が形成される。このため、コントラストの優れた表示装置を作製することができる。また、リフレッシュレートが低い液晶表示装置において、ちらつきを低減することができる。

40

【0363】

また、本実施の形態に示す表示装置の素子基板は、トランジスタのチャネル領域が形成される酸化物半導体膜と同時に、画素電極として機能する導電性を有する酸化物半導体膜が形成されるため、6 枚のフォトマスクを用いてトランジスタ 1 0 2 及び容量素子 1 0 5 を作製することが可能である。導電性を有する酸化物半導体膜は容量素子の一方の電極として機能する。また、コモン電極は、容量素子の他方の電極として機能する。これらのため、容量素子を形成するために、新たに導電膜を形成する工程が不要であり、作製工程を

50

削減できる。また、容量素子は透光性を有する。この結果、容量素子の占有面積を大きくしつつ、画素の開口率を高めることが可能である。また、低消費電力の表示装置を作製することができる。

【0364】

次に、第2の基板342に形成される素子層に関して説明する。第2の基板342上には、有色性を有する膜（以下、着色膜346という。）が形成されている。着色膜346は、カラーフィルタとしての機能を有する。また、着色膜346に隣接する遮光膜344が第2の基板342上に形成される。遮光膜344は、ブラックマトリクスとして機能する。また、着色膜346は、必ずしも設ける必要はなく、例えば、液晶表示装置が白黒表示の場合は、着色膜346を設けない構成としてもよい。

10

【0365】

着色膜346としては、特定の波長帯域の光を透過する着色膜であればよく、例えば、赤色の波長帯域の光を透過する赤色（R）の膜、緑色の波長帯域の光を透過する緑色（G）の膜、青色の波長帯域の光を透過する青色（B）の膜などを用いることができる。

【0366】

遮光膜344としては、特定の波長帯域の光を遮光する機能を有していればよく、金属膜または黒色顔料等を含んだ有機絶縁膜などを用いることができる。

【0367】

また、着色膜346上には、絶縁膜348が形成されている。絶縁膜348は、平坦化層としての機能、または着色膜346が含有しうる不純物を液晶素子側へ拡散するのを抑制する機能を有する。

20

【0368】

また、絶縁膜348上には、導電膜350が形成されてよい。導電膜350は、透光性を有する導電膜を用いて形成する。また、導電膜350は、コモン電極29と同電位とすることが好ましい。すなわち、導電膜350は共通電位が印加されることが好ましい。

【0369】

導電膜21bに液晶分子を駆動する電圧が印加された場合、導電膜21bとコモン電極29の間に電界が発生してしまう。この電界の影響を受け、導電膜21bとコモン電極29の間の液晶分子が配向しまい、ちらつきが生じる。

【0370】

しかしながら、液晶層320を介してコモン電極29と対向する導電膜350を設け、コモン電極29及び導電膜350を同電位とすることで、導電膜21bとコモン電極29の間における電界による液晶分子の基板垂直方向の配向変化を抑制することが可能であり、該領域における液晶分子の配向状態が安定する。この結果、ちらつきを低減できる。

30

【0371】

導電膜350上に配向膜352が形成される。

【0372】

また、配向膜33と配向膜352の間には、液晶層320が形成されている。また液晶層320は、シール材（図示しない）を用いて、第1の基板11と第2の基板342の間に封止されている。なお、シール材は、外部からの水分等の入り込みを抑制するために、無機材料と接触する構成が好ましい。

40

【0373】

また、配向膜33と配向膜352の間に液晶層320の厚さ（セルギャップともいう）を維持するスペーサを設けてもよい。

【0374】

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

【0375】

<変形例1>

図33に示す表示装置の変形例を図38に示す。

50

【0376】

図38に示す表示装置は、無機絶縁膜30上に有機樹脂膜が形成されず、配向膜33が、無機絶縁膜30に接する。この結果、第1の基板11上の素子層を作製するためのフォトマスク枚数を1枚削減することが可能であり、素子層を有する第1の基板11の作製工程の簡略化が可能である。

【0377】

<変形例2>

図33に示す表示装置の変形例を図39に示す。

【0378】

図39に示す表示装置は、窒化物絶縁膜27上に、分離されず連続した有機樹脂膜31aが形成される。また、有機樹脂膜31a上にコモン電極29が形成される。有機樹脂膜31aは、平坦化膜として機能させることが可能であるため、液晶層に含まれる液晶分子の配向むらを低減することができる。

10

【0379】

<変形例3>

図33に示す表示装置の変形例を図40に示す。

【0380】

図40に示す画素電極として機能する、導電性を有する酸化物半導体膜19bは、スリットを有する。なお、導電性を有する酸化物半導体膜19bは該形状に限定されず、櫛歯形状でもよい。

20

【0381】

<変形例4>

図33に示す表示装置の変形例を図41に示す。

【0382】

図41に示すコモン電極29は、窒化物絶縁膜27を介して導電膜21bと重なる。コモン電極29、窒化物絶縁膜27、及び導電膜21bは、容量素子105bを構成する。このような構成とすることにより、容量素子105bを画素電極の電位を保持する容量素子として機能させることができる。したがって、このような構成とすることにより、画素における容量値を増やすことができる。

30

【0383】

<変形例5>

図33に示すトランジスタ102の変形例について、図42を用いて説明する。

【0384】

図42(A)に示すトランジスタ102dは、多階調マスクを用いて形成された酸化物半導体膜19g及び一对の導電膜21c、21dを有することを特徴とする。

【0385】

多階調マスクを用いることで、複数の厚さを有するレジストマスクを形成することが可能であり、該レジストマスクを用い、酸化物半導体膜19gを形成した後、酸素プラズマ等にレジストマスクを曝すことで、レジストマスクの一部が除去され、一对の導電膜を形成するためのレジストマスクとなる。このため、酸化物半導体膜19g及び一对の導電膜21c、21dの作製工程におけるフォトリソグラフィ工程数を削減することができる。

40

【0386】

なお、多階調マスクを用いて形成した酸化物半導体膜19gは、平面形状において一对の導電膜21c、21dの外側に一部が露出した形状となる。

【0387】

図42(B)に示すトランジスタ102eは、チャンネル保護型のトランジスタであることを特徴とする。

【0388】

図42(B)に示すトランジスタ102eは、第1の基板11上に設けられるゲート電極として機能する導電膜13と、第1の基板11及び導電膜13上に形成されるゲート絶

50

縁膜 14 と、ゲート絶縁膜 14 を介して、導電膜 13 と重なる酸化物半導体膜 19 a と、酸化物半導体膜 19 a のチャンネル領域及び側面を覆う無機絶縁膜 30 a と、無機絶縁膜 30 a の開口部において酸化物半導体膜 19 a に接する、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜 21 e、21 f とを有する。

【0389】

チャンネル保護型のトランジスタは、酸化物半導体膜 19 a が無機絶縁膜 30 a に覆われているため、導電膜 21 e、21 f を形成するエッチングにおいて、酸化物半導体膜 19 a はダメージを受けない。このため、酸化物半導体膜 19 a の欠陥を低減することができる。

【0390】

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

【0391】

(実施の形態 6)

本実施の形態では、表示装置の一例として、VA 駆動の液晶表示装置を用いて説明する。はじめに、液晶表示装置に含まれる複数の画素 103 の上面図を図 43 に示す。

【0392】

図 43 において、走査線として機能する導電膜 13 は、信号線として機能する導電膜に略直交する方向(図中左右方向)に延伸して設けられている。信号線として機能する導電膜 21 a は、走査線として機能する導電膜に略直交する方向(図中上下方向)に延伸して設けられている。容量線として機能する導電膜 21 e は、信号線と平行方向に延伸して設けられている。なお、走査線として機能する導電膜 13 は、走査線駆動回路 104 (図 31 を参照。)と電氣的に接続されており、信号線として機能する導電膜 21 a 及び容量線として機能する導電膜 21 e は、信号線駆動回路 106 (図 31 を参照。)に電氣的に接続されている。

【0393】

トランジスタ 102 は、走査線として機能する導電膜及び信号線として機能する導電膜が交差する領域に設けられている。トランジスタ 102 は、ゲート電極として機能する導電膜 13、ゲート絶縁膜(図 43 に図示せず。)、ゲート絶縁膜上に形成されたチャンネル領域が形成される酸化物半導体膜 19 a、一对の電極として機能する導電膜 21 a、21 b により構成される。なお、導電膜 13 は、走査線としても機能し、酸化物半導体膜 19 a と重畳する領域がトランジスタ 102 のゲート電極として機能する。また、導電膜 21 a は、信号線としても機能し、酸化物半導体膜 19 a と重畳する領域がトランジスタ 102 のソース電極またはドレイン電極として機能する。また、図 43 において、走査線として機能する導電膜は、上面形状において端部が酸化物半導体膜 19 a の端部より外側に位置する。このため、走査線として機能する導電膜はバックライトなどの光源からの光を遮る遮光膜として機能する。この結果、トランジスタに含まれる酸化物半導体膜 19 a に光が照射されず、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。

【0394】

また、トランジスタ 102 において、実施の形態 5 と同様に、酸化物半導体膜 19 a と重なる有機絶縁膜 31 を有する。有機絶縁膜 31 は、無機絶縁膜(図 43 に図示せず。)を介して、酸化物半導体膜 19 a、特に、酸化物半導体膜 19 a であって且つ導電膜 21 a、21 b の間の領域と重なる。

【0395】

また、導電膜 21 b は、開口部 41 において、画素電極として機能する透光性を有する導電膜 29 c と電氣的に接続されている。

【0396】

容量素子 105 は、容量線として機能する導電膜 21 e と接続されている。また、容量素子 105 は、ゲート絶縁膜上に形成される導電性を有する酸化物半導体膜 19 d と、トランジスタ 102 上に設けられる誘電体膜と、画素電極として機能する透光性を有する導

10

20

30

40

50

電膜 29c とで構成されている。ゲート絶縁膜上に形成される導電性を有する酸化物半導体膜 19d は透光性を有する。即ち、容量素子 105 は透光性を有する。

【0397】

このように容量素子 105 は透光性を有するため、画素 103 内に容量素子 105 を大きく（大面積に）形成することができる。従って、開口率を高めつつ、代表的には 55% 以上、好ましくは 60% 以上とすることが可能であると共に、容量値を増大させた半導体装置を得ることができる。例えば、解像度の高い半導体装置、例えば液晶表示装置においては、画素の面積が小さくなり、容量素子の面積も小さくなる。このため、解像度の高い半導体装置において、容量素子に蓄積される容量値が小さくなる。しかしながら、本実施の形態に示す容量素子 105 は透光性を有するため、当該容量素子を画素に設けることで、各画素において十分な容量値を得つつ、開口率を高めることができる。代表的には、画素密度が 200 p p i 以上、さらには 300 p p i 以上、更には 500 p p i 以上である高解像度の半導体装置に好適に用いることができる。

10

【0398】

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

【0399】

次いで、図 43 の一点鎖線 A - B、C - D における断面図を図 44 に示す。図 43 に示すトランジスタ 102 は、チャンネルエッチ型のトランジスタである。なお、一点破線 A - B は、トランジスタ 102 のチャンネル長方向、トランジスタ 102 と画素電極として機能する透光性を有する導電膜 29c の接続部、及び容量素子 105 の断面図であり、C - D における断面図は、トランジスタ 102 のチャンネル幅方向の断面図である。

20

【0400】

本実施の形態に示す液晶表示装置は V A 駆動の液晶表示装置であるため、第 1 の基板 11 の素子層に含まれる画素電極として機能する透光性を有する導電膜 29c と、第 2 の基板 342 の素子層に含まれる導電膜 350 と、液晶層 320 とで液晶素子 322 を構成する。

【0401】

また、図 44 に示すトランジスタ 102 は、実施の形態 5 に示すトランジスタ 102 と同様の構造をしている。また、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜 21a、21b の一方、ここでは導電膜 21b に接続する画素電極として機能する透光性を有する導電膜 29c が、窒化物絶縁膜 27 上に形成される。また、窒化物絶縁膜 27 の開口部 41 において、導電膜 21b と画素電極として機能する透光性を有する導電膜 29c が接続する。

30

【0402】

画素電極として機能する透光性を有する導電膜 29c は、実施の形態 5 に示すコモン電極 29 と同様の材料及び作製方法を適宜用いることができる。

【0403】

また、図 44 に示す容量素子 105 は、酸化物絶縁膜 17 上に形成される導電性を有する酸化物半導体膜 19d と、窒化物絶縁膜 27 と、画素電極として機能する透光性を有する導電膜 29c とを有する。

40

【0404】

本実施の形態に示すトランジスタ 102 上には分離された酸化物絶縁膜 23、25 が形成される。分離された酸化物絶縁膜 23、25 が酸化物半導体膜 19a と重畳する。

【0405】

また、窒化物絶縁膜 27 上に酸化物半導体膜 19a と重なる有機絶縁膜 31 を有する。酸化物半導体膜 19a と重なる有機絶縁膜 31 をトランジスタ 102 上に設けることで、酸化物半導体膜 19a の表面と有機絶縁膜 31 の表面との距離を離すことが可能である。この結果、酸化物半導体膜 19a の表面は、有機絶縁膜 31 の表面に吸着された正の荷電

50

粒子による電界の影響を受けず、トランジスタ 102 の信頼性を高めることができる。

【0406】

また、容量素子 105 において、導電性を有する酸化物半導体膜 19d は、実施の形態 5 と異なり、導電膜 21b と接続しない。一方、導電性を有する酸化物半導体膜 19d は、導電膜 21d と接する。導電膜 21d は容量線として機能する。導電性を有する酸化物半導体膜 19d は、実施の形態 5 に示す導電性を有する酸化物半導体膜 19b と同様に形成することができる。すなわち、導電性を有する酸化物半導体膜 19d は、酸化物半導体膜 19a と同じ金属元素を有する金属酸化物膜である。また、導電性を有する酸化物半導体膜 19d は実施の形態 5 に示す導電性を有する酸化物半導体膜 19b と同じ作製方法を適宜用いることができる。

10

【0407】

次に、図 44 に示すトランジスタ 102 及び容量素子 105 の作製方法について、図 45 及び図 46 を用いて説明する。

【0408】

第 1 の基板 11 上に導電膜を形成した後、実施の形態 5 に示す第 1 のフォトリソグラフィ工程を経て得られたマスクを用いて該導電膜をエッチングして、第 1 の基板 11 上にゲート電極として機能する導電膜 13 を形成する（図 45 (A) 参照。）

【0409】

次に、第 1 の基板 11 及びゲート電極として機能する導電膜 13 上に、窒化物絶縁膜 15 及び酸化物絶縁膜 16 を形成する。次に、酸化物絶縁膜 16 上に酸化物半導体膜を形成した後、実施の形態 5 に示す第 2 のフォトリソグラフィ工程を経て得られたマスクを用いて該酸化物半導体膜をエッチングして、酸化物半導体膜 19a、19c を形成する（図 45 (B) 参照。）

20

【0410】

次に、酸化物絶縁膜 16、及び酸化物半導体膜 19a、19c 上に導電膜を形成した後、実施の形態 5 に示す第 3 のフォトリソグラフィ工程を経て得られたマスクを用いて、該導電膜をエッチングして、導電膜 21a、21b、21d を形成する（図 45 (C) 参照。）。この際、酸化物半導体膜 19c と接しないように、導電膜 21b を形成する。また、酸化物半導体膜 19c と接するように導電膜 21d を形成する。

【0411】

次に、酸化物絶縁膜 16、酸化物半導体膜 19a、19c、及び導電膜 21a、21b、21d 上に酸化物絶縁膜を形成した後、実施の形態 5 に示す第 4 のフォトリソグラフィ工程を経て得られたマスクを用いて該酸化物絶縁膜をエッチングして、開口部 40 を有する酸化物絶縁膜 23、25 を形成する（図 46 (A) 参照。）

30

【0412】

次に、酸化物絶縁膜 17、酸化物半導体膜 19a、19c、導電膜 21a、21b、21d、及び酸化物絶縁膜 23、25 上に窒化物絶縁膜を形成した後、実施の形態 5 に示す第 5 のフォトリソグラフィ工程を経て得られたマスクを用いて該窒化物絶縁膜をエッチングして、導電膜 21b の一部を露出する開口部 41 を有する窒化物絶縁膜 27 を形成する（図 46 (B) 参照。）

40

【0413】

当該工程により、酸化物半導体膜 19c が、導電性を有する酸化物半導体膜 19d となる。なお、後に窒化物絶縁膜 27 として、プラズマ CVD 法により窒化シリコン膜を形成すると、窒化シリコン膜に含まれる水素が酸化物半導体膜 19c に拡散するため、導電性を有する酸化物半導体膜 19d を形成することができる。

【0414】

次に、導電膜 21b、窒化物絶縁膜 27 上に導電膜を形成した後、実施の形態 5 に示す第 6 のフォトリソグラフィ工程を経て得られたマスクを用いて該導電膜をエッチングして、導電膜 21b に接続する導電膜 29c を形成する（図 46 (C) 参照。）

【0415】

50

上記より、酸化物半導体膜を用いた半導体装置において電気特性が向上した半導体装置を得ることができる。

【0416】

本実施の形態に示す半導体装置の素子基板は、トランジスタの酸化物半導体膜と同時に、容量素子の一方となる電極が形成される。また、画素電極として機能する透光性を有する導電膜を容量素子の他方の電極として用いる。これらのため、容量素子を形成するために、新たに導電膜を形成する工程が不要であり、作製工程を削減できる。また、一对の電極が透光性を有するため、容量素子は透光性を有する。この結果、容量素子の占有面積を大きくしつつ、画素の開口率を高めることができる。

【0417】

<変形例1>

本実施の形態では、実施の形態5に示す半導体装置と比較して、少ないマスク枚数で作製可能な表示装置について、図47を用いて説明する。

【0418】

図47に示す表示装置は、トランジスタ102上に形成される酸化物絶縁膜22及び酸化物絶縁膜24をエッチングしないことで、マスク枚数を削減することが可能である。また、酸化物絶縁膜24上には窒化物絶縁膜27が形成され、酸化物絶縁膜22、24及び窒化物絶縁膜27に、導電膜21bの一部を露出する開口部41aが形成される。また、窒化物絶縁膜27上には、開口部41aにおいて、導電膜21bと接続する、画素電極として機能する透光性を有する導電膜29dが形成される。

【0419】

また、酸化物絶縁膜17上に導電膜21dが形成される。導電膜21dは、導電膜21a、21bと同時に形成されるため、導電膜21dを作製するためにフォトマスクは増加しない。導電膜21dは容量線として機能する。すなわち、導電膜21d、酸化物絶縁膜22、酸化物絶縁膜24、窒化物絶縁膜27、及び画素電極として機能する透光性を有する導電膜29dにおいて、容量素子105aを構成する。

【0420】

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

【0421】

(実施の形態7)

本実施の形態では、実施の形態5と異なる表示装置及びその作製方法について図48を参照して説明する。本実施の形態では、トランジスタにおいて異なるゲート電極の間に酸化物半導体膜が設けられている構造、即ちデュアルゲート構造のトランジスタである点が実施の形態5と異なる。なお、実施の形態5と重複する構成は説明を省略する。

【0422】

表示装置に含まれる第1の基板11に設けられた素子層の具体的な構成について説明する。本実施の形態に示す表示装置に設けられるトランジスタは、ゲート電極として機能する導電膜13、酸化物半導体膜19a、導電膜21a、21b、及び酸化物絶縁膜25それぞれの一部または全部に重なるゲート電極として機能する導電膜29bを有する点が実施の形態5と異なる。ゲート電極として機能する導電膜29bは、開口部41a、41bにおいて、ゲート電極として機能する導電膜13と接続される。

【0423】

次いで、図48に示すトランジスタ102aは、チャンネルエッチ型のトランジスタである。なお、A-Bは、トランジスタ102aのチャンネル長方向、及び容量素子105aの断面図であり、C-Dにおける断面図は、トランジスタ102aのチャンネル幅方向、及びゲート電極として機能する導電膜13及びゲート電極として機能する導電膜29bの接続部における断面図である。

【0424】

図48に示すトランジスタ102aは、デュアルゲート構造のトランジスタであり、第

10

20

30

40

50

1の基板11上に設けられるゲート電極として機能する導電膜13を有する。また、第1の基板11及びゲート電極として機能する導電膜13上に形成される窒化物絶縁膜15と、窒化物絶縁膜15上に形成される酸化物絶縁膜17と、窒化物絶縁膜15及び酸化物絶縁膜17を介して、ゲート電極として機能する導電膜13と重なる酸化物半導体膜19aと、酸化物半導体膜19aに接する、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21bとを有する。また、酸化物絶縁膜17、酸化物半導体膜19a、及びソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21b上には、酸化物絶縁膜23が形成され、酸化物絶縁膜23上には酸化物絶縁膜25が形成される。窒化物絶縁膜15、酸化物絶縁膜23、酸化物絶縁膜25、導電膜21b上には窒化物絶縁膜27が形成される。また、導電性を有する酸化物半導体膜19bが、酸化物絶縁膜17上に形成される。導電性を有する酸化物半導体膜19bは、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21bの一方、ここでは導電膜21bに接続される。また、コモン電極29、及びゲート電極として機能する導電膜29bが窒化物絶縁膜27上に形成される。

10

【0425】

C-Dにおける断面図に示すように、窒化物絶縁膜15、酸化物絶縁膜17、酸化物絶縁膜23、酸化物絶縁膜25、及び窒化物絶縁膜27に設けられる開口部41a、41bにおいて、ゲート電極として機能する導電膜29bは、ゲート電極として機能する導電膜13と接続される。即ち、ゲート電極として機能する導電膜13及びゲート電極として機能する導電膜29bは同電位である。

20

【0426】

このため、トランジスタ102aの各ゲート電極に同電位の電圧を印加することで、初期特性バラツキの低減、-GBTストレス試験の劣化の抑制及び異なるドレイン電圧におけるオン電流の立ち上がり電圧の変動の抑制が可能である。また、酸化物半導体膜19aにおいてキャリアの流れる領域が膜厚方向においてより大きくなるため、キャリアの移動量が増加する。この結果、トランジスタ102aのオン電流が大きくなると共に、電界効果移動度が高くなり、代表的には電界効果移動度が $20\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 以上となる。

【0427】

本実施の形態に示すトランジスタ102a上には酸化物絶縁膜23、25が形成される。酸化物絶縁膜23、25が酸化物半導体膜19aと重畳する。また、チャネル幅方向の断面図において、酸化物半導体膜19aの外側に酸化物絶縁膜23及び酸化物絶縁膜25の端部が位置する。また、図48に示すチャネル幅方向において、ゲート電極として機能する導電膜29bは、酸化物絶縁膜23及び酸化物絶縁膜25の端部に位置する。

30

【0428】

エッチング等で加工された酸化物半導体膜の端部においては、加工におけるダメージにより欠陥が形成されると共に、不純物付着などにより汚染される。このため、電界などのストレスが与えられることによって活性化しやすく、それによりn型(低抵抗)となりやすい。そのため、ゲート電極として機能する導電膜13と重なる酸化物半導体膜19aの端部において、n型化しやすくなる。当該n型化された端部が、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21bの間に設けられると、n型化された領域がキャリアのパスとなってしまう、寄生チャネルが形成される。しかしながら、C-Dの断面図に示すように、チャネル幅方向において、ゲート電極として機能する導電膜29bが、酸化物絶縁膜23、25を介して、酸化物半導体膜19aの側面と対向することで、ゲート電極として機能する導電膜29bの電界の影響により、酸化物半導体膜19aの側面、または側面及びその近傍を含む領域における寄生チャネルの発生が抑制される。この結果、しきい値電圧におけるドレイン電流の上昇が急峻である、電気特性の優れたトランジスタとなる。

40

【0429】

本実施の形態に示す表示装置の素子基板は、トランジスタの酸化物半導体膜と同時に、画素電極として機能する導電性を有する酸化物半導体膜が形成される。導電性を有する酸化物半導体膜は容量素子の一方の電極として機能する。また、コモン電極は容量素子の他

50

方の電極として機能する。これらのため、容量素子を形成するために、新たに導電膜を形成する工程が不要であり、作製工程を削減できる。また、容量素子は透光性を有する。この結果、容量素子の占有面積を大きくしつつ、画素の開口率を高めることができる。

【0430】

以下に、トランジスタ102aの構成の詳細について説明する。なお、実施の形態5と同じ符号の構成については、説明を省略する。

【0431】

ゲート電極として機能する導電膜29bは、実施の形態5に示すコモン電極29と同様の材料を適宜用いることができる。

【0432】

次に、図48に示すトランジスタ102a及び容量素子105aの作製方法について、図34乃至図36、及び図49を用いて説明する。

【0433】

実施の形態5と同様に、図34乃至図36(A)の工程を経て、第1の基板11上にゲート電極として機能する導電膜13、窒化物絶縁膜15、酸化物絶縁膜16、酸化物半導体膜19a、導電性を有する酸化物半導体膜19b、ソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21b、酸化物絶縁膜22、酸化物絶縁膜24、及び窒化物絶縁膜26をそれぞれ形成する。当該工程においては、第1のフォトマスク乃至第4のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程を行う。

【0434】

次に、窒化物絶縁膜26上に第5のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成した後、該マスクを用いて窒化物絶縁膜26の一部をエッチングして、図49(A)に示すように、開口部41a、41bを有する窒化物絶縁膜27を形成する。

【0435】

次に、図49(B)に示すように、ゲート電極として機能する導電膜13及び窒化物絶縁膜27上に、後にコモン電極29、ゲート電極として機能する導電膜29bとなる導電膜28を形成する。

【0436】

次に、導電膜28上に、第6のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィ工程によりマスクを形成する。次に、該マスクを用いて導電膜28の一部をエッチングして、図49(C)に示すように、コモン電極29及びゲート電極として機能する導電膜29bを形成する。この後、マスクを除去する。

【0437】

以上の工程により、トランジスタ102aを作製すると共に、容量素子105aを作製することができる。

【0438】

本実施の形態に示すトランジスタは、チャンネル幅方向において、ゲート電極として機能する導電膜29bが、酸化物絶縁膜23、25を介して、酸化物半導体膜19aの側面と対向することで、ゲート電極として機能する導電膜29bの電界の影響により、酸化物半導体膜19aの側面、または側面及びその近傍を含む領域における寄生チャンネルの発生が抑制される。この結果、しきい値電圧におけるドレイン電流の上昇が急峻である、電気特性の優れたトランジスタとなる。

【0439】

本実施の形態に示す表示装置の素子基板は、信号線と交差する方向に縞状に延伸した領域を有するコモン電極が形成される。このため、コントラストの優れた表示装置を作製することができる。

【0440】

また、本実施の形態に示す表示装置の素子基板は、トランジスタの酸化物半導体膜と同時に、画素電極として機能する導電性を有する酸化物半導体膜が形成される。導電性を有する酸化物半導体膜は容量素子の一方の電極として機能する。また、コモン電極は、容量

10

20

30

40

50

素子の他方の電極として機能する。これらのため、容量素子を形成するために、新たに導電膜を形成する工程が不要であり、作製工程を削減できる。また、容量素子は透光性を有する。この結果、容量素子の占有面積を大きくしつつ、画素の開口率を高めることができる。

【0441】

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

【0442】

(実施の形態8)

本実施の形態では、上記実施の形態と比較して、酸化物半導体膜の欠陥量をさらに低減することが可能なトランジスタを有する表示装置について図面を参照して説明する。本実施の形態で説明するトランジスタは、実施の形態5乃至実施の形態7と比較して、複数の酸化物半導体膜を有する多層膜を有する点異なる。ここでは、実施の形態5を用いて、トランジスタの詳細を説明する。

10

【0443】

図50に、表示装置が有する素子基板の断面図を示す。図50は、図32の一点鎖線A-B、C-D間の断面図に相当する。

【0444】

図50(A)に示すトランジスタ102bは、窒化物絶縁膜15及び酸化物絶縁膜17を介して、ゲート電極として機能する導電膜13と重なる多層膜37aと、多層膜37aに接するソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21bとを有する。また、窒化物絶縁膜15及び酸化物絶縁膜17、多層膜37a、及びソース電極及びドレイン電極として機能する導電膜21a、21b上には、酸化物絶縁膜23、酸化物絶縁膜25、及び窒化物絶縁膜27が形成される。

20

【0445】

図50(A)に示す容量素子105bは、酸化物絶縁膜17上に形成される多層膜37bと、多層膜37bに接する窒化物絶縁膜27と、窒化物絶縁膜27に接するコモン電極29とを有する。多層膜37bは画素電極として機能する。

【0446】

本実施の形態に示すトランジスタ102bにおいて、多層膜37aは、酸化物半導体膜19a及び酸化物半導体膜39aを有する。即ち、多層膜37aは2層構造である。また、酸化物半導体膜19aの一部がチャネル領域として機能する。また、多層膜37aに接するように、酸化物絶縁膜23が形成されており、酸化物絶縁膜23に接するように酸化物絶縁膜25が形成されている。即ち、酸化物半導体膜19aと酸化物絶縁膜23との間に、酸化物半導体膜39aが設けられている。

30

【0447】

酸化物半導体膜39aは、酸化物半導体膜19aを構成する元素の一種以上から構成される酸化物膜である。このため、酸化物半導体膜19aと酸化物半導体膜39aとの界面において、界面散乱が起こりにくい。従って、該界面においてはキャリアの動きが阻害されないため、トランジスタの電界効果移動度が高くなる。

40

【0448】

酸化物半導体膜39aは、代表的には、In-Ga酸化物膜、In-Zn酸化物膜、In-M-Zn酸化物膜(MはAl、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNd)であり、且つ酸化物半導体膜19aよりも伝導帯の下端のエネルギーが真空準位に近く、代表的には、酸化物半導体膜39aの伝導帯の下端のエネルギーと、酸化物半導体膜19aの伝導帯の下端のエネルギーとの差が、0.05eV以上、0.07eV以上、0.1eV以上、または0.15eV以上、且つ2eV以下、1eV以下、0.5eV以下、または0.4eV以下である。即ち、酸化物半導体膜39aの電子親和力と、酸化物半導体膜19aの電子親和力との差が、0.05eV以上、0.07eV以上、0.1eV以上、または0.15eV以上、且つ2eV以下、1eV以下、0.5eV以下、または0.4

50

eV以下である。

【0449】

酸化物半導体膜39aは、Inを含むことで、キャリア移動度（電子移動度）が高くなるため好ましい。

【0450】

酸化物半導体膜39aとして、Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNdをInより高い原子数比で有することで、以下の効果を有する場合がある。（1）酸化物半導体膜39aのエネルギーギャップを大きくする。（2）酸化物半導体膜39aの電子親和力を小さくする。（3）外部からの不純物の拡散を低減する。（4）酸化物半導体膜19aと比較して、絶縁性が高くなる。（5）Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNdは、酸素との結合力が強い金属元素であるため、酸素欠損が生じにくくなる。

10

【0451】

酸化物半導体膜39aがIn-M-Zn酸化物膜であるとき、InおよびMの和を100 atomic%としたときInとMの原子数比率は、Inが50 atomic%未満、Mが50 atomic%より高く、さらに好ましくは、Inが25 atomic%未満、Mが75 atomic%より高いとする。

【0452】

また、酸化物半導体膜19a及び酸化物半導体膜39aが、In-M-Zn酸化物M（Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNd）の場合、酸化物半導体膜19aと比較して、酸化物半導体膜39aに含まれるM（Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNd）の原子数比が大きく、代表的には、酸化物半導体膜19aに含まれる上記原子と比較して、1.5倍以上、好ましくは2倍以上、さらに好ましくは3倍以上高い原子数比である。

20

【0453】

また、酸化物半導体膜19a及び酸化物半導体膜39aが、In-M-Zn酸化物（MはAl、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNd）の場合、酸化物半導体膜39aを $In : M : Zn = x_1 : y_1 : z_1$ [原子数比]、酸化物半導体膜19aを $In : M : Zn = x_2 : y_2 : z_2$ [原子数比]とすると、 y_1 / x_1 が y_2 / x_2 よりも大きく、好ましくは、 y_1 / x_1 が y_2 / x_2 よりも1.5倍以上である。さらに好ましくは、 y_1 / x_1 が y_2 / x_2 よりも2倍以上大きく、より好ましくは、 y_1 / x_1 が y_2 / x_2 よりも3倍以上大きい。

30

【0454】

酸化物半導体膜19aがIn-M-Zn酸化物膜（Mは、Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNd）の場合、酸化物半導体膜19aを成膜するために用いるターゲットにおいて、金属元素の原子数比を $In : M : Zn = x_1 : y_1 : z_1$ とすると、 x_1 / y_1 は、1/3以上6以下、さらには1以上6以下であって、 z_1 / y_1 は、1/3以上6以下、さらには1以上6以下であることが好ましい。なお、 z_1 / y_1 を1以上6以下とすることで、酸化物半導体膜19aとしてCAAC-OS膜が形成されやすくなる。ターゲットの金属元素の原子数比の代表例としては、 $In : M : Zn = 1 : 1 : 1$ 、 $In : M : Zn = 1 : 1 : 1.2$ 、 $In : M : Zn = 3 : 1 : 2$ 等がある。

40

【0455】

酸化物半導体膜39aがIn-M-Zn酸化物膜（Mは、Al、Ga、Y、Zr、Sn、La、Ce、またはNd）の場合、酸化物半導体膜39aを成膜するために用いるターゲットにおいて、金属元素の原子数比を $In : M : Zn = x_2 : y_2 : z_2$ とすると、 $x_2 / y_2 < x_1 / y_1$ であって、 z_2 / y_2 は、1/3以上6以下、さらには1以上6以下であることが好ましい。なお、 z_2 / y_2 を1以上6以下とすることで、酸化物半導体膜39aとしてCAAC-OS膜が形成されやすくなる。ターゲットの金属元素の原子数比の代表例としては、 $In : M : Zn = 1 : 3 : 2$ 、 $In : M : Zn = 1 : 3 : 4$ 、 $In : M : Zn = 1 : 3 : 6$ 、 $In : M : Zn = 1 : 3 : 8$ 、 $In : M : Zn = 1 : 4 : 4$ 、 $In : M : Zn = 1 : 4 : 5$ 、 $In : M : Zn = 1 : 4 : 6$ 、 $In : M : Zn = 1 : 4 :$

50

7、 $In : M : Zn = 1 : 4 : 8$ 、 $In : M : Zn = 1 : 5 : 5$ 、 $In : M : Zn = 1 : 5 : 6$ 、 $In : M : Zn = 1 : 5 : 7$ 、 $In : M : Zn = 1 : 5 : 8$ 、 $In : M : Zn = 1 : 6 : 8$ 等がある。

【0456】

なお、酸化半導体膜19a及び酸化半導体膜39aの原子数比はそれぞれ、誤差として上記の原子数比のプラスマイナス40%の変動を含む。

【0457】

酸化半導体膜39aは、後に形成する酸化絶縁膜25を形成する際の、酸化半導体膜19aへのダメージ緩和膜としても機能する。

【0458】

酸化半導体膜39aの厚さは、3nm以上100nm以下、好ましくは3nm以上50nm以下とする。

【0459】

また、酸化半導体膜39aは、酸化半導体膜19aに示す結晶構造を適宜用いることができる。

【0460】

なお、酸化半導体膜19a及び酸化半導体膜39aそれぞれにおいて、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、CAAC-Osの領域、単結晶構造の領域の二種以上を有する混合膜を構成してもよい。混合膜は、例えば、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、CAAC-Osの領域、単結晶構造の領域のいずれか二種以上の領域を有する単層構造の場合がある。また、混合膜は、例えば、非晶質構造の領域、微結晶構造の領域、多結晶構造の領域、CAAC-Osの領域、単結晶構造の領域のいずれか二種以上の領域の積層構造を有する場合がある。

【0461】

ここでは、酸化半導体膜19a及び酸化絶縁膜23の間に、酸化半導体膜39aが設けられている。このため、酸化半導体膜39aと酸化絶縁膜23の間において、不純物及び欠陥によりキャリアトラップが形成されても、当該キャリアトラップと酸化半導体膜19aとの間には隔りがある。この結果、酸化半導体膜19aを流れる電子がキャリアトラップに捕獲されにくく、トランジスタのオン電流を増大させることが可能であると共に、電界効果移動度を高めることができる。また、キャリアトラップに電子が捕獲されると、該電子がマイナスの固定電荷となってしまう。この結果、トランジスタのしきい値電圧が変動してしまう。しかしながら、酸化半導体膜19aとキャリアトラップとの間に隔りがあるため、キャリアトラップにおける電子の捕獲を削減することが可能であり、しきい値電圧の変動量を低減することができる。

【0462】

また、酸化半導体膜39aは、外部からの不純物を遮蔽することが可能であるため、外部から酸化半導体膜19aへ移動する不純物量を低減することが可能である。また、酸化半導体膜39aは、酸素欠損を形成しにくい。これらのため、酸化半導体膜19aにおける不純物濃度及び酸素欠損量を低減することが可能である。

【0463】

なお、酸化半導体膜19a及び酸化半導体膜39aは、各膜を単に積層するのではなく連続接合（ここでは特に伝導帯の下端のエネルギーが各膜の間で連続的に変化する構造）が形成されるように作製する。すなわち、各膜の界面にトラップ中心や再結合中心のような欠陥準位を形成する不純物が存在しないような積層構造とする。仮に、積層された酸化半導体膜19a及び酸化半導体膜39aの間に不純物が混在していると、エネルギーバンドの連続性が失われ、界面でキャリアがトラップされ、あるいは再結合して、消滅してしまう。

【0464】

連続接合を形成するためには、ロードロック室を備えたマルチチャンバー方式の成膜装置（スパッタリング装置）を用いて各膜を大気に触れさせることなく連続して積層するこ

10

20

30

40

50

とが必要となる。スパッタリング装置における各チャンパーは、酸化物半導体膜にとって不純物となる水等を可能な限り除去すべくクライオポンプのような吸着式の真空排気ポンプを用いて高真空排気 (5×10^{-7} Pa 乃至 1×10^{-4} Pa 程度まで) することが好ましい。または、ターボ分子ポンプとコールドトラップを組み合わせる排気系からチャンパー内に気体、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。

【0465】

なお、多層膜 37a の代わりに、図 50 (B) に示すトランジスタ 102c のように、多層膜 38a を有してもよい。

【0466】

また、多層膜 37b の代わりに、図 50 (B) に示す容量素子 105c のように、多層膜 38b を有してもよい。

【0467】

多層膜 38a は、酸化物半導体膜 49a、酸化物半導体膜 19a、及び酸化物半導体膜 39a を有する。即ち、多層膜 38a は 3 層構造である。また、酸化物半導体膜 19a がチャンネル領域として機能する。

【0468】

酸化物半導体膜 49a は、酸化物半導体膜 39a と同様の材料及び形成方法を適宜用いることができる。

【0469】

多層膜 38b は、導電性を有する酸化物半導体膜 49b、導電性を有する酸化物半導体膜 19f、及び導電性を有する酸化物半導体膜 39b を有する。即ち、多層膜 38b は 3 層構造である。また、多層膜 38b は画素電極として機能する。

【0470】

酸化物半導体膜 19f は、導電性を有する酸化物半導体膜と同様の材料及び形成方法を適宜用いることができる。酸化物半導体膜 49b は、酸化物半導体膜 39b と同様の材料及び形成方法を適宜用いることができる。

【0471】

また、酸化物絶縁膜 17 及び酸化物半導体膜 49a が接する。即ち、酸化物絶縁膜 17 と酸化物半導体膜 19a との間に、酸化物半導体膜 49a が設けられている。

【0472】

また、多層膜 38a 及び酸化物絶縁膜 23 が接する。また、酸化物半導体膜 39a 及び酸化物絶縁膜 23 が接する。即ち、酸化物半導体膜 19a と酸化物絶縁膜 23 との間に、酸化物半導体膜 39a が設けられている。

【0473】

酸化物半導体膜 49a は、酸化物半導体膜 19a より膜厚が小さいと好ましい。酸化物半導体膜 49a の厚さを 1 nm 以上 5 nm 以下、好ましくは 1 nm 以上 3 nm 以下とすることで、トランジスタのしきい値電圧の変動量を低減することが可能である。

【0474】

本実施の形態に示すトランジスタは、酸化物半導体膜 19a 及び酸化物絶縁膜 23 の間に、酸化物半導体膜 39a が設けられている。このため、酸化物半導体膜 39a と酸化物絶縁膜 23 の間において、不純物及び欠陥によりキャリアトラップが形成されても、当該キャリアトラップと酸化物半導体膜 19a との間には隔りがある。この結果、酸化物半導体膜 19a を流れる電子がキャリアトラップに捕獲されにくく、トランジスタのオン電流を増大させることが可能であると共に、電界効果移動度を高めることができる。また、キャリアトラップに電子が捕獲されると、該電子がマイナスの固定電荷となってしまう。この結果、トランジスタのしきい値電圧が変動してしまう。しかしながら、酸化物半導体膜 19a とキャリアトラップとの間に隔りがあるため、キャリアトラップにおける電子の捕獲を削減することが可能であり、しきい値電圧の変動量を低減することができる。

【0475】

10

20

30

40

50

また、酸化物半導体膜 39 a は、外部からの不純物を遮蔽することが可能であるため、外部から酸化物半導体膜 19 a へ移動する不純物量を低減することが可能である。また、酸化物半導体膜 39 a は、酸素欠損を形成しにくい。これらのため、酸化物半導体膜 19 a における不純物濃度及び酸素欠損量を低減することが可能である。

【0476】

また、酸化物絶縁膜 17 と酸化物半導体膜 19 a との間に、酸化物半導体膜 49 a が設けられており、酸化物半導体膜 19 a と酸化物絶縁膜 23 との間に、酸化物半導体膜 39 a が設けられているため、酸化物半導体膜 49 a と酸化物半導体膜 19 a との界面近傍におけるシリコンや炭素の濃度、酸化物半導体膜 19 a におけるシリコンや炭素の濃度、または酸化物半導体膜 39 a と酸化物半導体膜 19 a との界面近傍におけるシリコンや炭素の濃度を低減することができる。これらの結果、多層膜 38 a において、一定光電流測定法で導出される吸収係数は、 $1 \times 10^{-3} / \text{cm}$ 未満、好ましくは $1 \times 10^{-4} / \text{cm}$ 未満となり、局在準位が極めて少ない。

10

【0477】

このような構造を有するトランジスタ 102 c は、酸化物半導体膜 19 a を含む多層膜 38 a において欠陥が極めて少ないため、トランジスタの電気特性を向上させることが可能であり、代表的には、オン電流の増大及び電界効果移動度の向上が可能である。また、ストレス試験の一例である BT ストレス試験及び光 BT ストレス試験におけるしきい値電圧の変動量が少なく、信頼性が高い。

【0478】

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

20

【0479】

(実施の形態 9)

本実施の形態では、実施の形態 5 乃至実施の形態 8 に示す、第 1 の基板 11 上に形成された素子層の一部を用いた発光装置について、図 5 1 及び図 5 2 を用いて説明する。なお、ここでは、実施の形態 5 及び実施の形態 6 に示す素子層の一部を用いて説明するが、適宜他の構成の素子層を発光装置に用いることができる。

【0480】

図 5 1 に示す発光装置は、実施の形態 5 の図 3 3 に示す第 1 の基板 11 上に形成された素子層において、無機絶縁膜 30 上に設けられる絶縁膜 37 1 と、無機絶縁膜 30、導電性を有する酸化物半導体膜 19 b、及び絶縁膜 37 1 上に設けられる EL 層 37 3 と、EL 層 37 3 及び絶縁膜 37 1 上に設けられる導電膜 37 5 とを有する。導電性を有する酸化物半導体膜 19 b、EL 層 37 3、及び導電膜 37 5 により発光素子 37 0 a を構成する。

30

【0481】

図 5 2 に示す発光装置は、実施の形態 6 の図 4 4 に示す第 1 の基板 11 上に形成された素子層において、無機絶縁膜 30 及び透光性を有する導電膜 29 c 上に設けられる絶縁膜 37 1 と、無機絶縁膜 30 及び透光性を有する導電膜 29 c 上に設けられる EL 層 37 3 と、EL 層 37 3 及び絶縁膜 37 1 上に設けられる導電膜 37 5 とを有する。透光性を有する導電膜 29 c、EL 層 37 3、及び導電膜 37 5 により発光素子 37 0 b を構成する。

40

【0482】

また、本実施の形態に示す発光装置の素子基板は、トランジスタの酸化物半導体膜と同時に、画素電極として機能する導電性を有する酸化物半導体膜が形成される。このため、従来より少ない工程数で、発光装置を作製することができる。

【0483】

または、本実施の形態に示す発光装置の素子基板は、トランジスタの酸化物半導体膜と同時に、容量素子の電極として機能する導電性を有する酸化物半導体膜が形成される。導電性を有する酸化物半導体膜は容量素子の一方の電極として機能する。これらのため、容

50

量素子を形成するために、新たに導電膜を形成する工程が不要であり、作製工程を削減できる。また、容量素子の他方の電極は、画素電極として機能する透光性を有する導電膜である。このため、容量素子は透光性を有する。この結果、容量素子の占有面積を大きくしつつ、画素の開口率を高めることができる。

【0484】

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

【0485】

(実施の形態10)

本実施の形態では、上記実施の形態で説明した表示装置に含まれているトランジスタにおいて、酸化物半導体膜に適用可能な一態様について説明する。

10

【0486】

<酸化物半導体の構造について>

以下では、酸化物半導体の構造について説明する。

【0487】

酸化物半導体は、単結晶酸化物半導体と、それ以外の非単結晶酸化物半導体とに分けられる。非単結晶酸化物半導体としては、CAAC-OS (C Axis Aligned Crystalline Oxide Semiconductor)、多結晶酸化物半導体、微結晶酸化物半導体、非晶質酸化物半導体などがある。

【0488】

また別の観点では、酸化物半導体は、非晶質酸化物半導体と、それ以外の結晶性酸化物半導体とに分けられる。結晶性酸化物半導体としては、単結晶酸化物半導体、CAAC-OS、多結晶酸化物半導体、微結晶酸化物半導体などがある。

20

【0489】

<CAAC-OS>

まずは、CAAC-OSについて説明する。なお、CAAC-OSを、CANO (C Axis Aligned nanocrystals) を有する酸化物半導体と呼ぶこともできる。

【0490】

CAAC-OSは、c軸配向した複数の結晶部(ペレットともいう。)を有する酸化物半導体の一つである。

30

【0491】

透過型電子顕微鏡(TEM: Transmission Electron Microscope)によって、CAAC-OSの明視野像と回折パターンとの複合解析像(高分解能TEM像ともいう。)を観察すると、複数のペレットを確認することができる。一方、高分解能TEM像ではペレット同士の境界、即ち結晶粒界(グレインバウンダリーともいう。)を明確に確認することができない。そのため、CAAC-OSは、結晶粒界に起因する電子移動度の低下が起こりにくいといえる。

【0492】

以下では、TEMによって観察したCAAC-OSについて説明する。図72(A)に、試料面と略平行な方向から観察したCAAC-OSの断面の高分解能TEM像を示す。高分解能TEM像の観察には、球面収差補正(Spherical Aberration Corrector)機能を用いた。球面収差補正機能を用いた高分解能TEM像を、特にCs補正高分解能TEM像と呼ぶ。Cs補正高分解能TEM像の取得は、例えば、日本電子株式会社製原子分解能分析電子顕微鏡JEM-ARM200Fなどによって行うことができる。

40

【0493】

図72(A)の領域(1)を拡大したCs補正高分解能TEM像を図72(B)に示す。図72(B)より、ペレットにおいて、金属原子が層状に配列していることを確認できる。金属原子の各層の配列は、CAAC-OSの膜を形成する面(被形成面ともいう。)

50

または上面の凹凸を反映しており、C A A C - O S の被形成面または上面と平行となる。

【0494】

図72(B)に示すように、C A A C - O S は特徴的な原子配列を有する。図72(C)は、特徴的な原子配列を、補助線で示したものである。図72(B)および図72(C)より、ペレット一つの大きさは1 nm以上3 nm以下程度であり、ペレットとペレットとの傾きにより生じる隙間の大きさは0.8 nm程度であることがわかる。したがって、ペレットを、ナノ結晶(nc: nanocrystal)と呼ぶこともできる。

【0495】

ここで、Cs補正高分解能TEM像をもとに、基板5120上のC A A C - O S のペレット5100の配置を模式的に示すと、レンガまたはブロックが積み重なったような構造となる(図72(D)参照。)。図72(C)で観察されたペレットとペレットとの間で傾きが生じている箇所は、図72(D)に示す領域5161に相当する。

10

【0496】

また、図73(A)に、試料面と略垂直な方向から観察したC A A C - O S の平面のCs補正高分解能TEM像を示す。図73(A)の領域(1)、領域(2)および領域(3)を拡大したCs補正高分解能TEM像を、それぞれ図73(B)、図73(C)および図73(D)に示す。図73(B)、図73(C)および図73(D)より、ペレットは、金属原子が三角形、四角形または六角形に配列していることを確認できる。しかしながら、異なるペレット間で、金属原子の配列に規則性は見られない。

20

【0497】

次に、X線回折(XRD: X-Ray Diffraction)によって解析したC A A C - O S について説明する。例えば、InGaZnO₄の結晶を有するC A A C - O S に対し、out-of-plane法による構造解析を行うと、図74(A)に示すように回折角(2θ)が31°近傍にピークが現れる場合がある。このピークは、InGaZnO₄の結晶の(009)面に帰属されることから、C A A C - O S の結晶がc軸配向性を有し、c軸が被形成面または上面に略垂直な方向を向いていることが確認できる。

【0498】

なお、C A A C - O S のout-of-plane法による構造解析では、2θが31°近傍のピークの他に、2θが36°近傍にもピークが現れる場合がある。2θが36°近傍のピークは、C A A C - O S 中の一部に、c軸配向性を有さない結晶が含まれることを示している。より好ましいC A A C - O S は、out-of-plane法による構造解析では、2θが31°近傍にピークを示し、2θが36°近傍にピークを示さない。

30

【0499】

一方、C A A C - O S に対し、c軸に略垂直な方向からX線を入射させるin-plane法による構造解析を行うと、2θが56°近傍にピークが現れる。このピークは、InGaZnO₄の結晶の(110)面に帰属される。C A A C - O S の場合は、2θを56°近傍に固定し、試料面の法線ベクトルを軸(c軸)として試料を回転させながら分析(スキャン)を行っても、図74(B)に示すように明瞭なピークは現れない。これに対し、InGaZnO₄の単結晶酸化物半導体であれば、2θを56°近傍に固定してスキャンした場合、図74(C)に示すように(110)面と等価な結晶面に帰属されるピークが6本観察される。したがって、XRDを用いた構造解析から、C A A C - O S は、a軸およびb軸の配向が不規則であることが確認できる。

40

【0500】

次に、電子回折によって解析したC A A C - O S について説明する。例えば、InGaZnO₄の結晶を有するC A A C - O S に対し、試料面に平行にプローブ径が300 nmの電子線を入射させると、図75(A)に示すような回折パターン(制限視野透過電子回折パターンともいう。)が現れる場合がある。この回折パターンには、InGaZnO₄の結晶の(009)面に起因するスポットが含まれる。したがって、電子回折によっても、C A A C - O S に含まれるペレットがc軸配向性を有し、c軸が被形成面または上面に略垂直な方向を向いていることがわかる。一方、同じ試料に対し、試料面に垂直にプロー

50

径が300 nmの電子線を入射させたときの回折パターンを図75(B)に示す。図75(B)より、リング状の回折パターンが確認される。したがって、電子回折によっても、CAAC-OSに含まれるペレットのa軸およびb軸は配向性を有さないことがわかる。なお、図75(B)における第1リングは、InGaZnO₄の結晶の(010)面および(100)面などに起因すると考えられる。また、図75(B)における第2リングは(110)面などに起因すると考えられる。

【0501】

また、CAAC-OSは、欠陥準位密度の低い酸化物半導体である。酸化物半導体の欠陥としては、例えば、不純物に起因する欠陥や、酸素欠損などがある。したがって、CAAC-OSは、不純物濃度の低い酸化物半導体ということもできる。また、CAAC-OSは、酸素欠損の少ない酸化物半導体ということもできる。

10

【0502】

酸化物半導体に含まれる不純物は、キャリアトラップとなる場合や、キャリア発生源となる場合がある。また、酸化物半導体中の酸素欠損は、キャリアトラップとなる場合や、水素を捕獲することによってキャリア発生源となる場合がある。

【0503】

なお、不純物は、酸化物半導体の主成分以外の元素で、水素、炭素、シリコン、遷移金属元素などがある。例えば、シリコンなどの、酸化物半導体を構成する金属元素よりも酸素との結合力の強い元素は、酸化物半導体から酸素を奪うことで酸化物半導体の原子配列を乱し、結晶性を低下させる要因となる。また、鉄やニッケルなどの重金属、アルゴン、二酸化炭素などは、原子半径(または分子半径)が大きいため、酸化物半導体の原子配列を乱し、結晶性を低下させる要因となる。

20

【0504】

また、欠陥準位密度の低い(酸素欠損が少ない)酸化物半導体は、キャリア密度を低くすることができる。そのような酸化物半導体を、高純度真性または実質的に高純度真性な酸化物半導体と呼ぶ。CAAC-OSは、不純物濃度が低く、欠陥準位密度が低い。即ち、高純度真性または実質的に高純度真性な酸化物半導体となりやすい。したがって、CAAC-OSを用いたトランジスタは、しきい値電圧がマイナスとなる電気特性(ノーマリーオンともいう。)になることが少ない。また、高純度真性または実質的に高純度真性な酸化物半導体は、キャリアトラップが少ない。酸化物半導体のキャリアトラップに捕獲された電荷は、放出するまでに要する時間が長く、あたかも固定電荷のように振る舞うことがある。そのため、不純物濃度が高く、欠陥準位密度が高い酸化物半導体を用いたトランジスタは、電気特性が不安定となる場合がある。一方、CAAC-OSを用いたトランジスタは、電気特性の変動が小さく、信頼性の高いトランジスタとなる。

30

【0505】

また、CAAC-OSは欠陥準位密度が低いため、光の照射などによって生成されたキャリアが、欠陥準位に捕獲されることが少ない。したがって、CAAC-OSを用いたトランジスタは、可視光や紫外光の照射による電気特性の変動が小さい。

【0506】

<微結晶酸化物半導体>

40

次に、微結晶酸化物半導体について説明する。

【0507】

微結晶酸化物半導体は、高分解能TEM像において、結晶部を確認することのできる領域と、明確な結晶部を確認することのできない領域と、を有する。微結晶酸化物半導体に含まれる結晶部は、1 nm以上100 nm以下、または1 nm以上10 nm以下の大きさであることが多い。特に、1 nm以上10 nm以下、または1 nm以上3 nm以下の微結晶であるナノ結晶を有する酸化物半導体を、nc-OS(nanocrystalline Oxide Semiconductor)と呼ぶ。nc-OSは、例えば、高分解能TEM像では、結晶粒界を明確に確認できない場合がある。なお、ナノ結晶は、CAAC-OSにおけるペレットと起源を同じくする可能性がある。そのため、以下ではnc-

50

OSの結晶部をペレットと呼ぶ場合がある。

【0508】

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、異なるペレット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、非晶質酸化物半導体と区別が付かない場合がある。例えば、nc-OSに対し、ペレットよりも大きい径のX線を用いるXRD装置を用いて構造解析を行うと、out-of-plane法による解析では、結晶面を示すピークが検出されない。また、nc-OSに対し、ペレット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回折（制限視野電子回折ともいう。）を行うと、ハローパターンのような回折パターンが観測される。一方、nc-OSに対し、ペレットの大きさと近いかペレットより小さいプローブ径の電子線を用いるナノビーム電子回折を行うと、スポットが観測される。また、nc-OSに対しナノビーム電子回折を行うと、円を描くように（リング状に）輝度の高い領域が観測される場合がある。さらに、リング状の領域内に複数のスポットが観測される場合がある。

10

【0509】

このように、ペレット（ナノ結晶）間では結晶方位が規則性を有さないことから、nc-OSを、RANC（Random Aligned nanocrystals）を有する酸化物半導体、またはNANC（Non-Aligned nanocrystals）を有する酸化物半導体と呼ぶこともできる。

20

【0510】

nc-OSは、非晶質酸化物半導体よりも規則性の高い酸化物半導体である。そのため、nc-OSは、非晶質酸化物半導体よりも欠陥準位密度が低くなる。ただし、nc-OSは、異なるペレット間で結晶方位に規則性が見られない。そのため、nc-OSは、CAAC-OSと比べて欠陥準位密度が高くなる。

【0511】

<非晶質酸化物半導体>

次に、非晶質酸化物半導体について説明する。

【0512】

非晶質酸化物半導体は、膜中における原子配列が不規則であり、結晶部を有さない酸化物半導体である。石英のような無定形状態を有する酸化物半導体が一例である。

30

【0513】

非晶質酸化物半導体は、高分解能TEM像において結晶部を確認することができない。

【0514】

非晶質酸化物半導体に対し、XRD装置を用いた構造解析を行うと、out-of-plane法による解析では、結晶面を示すピークが検出されない。また、非晶質酸化物半導体に対し、電子回折を行うと、ハローパターンが観測される。また、非晶質酸化物半導体に対し、ナノビーム電子回折を行うと、スポットが観測されず、ハローパターンのみが観測される。

40

【0515】

非晶質構造については、様々な見解が示されている。例えば、原子配列に全く秩序性を有さない構造を完全な非晶質構造（completely amorphous structure）と呼ぶ場合がある。また、最近接原子間距離または第2近接原子間距離まで秩序性を有し、かつ長距離秩序性を有さない構造を非晶質構造と呼ぶ場合もある。したがって、最も厳格な定義によれば、僅かでも原子配列に秩序性を有する酸化物半導体を非晶質酸化物半導体と呼ぶことはできない。また、少なくとも、長距離秩序性を有する酸化物半導体を非晶質酸化物半導体と呼ぶことはできない。よって、結晶部を有することから、例えば、CAAC-OSおよびnc-OSを、非晶質酸化物半導体または完全な非晶質酸化物半導体と呼ぶことはできない。

【0516】

50

<非晶質ライク酸化物半導体>

なお、酸化物半導体は、nc-OSと非晶質酸化物半導体との間の構造を有する場合がある。そのような構造を有する酸化物半導体を、特に非晶質ライク酸化物半導体(a-like OS: amorphous-like Oxide Semiconductor)と呼ぶ。

【0517】

a-like OSは、高分解能TEM像において鬆(ポイドともいう。)が観察される場合がある。また、高分解能TEM像において、明確に結晶部を確認することのできる領域と、結晶部を確認することのできない領域と、を有する。

【0518】

鬆を有するため、a-like OSは、不安定な構造である。以下では、a-like OSが、CAAC-OSおよびnc-OSと比べて不安定な構造であることを示すため、電子照射による構造の変化を示す。

【0519】

電子照射を行う試料として、a-like OS(試料Aと表記する。)、nc-OS(試料Bと表記する。)およびCAAC-OS(試料Cと表記する。)を準備する。いずれの試料もIn-Ga-Zn酸化物である。

【0520】

まず、各試料の高分解能断面TEM像を取得する。高分解能断面TEM像により、各試料は、いずれも結晶部を有することがわかる。

【0521】

なお、どの部分を一つの結晶部と見なすかの判定は、以下のように行えばよい。例えば、InGaZnO₄の結晶の単位格子は、In-O層を3層有し、またGa-Zn-O層を6層有する、計9層がc軸方向に層状に重なった構造を有することが知られている。これらの近接する層同士の間隔は、(009)面の格子面間隔(d値ともいう。)と同程度であり、結晶構造解析からその値は0.29nmと求められている。したがって、格子縞の間隔が0.28nm以上0.30nm以下である箇所を、InGaZnO₄の結晶部と見なすことができる。なお、格子縞は、InGaZnO₄の結晶のa-b面に対応する。

【0522】

図76は、各試料の結晶部(22箇所から45箇所)の平均の大きさを調査した例である。ただし、上述した格子縞の長さを結晶部の大きさとしている。図76より、a-like OSは、電子の累積照射量に応じて結晶部が大きくなっていくことがわかる。具体的には、図76中に(1)で示すように、TEMによる観察初期においては1.2nm程度の大きさだった結晶部(初期核ともいう。)が、累積照射量が $4.2 \times 10^8 \text{ e}^- / \text{nm}^2$ においては2.6nm程度の大きさまで成長していることがわかる。一方、nc-OSおよびCAAC-OSは、電子照射開始時から電子の累積照射量が $4.2 \times 10^8 \text{ e}^- / \text{nm}^2$ までの範囲で、結晶部の大きさに変化が見られないことがわかる。具体的には、図76中の(2)および(3)で示すように、電子の累積照射量によらず、nc-OSおよびCAAC-OSの結晶部の大きさは、それぞれ1.4nm程度および2.1nm程度であることがわかる。

【0523】

このように、a-like OSは、電子照射によって結晶部の成長が見られる場合がある。一方、nc-OSおよびCAAC-OSは、電子照射による結晶部の成長がほとんど見られないことがわかる。即ち、a-like OSは、nc-OSおよびCAAC-OSと比べて、不安定な構造であることがわかる。

【0524】

また、鬆を有するため、a-like OSは、nc-OSおよびCAAC-OSと比べて密度の低い構造である。具体的には、a-like OSの密度は、同じ組成の単結晶の密度の78.6%以上92.3%未満となる。また、nc-OSの密度およびCAAC-OSの密度は、同じ組成の単結晶の密度の92.3%以上100%未満となる。単結

10

20

30

40

50

晶の密度の78%未満となる酸化物半導体は、成膜すること自体が困難である。

【0525】

例えば、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=1:1:1$ [原子数比] を満たす酸化物半導体において、菱面体晶構造を有する単結晶 InGaZnO_4 の密度は 6.357 g/cm^3 となる。よって、例えば、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=1:1:1$ [原子数比] を満たす酸化物半導体において、*a-like OS* の密度は 5.0 g/cm^3 以上 5.9 g/cm^3 未満となる。また、例えば、 $\text{In}:\text{Ga}:\text{Zn}=1:1:1$ [原子数比] を満たす酸化物半導体において、*nc-OS* の密度および *CAAC-OS* の密度は 5.9 g/cm^3 以上 6.3 g/cm^3 未満となる。

【0526】

なお、同じ組成の単結晶が存在しない場合がある。その場合、任意の割合で組成の異なる単結晶を組み合わせることにより、所望の組成における単結晶に相当する密度を見積もることができる。所望の組成の単結晶に相当する密度は、組成の異なる単結晶を組み合わせる割合に対して、加重平均を用いて見積もればよい。ただし、密度は、可能な限り少ない種類の単結晶を組み合わせで見積もることが好ましい。

【0527】

以上のように、酸化物半導体は、様々な構造をとり、それぞれが様々な特性を有する。なお、酸化物半導体は、例えば、非晶質酸化物半導体、*a-like OS*、微結晶酸化物半導体、*CAAC-OS* のうち、二種以上を有する積層膜であってもよい。

【0528】

<成膜モデル>

以下では、*CAAC-OS* および *nc-OS* の成膜モデルの一例について説明する。

【0529】

図77(A)は、スパッタリング法により *CAAC-OS* が成膜される様子を示した成膜室内の模式図である。

【0530】

ターゲット5130は、バックグプレートに接着されている。バックグプレートを介してターゲット5130と向かい合う位置には、複数のマグネットが配置される。該複数のマグネットによって磁場が生じている。マグネットの磁場を利用して成膜速度を高めるスパッタリング法は、マグネトロンスパッタリング法と呼ばれる。

【0531】

基板5120は、ターゲット5130と向かい合うように配置しており、その距離 d (ターゲット-基板間距離 (T-S間距離) ともいう。) は 0.01 m 以上 1 m 以下、好ましくは 0.02 m 以上 0.5 m 以下とする。成膜室内は、ほとんどが成膜ガス (例えば、酸素、アルゴン、または酸素を5体積%以上の割合で含む混合ガス) で満たされ、 0.01 Pa 以上 100 Pa 以下、好ましくは 0.1 Pa 以上 10 Pa 以下に制御される。ここで、ターゲット5130に一定以上の電圧を印加することで、放電が始まり、プラズマが確認される。なお、ターゲット5130の近傍には磁場によって、高密度プラズマ領域が形成される。高密度プラズマ領域では、成膜ガスがイオン化することで、イオン5101が生じる。イオン5101は、例えば、酸素の陽イオン (O^+) やアルゴンの陽イオン (Ar^+) などである。

【0532】

ここで、ターゲット5130は、複数の結晶粒を有する多結晶構造を有し、いずれかの結晶粒には劈開面が含まれる。図78(A)に、一例として、ターゲット5130に含まれる InGaZnO_4 の結晶の構造を示す。なお、図78(A)は、*b* 軸に平行な方向から InGaZnO_4 の結晶を観察した場合の構造である。図78(A)より、近接する二つの *Ga-Zn-O* 層において、それぞれの層における酸素原子同士が近距離に配置されていることがわかる。そして、酸素原子が負の電荷を有することにより、近接する二つの *Ga-Zn-O* 層の間には斥力が生じる。その結果、 InGaZnO_4 の結晶は、近接する二つの *Ga-Zn-O* 層の間に劈開面を有する。

10

20

30

40

50

【0533】

高密度プラズマ領域で生じたイオン5101は、電界によってターゲット5130側に加速され、やがてターゲット5130と衝突する。このとき、劈開面から平板状またはペレット状のスputタ粒子であるペレット5100aおよびペレット5100bが剥離し、叩き出される。なお、ペレット5100aおよびペレット5100bは、イオン5101の衝突の衝撃によって、構造に歪みが生じる場合がある。

【0534】

ペレット5100aは、三角形、例えば正三角形の平面を有する平板状またはペレット状のスputタ粒子である。また、ペレット5100bは、六角形、例えば正六角形の平面を有する平板状またはペレット状のスputタ粒子である。なお、ペレット5100aおよびペレット5100bなどの平板状またはペレット状のスputタ粒子を総称してペレット5100と呼ぶ。ペレット5100の平面の形状は、三角形、六角形に限定されない、例えば、三角形が複数個合わさった形状となる場合がある。例えば、三角形（例えば、正三角形）が2個合わさった四角形（例えば、ひし形）となる場合もある。

【0535】

ペレット5100は、成膜ガスの種類などに応じて厚さが決定する。理由は後述するが、ペレット5100の厚さは、均一にすることが好ましい。また、スputタ粒子は厚みのないペレット状である方が、厚みのあるサイコロ状であるよりも好ましい。例えば、ペレット5100は、厚さを0.4nm以上1nm以下、好ましくは0.6nm以上0.8nm以下とする。また、例えば、ペレット5100は、幅を1nm以上3nm以下、好ましくは1.2nm以上2.5nm以下とする。ペレット5100は、上述の図76中の(1)で説明した初期核に相当する。例えば、In-Ga-Zn酸化物を有するターゲット5130にイオン5101を衝突させると、図78(B)に示すように、Ga-Zn-O層、In-O層およびGa-Zn-O層の3層を有するペレット5100が剥離する。図78(C)に、剥離したペレット5100をc軸に平行な方向から観察した構造を示す。ペレット5100は、二つのGa-Zn-O層と、In-O層と、を有するナノサイズのサンドイッチ構造と呼ぶこともできる。

【0536】

ペレット5100は、プラズマを通過する際に、側面が負または正に帯電する場合がある。ペレット5100は、例えば、側面に位置する酸素原子が負に帯電する可能性がある。側面が同じ極性の電荷を有することにより、電荷同士の反発が起こり、平板状またはペレット状の形状を維持することが可能となる。なお、CAAC-OSが、In-Ga-Zn酸化物である場合、インジウム原子と結合した酸素原子が負に帯電する可能性がある。または、インジウム原子、ガリウム原子または亜鉛原子と結合した酸素原子が負に帯電する可能性がある。また、ペレット5100は、プラズマを通過する際に、プラズマ中のインジウム原子、ガリウム原子、亜鉛原子および酸素原子などと結合することで成長する場合がある。上述の図76中の(2)と(1)の大きさの違いが、プラズマ中での成長分に相当する。ここで、基板5120が室温程度である場合、基板5120上におけるペレット5100の成長が起こりにくいためnc-OSとなる(図77(B)参照。)。室温程度で成膜できることから、基板5120が大面積である場合でもnc-OSの成膜が可能である。なお、ペレット5100をプラズマ中で成長させるためには、スputタリング法における成膜電力を高くすることが有効である。成膜電力を高くすることで、ペレット5100の構造を安定にすることができる。

【0537】

図77(A)および図77(B)に示すように、例えば、ペレット5100は、プラズマ中を凧のように飛翔し、ひらひらと基板5120上まで舞い上がっていく。ペレット5100は電荷を帯びているため、ほかのペレット5100が既に堆積している領域が近づくとき、斥力が生じる。ここで、基板5120の上面上では、基板5120の上面に平行な向きの磁場(水平磁場ともいう。)が生じている。また、基板5120およびターゲット5130間には、電位差が与えられるため、基板5120からターゲット5130に向かう

10

20

30

40

50

方向に電流が流れる。したがって、ペレット5100は、基板5120の上面において、磁場および電流の作用によって、力（ローレンツ力）を受ける。このことは、フレミングの左手の法則によって理解できる。

【0538】

ペレット5100は、原子一つと比べると質量が大きい。そのため、基板5120の上面を移動するためには何らかの力を外部から印加することが重要となる。その力の一つが磁場および電流の作用で生じる力である可能性がある。なお、ペレット5100に、基板5120の上面を移動するために十分な力を与えるには、基板5120の上面において、基板5120の上面に平行な向きの磁場が10G以上、好ましくは20G以上、さらに好ましくは30G以上、より好ましくは50G以上となる領域を設けるとよい。または、基板5120の上面において、基板5120の上面に平行な向きの磁場が、基板5120の上面に垂直な向きの磁場の1.5倍以上、好ましくは2倍以上、さらに好ましくは3倍以上、より好ましくは5倍以上となる領域を設けるとよい。

10

【0539】

このとき、マグネットと基板5120とが相対的に移動すること、または回転することによって、基板5120の上面における水平磁場の向きは変化し続ける。したがって、基板5120の上面において、ペレット5100は、様々な方向から力を受け、様々な方向へ移動することができる。

【0540】

また、図77(A)に示すように基板5120が加熱されている場合、ペレット5100と基板5120との間で摩擦などによる抵抗が小さい状態となっている。その結果、ペレット5100は、基板5120の上面を滑空するように移動する。ペレット5100の移動は、平板面を基板5120に向けた状態で起こる。その後、既に堆積しているほかのペレット5100の側面まで到達すると、側面同士が結合する。このとき、ペレット5100の側面にある酸素原子が脱離する。脱離した酸素原子によって、CAAC-Os中の酸素欠損が埋まる場合があるため、欠陥準位密度の低いCAAC-Osとなる。なお、基板5120の上面の温度は、例えば、100以上500未満、150以上450未満、または170以上400未満とすればよい。したがって、基板5120が大面積である場合でもCAAC-Osの成膜は可能である。

20

【0541】

また、ペレット5100は、基板5120上で加熱されることにより、原子が再配列し、イオン5101の衝突で生じた構造の歪みが緩和される。歪みの緩和されたペレット5100は、ほとんど単結晶となる。ペレット5100がほとんど単結晶となることにより、ペレット5100同士が結合した後に加熱されたとしても、ペレット5100自体の伸縮はほとんど起こり得ない。したがって、ペレット5100間の隙間が広がることで結晶粒界などの欠陥を形成し、クレバス化することがない。

30

【0542】

また、CAAC-Osは、単結晶酸化物半導体が一枚板のようになっているのではなく、ペレット5100（ナノ結晶）の集合体がレンガまたはブロックが積み重なったような配列をしている。また、ペレット5100同士の間には結晶粒界を有さない。そのため、成膜時の加熱、成膜後の加熱または曲げなどで、CAAC-Osに縮みなどの変形が生じた場合でも、局部応力を緩和する、または歪みを逃がすことが可能である。したがって、可とう性を有する半導体装置に用いることに適した構造である。なお、nc-Osは、ペレット5100（ナノ結晶）が無秩序に積み重なったような配列となる。

40

【0543】

ターゲット5130をイオン5101でスパッタした際に、ペレット5100だけでなく、酸化亜鉛などが剥離する場合がある。酸化亜鉛はペレット5100よりも軽量であるため、先に基板5120の上面に到達する。そして、0.1nm以上10nm以下、0.2nm以上5nm以下、または0.5nm以上2nm以下の酸化亜鉛層5102を形成する。図79に断面模式図を示す。

50

【0544】

図79(A)に示すように、酸化亜鉛層5102上にはペレット5105aと、ペレット5105bと、が堆積する。ここで、ペレット5105aとペレット5105bとは、互いに側面が接するように配置している。また、ペレット5105cは、ペレット5105b上に堆積した後、ペレット5105b上を滑るように移動する。また、ペレット5105aの別の側面において、酸化亜鉛とともにターゲットから剥離した複数の粒子5103が、基板5120からの加熱により結晶化し、領域5105a1を形成する。なお、複数の粒子5103は、酸素、亜鉛、インジウムおよびガリウムなどを含む可能性がある。

【0545】

そして、図79(B)に示すように、領域5105a1は、ペレット5105aと一体化し、ペレット5105a2となる。また、ペレット5105cは、その側面がペレット5105bの別の側面と接するように配置する。

10

【0546】

次に、図79(C)に示すように、さらにペレット5105dがペレット5105a2上およびペレット5105b上に堆積した後、ペレット5105a2上およびペレット5105b上を滑るように移動する。また、ペレット5105cの別の側面に向けて、さらにペレット5105eが酸化亜鉛層5102上を滑るように移動する。

【0547】

そして、図79(D)に示すように、ペレット5105dは、その側面がペレット5105a2の側面と接するように配置する。また、ペレット5105eは、その側面がペレット5105cの別の側面と接するように配置する。また、ペレット5105dの別の側面において、酸化亜鉛とともにターゲット5130から剥離した複数の粒子5103が基板5120からの加熱により結晶化し、領域5105d1を形成する。

20

【0548】

以上のように、堆積したペレット同士が接するように配置し、ペレットの側面において成長が起こることで、基板5120上にCAAC-Osが形成される。したがって、CAAC-Osは、nc-Osよりも一つ一つのペレットが大きくなる。上述の図76中の(3)と(2)の大きさの違いが、堆積後の成長分に相当する。

【0549】

また、ペレット同士の隙間が極めて小さくなることで、一つの大きなペレットが形成される場合がある。一つの大きなペレットは、単結晶構造を有する。例えば、ペレットの大きさが、上面から見て10nm以上200nm以下、15nm以上100nm以下、または20nm以上50nm以下となる場合がある。このとき、微細なトランジスタに用いる酸化物半導体において、チャンネル形成領域が一つの大きなペレットに収まる場合がある。即ち、単結晶構造を有する領域をチャンネル形成領域として用いることができる。また、ペレットが大きくなることで、単結晶構造を有する領域をトランジスタのチャンネル形成領域、ソース領域およびドレイン領域として用いることができる場合がある。

30

【0550】

このように、トランジスタのチャンネル形成領域などが、単結晶構造を有する領域に形成されることによって、トランジスタの周波数特性を高くすることができる場合がある。

40

【0551】

以上のようなモデルにより、ペレット5100が基板5120上に堆積していくと考えられる。被形成面が結晶構造を有さない場合においても、CAAC-Osの成膜が可能であることから、エピタキシャル成長とは異なる成長機構であることがわかる。また、CAAC-Osは、レーザ結晶化が不要であり、大面積のガラス基板などであっても均一な成膜が可能である。例えば、基板5120の上面(被形成面)の構造が非晶質構造(例えば非晶質酸化シリコン)であっても、CAAC-Osを成膜することは可能である。

【0552】

また、CAAC-Osは、被形成面である基板5120の上面に凹凸がある場合でも、その形状に沿ってペレット5100が配列することがわかる。例えば、基板5120の上

50

面が原子レベルで平坦な場合、ペレット5100はa - b面と平行な平面である平板面を下に向けて並置する。ペレット5100の厚さが均一である場合、厚さが均一で平坦、かつ高い結晶性を有する層が形成される。そして、当該層がn段(nは自然数。)積み重ねることで、CAAC - OSを得ることができる。

【0553】

一方、基板5120の上面が凹凸を有する場合でも、CAAC - OSは、ペレット5100が凹凸に沿って並置した層がn段(nは自然数。)積み重なった構造となる。基板5120が凹凸を有するため、CAAC - OSは、ペレット5100間に隙間が生じやすい場合がある。ただし、この場合でも、ペレット5100間で分子間力が働き、凹凸があってもペレット間の隙間はなるべく小さくなるように配列する。したがって、凹凸があっても高い結晶性を有するCAAC - OSとすることができる。

10

【0554】

このようなモデルによってCAAC - OSが成膜されるため、スパッタ粒子が厚みのないペレット状である方が好ましい。なお、スパッタ粒子が厚みのあるサイコロ状である場合、基板5120上に向ける面が一定とならず、厚さや結晶の配向を均一にできない場合がある。

【0555】

以上に示した成膜モデルにより、非晶質構造を有する被形成面上であっても、高い結晶性を有するCAAC - OSを得ることができる。

【0556】

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

20

【0557】

(実施の形態11)

本実施の形態では、本発明の一態様の表示装置が適用された電子機器の構成例について説明する。また、本実施の形態では、本発明の一態様の表示装置を適用した表示モジュールについて、図53を用いて説明を行う。

【0558】

図53に示す表示モジュール8000は、上部カバー8001と下部カバー8002との間に、FPC8003に接続されたタッチパネル8004、FPC8005に接続された表示パネル8006、バックライトユニット8007、フレーム8009、プリント基板8010、バッテリー8011を有する。なお、バックライトユニット8007、バッテリー8011、タッチパネル8004などは、設けられない場合もある。

30

【0559】

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

【0560】

上部カバー8001及び下部カバー8002は、タッチパネル8004及び表示パネル8006のサイズに合わせて、形状や寸法を適宜変更することができる。

【0561】

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

40

【0562】

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

【0563】

フレーム8009は、表示パネル8006の保護機能の他、プリント基板8010の動

50

作により発生する電磁波を遮断するための電磁シールドとしての機能を有する。またフレーム 8009 は、放熱板としての機能を有していてもよい。

【0564】

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

【0565】

また、表示モジュール 8000 には、偏光板、位相差板、プリズムシートなどの部材を追加して設けてもよい。

10

【0566】

図 5 4 は、本発明の一態様の表示装置を含む電子機器の外観図である。

【0567】

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

【0568】

図 5 4 (A) は、携帯型の情報端末であり、本体 1001、筐体 1002、表示部 1003a、1003b などによって構成されている。表示部 1003b はタッチパネルとなっており、表示部 1003b に表示されるキーボードボタン 1004 を触れることで画面操作や、文字入力を行うことができる。勿論、表示部 1003a をタッチパネルとして構成してもよい。上記実施の形態で示したトランジスタをスイッチング素子として液晶パネルや有機発光パネルを作製して表示部 1003a、1003b に適用することにより、信頼性の高い携帯型の情報端末とすることができる。

20

【0569】

図 5 4 (A) に示す携帯型の情報端末は、様々な情報（静止画、動画、テキスト画像など）を表示する機能、カレンダー、日付又は時刻などを表示部に表示する機能、表示部に表示した情報を操作又は編集する機能、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、等を有することができる。また、筐体の裏面や側面に、外部接続用端子（イヤホン端子、USB 端子など）、記録媒体挿入部などを備える構成としてもよい。

30

【0570】

また、図 5 4 (A) に示す携帯型の情報端末は、無線で情報を送受信できる構成としてもよい。無線により、電子書籍サーバから、所望の書籍データなどを購入し、ダウンロードする構成とすることも可能である。

【0571】

図 5 4 (B) は、携帯音楽プレイヤーであり、本体 1021 には表示部 1023 と、耳に装着するための固定部 1022 と、スピーカー、操作ボタン 1024、外部メモリスロット 1025 等が設けられている。上記実施の形態で示したトランジスタをスイッチング素子として液晶パネルや有機発光パネルを作製して表示部 1023 に適用することにより、より信頼性の高い携帯音楽プレイヤーとすることができる。

40

【0572】

さらに、図 5 4 (B) に示す携帯音楽プレイヤーにアンテナやマイク機能や無線機能を持たせ、携帯電話と連携させれば、乗用車などを運転しながらワイヤレスによるハンズフリーでの会話も可能である。

【0573】

図 5 4 (C) は、携帯電話であり、筐体 1030 及び筐体 1031 の二つの筐体で構成されている。筐体 1031 には、表示パネル 1032、スピーカー 1033、マイクロフォン 1034、ポインティングデバイス 1036、カメラ 1037、外部接続端子 103

50

8などを備えている。また、筐体1030には、携帯電話の充電を行う太陽電池1040、外部メモリスロット1041などを備えている。また、アンテナは筐体1031内部に内蔵されている。上記実施の形態で説明するトランジスタを表示パネル1032に適用することにより、信頼性の高い携帯電話とすることができる。

【0574】

また、表示パネル1032はタッチパネルを備えており、図54(C)には映像表示されている複数の操作キー1035を点線で示している。なお、太陽電池1040で出力される電圧を各回路に必要な電圧に昇圧するための昇圧回路も実装している。

【0575】

表示パネル1032は、使用形態に応じて表示の方向が適宜変化する。また、表示パネル1032と同一面上にカメラ1037を備えているため、テレビ電話が可能である。スピーカー1033及びマイクロフォン1034は音声通話に限らず、テレビ電話、録音、再生などが可能である。さらに、筐体1030と筐体1031は、スライドし、図54(C)のように展開している状態から重なり合った状態とすることができ、携帯に適した小型化が可能である。

10

【0576】

外部接続端子1038はACアダプタ及びUSBケーブルなどの各種ケーブルと接続可能であり、充電及びパーソナルコンピュータなどとのデータ通信が可能である。また、外部メモリスロット1041に記録媒体を挿入し、より大量のデータ保存及び移動に対応できる。

20

【0577】

また、上記機能に加えて、赤外線通信機能、テレビ受信機能などを備えたものであってもよい。

【0578】

図54(D)は、テレビジョン装置の一例を示している。テレビジョン装置1050は、筐体1051に表示部1053が組み込まれている。表示部1053により、映像を表示することが可能である。また、筐体1051を支持するスタンド1055にCPUが内蔵されている。上記実施の形態で説明するトランジスタを表示部1053及びCPUに適用することにより、信頼性の高いテレビジョン装置1050とすることができる。

【0579】

テレビジョン装置1050の操作は、筐体1051が備える操作スイッチや、別体のリモートコントローラにより行うことができる。また、リモコン操作機に、当該リモコン操作機から出力する情報を表示する表示部を設ける構成としてもよい。

30

【0580】

なお、テレビジョン装置1050は、受信機やモデムなどを備えた構成とする。受信機により一般のテレビ放送の受信を行うことができ、さらにモデムを介して有線または無線による通信ネットワークに接続することにより、一方向(送信者から受信者)または双方向(送信者と受信者間、あるいは受信者間同士など)の情報通信を行うことも可能である。

【0581】

また、テレビジョン装置1050は、外部接続端子1054や、記憶媒体再生録画部1052、外部メモリスロットを備えている。外部接続端子1054は、USBケーブルなどの各種ケーブルと接続可能であり、パーソナルコンピュータなどとのデータ通信が可能である。記憶媒体再生録画部1052では、ディスク状の記録媒体を挿入し、記録媒体に記憶されているデータの読み出し、記録媒体への書き込みが可能である。また、外部メモリスロットに差し込まれた外部メモリ1056にデータ保存されている画像や映像などを表示部1053に映し出すことも可能である。

40

【0582】

また、上記実施の形態で説明するトランジスタのオフリーク電流が極めて小さい場合は、当該トランジスタを外部メモリ1056やCPUに適用することにより、消費電力が十

50

分に低減された信頼性の高いテレビジョン装置 1050 とすることができる。

【0583】

図54(E)示す携帯情報端末は、筐体1101と、筐体1101の表面に表示可能に設けられた表示パネル1110を備える。

【0584】

筐体1101は、上面、裏面、第1の側面、第1の側面に接する第2の側面、第1の側面と対向する第3の側面、第2の側面と対向する第4の側面とを有する表面形状を有する。

【0585】

表示パネル1110は、筐体1101の上面と重なる第1の表示領域1111、筐体1101の側面の一つと重なる第2の表示領域1112、筐体1101の側面の他の一つと重なる第3の表示領域1113、第2の表示領域と対向する第4の表示領域1114を有する。

10

【0586】

筐体1101の4つの側面において、少なくとも表示パネル1110と重なる領域は、曲面形状を有することが好ましい。例えば、上面と側面、および側面と裏面との間に角部を有さず、これらの面が連続していることが好ましい。また、側面の形状が、筐体1101の上面から裏面にかけて接線の傾きが連続するような曲面を有することが好ましい。

【0587】

なお、筐体1101の表面には表示パネル1110のほか、ハードウェアボタンや外部接続端子等を有していてもよい。また、表示パネル1110と重なる位置、具体的には各表示領域と重なる領域にはタッチセンサを有していることが好ましい。

20

【0588】

図54(E)に示す携帯情報端末は、筐体の上面に平行な面にのみ表示するのではなく、筐体の側面にも表示を行うことが可能となる。特に、筐体の2以上の側面に沿って表示領域を設けると、表示の多様性がより高まるため好ましい。

【0589】

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

【実施例1】

30

【0590】

本実施例では、実施の形態1に示すような、低抵抗化した酸化物半導体膜の水素(H)濃度、抵抗率、及び透過率を調べた結果を、図55及び図56に示す。

【0591】

<水素(H)濃度及び抵抗率>

本実施例においては、不純物濃度測定用の試料として、試料A1及び試料A2を作製した。

【0592】

まず、はじめに試料A1の作製方法を以下に示す。

【0593】

40

試料A1は、ガラス基板上に、厚さ100nmのIn-M-Zn酸化物膜(以下、IGZO膜と示す。また、図55においてIGZOと示す。)を成膜した。次に、窒素雰囲気中で450、1時間の熱処理を行い、続けて窒素と酸素の混合ガス雰囲気(窒素=80%、酸素=20%)で450、1時間の熱処理を行った。その後、厚さ100nmの窒化シリコン膜(図55においてSiNと示す。)を成膜した。

【0594】

なお、IGZO膜の成膜条件としては、スパッタリング法にて、金属酸化物ターゲット(In:Ga:Zn=1:1:1)を用い、50vol%の酸素(アルゴン希釈)をスパッタリングガスとして用い、圧力=0.6Pa、成膜電力=5000W、基板温度=170の条件を用いた。

50

【0595】

また、窒化シリコン膜の成膜条件としては、プラズマCVD法にて、 $\text{SiH}_4 / \text{N}_2 / \text{NH}_3 = 50 / 5000 / 100 \text{ sccm}$ 、圧力 = 100 Pa 、成膜電力 = 1000 W 、基板温度 = 220 の条件を用いた。以上の工程により、試料A1を作製した。

【0596】

次に、試料A2の作製方法を以下に示す。

【0597】

ガラス基板上に厚さ 100 nm のIGZO膜(図55においてIGZOと示す。)を成膜した。次に、窒素雰囲気中で 450 、1時間の熱処理を行い、続けて窒素と酸素の混合ガス雰囲気(窒素 = 80% 、酸素 = 20%)で 450 、1時間の熱処理を行った。その後、厚さ 450 nm の酸化窒化シリコン膜(図55においてSiONと示す。)及び厚さ 100 nm の窒化シリコン膜を積層して成膜した。

10

【0598】

なお、IGZO膜の成膜条件、及び窒化シリコン膜の成膜条件としては、試料A1と同様の条件を用いた。また、酸化窒化シリコン膜の成膜条件としては、プラズマCVD法にて、 $\text{SiH}_4 / \text{N}_2\text{O} = 30 / 4000 \text{ sccm}$ 、圧力 = 40 Pa 、成膜電力 = 150 W 、基板温度 = 220 の条件で 50 nm の厚さの酸化窒化シリコン膜を成膜し、その後、プラズマCVD法にて、 $\text{SiH}_4 / \text{N}_2\text{O} = 160 / 4000 \text{ sccm}$ 、圧力 = 200 Pa 、成膜電力 = 1500 W 、基板温度 = 220 の条件で 400 nm の厚さの酸化窒化シリコン膜を成膜した。以上の工程により、試料A2を作製した。

20

【0599】

試料A1及び試料A2の不純物分析結果を図55に示す。

【0600】

なお、不純物分析としては、二次イオン質量分析法(SIMS: Secondary Ion Mass Spectrometry)を用い、ガラス基板側から測定を行った。

【0601】

また、図55において、実線は、試料A1の測定により得られた水素(H)の濃度プロファイルであり、破線は、試料A2の測定により得られた水素(H)の濃度プロファイルである。

30

【0602】

図55より、試料A1におけるIGZO膜中の水素(H)濃度は、 $1.0 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ であることがわかる。また、試料A2におけるIGZO膜中の水素(H)濃度は、 $5.0 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ であることがわかる。

【0603】

なお、SIMS分析は、その測定原理上、試料表面近傍や、材質が異なる膜との積層界面近傍のデータを正確に得ることが困難であることが知られている。そこで、膜中における水素(H)の厚さ方向の分布を、SIMSで分析する場合、対象となる膜の存在する範囲において、極端な変動が無く、ほぼ一定の強度が得られる領域における平均値を採用する。

40

【0604】

このように、IGZO膜に接する絶縁膜の構成元素を変えることにより、IGZO膜中の水素(H)濃度に差があることが確認された。酸化窒化シリコン膜と接するIGZO膜と比較して、窒化シリコン膜と接するIGZO膜のほうが、水素(H)濃度が高いことがわかる。このことから、窒化シリコン膜からIGZO膜に、水素(H)が拡散していることがわかった。

【0605】

なお、試料A2に含まれるIGZO膜の抵抗率は、測定上限($1 \times 10^2 \text{ [cm]}$)以上であるのに対し、試料A1に含まれるIGZO膜では抵抗率が $= 3.6 \times 10^{-3} \text{ [cm]}$ にまで低下していた。この抵抗率は、透光性を有する導電膜の一例であるIT

50

O膜に比肩するほどの値である。

【0606】

<透過率>

次に、低抵抗化した酸化物半導体膜の透過率に関して説明する。

【0607】

はじめに、試料A3の作製方法について説明する。

【0608】

ガラス基板上に厚さ50nmのIGZO膜を成膜し、その後、厚さ100nmの窒化シリコン膜を積層して成膜した。

【0609】

なお、IGZO膜の成膜条件としては、スパッタリング法にて、金属酸化物ターゲット(In:Ga:Zn=1:1:1)を用い、33vol%の酸素(アルゴン希釈)をスパッタリングガスとして用い、圧力=0.4Pa、成膜電力=200W、基板温度=300の条件を用いた。

【0610】

また、窒化シリコン膜の成膜条件としては、プラズマCVD法にて、SiH₄/N₂/NH₃=50/5000/100sccm、圧力=100Pa、成膜電力=1000W、基板温度=350の条件を用いた。以上の工程により、試料A3を作製した。

【0611】

次に、試料A3において、可視光の透過率を測定した。測定された試料A3の透過率を図56に示す。試料A3において、透過率は広いエネルギー領域に対して80%以上になっており、低抵抗化した酸化物半導体膜は、透光性を有する電極として利用できるものと考えられる。

【実施例2】

【0612】

本実施例では、導電性を有する酸化物半導体の抵抗率がどのような状態に起因するものであるか調べるため、一定光電流測定法(Constant Photocurrent Method:CPM)、硬X線光電子分光(Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy:HX-PES)、SIMS、電子スピン共鳴(Electron Spin Resonance:ESR)、昇温脱離ガス分析(Thermal Desorption Spectroscopy:TDS)を用いた分析を行った。また、抵抗率の温度依存性についても測定を行った。

【0613】

<CPM>

はじめに、真空雰囲気における加熱処理と、酸化物半導体膜の酸素欠損量の関係をCPM測定により評価した。CPM測定では、深い準位を形成する欠陥における光吸収量を高感度で測定し、相対比較することができる。

【0614】

CPM測定を行った試料の作製方法について以下に説明する。

【0615】

ここでは、石英基板の上にスパッタリング法にてIGZO膜を成膜した後、IGZO膜に一对の電極を形成して、各試料を作製した。なお、一部の試料には、IGZO膜を形成した後、真空雰囲気(4×10⁻⁴Pa)で700または800の加熱処理を行った。各試料におけるIGZO膜の作製条件を表8に示す。なお、表8において、加熱処理を行っていない試料をas-depoと示し、真空雰囲気で700の加熱処理を行った試料を700vac.annealと示し、真空雰囲気で800の加熱処理を行った試料を800vac.annealと示す。

【0616】

10

20

30

40

【表 8】

	膜厚 [nm]	基板 温度	スパッタリング ガス	成膜 圧力 [Pa]	成膜電力 [W]	成膜後 加熱処理
as-depo	100	170°C	O ₂ =50%(Ar希釈)	0.6	DC=2.5kW	なし
700°C vac. Anneal	100	170°C	O ₂ =50%(Ar希釈)	0.6	DC=2.5kW	700°C
800°C vac. Anneal	100	170°C	O ₂ =50%(Ar希釈)	0.6	DC=2.5kW	800°C

10

【0617】

次に、各試料についてCPM測定を行った。CPM測定では、各試料に含まれるIGZO膜に接して設けられた一对の電極の間に電圧を印加した状態で、光電流値が一定となるように一对の電極の間の試料面に照射する光量を調整し、照射光量から吸収係数を導出することを各波長にて行うものである。CPM測定において、測定対象物に欠陥があるとき、欠陥の存在する準位に応じたエネルギー（波長より換算）における吸収係数が増加する。この吸収係数の増加分に定数を掛けることにより、測定対象物の欠陥密度を導出することができる。

【0618】

図57の上段に、各試料のCPMの測定結果を示す。CPM測定によって得られた吸収係数のカーブ（図57の上段の実線）から、バンドの裾に起因するアーバックテールと呼ばれる吸収係数（図57の上段の破線）分を除くことにより、局在準位による吸収係数を算出することができる。なお、アーバックテールとは、CPM測定によって得られた吸収係数のカーブにおいて一定の傾きを有する領域をいい、当該傾きをアーバックエネルギーという。図57の上段において、横軸は光エネルギーを表し、縦軸は吸収係数を表す。

20

【0619】

次に、図57の上段それぞれにける斜線領域の積分値を導出した結果を図57の下段に示す。図57の下段において、横軸は吸収係数を表し、縦軸は光エネルギーを表す。なお、図57の下段の縦軸において、IGZO膜の伝導帯の下端を0 eVとし、価電子帯の上端を3.5 eVとする。図57の下段において、実線で示す曲線は、各試料のバンドギャップ中の深い準位に相当する。各試料において、光エネルギーが1.6 eV以上2.8 eV以下の範囲において、バンドギャップ中の深い準位に起因する吸収が確認された。各試料におけるバンドギャップ中の深い準位による吸収係数の定量値を表9に示す。

30

【0620】

【表 9】

	Absorption coefficient due to defects[cm ⁻¹]
as-depo	1.5×10^{-2}
700°C vac. anneal	1.4×10^{-1}
800 °C vac. anneal	1.4×10^{-1}

40

表9より、バンドギャップ中の深い準位による吸収係数の定量値は、真空雰囲気加熱処理を行うことにより増加していることがわかる。なお、第一原理計算により、IGZO膜における酸素欠損V_oは、バンドギャップ中の深い位置に準位を形成することが示唆されているため、CPMで観測されているバンドギャップ中の深い準位も、酸素欠損V_oに対応していると推測される。即ち、真空雰囲気における加熱処理は、IGZO膜に酸素欠損V_oを生成するということが示唆される。

【0621】

<HX-PES(1)>

50

はじめに、HX-PE Sを用いて酸化物半導体膜のギャップ内準位を測定した。

【0622】

試料B1の作製方法について説明する。

【0623】

シリコンウェハ上に厚さ100nmのIGZO膜を成膜した。

【0624】

なお、IGZO膜の成膜条件としては、スパッタリング法にて、金属酸化物ターゲット(In:Ga:Zn=1:1:1)を用い、33vol%の酸素(アルゴン希釈)をスパッタリングガスとして用い、圧力=0.4Pa、成膜電力=500W、基板温度=300の条件を用いた。以上の工程により、試料B1を作製した。

10

【0625】

次に、試料B2の作製方法について説明する。

【0626】

試料B1と同様の条件を用いて、シリコンウェハ上に厚さ100nmのIGZO膜を形成した後、IGZO膜にアルゴンを添加して、酸素欠損を有するIGZO膜を形成した。

【0627】

ここでは、イオン注入法を用いてアルゴンイオンをIGZO膜中に添加して、膜中のアルゴン濃度が $1 \times 10^{20} [1/cm^3]$ であるIGZO膜を形成した。以上の工程により、試料B2を作製した。

【0628】

次に、試料B3の作製方法について説明する。

20

【0629】

試料B3は、試料B2を、133Pa、350の水素ガス雰囲気中で1時間加熱処理した。この結果、Hが導入されたIGZO膜を形成した。

【0630】

次に、試料B1、試料B2、及び試料B3をHX-PE S分析した結果を図58に示す。図58において、横軸は結合エネルギーを示し、縦軸は信号の強度(任意単位)を示す。

【0631】

図58において、横軸の結合エネルギーが0eVの位置は、フェルミレベルのおおよその位置を示している。フェルミレベルから約0.2eVの位置にギャップ内準位が確認される(以下、浅い準位という。)

30

【0632】

また、フェルミレベルから約2eV程度の位置にギャップ内準位が確認される(以下、深い準位という。)

【0633】

試料B1は、酸素欠損 V_O の量が少なく(V_O -poor)、水素濃度が低い(H-poor)。試料B2は、酸素欠損 V_O の量が多く(V_O -rich)、水素濃度が低い(H-poor)。試料B3は、酸素欠損 V_O の量が多く(V_O -rich)、水素濃度が高い(H-rich)。

40

【0634】

試料B3において、フェルミレベルから約0.2eVの位置に、強度の高い信号が観察される。このことから、酸化物半導体膜を低抵抗化するためには、フェルミレベルから約0.2eVの位置にある浅い準位が重要な役割を果たしているものと推測される。

【0635】

<SIMS>

次に、試料B1乃至試料B3におけるIGZO膜中の水素(H)濃度をSIMS分析した結果を、図59に示す。図59において、実線は試料B1の測定結果であり、破線は試料B2の測定結果であり、一点破線は試料B3の測定結果である。

【0636】

50

図59より、試料B2は、試料B1と比較して水素(H)濃度がほとんど変化していないことが分かる。一方、試料B3は、試料B1及び試料B2と比較して、水素(H)濃度が高く、具体的には、 $1 \times 10^{20} [1/cm^3]$ 程度の水素(H)が存在していることが分かる。

【0637】

更に、試料B2及び試料B3に示すように、Arが添加されたIGZO膜では、結晶構造の崩れによって、膜中の酸素欠損(V_o)濃度が上昇していると考えられる。また、酸素欠損(V_o)が増加することで、図58の試料B2及び試料B3に示すように、深い準位における信号の強度が増加している。一方、試料B2において、深い準位のみにおける信号の強度が増加しているが、試料B2に水素(H)が導入された試料B3において、深い準位における信号の強度は減少し、浅い準位における信号の強度が増加している。

10

【0638】

これらの結果から、IGZO膜を低抵抗化する要因となる浅い準位は、IGZO膜中に酸素欠損(V_o)及び水素(H)が存在することによって生じる H_o に起因するものと推測される。

【0639】

<ESR>

次に、IGZO膜中における酸素欠損(V_o)と水素(H)の挙動をより詳細に調べるため、ESR分析によるIGZO膜中の欠陥評価を行った。

【0640】

IGZO膜中におけるESRシグナルの起源を明確にするため、酸化物半導体(IGZO、酸化亜鉛、酸化ガリウム、酸化インジウム)の薄膜を有する試料のESR測定を行った。

20

【0641】

ここでは、石英基板上にスパッタリング法にて薄膜を成膜して、各試料を作製した。各試料における薄膜の作製条件を表10及び表11に示す。なお、成膜後に加熱処理を行っていない試料の作製条件を表10に示す。また、成膜後に加熱処理を行った試料の作製条件を表11に示す。

【0642】

【表10】

30

膜種	膜厚 [nm]	基板 温度	スパッタリング ガス	成膜 圧力 [Pa]	成膜電力 [W]	成膜後 加熱処理
IGZO(1:1:1)	100	室温	O2=33%(Ar希釈)	0.4	DC=200W	なし
酸化亜鉛	100	室温	O2=33%(Ar希釈)	0.4	DC=200W	なし
酸化ガリウム	100	200°C	O2=33%(Ar希釈)	0.4	RF=400W	なし
酸化インジウム	100	室温	O2=33%(Ar希釈)	0.4	DC=200W	なし

40

【0643】

【表 1 1】

膜種	膜厚 [nm]	基板 温度	スパッタリング ガス	成膜 圧力 [Pa]	成膜電力 [W]	成膜後 加熱処理
IGZO(1:1:1)	100	300°C	O ₂ =33%(Ar希釈)	0.4	DC=500W	450°C N ₂ 1hr
酸化亜鉛	100	200°C	O ₂ =33%(Ar希釈)	0.4	DC=200W	850°C N ₂ 1hr
酸化ガリウム	100	200°C	O ₂ =33%(Ar希釈)	0.4	RF=400W	850°C N ₂ 1hr
酸化インジウム	100	200°C	O ₂ =0%(Ar希釈)	0.4	DC=200W	850°C N ₂ 1hr

10

【0644】

表 1 0 に示す条件を用いて酸化物半導体膜を形成した試料について、E S R 測定を行った結果を図 6 0 に示す。図 6 0 において、横軸は磁場、縦軸は規格化された E S R シグナル強度を示す。I G Z O 膜、酸化亜鉛膜、酸化ガリウム膜、または酸化インジウム膜を有する試料のすべてにおいて、 $g = 2$ 付近に非対称な E S R シグナルが観測された。

【0645】

また、表 1 1 に示す条件を用いて酸化物半導体膜を形成した試料について、E S R 測定を行った結果を図 6 1 に示す。図 6 1 において、横軸は磁場、縦軸は規格化された E S R シグナル強度を示す。I G Z O 膜を有する試料では、 $g = 1.932$ に E S R シグナルが観測され、酸化亜鉛膜を有する試料では $g = 1.967$ に E S R シグナルが観測され、酸化インジウム膜を有する試料では $g = 1.877$ に E S R シグナルが観測された。一方、酸化ガリウム膜を有する試料では、E S R シグナルが観測されなかった。

20

【0646】

以上の結果より、窒素雰囲気での加熱処理を行った I G Z O 膜を有する試料で観測された $g = 1.93$ の E S R シグナルは、I G Z O の構成元素の酸化物で形成された、酸化亜鉛膜、酸化ガリウム膜、酸化インジウム膜とは異なる g 値をもつ E S R シグナルであることが確認された。また、I G Z O 膜を有する試料で観測された E S R シグナルは、自由電子の g 値 ($g = 2.0023$) よりも大幅に小さい g 値を持つ。このことから、I G Z O 膜を有する試料で観測された E S R シグナルが、金属元素に関連することが考えられる。

30

【0647】

次に、上記 I G Z O 膜を有する試料で観測された $g = 1.93$ の E S R シグナルの積分強度と、膜厚との関係について測定した。測定には、石英基板上に、20 nm から 100 nm の範囲で厚さを変化させた I G Z O 膜を成膜した試料を用いた。I G Z O 膜の作製条件として、スパッタリング法にて、金属酸化物ターゲット (In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1) を用い、33 vol % の酸素 (アルゴン希釈) をスパッタリングガスとして用い、圧力 = 0.4 Pa、成膜電力 = 500 W、基板温度 = 200 の条件を用いた。

【0648】

膜厚を変化させた I G Z O 膜についての E S R 測定の結果を図 6 2 に示す。図 6 2 において、横軸は各試料における I G Z O 膜の膜厚を示し、縦軸は $g = 1.93$ の E S R シグナルの積分強度を示す。上記試料からは、前述した $g = 1.93$ の E S R シグナルが観測された。なお、該 E S R シグナルを積分することにより、E S R シグナルの要因となるスピンの数を算出することができる。即ち、図 6 2 は、 $g = 1.93$ の E S R シグナルの積分強度から算出したスピン数の I G Z O 膜厚依存性を示しているといえる。図 6 2 より、I G Z O 膜における $g = 1.93$ の E S R シグナルの積分強度は、膜厚におおよそ比例していることが分かる。このことから、 $g = 1.93$ の E S R シグナルの起因となるスピンは、I G Z O 膜中に均一に存在しており、石英と I G Z O 膜の界面や I G Z O 膜の表面に局在していないことが確認された。

40

【0649】

次に、測定温度による $g = 1.93$ の E S R シグナルの変化を調査した結果を図 6 3 に

50

示す。図 6 3 において、横軸は $1000/T$ (T は絶対温度) を示し、左縦軸は $g = 1.93$ の ESR シグナルのシグナル強度を示し、右縦軸は ESR 線幅を示す。ここで、ESR 線幅とは、ローレンツ関数の一次微分形で出力される ESR 測定データにおいて、信号強度の最大値と最小値をとる磁場の間隔と定義する。また、シグナル強度とは、微分形で出力される ESR 測定データの信号強度を二階積分して算出した値を、室温での強度が 1 となるように規格化したものと定義した。図 6 3 より、 $g = 1.93$ の ESR シグナルのシグナル強度は、測定温度にほとんど依存しないことが分かる。また、ESR 線幅は、温度の低下により増加することが分かる。このような温度依存性は、グラファイトなどのパウリ常磁性体を ESR 測定して得られる ESR シグナルにみられる特徴である。即ち、図 6 3 に示すような温度依存性を有する ESR シグナルの起因は、伝導電子であることが示唆される。

10

【0650】

次に、IGZO 膜中における酸素欠損 (V_O) と水素 (H) の振る舞いをより詳細に調べるため、真空雰囲気における加熱処理及び減圧 H_2 雰囲気における加熱処理によって、それぞれ酸素欠損 (V_O)、水素 (H) を IGZO 膜中に導入した試料を詳細に分析した。ここでは、異なる加熱処理の条件を用いることより、試料 B 5 乃至試料 B 1 2 を作製した。各試料の加熱処理条件を、表 1 2 に示す。なお、試料 B 5 乃至試料 B 1 2 において、石英基板上に厚さ 100 nm の IGZO 膜を形成した。IGZO 膜の成膜条件は、試料 A 1 の IGZO 膜の成膜条件において、成膜電力を 2500 W とする条件を用いた。

20

【0651】

なお、試料 B 5 乃至試料 B 1 2 において、真空雰囲気における加熱処理は、 4×10^{-4} Pa で 1 時間行った。本実施例で上述した <CMP> より、真空雰囲気における加熱処理によって、IGZO 膜中に酸素欠損が増加している。また、当該加熱処理により、IGZO 膜中の水素濃度が低減されていると期待される。

【0652】

また、IGZO 膜中に水素を添加するために、試料 B 6、試料 B 8、試料 B 1 0、試料 B 1 2 において、減圧 H_2 雰囲気中で加熱処理を行った。即ち、試料 B 6、試料 B 8、試料 B 1 0、試料 B 1 2 においては、酸素欠損及び水素それぞれの量が増加していると考えられる。なお、減圧 H_2 雰囲気における加熱処理は、IGZO 膜中への水素以外の元素の混入を極力抑えるために、133 Pa で 1 時間行った。

30

【0653】

【表 1 2】

	Annealed in vacuum	Annealed in H ₂ atmosphere
SampleB5	as-deposited	-
SampleB6		350°C
SampleB7	450°C	-
SampleB8		350°C
SampleB9	600°C	-
SampleB10		350°C
SampleB11	800°C	-
SampleB12		350°C

40

【0654】

図 6 4 に、試料 B 5 乃至試料 B 1 2 における IGZO 膜の抵抗率及び ESR スピン密度

50

と、熱処理条件との関係を示す。ESRスピン密度は、IGZO膜中における $g = 1.93$ シグナルの積分強度である。図64において、棒グラフはESRスピン密度を示し、折れ線グラフはそれに伴った抵抗率の推移を示している。傾向を分かりやすく示すため、図中では抵抗率ではなく、 $1/\rho$ をプロットした。また、黒丸は、それぞれ試料B7、試料B9、及び試料B11の $1/\rho$ を示し、白丸は、それぞれ試料B6、試料B8、試料B10、及び試料B12の $1/\rho$ を示す。

【0655】

また、図65に、試料B5乃至試料B12におけるIGZO膜中の水素濃度及びESRスピン密度と、熱処理条件との関係を示す。ESRスピン密度は、IGZO膜中における $g = 1.93$ のESRシグナルの積分強度である。図65において、棒グラフはESRスピン密度を示し、折れ線グラフはIGZO膜中の水素濃度の推移を示している。また、黒丸は、それぞれ試料B5、試料B7、試料B9、及び試料B11の水素濃度を示し、白丸は、それぞれ試料B6、試料B8、試料B10、及び試料B12の水素濃度を示す。

10

【0656】

また、図66に、試料B5乃至試料B12におけるIGZO膜中の水素濃度及び導電率 ($1/\rho$) と、熱処理条件との関係を示す。図66において、縦縞の棒グラフは水素濃度を示し、斜線の棒グラフは導電率を示している。

【0657】

図64において、試料B5では、抵抗率は検出上限 (1×10^2 [$\Omega \cdot \text{cm}$]) 以上、ESRスピン密度は検出下限 (3.7×10^{16} [spins/cm³]) 以下になっているため、抵抗率及びESRスピン密度をプロットしていない。

20

【0658】

図64において、真空雰囲気における加熱処理を行った試料B7、試料B9、及び試料B11では、明らかに抵抗率が増加している。また、図66において、試料B7、試料B9、及び試料B11では、導電率が低下している。一方で、図65及び図66において、真空雰囲気における加熱処理を行った試料B7、試料B9、及び試料B11では、加熱処理の温度が上昇するにつれ、水素濃度が低減している。また、試料B11において、ESRスピン密度は減少している。

【0659】

また、図64において、減圧H₂雰囲気における加熱処理を行った試料B8、試料B10、及び試料B12では、真空雰囲気における加熱処理の温度に依らず、抵抗率はほぼ同程度になっている。また、図66において、試料B8、試料B10、及び試料B12では、導電率はほぼ同程度になっている。また、図65及び図66において、減圧H₂雰囲気における加熱処理を行った試料B8、試料B10、及び試料B12では、真空雰囲気における加熱処理の温度に依らず、水素濃度はほぼ同程度になっている。また、試料B12において、減圧H₂雰囲気における加熱処理により、ESRスピン密度が増加している。

30

【0660】

これらのことから、真空雰囲気で加熱処理した後、水素減圧H₂雰囲気における加熱処理を行うことで、水素濃度と酸素欠損が共に増加したときに、ESRスピン密度が増加することが確認された。即ち、酸素欠損 (V_O) と水素 (H) の共存が、抵抗率及び導電率に対して非常に重要な役割を果たしていることを示唆するものと考えられる。

40

【0661】

次に、図67に、試料B5乃至試料B12のESRスピン密度と $1/\rho$ との関係を示す。図67において、横軸は、各試料のIGZO膜における $g = 1.93$ のESRスピン密度を示し、縦軸は、各試料のIGZO膜における $1/\rho$ を示す。また、図67において、試料B7、試料B9、試料B11の測定結果を黒丸で示し、試料B6、試料B8、試料B10、試料B12の測定結果を白丸で示す。

【0662】

図67において、ESRスピン密度と $1/\rho$ の間には明確な正の相関が見られた。このことから、IGZO膜における $g = 1.93$ のESRシグナルは、H₂Oや抵抗率に強く関

50

連付けられるものと考えられる。

【0663】

< T D S >

次に、 H_2O の安定性を評価するため、表12における試料B6及び試料B12のTDS分析を行った。図68に、TDS分析結果を示す。図68は、試料B6及び試料B12それぞれにおいて、表面温度が50 から600 まで加熱した時の、質量電荷比 $m/z = 2 (H_2)$ と、質量電荷比 $m/z = 18 (H_2O)$ の脱離量に比例した強度を示す。なお、表面温度が100 以下における H_2O の脱離は、表面吸着水の脱離によるものである。

【0664】

試料B6及び試料B12はいずれも多量のHを含有しているが、800 真空ベークした試料B12では550 まで加熱しても H_2O ガスの脱離が確認されていない。これは、酸素欠損(V_O)を導入し中に後から入った水素(H)が H_2O として安定し、熱処理によって離脱し難くなっているものと解釈できる。この結果は、実施の形態4で説明した計算結果とも一致している。

【0665】

< H X - P E S (2) >

実施の形態4に示すメカニズムが、IGZO膜及び窒化シリコン膜の積層膜の低抵抗化の要因として妥当か否かを確認するため、一旦IGZO膜上に窒化シリコン膜を形成した後に、窒化シリコン膜をエッチバックした試料をHX-PE S分析した。

【0666】

はじめに、試料B13の作製方法を説明する。

【0667】

シリコンウェハ上に厚さ100 nmのIGZO膜を成膜した。

【0668】

なお、IGZO膜の成膜条件としては、スパッタリング法にて、金属酸化物ターゲット($In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$)を用い、50 vol %の酸素(アルゴン希釈)をスパッタリングガスとして用い、圧力=0.6 Pa、成膜電力=2500 W、基板温度=170 の条件を用いた。以上の工程により、試料B13を作製した。

【0669】

次に、試料B14の作製方法について説明する。

【0670】

試料B13と同様の条件を用いて、シリコンウェハ上に厚さ100 nmのIGZO膜を成膜した後、厚さ100 nmの窒化シリコン膜を形成した。

【0671】

窒化シリコン膜の成膜条件としては、プラズマCVD法にて、 $SiH_4 / N_2 / NH_3 = 50 / 5000 / 100$ s c c m、圧力=100 Pa、成膜電力=1000 W、基板温度=350 の条件を用いた。

【0672】

次に、窒化シリコン膜をエッチングして、IGZO膜を露出させた。以上の工程により、試料B14を作製した。なお、試料B14に含まれるIGZO膜は、低抵抗化された膜である。

【0673】

試料B13及び試料B14をHX-PE S分析した結果を図69に示す。なお、結合エネルギーが-0.5 eVから0.5 eVの範囲のスペクトルの拡大図を、図69中に別途図示した。図69において、実線は試料B14の分析結果であり、破線は試料B13の分析結果である。

【0674】

試料B13と比較して、試料B14の方が、フェルミレベルから約0.2 eVの位置にある浅い準位が増大していることが確認された。同様にして、試料B13と比較して、試

10

20

30

40

50

料 B 1 4 の方が、フェルミレベルから約 2 e V の位置にある深い準位も増大していることが確認された。これらの準位の増大は、前述したとおり、窒化シリコン膜を I G Z O 膜上に成膜する際に生じるダメージによって増加する酸素欠損 (V_o) の増加と、窒化シリコン膜に含まれる水素 (H) が I G Z O 膜に拡散することで生成される H_o の増加が、原因であると考えられる。

【 0 6 7 5 】

以上のことから、酸化物半導体膜は、その上に膜を成膜する際に受けるダメージによって生じる酸素欠損 (V_o) と、外部から拡散する水素 (H) が結合して H_o となって、ドナー準位を形成することが分かった。

【 0 6 7 6 】

< 抵抗率の温度依存性 >

次に、酸化物半導体で形成される膜 (以下、酸化物半導体膜 (OS) という。) 及び酸化物導電体で形成される膜 (以下、酸化物導電体膜 (OC) という。) それぞれにおける、抵抗率の温度依存性について、図 7 0 を用いて説明する。図 7 0 において、横軸に測定温度を示し、縦軸に抵抗率を示す。ここで、抵抗率の測定は 4 端子の van - der - P a u w 法で行った。また、酸化物半導体膜 (OS) の測定結果を丸印で示し、酸化物導電体膜 (OC) の測定結果を四角印で示す。

【 0 6 7 7 】

なお、酸化物半導体膜 (OS) を含む試料は、ガラス基板の上に、原子数比が $In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$ のスパッタリングターゲットを用いたスパッタリング法により厚さ 3 5 n m の $In - Ga - Zn$ 酸化物膜を形成し、原子数比が $In : Ga : Zn = 1 : 4 : 5$ のスパッタリングターゲットを用いたスパッタリング法により厚さ 2 0 n m の $In - Ga - Zn$ 酸化物膜を形成し、4 5 0 の窒素雰囲気中で加熱処理した後、4 5 0 の窒素及び酸素の混合ガス雰囲気中で加熱処理し、さらにプラズマ C V D 法で酸化窒化シリコン膜を形成して、作製された。

【 0 6 7 8 】

また、酸化物導電体膜 (OC) を含む試料は、ガラス基板の上に、原子数比が $In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$ のスパッタリングターゲットを用いたスパッタリング法により厚さ 1 0 0 n m の $In - Ga - Zn$ 酸化物膜を形成し、4 5 0 の窒素雰囲気中で加熱処理した後、4 5 0 の窒素及び酸素の混合ガス雰囲気中で加熱処理し、プラズマ C V D 法で窒化シリコン膜を形成して、作製された。

【 0 6 7 9 】

図 7 0 からわかるように、酸化物導電体膜 (OC) における抵抗率の温度依存性は、酸化物半導体膜 (OS) における抵抗率の温度依存性より小さい。代表的には、8 0 K 以上 2 9 0 K 以下における酸化物導電体膜 (OC) の抵抗率の変化率は、 $\pm 2 0 \%$ 未満である。または、1 5 0 K 以上 2 5 0 K 以下における抵抗率の変化率は、 $\pm 1 0 \%$ 未満である。即ち、酸化物導電体は、縮退半導体であり、伝導帯端とフェルミ準位とが一致または略一致していると推定される。

【 実施例 3 】

【 0 6 8 0 】

本実施例では、実施の形態 5 を用いて液晶表示装置を作製した。当該液晶表示装置の仕様と表示画像について、説明する。

【 0 6 8 1 】

表 1 3 に液晶表示装置の仕様を示す。

【 0 6 8 2 】

10

20

30

40

【表 1 3】

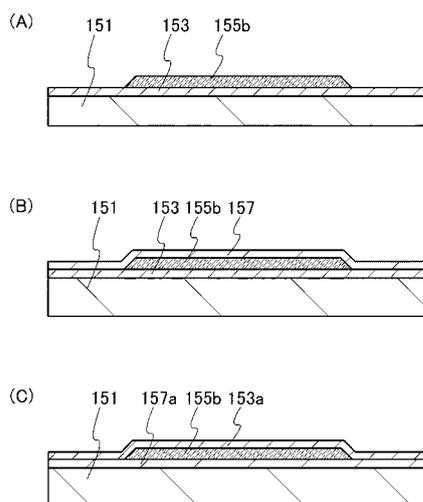
Screen Diagonal	4.29inch
Resolution	1080 × RGB (H) × 1920(V) : Full-HD
Pixel Pitch	15 μm (H) × 49.5 μm (V)
Pixel Density	513ppi
Liquid Crystal Mode	Fringe Field Switching
Aperture Ratio	45.50%
FET	CAAC-OS

10

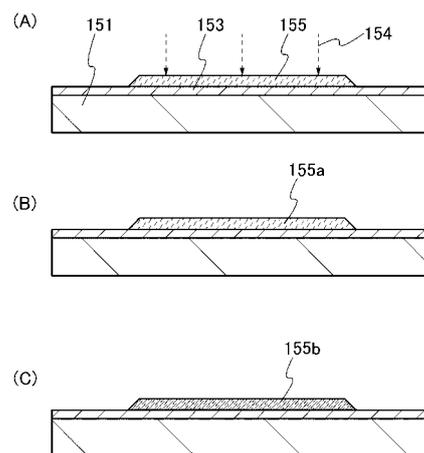
【 0 6 8 3 】

図 7 1 に、本実施例で作製した液晶表示装置が表示した画像を撮影した図を示す。図 7 1 に示すように、本発明の表示装置は、高精細で表示品位の優れた液晶表示装置である。なお、本実施例で作製した液晶表示装置は、低周波数駆動方法も可能となっているため、消費電力の低減が可能である。

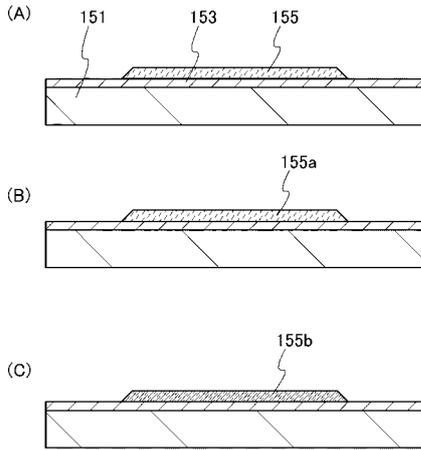
【 図 1 】



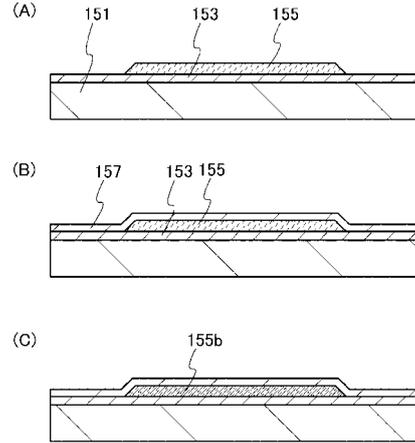
【 図 2 】



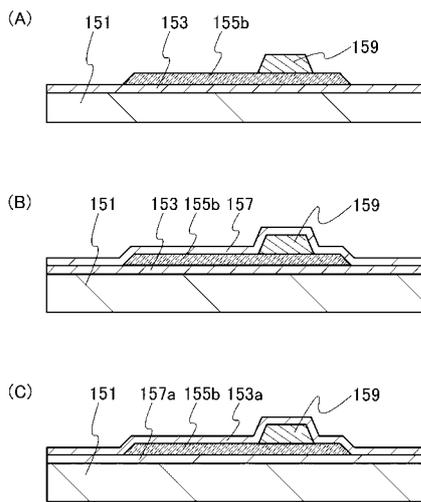
【 図 3 】



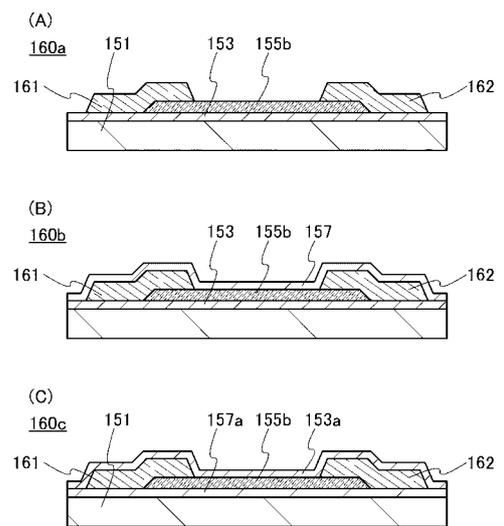
【 図 4 】



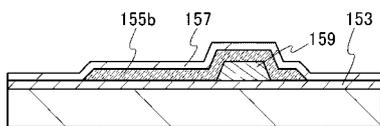
【 図 5 】



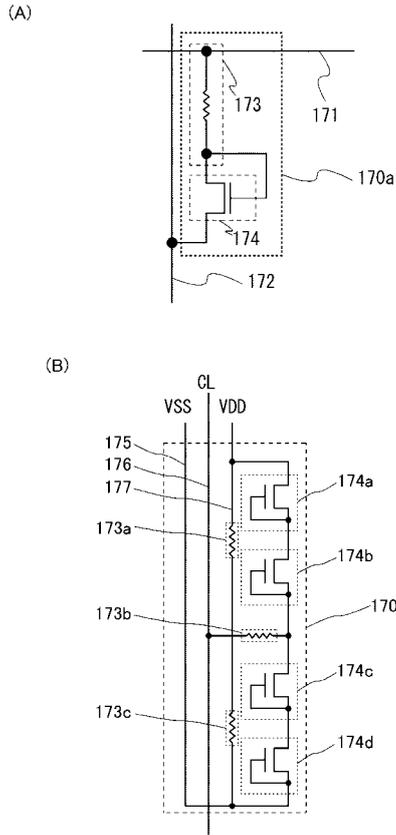
【 図 7 】



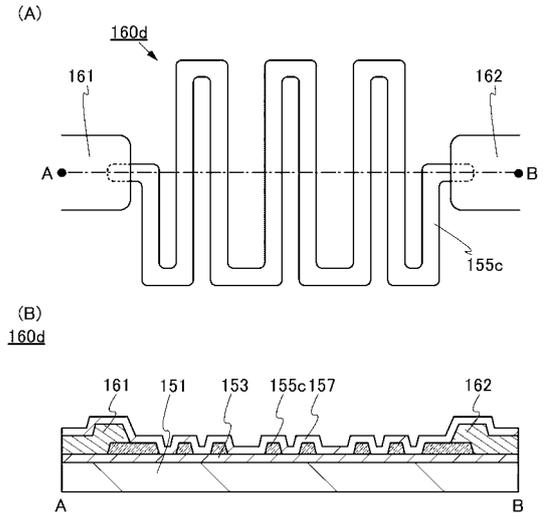
【 図 6 】



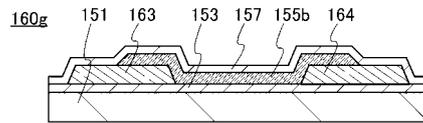
【 図 8 】



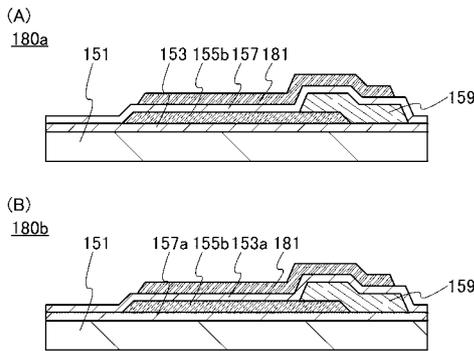
【 図 9 】



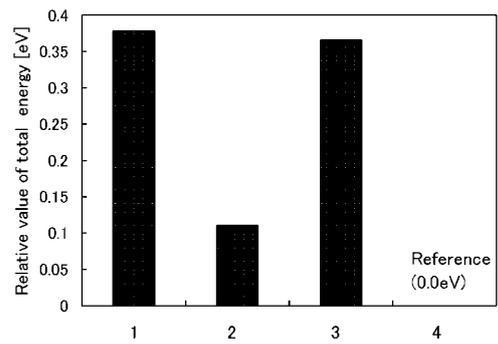
【 図 10 】



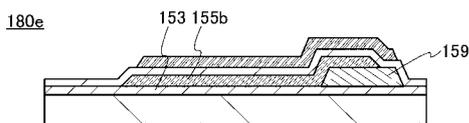
【 図 11 】



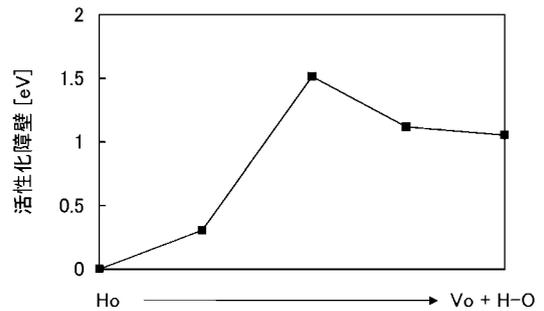
【 図 21 】



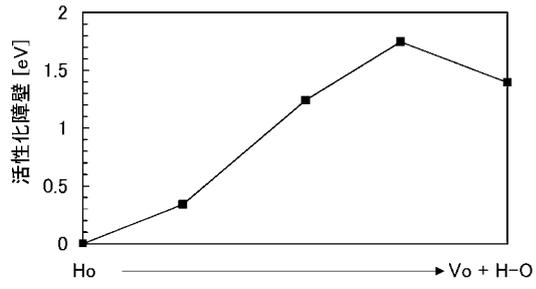
【 図 12 】



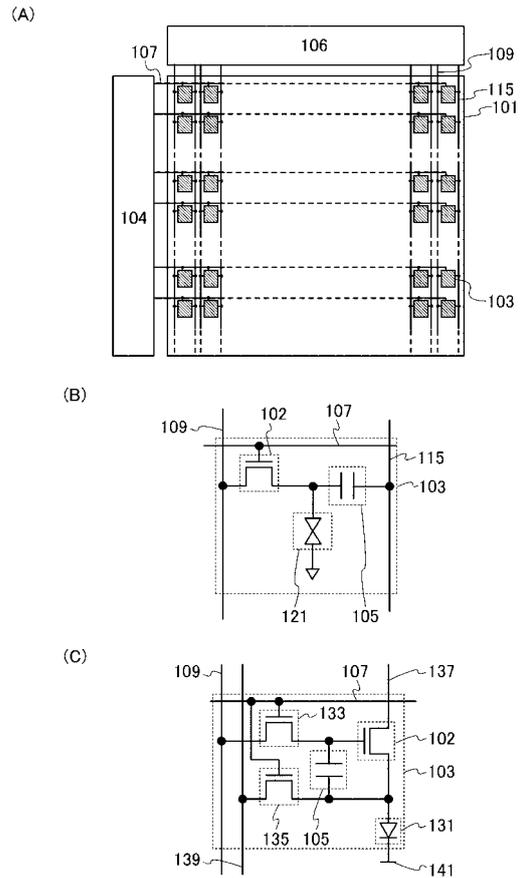
【 図 24 】



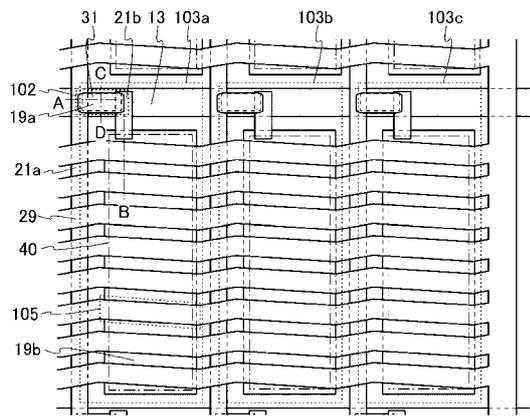
【 図 2 6 】



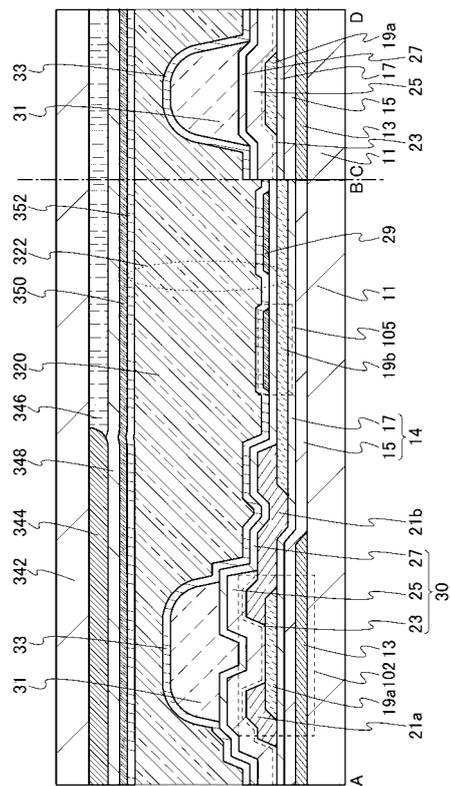
【 図 3 1 】



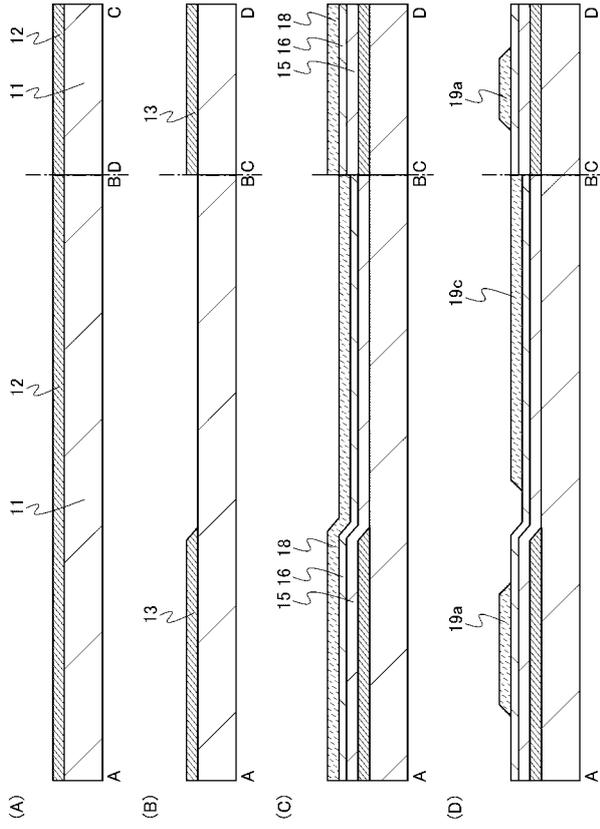
【 図 3 2 】



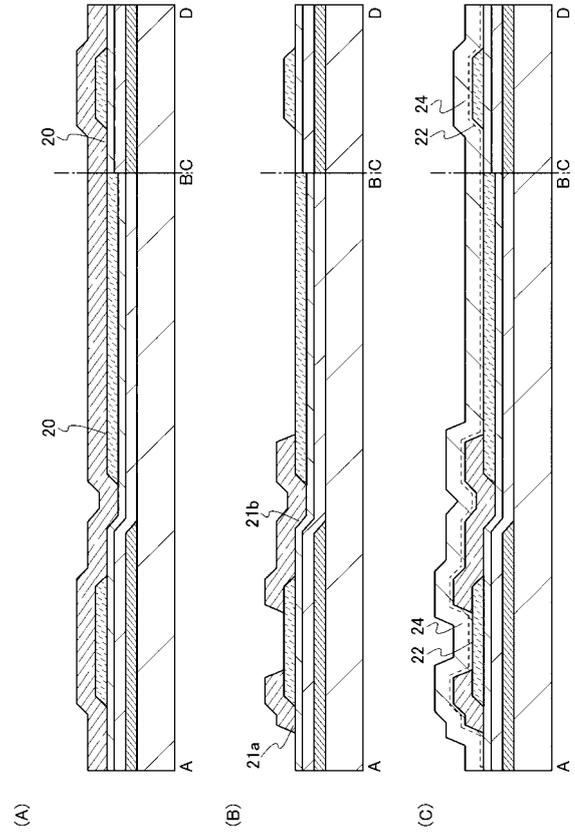
【 図 3 3 】



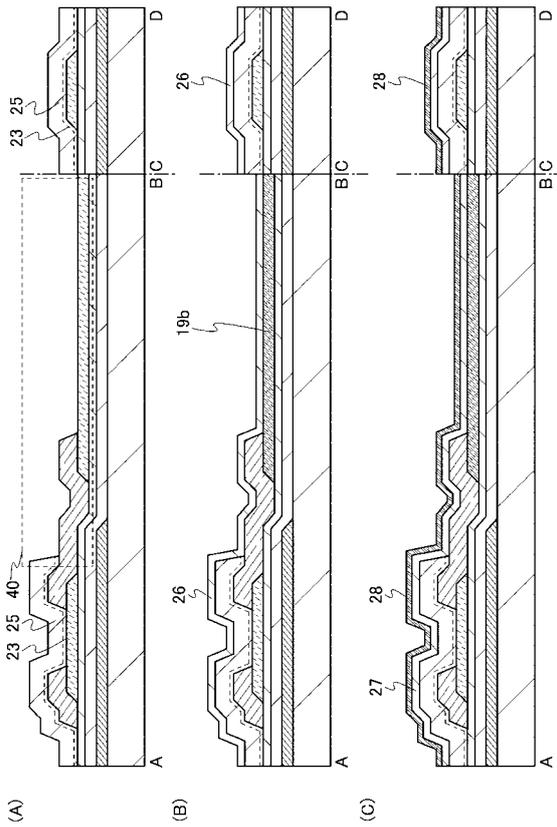
【 3 4 】



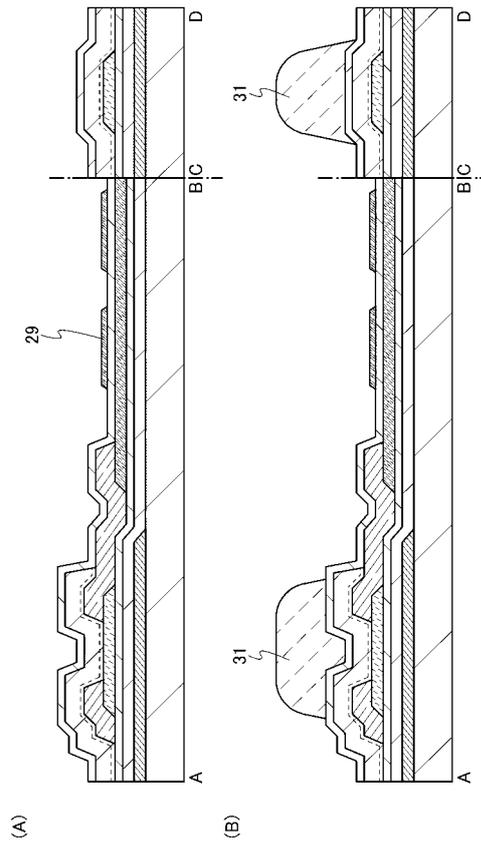
【 3 5 】



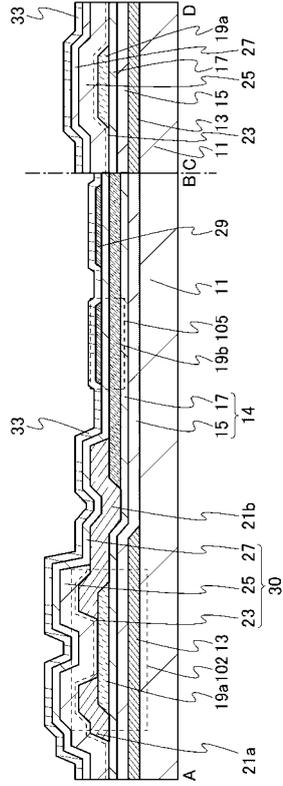
【 3 6 】



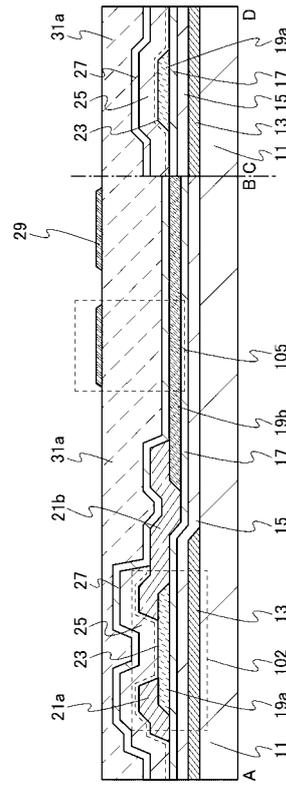
【 3 7 】



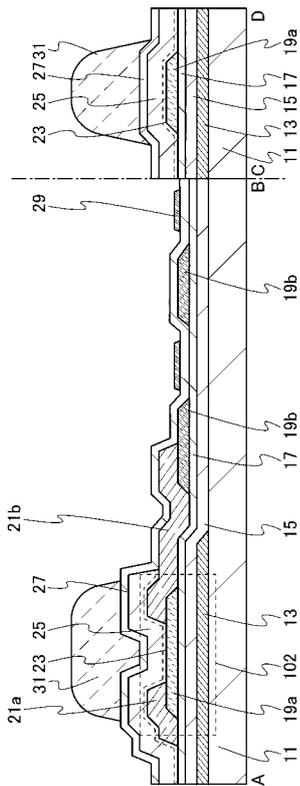
【 図 3 8 】



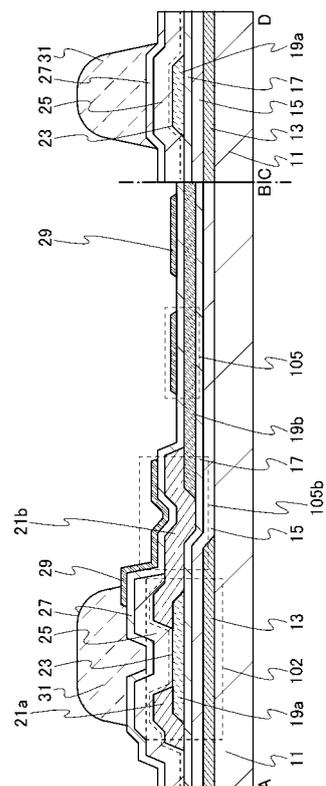
【 図 3 9 】



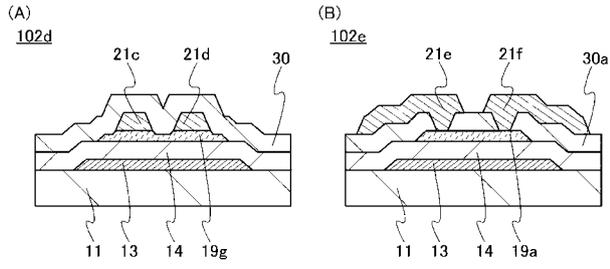
【 図 4 0 】



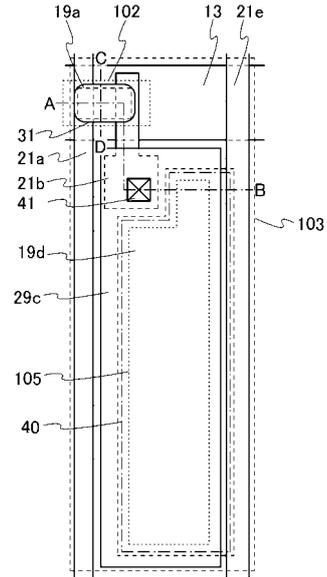
【 図 4 1 】



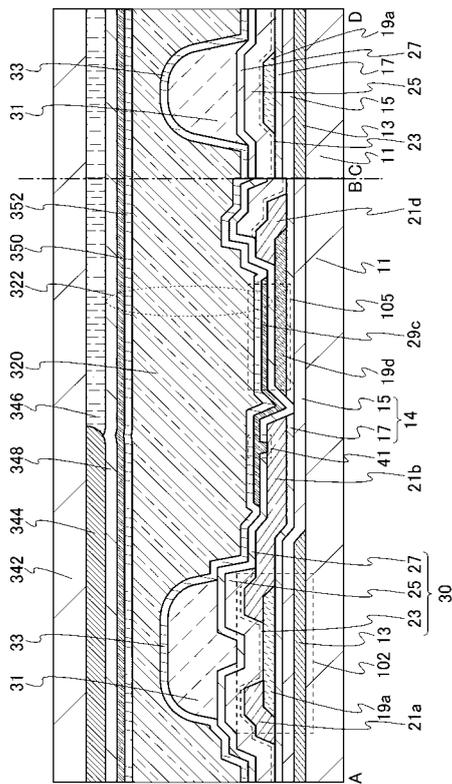
【 図 4 2 】



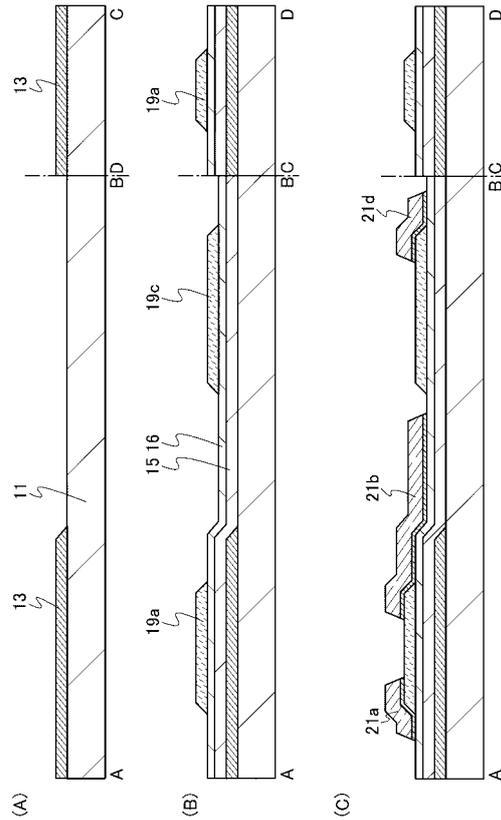
【 図 4 3 】



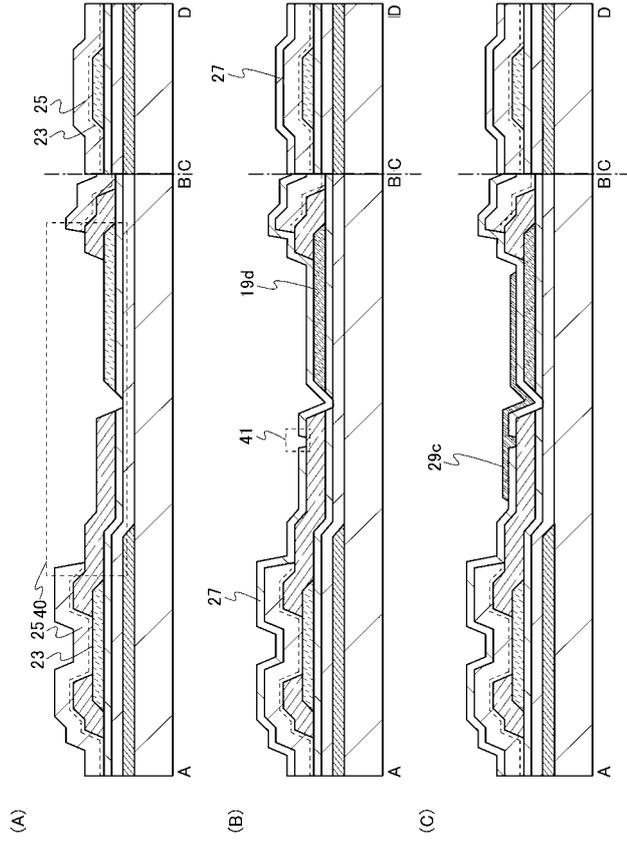
【 図 4 4 】



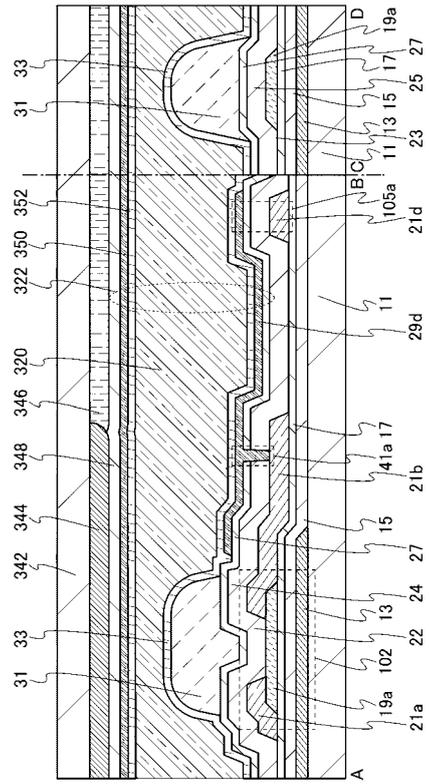
【 図 4 5 】



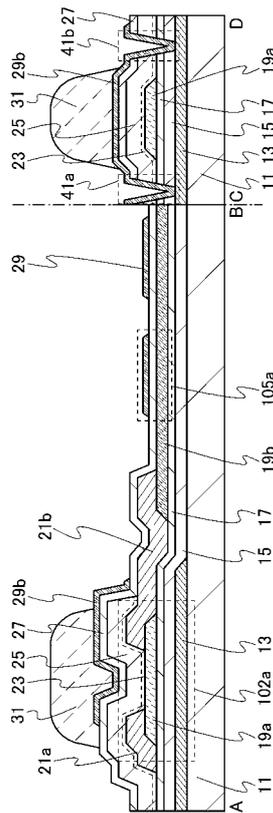
【 図 4 6 】



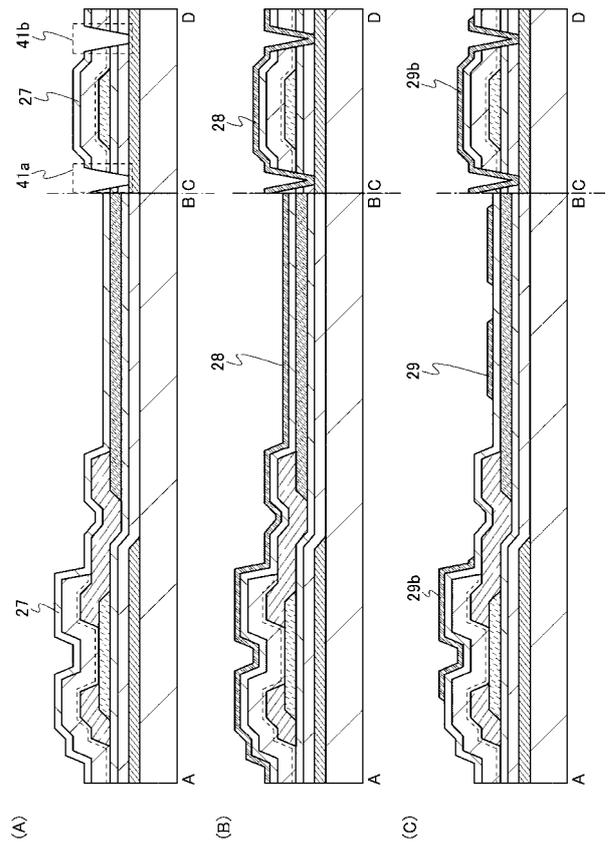
【 図 4 7 】



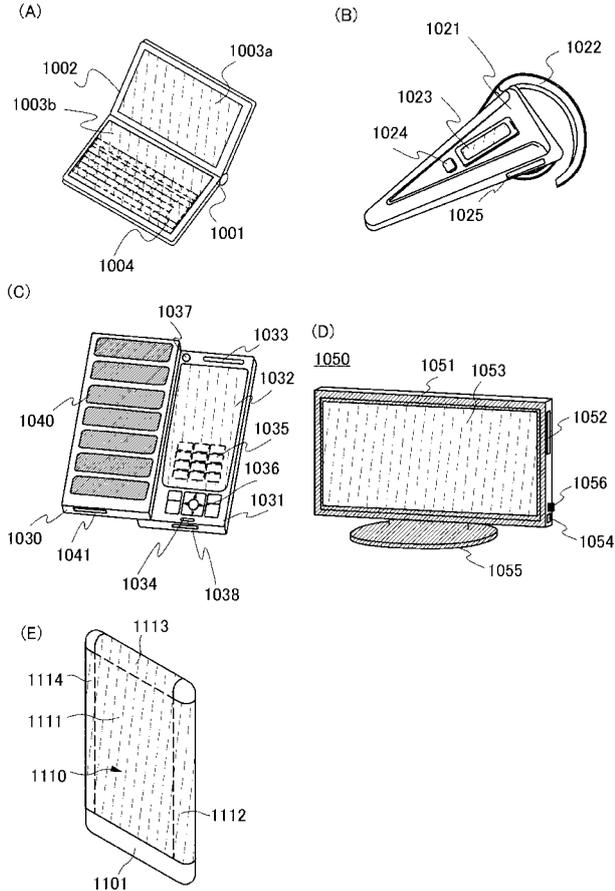
【 図 4 8 】



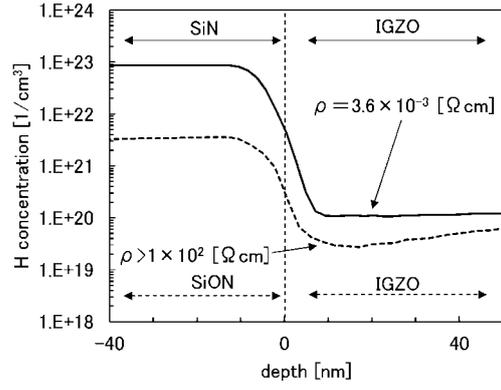
【 図 4 9 】



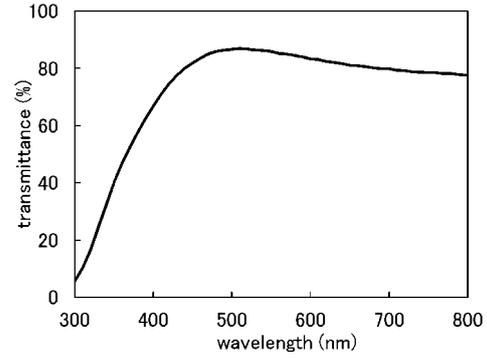
【 5 4 】



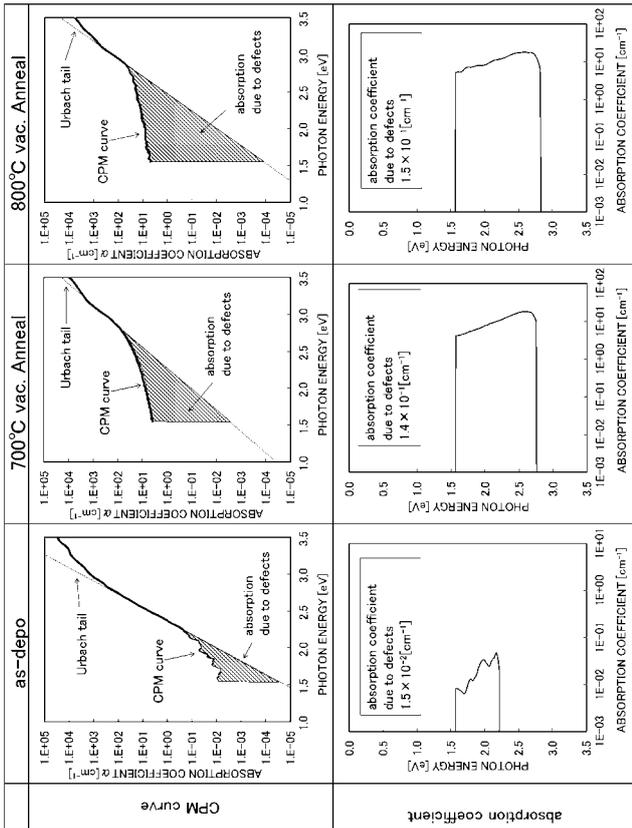
【 5 5 】



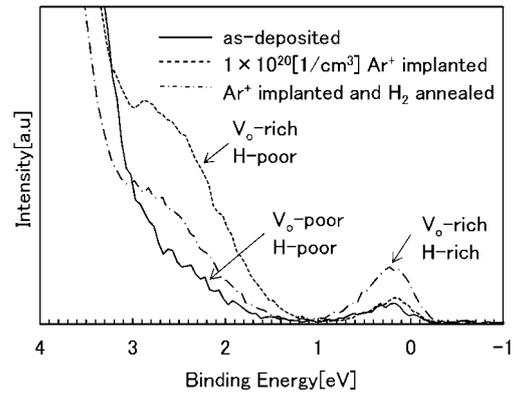
【 5 6 】



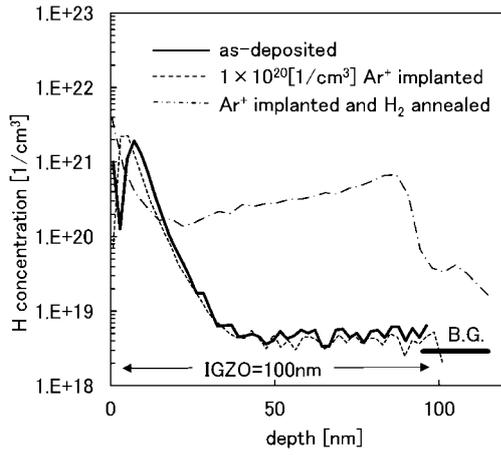
【 5 7 】



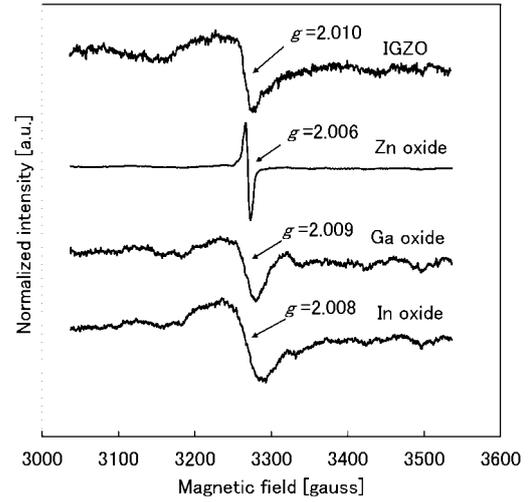
【 5 8 】



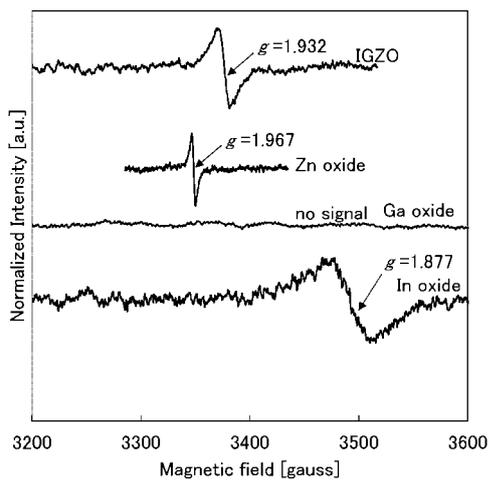
【 図 5 9 】



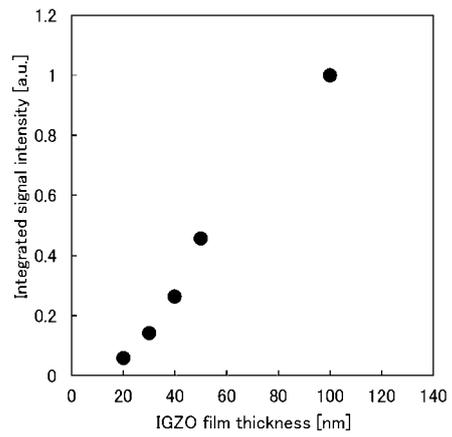
【 図 6 0 】



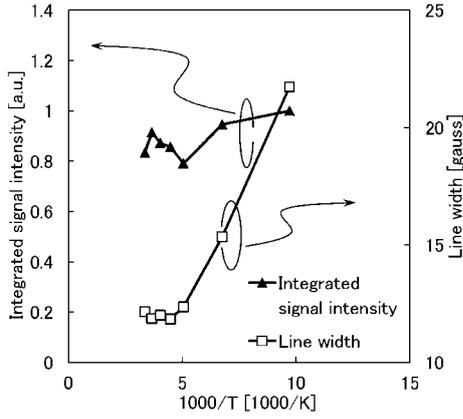
【 図 6 1 】



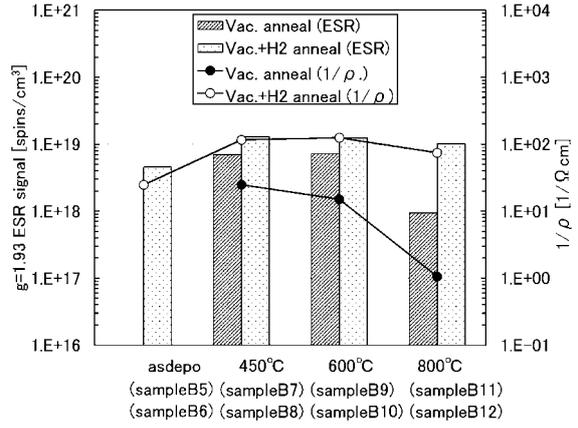
【 図 6 2 】



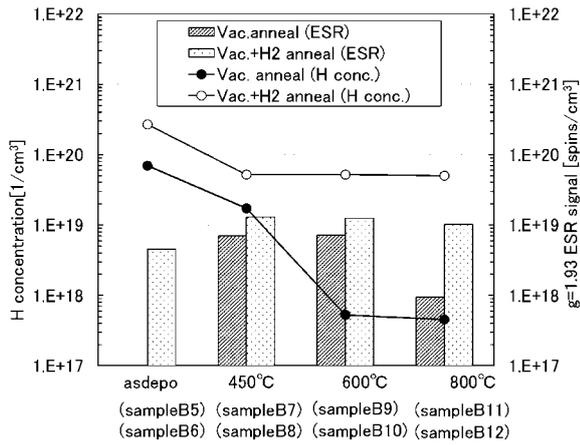
【 図 6 3 】



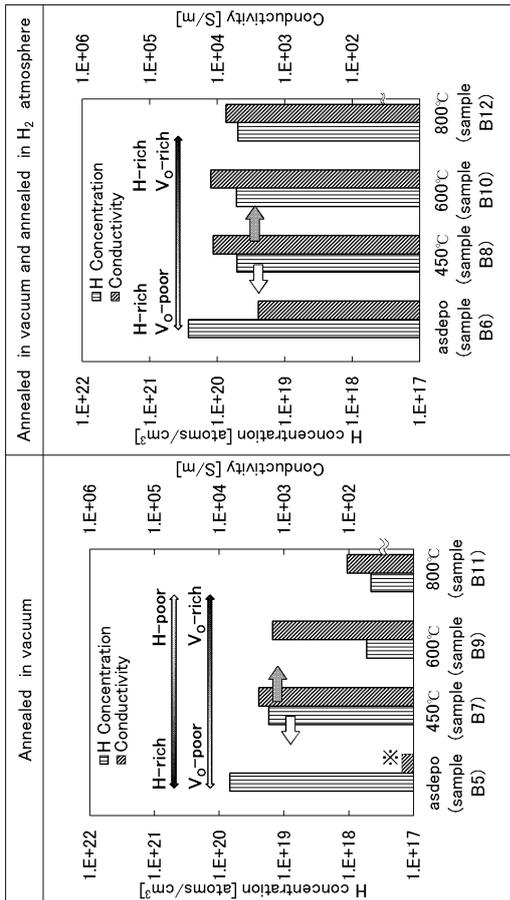
【 図 6 4 】



【 図 6 5 】

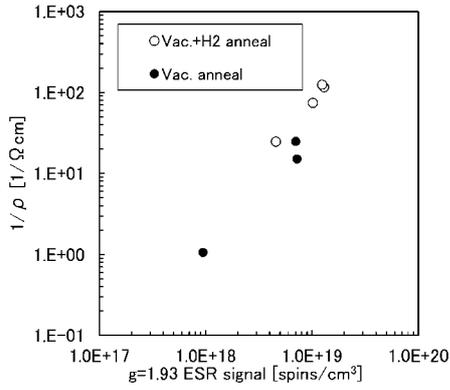


【 図 6 6 】

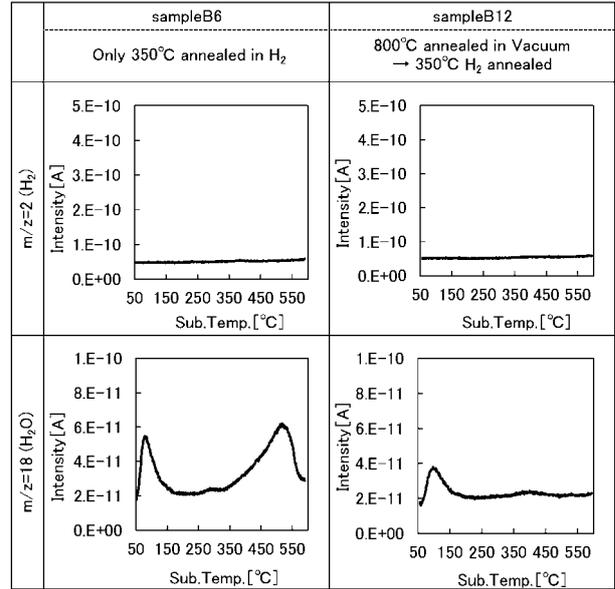


※ Lower than detection limit

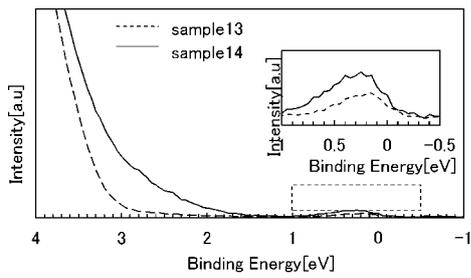
【 図 6 7 】



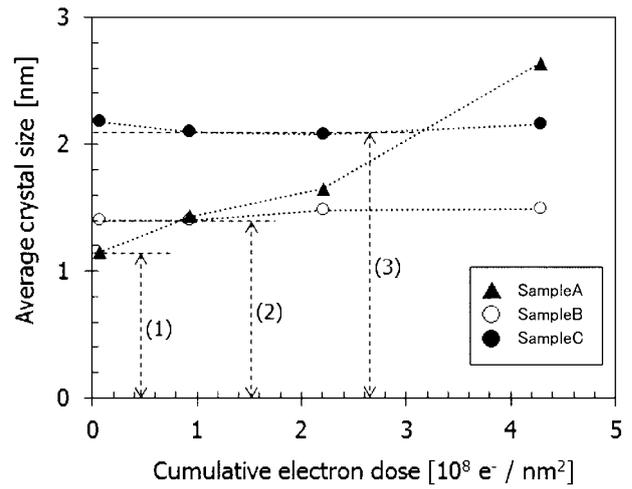
【 図 6 8 】



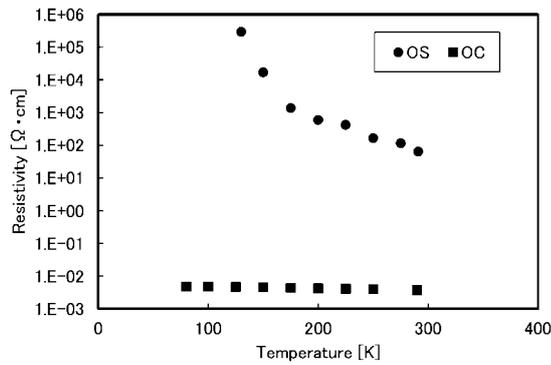
【 図 6 9 】



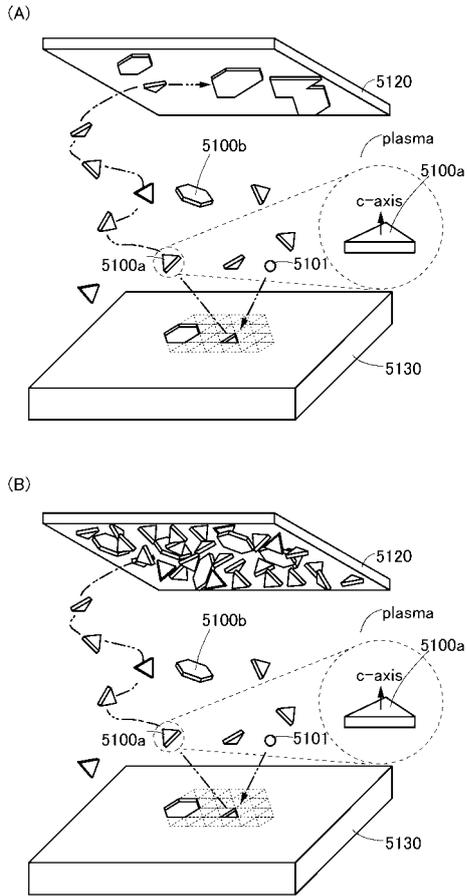
【 図 7 6 】



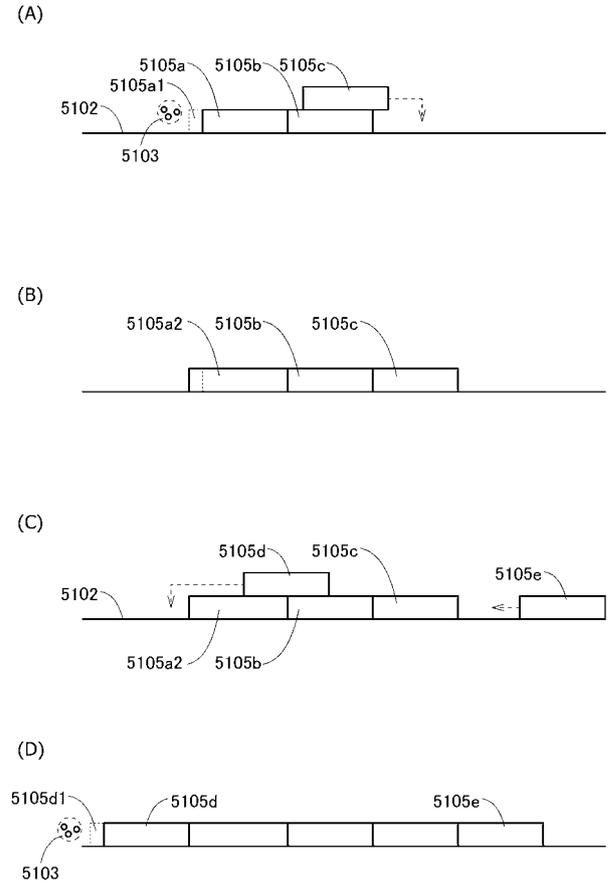
【 図 7 0 】



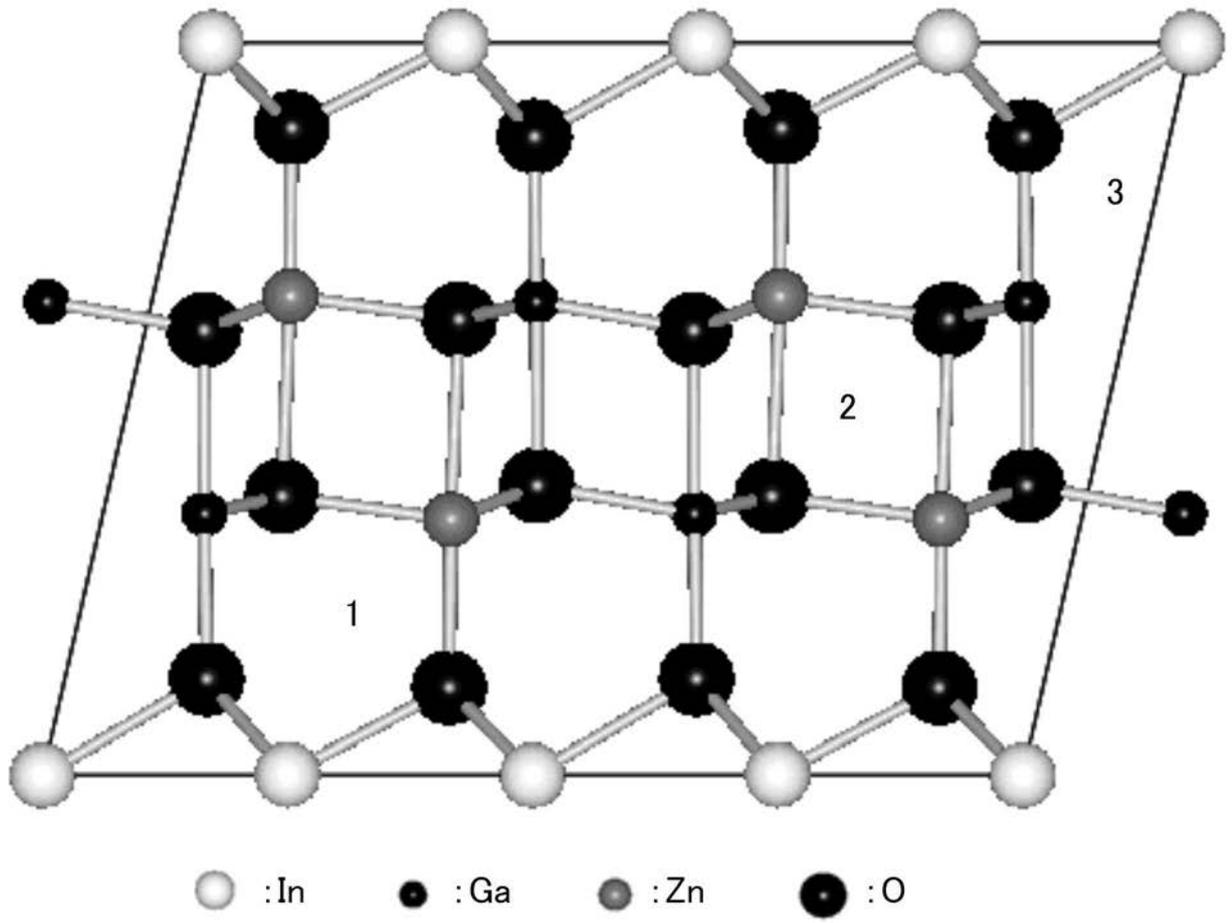
【 図 7 7 】



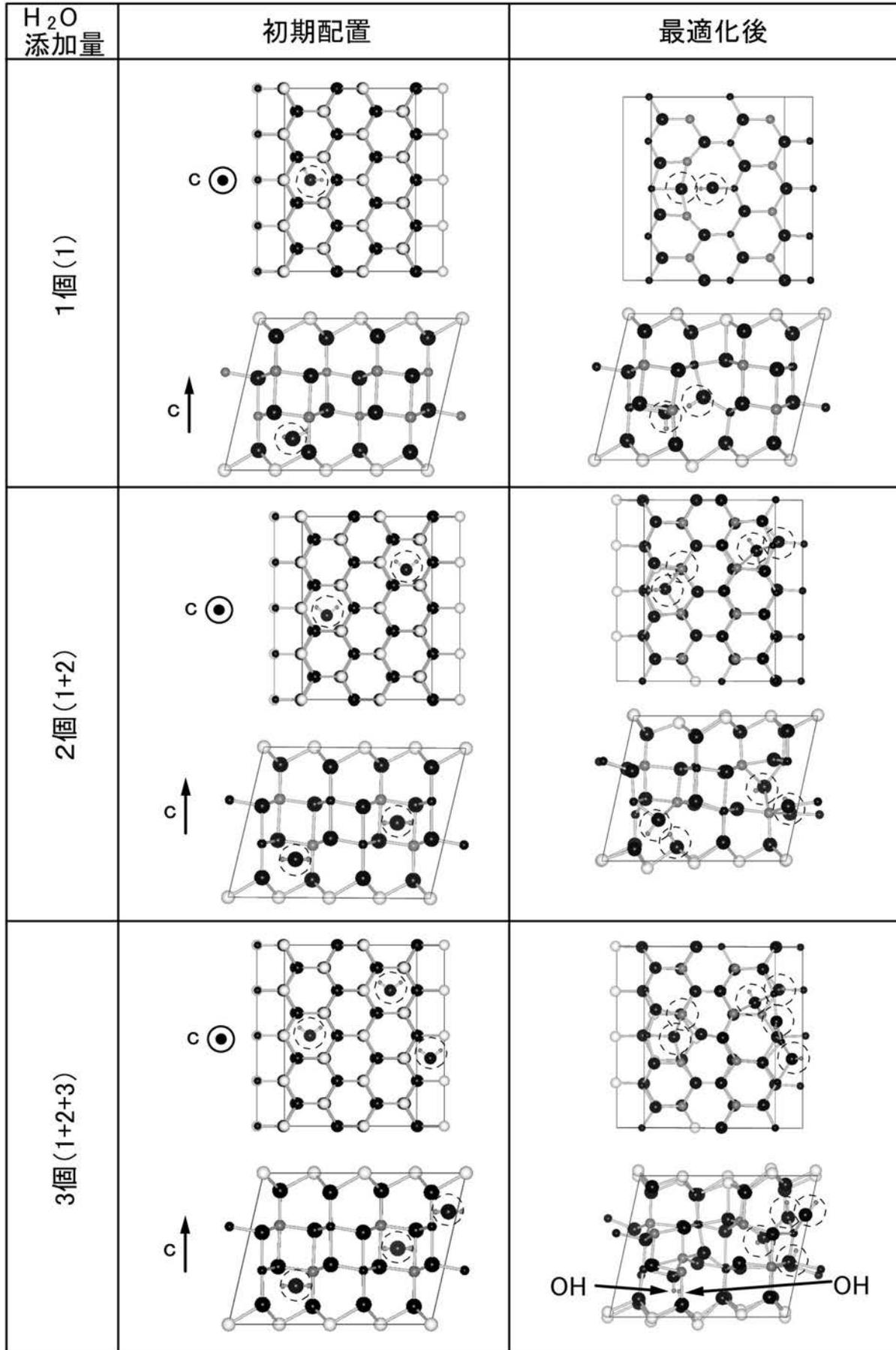
【 図 7 9 】



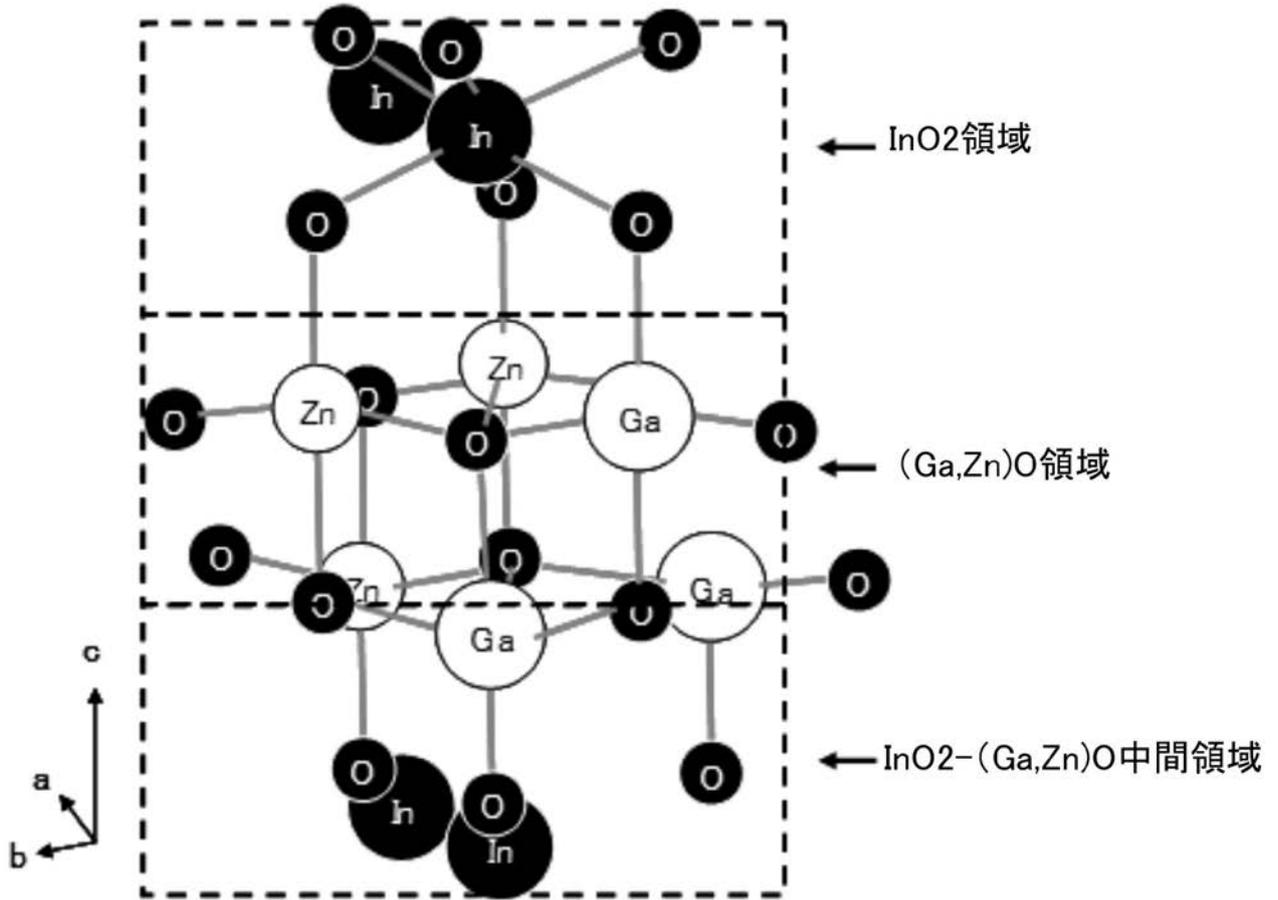
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

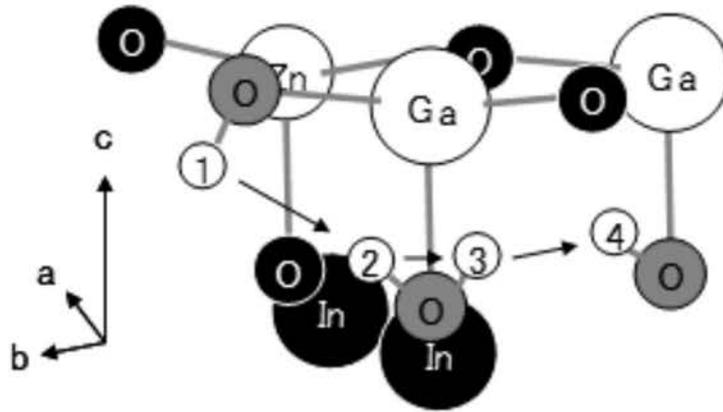


【 図 1 5 】

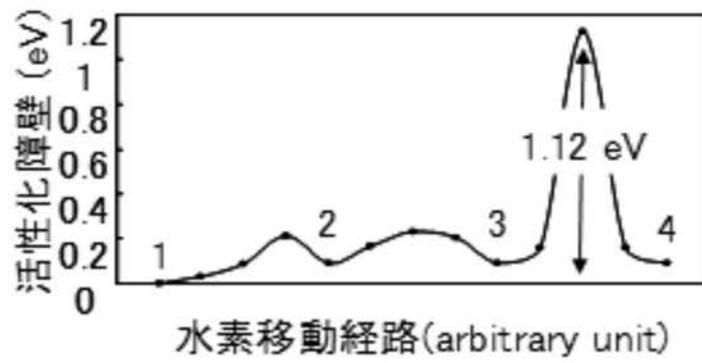


【 図 1 6 】

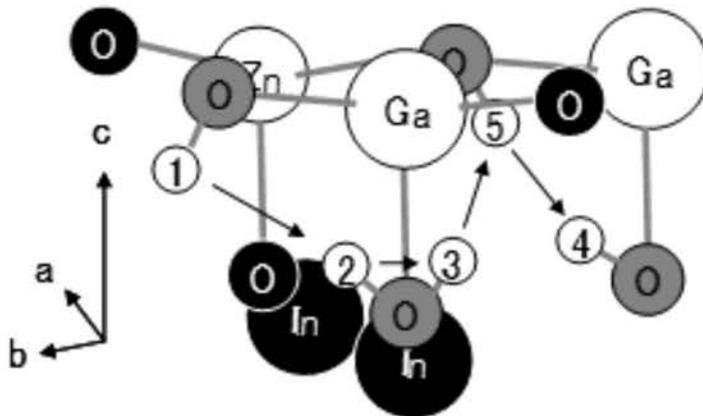
(A)



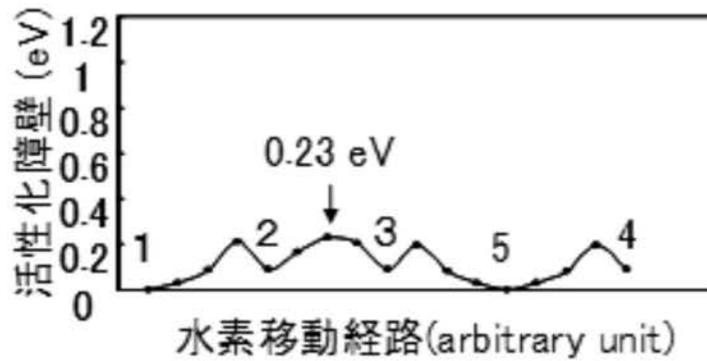
(B)



(C)

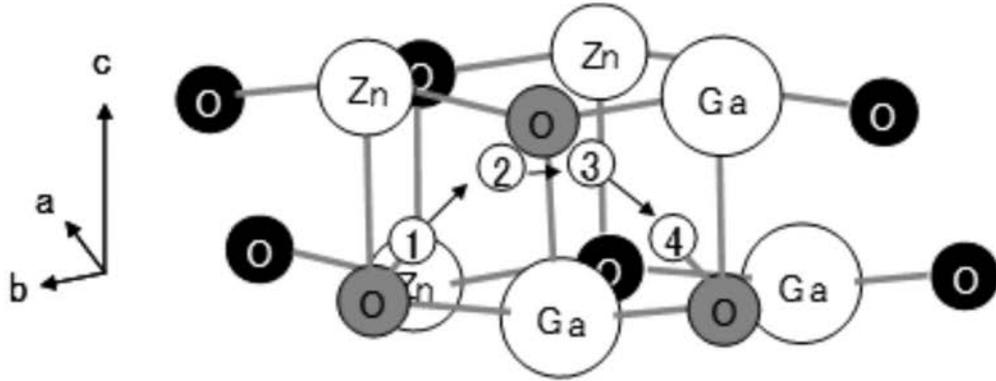


(D)

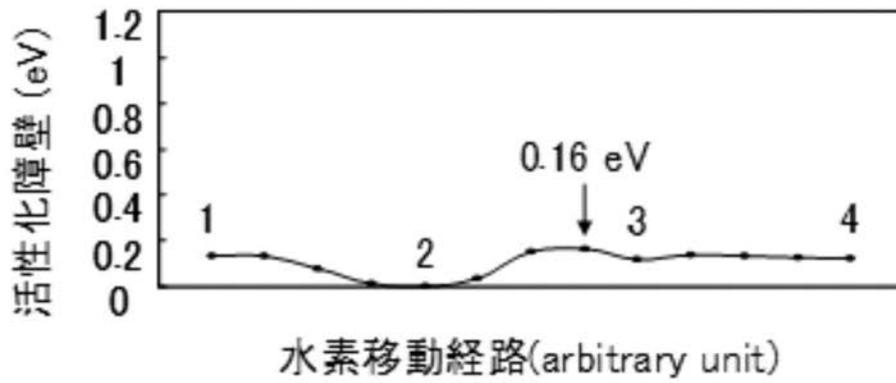


【 図 1 7 】

(A)

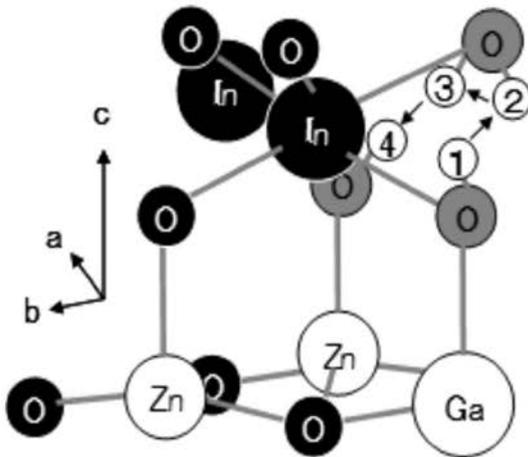


(B)

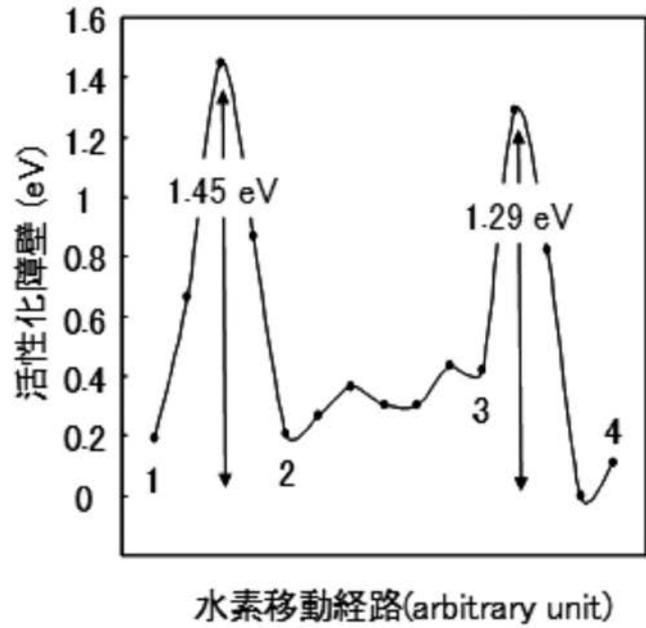


【 図 1 8 】

(A)

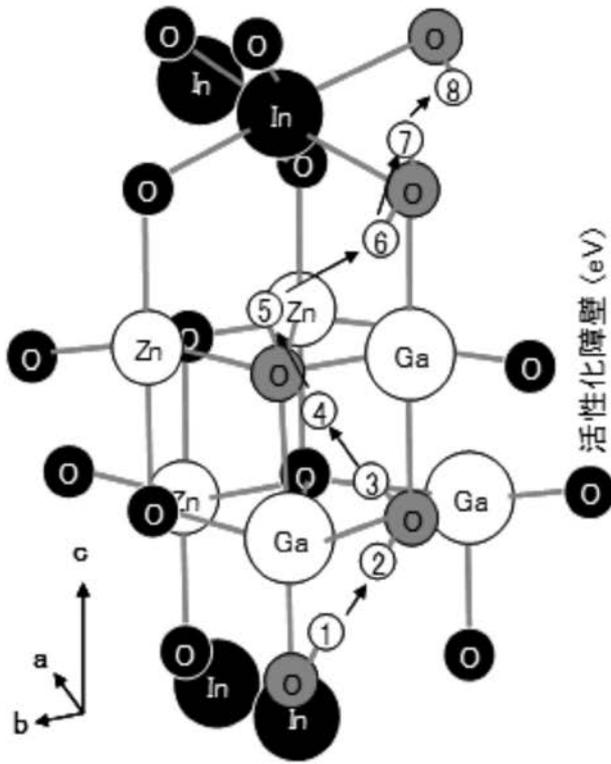


(B)

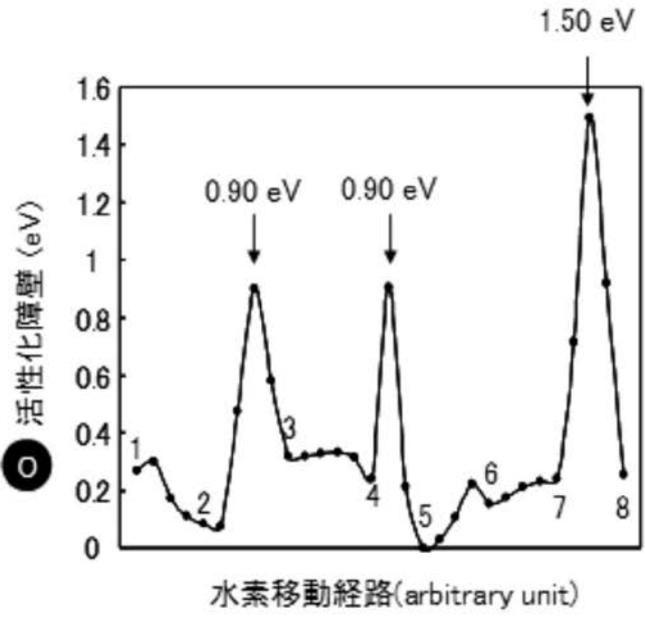


【 図 1 9 】

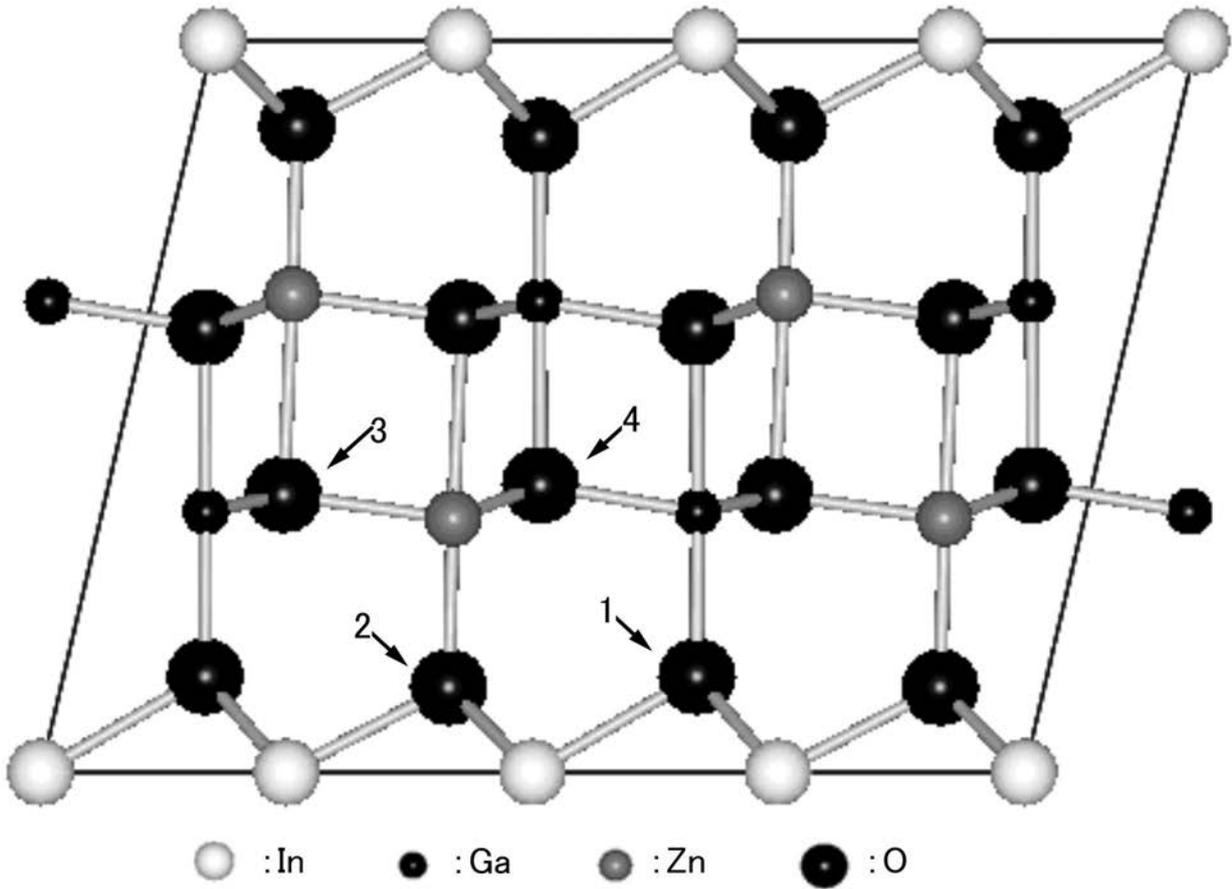
(A)



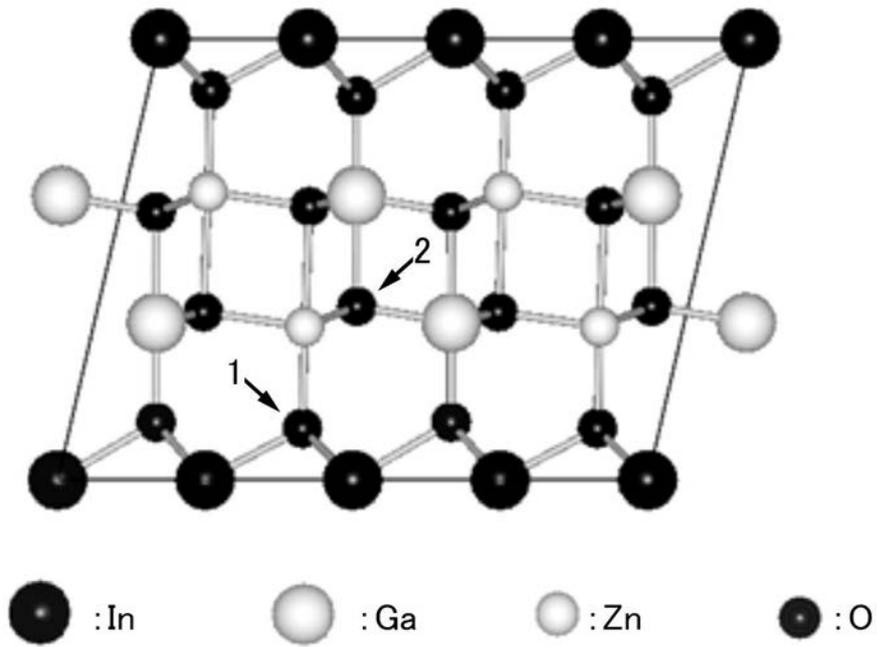
(B)



【 図 2 0 】

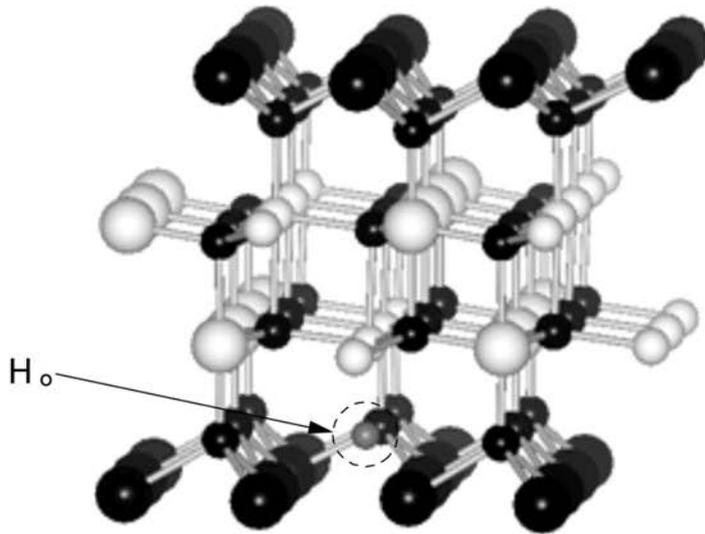


【 図 2 2 】

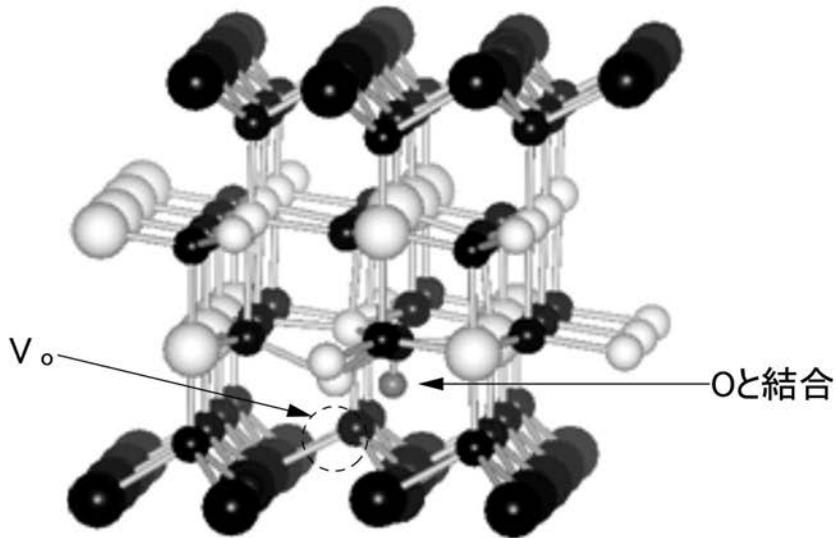


【 図 2 3 】

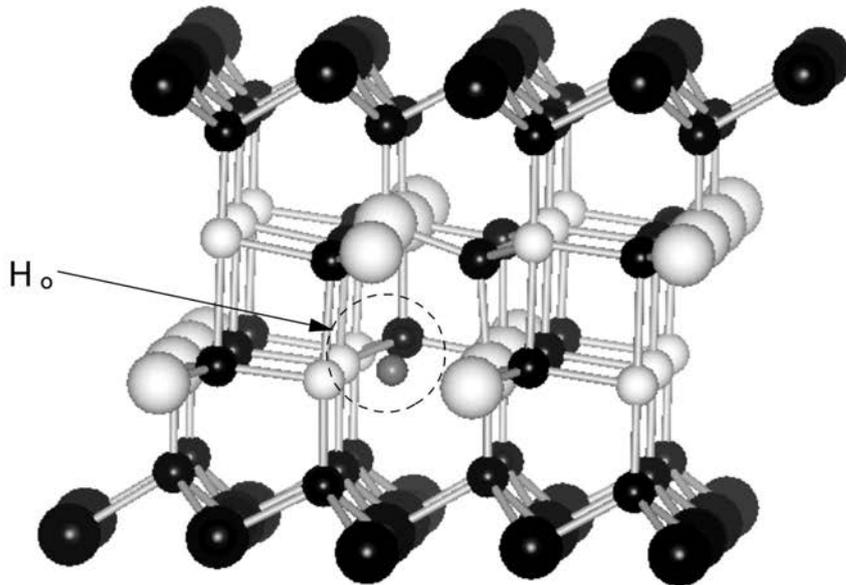
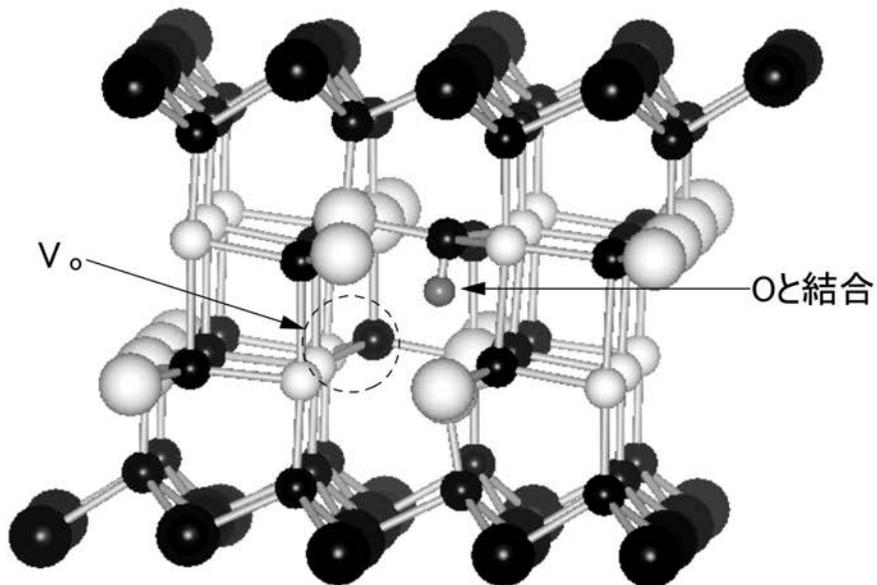
(A) 初期状態(Ho)



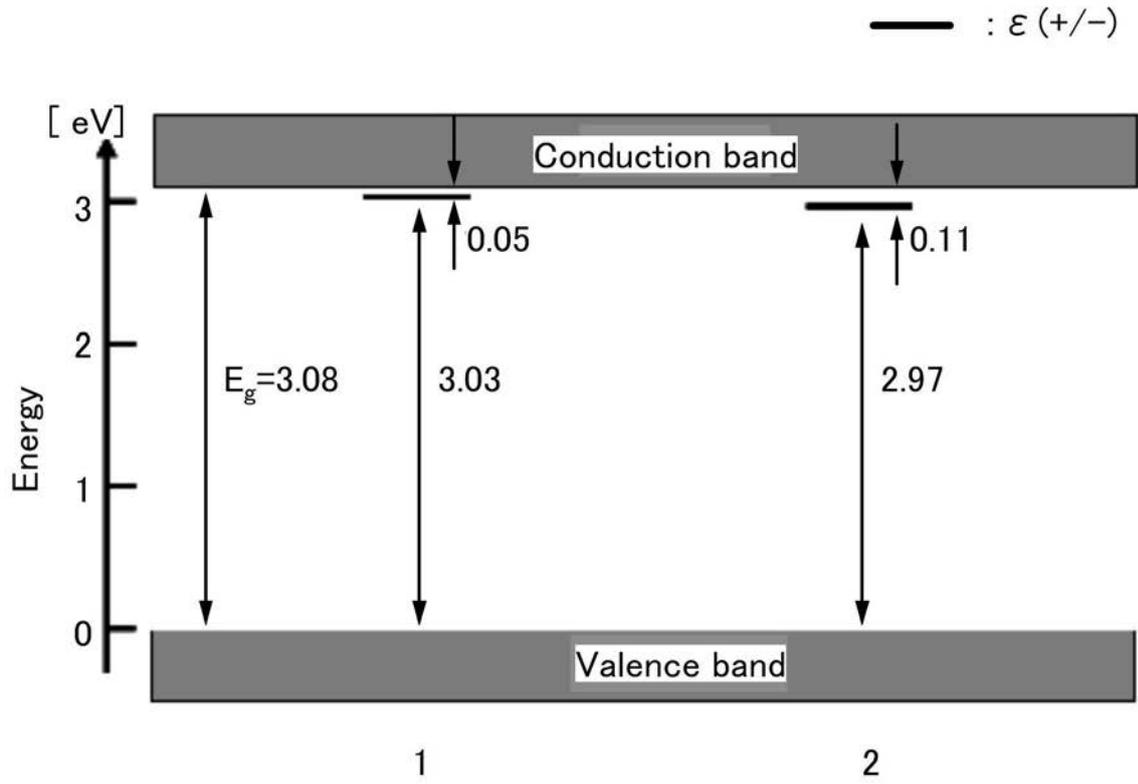
(B) 最終状態(Vo、H-O)



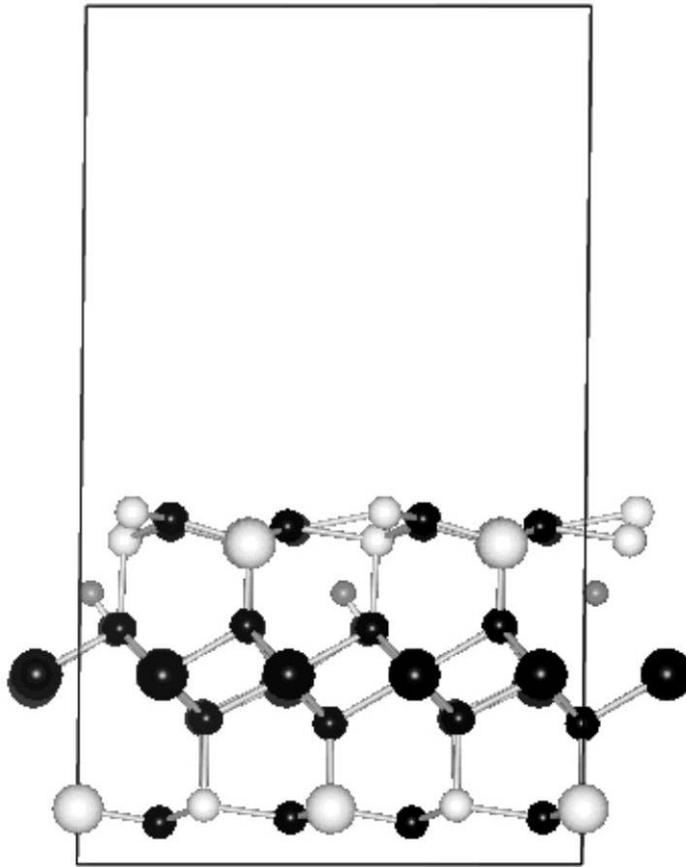
【 図 2 5 】

(A) 初期状態(H_o)(B) 最終状態(V_o , H-O)

【 図 2 7 】

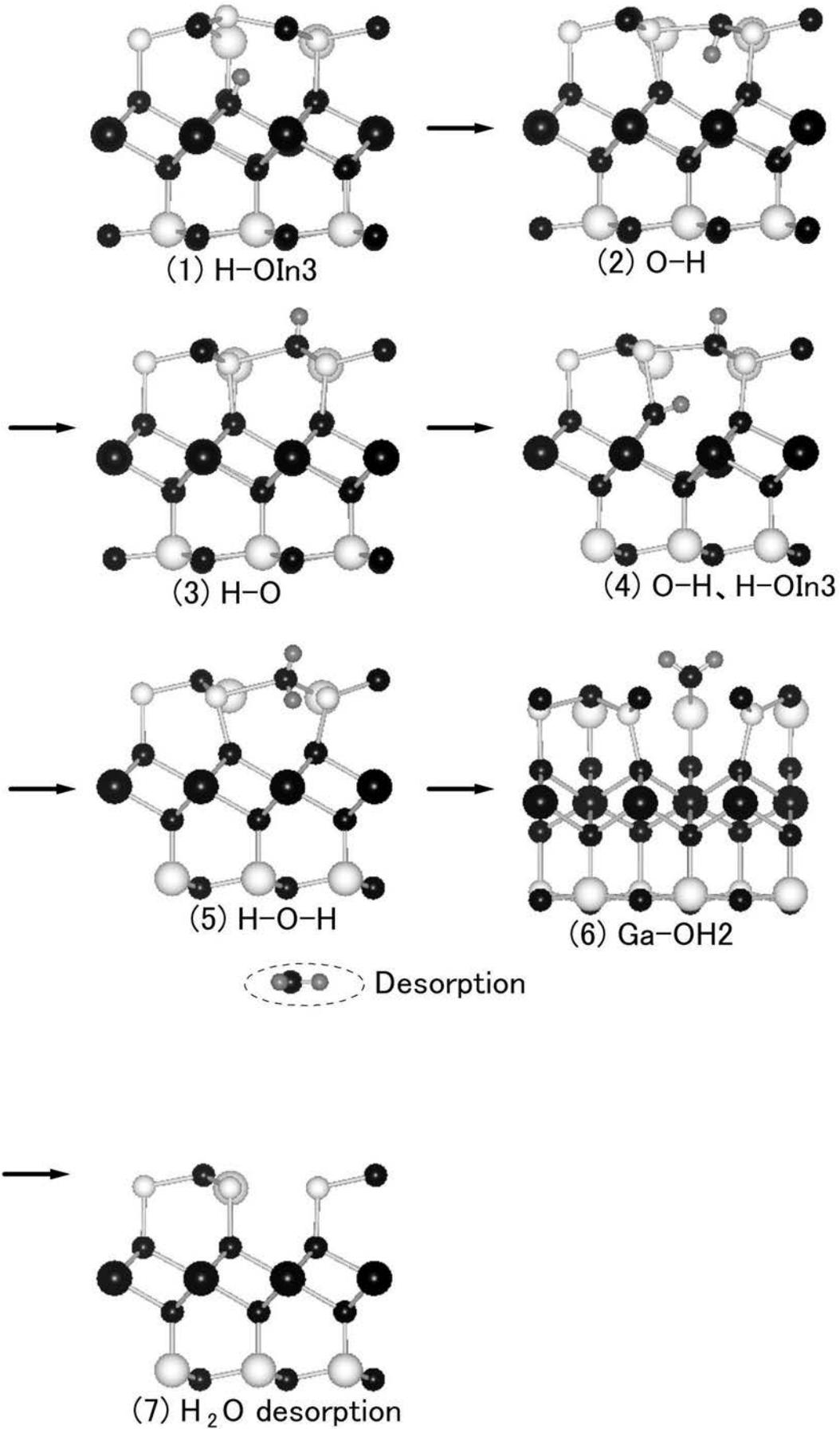


【 図 2 8 】

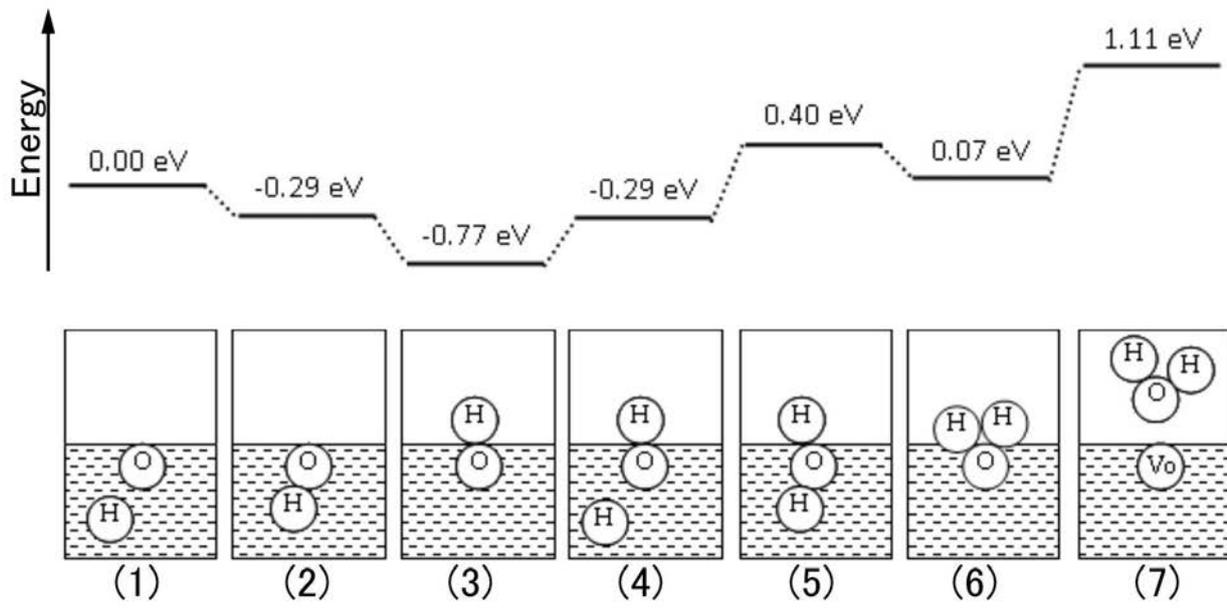


● : In ● : Ga ● : Zn ● : O ● : H

【 図 2 9 】



【 図 3 0 】

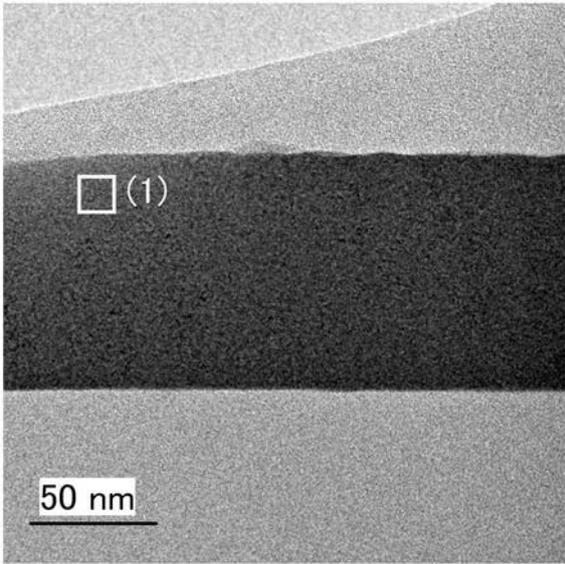


【 図 7 1 】

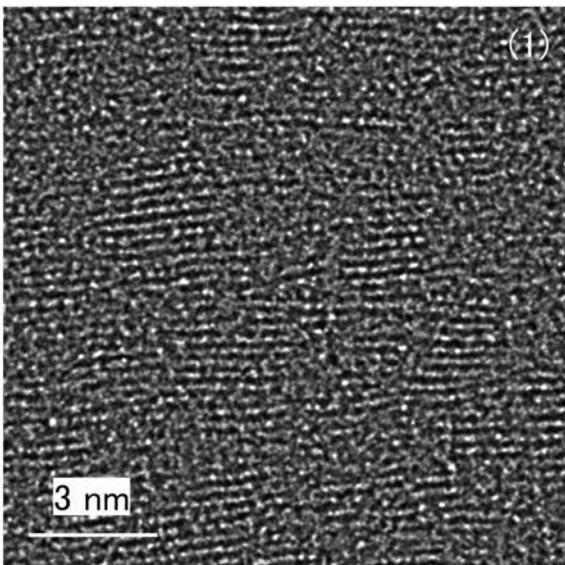


【図 7 2】

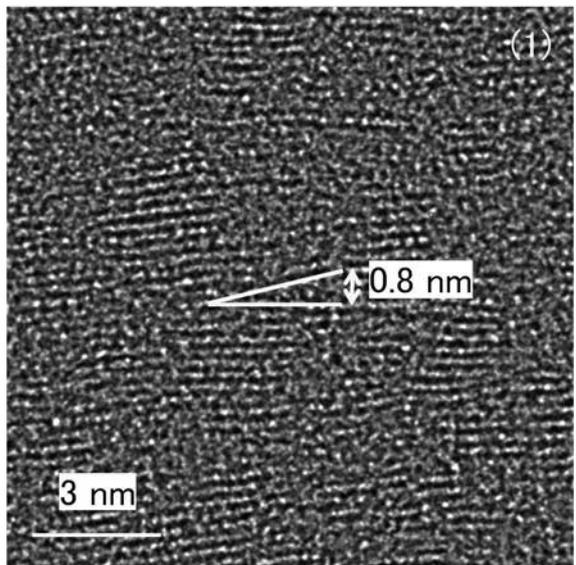
(A)



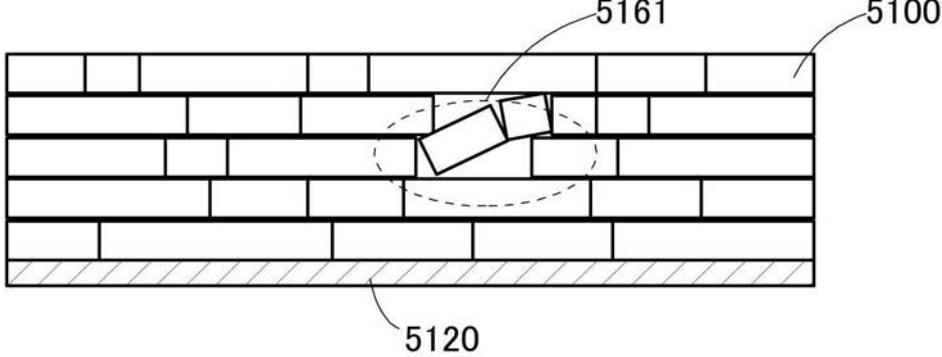
(B)



(C)

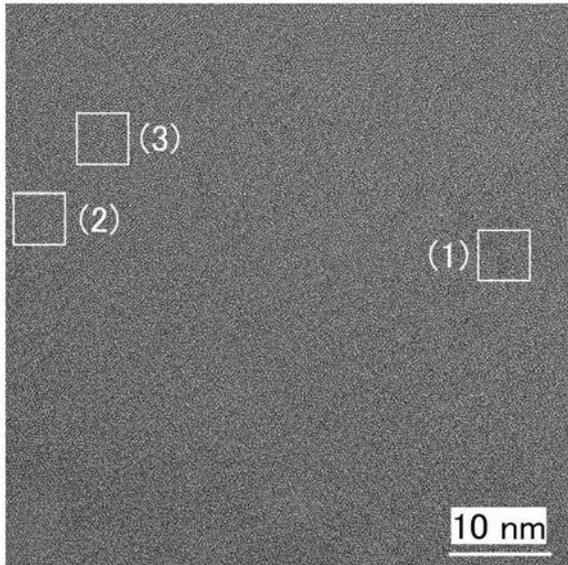


(D)

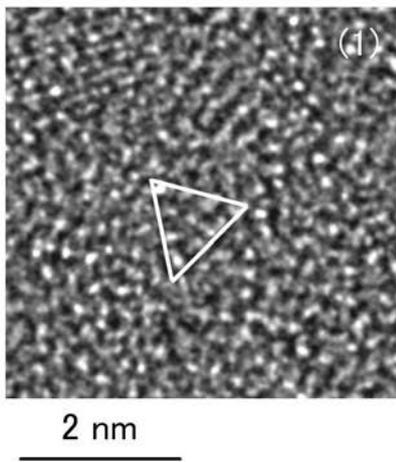


【 図 7 3 】

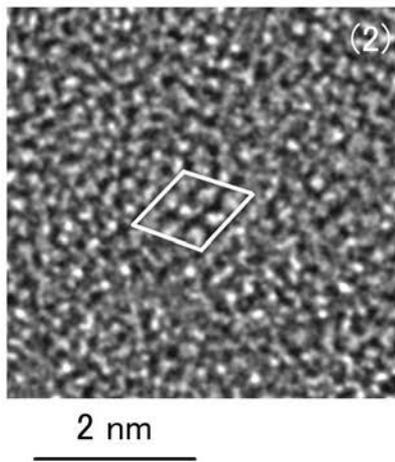
(A)



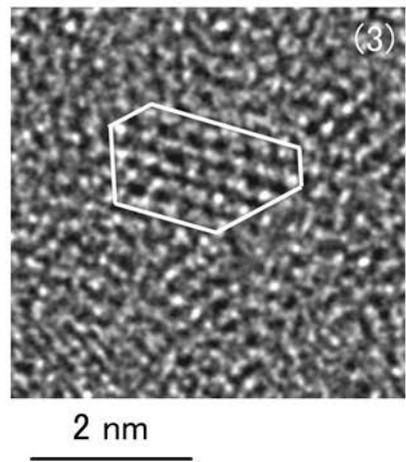
(B)



(C)

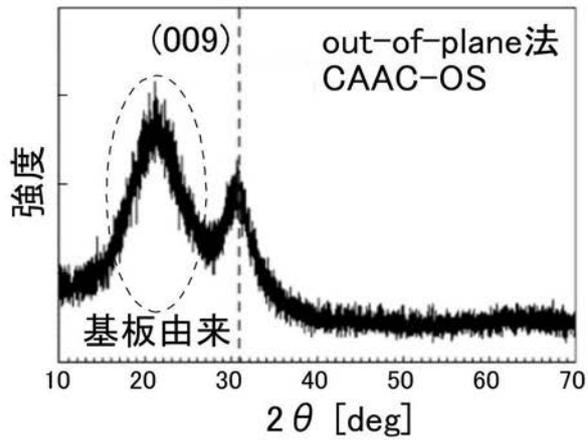


(D)

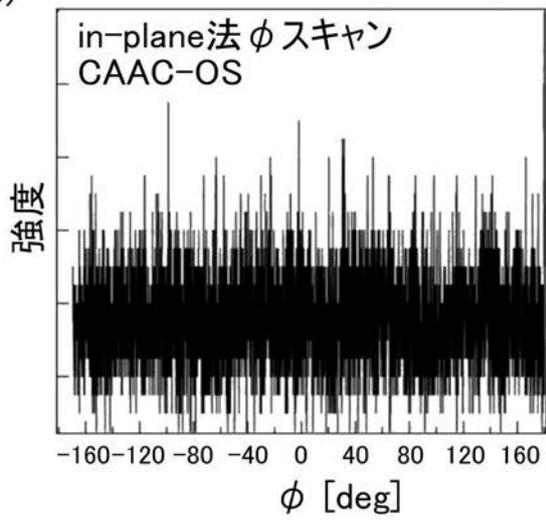


【 図 7 4 】

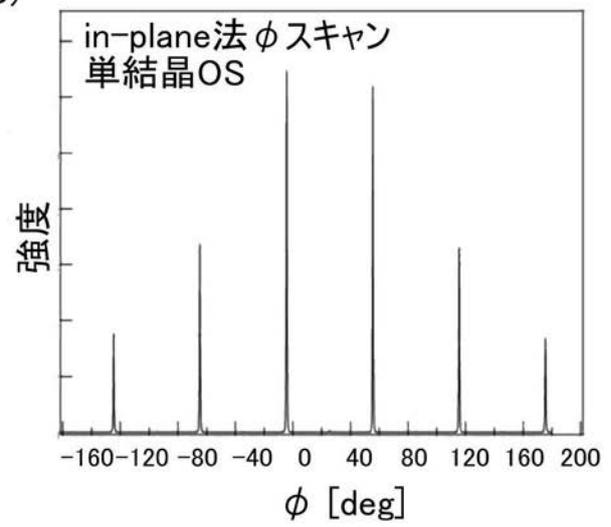
(A)



(B)

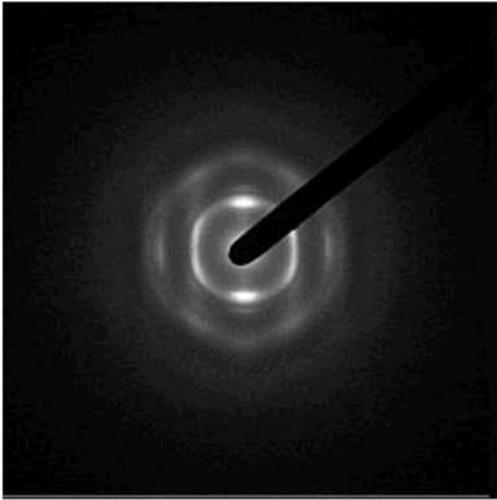


(C)



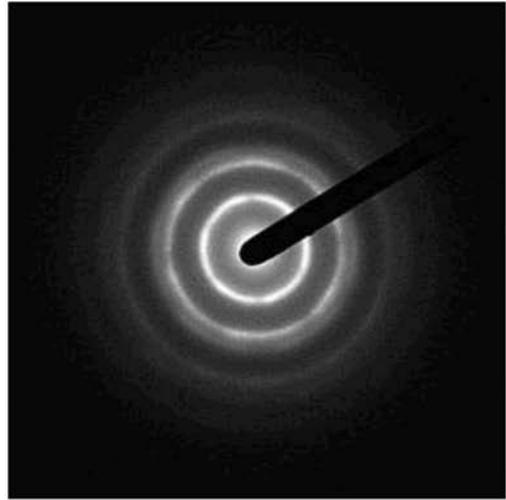
【図 7 5】

(A)



試料面に平行な方向
から電子線を入射

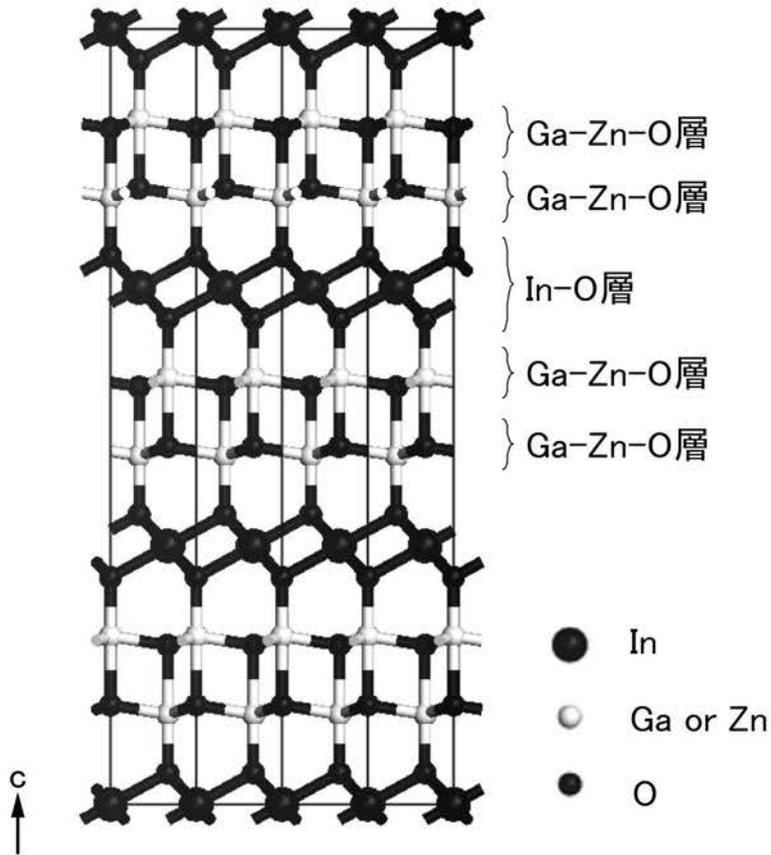
(B)



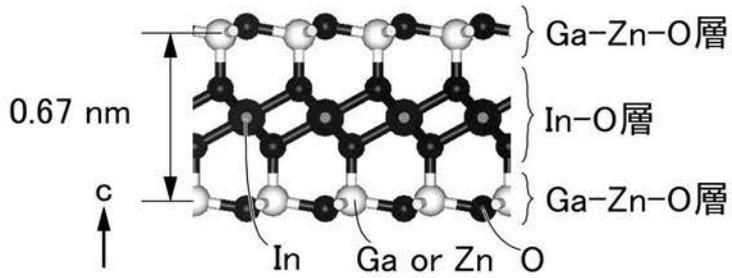
試料面に垂直な方向
から電子線を入射

【 図 7 8 】

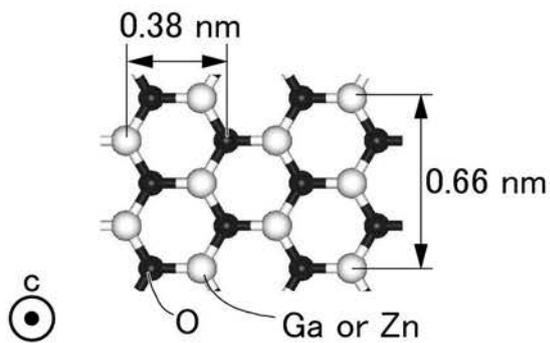
(A)



(B)



(C)



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I			テーマコード(参考)
H 0 1 L 51/50 (2006.01)	H 0 5 B	33/14		A
H 0 5 B 33/08 (2006.01)	H 0 5 B	33/08		
G 0 9 F 9/30 (2006.01)	G 0 9 F	9/30	3 3 8	
H 0 1 L 21/822 (2006.01)	H 0 1 L	27/04		C
H 0 1 L 27/04 (2006.01)	H 0 1 L	27/04		P
	H 0 1 L	27/04		H

(72)発明者 山崎 舜平

神奈川県厚木市長谷 3 9 8 番地 株式会社半導体エネルギー研究所内

(72)発明者 保坂 泰靖

栃木県栃木市都賀町升塚 1 6 1 - 2 アドバンスト フィルム デバイス インク株式会社内

(72)発明者 生内 俊光

栃木県栃木市都賀町升塚 1 6 1 - 2 アドバンスト フィルム デバイス インク株式会社内

(72)発明者 肥塚 純一

栃木県栃木市都賀町升塚 1 6 1 - 2 アドバンスト フィルム デバイス インク株式会社内

Fターム(参考) 3K107 AA01 CC36 CC37 CC45 EE04 FF04 FF14 FF16 FF17 GG26
GG28 HH05
4M104 BB36 BB39 DD34 DD37 DD43 DD51 DD77 DD79 EE05 EE17
GG19 HH20
5C094 AA43 DA13 FB14
5F038 AC04 AC05 AC15 AC17 AR09 AR13 BH02 BH07 BH13 EZ06
EZ14 EZ15 EZ17 EZ20
5F110 AA06 AA08 AA30 BB01 CC07 DD01 DD02 DD03 DD05 DD12
DD13 DD15 EE01 EE02 EE03 EE04 EE06 EE07 EE14 EE15
EE30 EE38 EE42 EE43 EE44 EE45 FF01 FF02 FF03 FF04
FF09 FF27 FF28 FF29 GG01 GG06 GG13 GG14 GG15 GG17
GG19 GG25 GG33 GG34 GG35 GG42 GG43 GG44 GG58 HJ02
HJ12 HJ13 HJ18 HJ22 HJ30 HK01 HK02 HK03 HK04 HK06
HK07 HK21 HK22 HL07 HM12 HM17 HM18 NN03 NN04 NN12
NN22 NN23 NN24 NN27 NN28 NN34 NN35 NN40 NN72 NN73
QQ02 QQ06 QQ09