

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6305683号
(P6305683)

(45) 発行日 平成30年4月4日(2018.4.4)

(24) 登録日 平成30年3月16日(2018.3.16)

(51) Int.Cl.

H01L 29/786 (2006.01)

F 1

H01L 29/78 618B
H01L 29/78 620

請求項の数 6 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2013-48733 (P2013-48733)
 (22) 出願日 平成25年3月12日 (2013.3.12)
 (65) 公開番号 特開2013-219342 (P2013-219342A)
 (43) 公開日 平成25年10月24日 (2013.10.24)
 審査請求日 平成28年2月26日 (2016.2.26)
 (31) 優先権主張番号 特願2012-56643 (P2012-56643)
 (32) 優先日 平成24年3月14日 (2012.3.14)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000153878
 株式会社半導体エネルギー研究所
 神奈川県厚木市長谷398番地
 (72) 発明者 山崎 舜平
 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
 半導体エネルギー研究所内
 (72) 発明者 高橋 正弘
 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

審査官 岩本 勉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】酸化物半導体膜、トランジスタ、及び半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

酸化物半導体膜において、

前記酸化物半導体膜はインジウム、ガリウム及び亜鉛を有し、

前記酸化物半導体膜が有するインジウム、ガリウム、亜鉛の原子数比は、In : Ga : Zn = 8 : 4 : 3 または 3 : 1 : 1 であり、

前記酸化物半導体膜の表面に垂直な c 軸を有する第 1 の結晶部と、

前記第 1 の結晶部において、前記第 1 の結晶部の c 軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素を含む第 1 の結晶配列部と、

前記酸化物半導体膜の表面に垂直な c 軸を有する第 2 の結晶部と、

前記第 2 の結晶部において、前記第 2 の結晶部の c 軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素を含む第 2 の結晶配列部と、を有し、

前記第 1 の結晶部と前記第 2 の結晶部間で、それぞれ a 軸及び b 軸の向きが異なり、

前記第 1 の結晶配列部及び前記第 2 の結晶配列部の長さがそれぞれ 1.5 nm より長いことを特徴とする酸化物半導体膜。

【請求項 2】

酸化物半導体膜において、

前記酸化物半導体膜は、インジウム、ガリウム及び亜鉛を有し、

前記酸化物半導体膜が有するインジウム、ガリウム、亜鉛の原子数比は、In : Ga : Zn = 8 : 4 : 3 または 3 : 1 : 1 であり、

10

20

前記酸化物半導体膜表面近傍の第1の領域と、

前記酸化物半導体膜被形成面近傍の第2の領域と、を有し、

前記第1の領域における、前記酸化物半導体膜の表面に垂直なc軸を有するすべての結晶部が占める割合は、前記第2の領域における、前記酸化物半導体膜の表面に垂直なc軸を有するすべての結晶部が占める割合より高く、

前記結晶部において、前記結晶部のc軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素を含む結晶配列部を有し、

前記結晶配列部の長さが1.5nmより長いことを特徴とする酸化物半導体膜。

【請求項3】

請求項1において、

10

前記第1の結晶配列部及び前記第2の結晶配列部の長さがそれぞれ2nm以上20nm以下であることを特徴とする酸化物半導体膜。

【請求項4】

請求項2において、

前記結晶配列部の長さが2nm以上20nm以下であることを特徴とする酸化物半導体膜。

【請求項5】

請求項1乃至4のいずれか一項における酸化物半導体膜をチャネル形成領域に用いたことを特徴とするトランジスタ。

【請求項6】

20

請求項5に記載のトランジスタを含む回路を有することを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

酸化物半導体膜、トランジスタ、半導体装置、及びそれらの作製方法に関する。

【0002】

なお、本明細書中において半導体装置とは、半導体特性を利用することで機能しうる装置全般を指し、電気光学装置、半導体回路および電子機器は全て半導体装置である。

【背景技術】

【0003】

30

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

【0004】

また、最近では、半導体薄膜の材料として酸化物半導体が注目されている。例えば、基板上にインジウム（In）、ガリウム（Ga）、及び亜鉛（Zn）を含むアモルファス酸化物（In-Ga-Zn-O系アモルファス酸化物）からなる半導体層を用いたトランジスタが開示されている（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2011-181801号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、半導体装置において、高信頼性の達成は、製品化にむけて重要事項であり、特に半導体装置の電気特性の変動や低下は信頼性の低下を招く要因である。

【0007】

半導体装置の電気特性の変動には、トランジスタのチャネル形成領域に用いる半導体膜の

50

熱や光等に対する安定性が大きく影響する。

【0008】

そこで、トランジスタの電気特性の変動を生じさせにくい、安定性の高い酸化物半導体膜を提供することを課題の一とする。

【0009】

該酸化物半導体膜をチャネル形成領域に用いた電気的に安定な特性を有するトランジスタを提供することを課題の一とする。

【0010】

該トランジスタを有する信頼性の高い半導体装置を提供することを課題の一とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0011】

本明細書で開示する発明において、酸化物半導体膜は、c軸が表面に概略垂直である結晶部を含む酸化物半導体膜、CAAC-OS (C Axis Aligned Crystalline Oxide Semiconductor) 膜である。本明細書においては、c軸が表面に概略垂直である結晶部を含む酸化物半導体膜をCAAC-OS膜という。

【0012】

本明細書で開示する発明の構成の一形態は、インジウムを含む酸化物半導体膜であって、c軸が表面に概略垂直である結晶部を含み、結晶部において、c軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが1.5nmより長い酸化物半導体膜である。

20

【0013】

本明細書で開示する発明の構成の他の一形態は、インジウムを含む酸化物半導体膜であって、c軸が表面に概略垂直である結晶部を有し、結晶部において、c軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが2nm以上20nm以下である酸化物半導体膜である。

【0014】

本明細書で開示する発明の構成の他の一形態は、インジウムを含む酸化物半導体膜であって、複数の結晶部を含み、複数の結晶部はc軸配向しており、c軸は酸化物半導体膜の表面に概略垂直であり、複数の結晶部において、c軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが1.5nmより長い酸化物半導体膜である。

30

【0015】

本明細書で開示する発明の構成の他の一形態は、インジウムを含む酸化物半導体膜であって、複数の結晶部を含み、複数の結晶部はc軸配向しており、c軸は酸化物半導体膜の表面に概略垂直であり、複数の結晶部において、c軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが2nm以上20nm以下である酸化物半導体膜である。

【0016】

本明細書で開示する発明の構成の他の一形態は、上記構成において、酸化物半導体膜はガリウム及び亜鉛を含む酸化物半導体膜である。

40

【0017】

本明細書で開示する発明の構成の他の一形態は、上記に記載の酸化物半導体膜をチャネル形成領域とするトランジスタである。

【0018】

本明細書で開示する発明の構成の他の一形態は、上記に記載のトランジスタを含む回路を有する半導体装置である。

【0019】

本明細書で開示する酸化物半導体膜(CAAC-OS膜)は、非晶質酸化物半導体膜と比較して、加熱処理を行っても膜中の金属元素の脱離が生じにくく、光応答性も低い。よって熱及び光に対して安定性が高い。

50

【0020】

また、チャネル形成領域に用いる酸化物半導体膜は、酸素欠陥に代表される膜中の欠陥が低減されていることが好ましい。酸素欠陥に代表されるような欠陥は、酸化物半導体膜中でキャリアの供給源のように機能するため、酸化物半導体膜の電気伝導度が変動する原因となりうる。酸素欠陥の量は、電子スピン共鳴法 (E S R : electron spin resonance) により、酸化物半導体膜中の孤立電子の量をスピン密度として測定し、推定することができる。

【0021】

本明細書で開示する酸化物半導体膜 (C A A C - O S 膜) は、スピン密度が低く、酸素欠陥の量が、非晶質酸化物半導体膜より、低減されている。

10

【0022】

従って、本明細書で開示する酸化物半導体膜 (C A A C - O S 膜) をチャネル形成領域に用いたトランジスタは、電気伝導度が安定しており、加熱や光照射に対してもより電気的に安定な特性を有する。

【0023】

本発明の一形態は、酸化物半導体膜、該酸化物半導体膜を適用できるトランジスタ、若しくは該トランジスタを含んで構成される回路を有する半導体装置に関する。例えば、酸化物半導体でチャネル形成領域が形成される、トランジスタ若しくはトランジスタを含んで構成される回路を有する半導体装置に関する。例えば、 L S I や、 C P U や、電源回路に搭載されるパワーデバイスや、メモリ、サイリスタ、コンバータ、イメージセンサなどを含む半導体集積回路、液晶表示パネルに代表される電気光学装置や発光素子を有する発光表示装置を部品として搭載した電子機器に関する。

20

【発明の効果】

【0024】

トランジスタの電気特性の変動を生じさせにくい、安定性の高い酸化物半導体膜を提供する。

【0025】

該酸化物半導体膜をチャネル形成領域に用いた電気的に安定な特性を有するトランジスタを提供する。

【0026】

30

該トランジスタを有する信頼性の高い半導体装置を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図 1】実施例試料の T E M 像を示す図。

【図 2】比較例試料の T E M 像を示す図。

【図 3】結晶部の構造の一形態を示す図。

【図 4】実施例試料及び比較例試料の X R D 結果を示す図。

【図 5】半導体装置の一形態を説明する断面図。

【図 6】電子機器を示す図。

【図 7】電子機器を示す図。

40

【図 8】電子機器を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下では、本明細書に開示する発明の実施の形態について図面を用いて詳細に説明する。ただし、本明細書に開示する発明は以下の説明に限定されず、その形態および詳細を様々に変更し得ることは、当業者であれば容易に理解される。また、本明細書に開示する発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。なお、第 1 、第 2 として付される序数詞は便宜上用いるものであり、工程順又は積層順を示すものではない。また、本明細書において発明を特定するための事項として固有の名称を示すものではない。

50

【0029】

(実施の形態1)

本明細書で開示する発明に係る酸化物半導体膜は、c軸が表面に概略垂直である結晶部を含む酸化物半導体(CAAC-OS)膜であり、結晶部において、c軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが1.5nmより長い(好ましくは2nm以上20nm以下である)酸化物半導体膜である。

【0030】

本明細書で開示する発明に係る酸化物半導体膜は、結晶部において、少なくとも1.5nmより長い(好ましくは2nm以上20nm以下である)c軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部が認められるCAAC-OS膜である。

10

【0031】

酸化物半導体膜は、例えば非単結晶を有してもよい。非単結晶は、例えば、CAAC(C Axis Aligned Crystal)、多結晶、微結晶、非晶質部を有する。非晶質部は、微結晶、CAACよりも欠陥準位密度が高い。また、微結晶は、CAACよりも欠陥準位密度が高い。なお、CAACを有する酸化物半導体を、CAAC-OS(C Axis Aligned Crystalline Oxide Semiconductor)と呼ぶ。

【0032】

酸化物半導体膜は、例えばCAAC-OSを有してもよい。CAAC-OSは、例えば、c軸配向し、a軸または/およびb軸はマクロに揃っていない。

20

【0033】

酸化物半導体膜は、例えば微結晶を有してもよい。なお、微結晶を有する酸化物半導体を、微結晶酸化物半導体と呼ぶ。微結晶酸化物半導体膜は、例えば、1nm以上10nm未満のサイズの微結晶(ナノ結晶ともいう。)を膜中に含む。

【0034】

酸化物半導体膜は、例えば非晶質部を有してもよい。なお、非晶質部を有する酸化物半導体を、非晶質酸化物半導体と呼ぶ。非晶質酸化物半導体膜は、例えば、原子配列が無秩序であり、結晶成分を有さない。または、非晶質酸化物半導体膜は、例えば、完全な非晶質であり、結晶部を有さない。

30

【0035】

なお、酸化物半導体膜が、CAAC-OS、微結晶酸化物半導体、非晶質酸化物半導体の混合膜であってもよい。混合膜は、例えば、非晶質酸化物半導体の領域と、微結晶酸化物半導体の領域と、CAAC-OSの領域と、を有する。また、混合膜は、例えば、非晶質酸化物半導体の領域と、微結晶酸化物半導体の領域と、CAAC-OSの領域と、の積層構造を有してもよい。

【0036】

なお、酸化物半導体膜は、例えば、単結晶を有してもよい。

【0037】

酸化物半導体膜は、複数の結晶部を有し、当該結晶部のc軸が被形成面の法線ベクトルまたは表面の法線ベクトルに平行な方向に揃っていることが好ましい。なお、異なる結晶部間で、それぞれa軸およびb軸の向きが異なっていてもよい。そのような酸化物半導体膜の一例としては、CAAC-OS膜がある。

40

【0038】

CAAC-OS膜は、例えば、結晶部を有している。CAAC-OS膜に含まれる結晶部は、一辺が100nm未満の立方体内に収まる大きさであることが多い。また、透過型電子顕微鏡(TEM: Transmission Electron Microscope)による観察像では、CAAC-OS膜には明確な粒界(グレインバウンダリーともいう。)は確認できない。そのため、CAAC-OS膜は、粒界に起因する電子移動度の低下が抑制される。

【0039】

50

C A A C - O S 膜に含まれる結晶部は、例えば、c 軸が C A A C - O S 膜の被形成面の法線ベクトルまたは表面の法線ベクトルに平行な方向になるように揃い、かつ a b 面に垂直な方向から見て金属原子が三角形状または六角形状に配列し、c 軸に垂直な方向から見て金属原子が層状または金属原子と酸素原子とが層状に配列している。なお、異なる結晶部間で、それぞれ a 軸および b 軸の向きが異なっている。即ち、C A A C - O S 膜は、異なる結晶成分間で c 軸は揃っているが、a 軸及び b 軸が揃っていないことからエピタキシャル成長でない膜である。本明細書において、単に垂直と記載する場合、80°以上100°以下、好ましくは85°以上95°以下の範囲も含まれることとする。また、単に平行と記載する場合、-10°以上10°以下、好ましくは-5°以上5°以下の範囲も含まれることとする。

10

【0040】

なお、C A A C - O S 膜において、結晶部の分布が一様でなくてもよい。例えば、C A A C - O S 膜の形成過程において、酸化物半導体膜の表面側から結晶成長させる場合、被形成面の近傍に対し表面の近傍では結晶部の占める割合が高くなることがある。

【0041】

C A A C - O S 膜に含まれる結晶部の c 軸は、C A A C - O S 膜の被形成面の法線ベクトルまたは表面の法線ベクトルに平行な方向になるように揃うため、C A A C - O S 膜の形状（被形成面の断面形状または表面の断面形状）によっては互いに異なる方向を向くことがある。また、結晶部は、成膜したとき、または成膜後に加熱処理などの結晶化処理を行ったときに形成される。従って、結晶部の c 軸は、C A A C - O S 膜が形成されたときの被形成面の法線ベクトルまたは表面の法線ベクトルに平行な方向になるように揃う。

20

【0042】

C A A C - O S 膜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。よって、当該トランジスタは、信頼性が高い。

【0043】

C A A C - O S 膜に含まれる結晶部の結晶構造の一例について、図3を用いて説明する。なお、特に断りがない限り、図3は上方向を c 軸方向とし、c 軸方向と直交する面を a b 面とする。本実施の形態では、インジウム、ガリウム、亜塩を含む酸化物半導体膜の結晶部に含まれる、In - Ga - Zn - O 系の結晶構造を例として示す。図3において、灰色の球はインジウム原子を、白色の球はガリウム原子又は亜鉛原子を、黒色の球は酸素原子を表しており、矢印は In - Ga - Zn - O 系の結晶の c 軸方向を表している。

30

【0044】

図3に示すように、c 軸方向に配向した In - Ga - Zn - O 系の結晶構造において、インジウム及び酸素 (In - O) は、c 軸に垂直な方向に連なって結晶配列している。本明細書に開示する発明に係るインジウム、ガリウム、亜塩を含む酸化物半導体膜は、結晶部において、このインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが、少なくとも1.5 nmより長い（好ましくは2nm以上20nm以下である）膜である。

【0045】

本明細書で開示する発明に係る酸化物半導体膜に用いる酸化物半導体としては、少なくともインジウム (In) を含む。特に In と亜鉛 (Zn) を含むことが好ましい。また、該酸化物半導体膜を用いたトランジスタの電気特性のばらつきを減らすためのスタビライザーとして、それらに加えてガリウム (Ga) を有することが好ましい。また、スタビライザーとしてスズ (Sn) を有することが好ましい。また、スタビライザーとしてハフニウム (Hf) を有することが好ましい。また、スタビライザーとしてアルミニウム (Al) を有することが好ましい。また、スタビライザーとしてジルコニウム (Zr) を有することが好ましい。

40

【0046】

また、他のスタビライザーとして、ランタノイドである、ランタン (La)、セリウム (Ce)、プラセオジム (Pr)、ネオジム (Nd)、サマリウム (Sm)、ユウロピウム (Eu)、ガドリニウム (Gd)、テルビウム (Tb)、ジスプロシウム (Dy)、ホル

50

ミウム(Ho)、エルビウム(Er)、ツリウム(Tm)、イッテルビウム(Yb)、ルテチウム(Lu)のいずれか一種あるいは複数種を有してもよい。

【 0047 】

例えば、酸化物半導体として、酸化インジウム、二元系金属の酸化物である In - Zn 系酸化物、In - Mg 系酸化物、In - Ga 系酸化物、三元系金属の酸化物である In - Ga - Zn 系酸化物(IGZO とも表記する)、In - Al - Zn 系酸化物、In - Sn - Zn 系酸化物、In - Hf - Zn 系酸化物、In - La - Zn 系酸化物、In - Ce - Zn 系酸化物、In - Pr - Zn 系酸化物、In - Nd - Zn 系酸化物、In - Sm - Zn 系酸化物、In - Eu - Zn 系酸化物、In - Gd - Zn 系酸化物、In - Tb - Zn 系酸化物、In - Dy - Zn 系酸化物、In - Ho - Zn 系酸化物、In - Er - Zn 系酸化物、In - Tm - Zn 系酸化物、In - Yb - Zn 系酸化物、In - Lu - Zn 系酸化物、四元系金属の酸化物である In - Sn - Ga - Zn 系酸化物、In - Hf - Ga - Zn 系酸化物、In - Al - Ga - Zn 系酸化物、In - Sn - Al - Zn 系酸化物、In - Sn - Hf - Zn 系酸化物、In - Hf - Al - Zn 系酸化物を用いることができる。

【 0048 】

なお、ここで、例えば、In - Ga - Zn 系酸化物とは、In と Ga と Zn を主成分として有する酸化物という意味であり、In と Ga と Zn の比率は問わない。また、In と Ga と Zn 以外の金属元素が入っていてもよい。

【 0049 】

また、酸化物半導体として、 $InMO_3 (ZnO)_m$ ($m > 0$ 、且つ、 m は整数でない) で表記される材料を用いてもよい。なお、M は、Ga、Fe、Mn 及びCo から選ばれた一の金属元素又は複数の金属元素を示す。また、酸化物半導体として、 $In_2SnO_5 (ZnO)_n$ ($n > 0$ 、且つ、 n は整数) で表記される材料を用いてもよい。

【 0050 】

例えば、 $In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$ ($= 1/3 : 1/3 : 1/3$)、 $In : Ga : Zn = 2 : 2 : 1$ ($= 2/5 : 2/5 : 1/5$)、あるいは $In : Ga : Zn = 3 : 1 : 2$ ($= 1/2 : 1/6 : 1/3$) の原子数比の In - Ga - Zn 系酸化物やその組成の近傍の酸化物を用いることができる。あるいは、 $In : Sn : Zn = 1 : 1 : 1$ ($= 1/3 : 1/3 : 1/3$)、 $In : Sn : Zn = 2 : 1 : 3$ ($= 1/3 : 1/6 : 1/2$) あるいは $In : Sn : Zn = 2 : 1 : 5$ ($= 1/4 : 1/8 : 5/8$) の原子数比の In - Sn - Zn 系酸化物やその組成の近傍の酸化物を用いるとよい。

【 0051 】

しかし、インジウムを含む酸化物半導体は、これらに限られず、必要とする半導体特性(移動度、しきい値、ばらつき等)に応じて適切な組成のものを用いればよい。また、必要とする半導体特性を得るために、キャリア濃度や不純物濃度、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。

【 0052 】

なお、例えば、In、Ga、Zn の原子数比が $In : Ga : Zn = a : b : c$ ($a + b + c = 1$) である酸化物の組成が、原子数比が $In : Ga : Zn = A : B : C$ ($A + B + C = 1$) の酸化物の組成の近傍であるとは、a、b、c が、 $(a - A)^2 + (b - B)^2 + (c - C)^2 = r^2$ を満たすことをいう。r としては、例えば、0.05 とすればよい。他の酸化物でも同様である。

【 0053 】

なお、酸化物半導体膜を構成する酸素の一部は窒素で置換されてもよい。

【 0054 】

本明細書で開示する発明に係る酸化物半導体膜は、スパッタリング法、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法、CVD 法、パルスレーザ堆積法、ALD (Atomic Layer Deposition) 法等を用いて形成することができる。また、酸化物半導体膜は、スパッタリングターゲット表面に対し、概略垂直に複数の基板表面がセットされた状態で成膜を行うスパッタ装置を用いて形成してもよい。また、作

10

20

30

40

50

製方法として、成膜時に加熱しながら表面に概略垂直にc軸配向した結晶部を形成する方法や、成膜後に熱処理などの結晶化処理を行うことにより表面に概略垂直にc軸配向した結晶部を形成する方法、C A A C - O S膜上に成膜することにより表面に概略垂直にc軸配向した結晶部を有する酸化物半導体膜を形成する方法などを用いることができる。

【0055】

C A A C - O S膜は、例えば、多結晶である酸化物半導体スパッタリング用ターゲットを用い、スパッタリング法によって成膜する。当該スパッタリング用ターゲットにイオンが衝突すると、スパッタリング用ターゲットに含まれる結晶領域がa b面から劈開し、a b面に平行な面を有する平板状またはペレット状のスパッタリング粒子として剥離することができる。この場合、当該平板状のスパッタリング粒子が、結晶状態を維持したまま基板に到達することで、C A A C - O S膜を成膜することができる。10

【0056】

また、C A A C - O S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。

【0057】

成膜時の不純物混入を低減することで、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、二酸化炭素および窒素など）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、露点が-80以下、好ましくは-100以下である成膜ガスを用いる。

【0058】

また、成膜時の基板加熱温度を高めることで、基板到達後にスパッタリング粒子のマイグレーションが起こる。具体的には、基板加熱温度を100以上740以下、好ましくは200以上500以下として成膜する。成膜時の基板加熱温度を高めることで、平板状のスパッタリング粒子が基板に到達した場合、基板上でマイグレーションが起こり、スパッタリング粒子の平らな面が基板に付着する。20

【0059】

また、成膜ガス中の酸素割合を高め、電力を最適化することで成膜時のプラズマダメージを軽減すると好ましい。成膜ガス中の酸素割合は、30体積%以上、好ましくは100体積%とする。

【0060】

スパッタリング用ターゲットの一例として、In-Ga-Zn-O化合物ターゲットについて以下に示す。30

【0061】

InO_x粉末、GaO_y粉末およびZnO_z粉末を所定のmol数で混合し、加圧処理後、1000以上1500以下の温度で加熱処理することで多結晶であるIn-Ga-Zn-O化合物ターゲットとする。なお、X、YおよびZは任意の正数である。ここで、所定のmol数比は、例えば、InO_x粉末、GaO_y粉末およびZnO_z粉末が、2:2:1、8:4:3、3:1:1、1:1:1、4:2:3または3:1:2である。なお、粉末の種類、およびその混合するmol数比は、作製するスパッタリング用ターゲットによって適宜変更すればよい。

【0062】

また、本明細書で開示する発明に係る結晶部を有する酸化物半導体膜では、表面の平坦性を高めればより高い移動度を得ることができる。表面の平坦性を高めるためには、平坦な表面上に酸化物半導体膜を形成することができる。具体的には、平均面粗さ（Ra）が1nm以下、好ましくは0.3nm以下、より好ましくは0.1nm以下の表面上に形成するとよい。

【0063】

なお、Raとは、JIS B 0601:2001 (ISO 4287:1997) で定義されている算術平均粗さを曲面に対して適用できるよう三次元に拡張したものであり、「基準面から指定面までの偏差の絶対値を平均した値」で表現でき、以下の式にて定義される。40

【0064】

【数1】

$$Ra = \frac{1}{S_0} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} |f(x, y) - Z_0| dx dy$$

【0065】

ここで、指定面とは、粗さ計測の対象となる面であり、座標(($x_1, y_1, f(x_1, y_1)$), ($x_1, y_2, f(x_1, y_2)$), ($x_2, y_1, f(x_2, y_1)$), ($x_2, y_2, f(x_2, y_2)$))の4点で表される四角形の領域とし、指定面をxy平面に投影した長方形の面積を S_0 、基準面の高さ(指定面の平均の高さ)を Z_0 とする。Raは原子間力顕微鏡(AFM: Atomic Force Microscope)にて測定可能である。

【0066】

本明細書で開示する酸化物半導体膜(CAAC-OS膜)は、非晶質酸化物半導体膜と比較して、加熱処理を行っても膜中の金属元素の脱離が生じにくく、光応答性も低い。よって熱及び光に対して安定性が高い。

【0067】

また、本明細書で開示する酸化物半導体膜(CAAC-OS膜)は、スピンドル密度が低く、酸素欠陥の量が、非晶質酸化物半導体膜より、低減されている。

20

【0068】

従って、本明細書で開示する酸化物半導体膜(CAAC-OS膜)をチャネル形成領域に用いたトランジスタは、電気伝導度が安定しており、加熱や光照射に対してもより電気的に安定な特性を有する。

【0069】

従って、該酸化物半導体膜をチャネル形成領域に用いたトランジスタを有する信頼性の高い半導体装置を提供することができる。

【0070】

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

30

【0071】

(実施の形態2)

本明細書で開示する発明に係る半導体装置に設けられるトランジスタは、そのチャネル形成領域に、実施の形態1で示した、c軸が表面に概略垂直である結晶部を含み、c軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが1.5nmより長い(好ましくは2nm以上20nm以下である)CAAC-OS膜を用いる。

【0072】

本明細書で開示する発明に係る半導体装置に設けられるトランジスタの構造は特に限定されず、例えばトップゲート構造、又はボトムゲート構造のスタガ型及びプレーナ型などを適用することができる。また、トランジスタはチャネル形成領域が一つ形成されるシングルゲート構造でも、2つ形成されるダブルゲート構造もしくは3つ形成されるトリプルゲート構造などのマルチゲート構造であってもよい。また、チャネル形成領域の上下にゲート絶縁膜を介して配置された2つのゲート電極層を有する、デュアルゲート型でもよい。

40

【0073】

本明細書で開示する発明に係る半導体装置に設けられるトランジスタの例を図5(A)乃至(E)に示す。図5(A)乃至(E)に示すトランジスタは、酸化物半導体膜403として、実施の形態1で示した、c軸が表面に概略垂直である結晶部を含み、c軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが1.5nmより長い(好ましくは2nm以上20nm以下である)CAAC-OS膜を用いる。

【0074】

50

図5(A)に示すトランジスタ410は、ボトムゲート構造のトランジスタの一つであり、逆スタガ型トランジスタともいう。

【0075】

トランジスタ410は、絶縁表面を有する基板400上に、ゲート電極層401、ゲート絶縁膜402、酸化物半導体膜403、ソース電極層405a、及びドレイン電極層405bを含む。また、トランジスタ410を覆い、酸化物半導体膜403に積層する絶縁膜407が設けられている。

【0076】

図5(B)に示すトランジスタ420は、チャネル保護型(チャネルルストップ型ともいう)と呼ばれるボトムゲート構造の一つであり逆スタガ型トランジスタともいう。

10

【0077】

トランジスタ420は、絶縁表面を有する基板400上に、ゲート電極層401、ゲート絶縁膜402、酸化物半導体膜403、酸化物半導体膜403のチャネル形成領域を覆うチャネル保護層として機能する絶縁膜427、ソース電極層405a、及びドレイン電極層405bを含む。また、トランジスタ420を覆って絶縁膜407が設けられている。

【0078】

図5(C)示すトランジスタ430はボトムゲート型のトランジスタであり、絶縁表面を有する基板である基板400上に、ゲート電極層401、ゲート絶縁膜402、ソース電極層405a、ドレイン電極層405b、及び酸化物半導体膜403を含む。また、トランジスタ430を覆い、酸化物半導体膜403に接する絶縁膜407が設けられている。

20

【0079】

トランジスタ430においては、ゲート絶縁膜402は基板400及びゲート電極層401上に接して設けられ、ゲート絶縁膜402上にソース電極層405a、ドレイン電極層405bが接して設けられている。そして、ゲート絶縁膜402、及びソース電極層405a、ドレイン電極層405b上に酸化物半導体膜403が設けられている。

【0080】

図5(D)に示すトランジスタ440は、トップゲート構造のトランジスタの一つである。トランジスタ440は、絶縁表面を有する基板400上に、絶縁膜437、酸化物半導体膜403、ソース電極層405a、及びドレイン電極層405b、ゲート絶縁膜402、ゲート電極層401を含み、ソース電極層405a、ドレイン電極層405bは、ゲート絶縁膜402、絶縁膜407及び絶縁膜415に形成された開口において酸化物半導体膜403と電気的に接続している。

30

【0081】

図5(E)に示すトランジスタ450は、トップゲート構造のトランジスタの一つである。トランジスタ450は、絶縁表面を有する基板400上に、絶縁膜437、ソース電極層405a、ドレイン電極層405b、酸化物半導体膜403、ゲート絶縁膜402、及びゲート電極層401を含む。

【0082】

絶縁表面を有する基板400に使用することができる基板に大きな制限はないが、少なくとも、後の熱処理に耐えうる程度の耐熱性を有していることが必要となる。例えば、バリウムホウケイ酸ガラスやアルミニノホウケイ酸ガラスなどのガラス基板などの電子工業用に使われる各種ガラス基板を用いることが出来る。なお、基板としては、熱膨張係数が $25 \times 10^{-7} /$ 以上 $50 \times 10^{-7} /$ 以下(好ましくは、 $30 \times 10^{-7} /$ 以上 $40 \times 10^{-7} /$ 以下)であり、歪み点が650以上750以下(好ましくは、700以上740以下)である基板を用いることが好ましい。

40

【0083】

第5世代($1000\text{mm} \times 1200\text{mm}$ または $1300\text{mm} \times 1500\text{mm}$)、第6世代($1500\text{mm} \times 1800\text{mm}$)、第7世代($1870\text{mm} \times 2200\text{mm}$)、第8世代($2200\text{mm} \times 2500\text{mm}$)、第9世代($2400\text{mm} \times 2800\text{mm}$)、第10世代($2880\text{mm} \times 3130\text{mm}$)などの大型ガラス基板を用いる場合、半導体装置の作

50

製工程における加熱処理などで生じる基板の縮みによって、微細な加工が困難になる場合ある。そのため、前述したような大型ガラス基板を基板として用いる場合、縮みの少ないものを用いることが好ましい。例えば、基板として、好ましくは450、さらに好ましくは500の温度で1時間加熱処理を行った後の縮み量が20 ppm以下、好ましくは10 ppm以下、さらに好ましくは5 ppm以下である大型ガラス基板を用いればよい。

【0084】

または、基板400として、セラミック基板、石英基板、サファイア基板などを用いることができる。また、シリコンや炭化シリコンなどの単結晶半導体基板、多結晶半導体基板、シリコンゲルマニウムなどの化合物半導体基板、SOI基板などを適用することもできる。これらの基板上に半導体素子が設けられたものを用いてもよい。

10

【0085】

また、基板400として、可撓性基板を用いて半導体装置を作製してもよい。可撓性を有する半導体装置を作製するには、可撓性基板上に酸化物半導体膜403を含むトランジスタ440を直接作製してもよいし、他の作製基板に酸化物半導体膜403を含むトランジスタ440を作製し、その後、該作製基板から剥離し、可撓性基板に転置してもよい。なお、作製基板から剥離し、可撓性基板に転置するために、作製基板と酸化物半導体膜を含むトランジスタ440との間に剥離層を設けるとよい。

【0086】

絶縁膜437としては、プラズマCVD法又はスパッタリング法等により、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化窒化アルミニウム、酸化ハフニウム、酸化ガリウムなどの酸化物絶縁膜、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などの窒化物絶縁膜、又はこれらの混合材料を用いて形成することができる。

20

【0087】

ゲート電極層401は、モリブデン、チタン、タンタル、タングステン、アルミニウム、銅、クロム、ネオジム、スカンジウム等の金属材料またはこれらを主成分とする合金材料を用いて形成することができる。また、ゲート電極層401としてリン等の不純物元素をドーピングした多結晶シリコン膜に代表される半導体膜、ニッケルシリサイドなどのシリサイド膜を用いてもよい。ゲート電極層401は、単層構造としてもよいし、積層構造としてもよい。

30

【0088】

また、ゲート電極層401は、酸化インジウム酸化スズ、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、酸化インジウム酸化亜鉛、酸化ケイ素を添加したインジウム錫酸化物などの導電性材料を適用することもできる。また、上記導電性材料と、上記金属材料の積層構造とすることもできる。

【0089】

また、ゲート電極層401として、窒素を含む金属酸化物、具体的には、窒素を含むIn-Ga-Zn-O膜や、窒素を含むIn-Sn-O膜や、窒素を含むIn-Ga-O膜や、窒素を含むIn-Zn-O膜や、窒素を含むSn-O膜や、窒素を含むIn-O膜や、金属窒化膜(InN、SnNなど)を用いることができる。

40

【0090】

ゲート絶縁膜402は、スパッタリング法、又は成膜ガスを用いたCVD法を用いて形成することができる。CVD法としては、LPCVD法、プラズマCVD法などを用いて形成することができ、また他の方法としては、塗布膜なども用いることができる。

【0091】

ゲート絶縁膜402は、酸化シリコン膜、酸化ガリウム膜、酸化アルミニウム膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、酸化窒化アルミニウム膜、または窒化酸化シリコン膜を用いて形成することができる。

【0092】

50

また、ゲート絶縁膜402は酸化ハフニウム、酸化イットリウム、ハフニウムシリケート($HfSi_xO_y$ ($x > 0$ 、 $y > 0$))、窒素が添加されたハフニウムシリケート($HfSiO_xN_y$ ($x > 0$ 、 $y > 0$))、ハフニウムアルミネート($HfAl_xO_y$ ($x > 0$ 、 $y > 0$))、酸化ランタンなどのhig h-k材料を用いることでゲートリーク電流を低減できる。さらに、ゲート絶縁膜402は、単層構造としても良いし、積層構造としても良い。

【0093】

ソース電極層405a、及びドレイン電極層405bは、例えば、Al、Cr、Cu、Ta、Ti、Mo、Wから選ばれた元素を含む金属膜、または上述した元素を成分とする金属窒化物膜(窒化チタン膜、窒化モリブデン膜、窒化タンゲステン膜)等を用いることができる。また、Al、Cuなどの金属膜の下側又は上側の一方または双方にTi、Mo、Wなどの高融点金属膜またはそれらの金属窒化物膜(窒化チタン膜、窒化モリブデン膜、窒化タンゲステン膜)を積層させた構成としても良い。また、ソース電極層405a、及びドレイン電極層405bに用いる導電膜としては、導電性の金属酸化物で形成しても良い。導電性の金属酸化物としては酸化インジウム(In_2O_3)、酸化スズ(SnO_2)、酸化亜鉛(ZnO)、酸化インジウム酸化スズ($In_2O_3-SnO_2$)、酸化インジウム酸化亜鉛(In_2O_3-ZnO)またはこれらの金属酸化物材料に酸化シリコンを含ませたものを用いることができる。

【0094】

絶縁膜407、415、427は、プラズマCVD法、スパッタリング法、又は蒸着法等により成膜することができる。

【0095】

絶縁膜407、415、427としては、例えば、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、酸化アルミニウム膜、酸化窒化アルミニウム膜、又は酸化ガリウム膜、酸化ハフニウム膜、酸化マグネシウム膜、酸化ジルコニウム膜、酸化ランタン膜、酸化バリウム膜、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などの無機絶縁膜などの単層又は積層を用いることができる。

【0096】

また、トランジスタ上にトランジスタ起因の表面凹凸を低減するために平坦化絶縁膜を形成してもよい。平坦化絶縁膜としては、ポリイミド、アクリル、ベンゾシクロブテン系樹脂、等の有機材料を用いることができる。また上記有機材料の他に、低誘電率材料(low-k材料)等を用いることができる。なお、これらの材料で形成される絶縁膜を複数積層させることで、平坦化絶縁膜を形成してもよい。

【0097】

本明細書で開示する酸化物半導体膜(CAAC-OS膜)403は、非晶質酸化物半導体膜と比較して、加熱処理を行っても膜中の金属元素の脱離が生じにくく、光応答性も低い。よって熱及び光に対して安定性が高い。

【0098】

また、本明細書で開示する酸化物半導体膜(CAAC-OS膜)403は、スピル密度が低く、酸素欠陥の量が、非晶質酸化物半導体膜より、低減されている。

【0099】

従って、本明細書で開示する酸化物半導体膜(CAAC-OS膜)403をチャネル形成領域に用いたトランジスタ410、420、430、440、450は、電気伝導度が安定しており、加熱や光照射に対してもより電気的に安定な特性を有する。

【0100】

従って、該酸化物半導体膜をチャネル形成領域に用いたトランジスタを有する信頼性の高い半導体装置を提供することができる。

【0101】

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

10

20

30

40

50

【0102】

(実施の形態3)

本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタは、様々な機能を有する半導体装置に適用することができる。例えば記憶装置、CPU(Central Processing Unit)、DSP(Digital Signal Processor)、カスタムLSI、FPGA(Field Programmable Gate Array)等のLSIに適用することができる。

【0103】

本明細書に開示する半導体装置は、さまざまな電子機器(遊技機も含む)に適用することができる。電子機器としては、テレビ、モニタ等の表示装置、照明装置、デスクトップ型

10

或いはノート型のパーソナルコンピュータ、ワードプロセッサ、DVD(Digital Versatile Disc)などの記録媒体に記憶された静止画又は動画を再生する画像再生装置、ポータブルCDプレーヤ、ラジオ、テープレコーダ、ヘッドホンステレオ、ステレオ、コードレス電話子機、トランシーバ、携帯無線機、携帯電話、自動車電話、携帯型ゲーム機、電卓、携帯情報端末、電子手帳、電子書籍、電子翻訳機、音声入力機器、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、電気シェーバ、電子レンジ等の高周波加熱装置、電気炊飯器、電気洗濯機、電気掃除機、エアコンディショナーなどの空調設備、食器洗い器、食器乾燥器、衣類乾燥器、布団乾燥器、電気冷蔵庫、電気冷凍庫、電気冷凍冷蔵庫、DNA保存用冷凍庫、煙感知器、放射線測定器、透析装置等の医療機器、などが挙げられる。さらに、誘導灯、信号機、ベルトコンベア、エレベータ、エスカレータ、産業用

20

ロボット、電力貯蔵システム等の産業機器も挙げられる。また、石油を用いたエンジンや、非水系二次電池からの電力を用いて電動機により推進する移動体なども、電気機器の範疇に含まれるものとする。上記移動体として、例えば、電気自動車(EV)、内燃機関と電動機を併せ持ったハイブリッド車(HEV)、プラグインハイブリッド車(PHEV)、これらのタイヤ車輪を無限軌道に変えた装軌車両、電動アシスト自転車を含む原動機付自転車、自動二輪車、電動車椅子、ゴルフ用カート、小型又は大型船舶、潜水艦、ヘリコプター、航空機、ロケット、人工衛星、宇宙探査機や惑星探査機、宇宙船が挙げられる。これらの電子機器の具体例を図6に示す。

【0104】

図6(A)は、表示部を有するテーブル9000を示している。テーブル9000は、筐体9001に表示部9003が組み込まれており、表示部9003により映像を表示することが可能である。なお、4本の脚部9002により筐体9001を支持した構成を示している。また、電力供給のための電源コード9005を筐体9001に有している。

30

【0105】

本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタは、表示部9003に用いることが可能であり、電子機器に高い信頼性を付与することができる。

【0106】

表示部9003は、タッチ入力機能を有しており、テーブル9000の表示部9003に表示された表示ボタン9004を指などで触れることで、画面操作や、情報を入力することができ、また他の家電製品との通信を可能とする、又は制御を可能とすることで、画面操作により他の家電製品をコントロールする制御装置としてもよい。例えば、イメージセンサ機能を有する半導体装置を用いれば、表示部9003にタッチ入力機能を持たせることができる。

40

【0107】

また、筐体9001に設けられたヒンジによって、表示部9003の画面を床に対して垂直に立てることもでき、テレビジョン装置としても利用できる。狭い部屋においては、大きな画面のテレビジョン装置は設置すると自由な空間が狭くなってしまうが、テーブルに表示部が内蔵されれば、部屋の空間を有效地に利用することができる。

【0108】

図6(B)は、携帯音楽プレーヤであり、本体3021には表示部3023と、耳に装着

50

するための固定部 3022 と、スピーカ、操作ボタン 3024、外部メモリスロット 3025 等が設けられている。本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタ、または該トランジスタを用いたメモリを、本体 3021 に内蔵されているメモリや C P U などに適用することにより、より省電力化された携帯音楽プレイヤー (P D A) とすることができる。

【 0109 】

さらに、図 6 (B) に示す携帯音楽プレー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。

【 0110 】

図 6 (C) はコンピュータであり、C P U を含む本体 9201、筐体 9202、表示部 9203、キーボード 9204、外部接続ポート 9205、ポインティングデバイス 9206 等を含む。コンピュータは、本発明の一態様を用いて作製される半導体装置をその表示部 9203 に用いることにより作製される。本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタを用いた C P U を利用すれば、省電力化されたコンピュータとすることが可能となる。

【 0111 】

図 7 (A) 及び図 7 (B) は 2 つ折り可能なタブレット型端末である。図 7 (A) は、開いた状態であり、タブレット型端末は、筐体 9630、表示部 9631a、表示部 9631b、表示モード切り替えスイッチ 9034、電源スイッチ 9035、省電力モード切り替えスイッチ 9036、留め具 9033、操作スイッチ 9038 を有する。

【 0112 】

図 7 (A) 及び図 7 (B) に示すような携帯機器においては、画像データの一時記憶などにメモリとして S R A M または D R A M が使用されている。例えば、本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタを用いた半導体装置をメモリとして使用することができる。該半導体装置をメモリに採用することによって、情報の書き込みおよび読み出しが高速で、長期間の記憶保持が可能で、且つ消費電力が十分に低減することができる。

【 0113 】

また、表示部 9631a は、一部をタッチパネルの領域 9632a とすることができる、表示された操作キー 9638 にふれることでデータ入力をすることができる。なお、表示部 9631a においては、一例として半分の領域が表示のみの機能を有する構成、もう半分の領域がタッチパネルの機能を有する構成を示しているが該構成に限定されない。表示部 9631a の全ての領域がタッチパネルの機能を有する構成としても良い。例えば、表示部 9631a の全面をキーボードボタン表示させてタッチパネルとし、表示部 9631b を表示画面として用いることができる。

【 0114 】

また、表示部 9631b においても表示部 9631a と同様に、表示部 9631b の一部をタッチパネルの領域 9632b とすることができます。また、タッチパネルのキーボード表示切り替えボタン 9639 が表示されている位置に指やスタイラスなどでふれることで表示部 9631b にキーボードボタン表示することができる。

【 0115 】

また、タッチパネルの領域 9632a とタッチパネルの領域 9632b に対して同時にタッチ入力することもできる。

【 0116 】

また、表示モード切り替えスイッチ 9034 は、縦表示又は横表示などの表示の向きを切り替え、白黒表示やカラー表示の切り替えなどを選択できる。省電力モード切り替えスイッチ 9036 は、タブレット型端末に内蔵している光センサで検出される使用時の外光の光量に応じて表示の輝度を最適なものとすることができます。タブレット型端末は光センサだけでなく、ジャイロ、加速度センサ等の傾きを検出するセンサなどの他の検出装置を内蔵させててもよい。

10

20

30

40

50

【0117】

また、図7(A)では表示部9631bと表示部9631aの表示面積が同じ例を示しているが特に限定されず、一方のサイズともう一方のサイズが異なっていてもよく、表示の品質も異なっていてもよい。例えば一方が他方よりも高精細な表示を行える表示パネルとしてもよい。

【0118】

図7(B)は、閉じた状態であり、タブレット型端末は、筐体9630、太陽電池9633、充放電制御回路9634、バッテリー9635、DCDCコンバータ9636を有する。なお、図7(B)では充放電制御回路9634の一例としてバッテリー9635、DCDCコンバータ9636を有する構成について示している。

10

【0119】

なお、タブレット型端末は2つ折り可能なため、未使用時に筐体9630を閉じた状態にすることができる。従って、表示部9631a、表示部9631bを保護できるため、耐久性に優れ、長期使用の観点からも信頼性の優れたタブレット型端末を提供できる。

【0120】

また、この他にも図7(A)及び図7(B)に示したタブレット型端末は、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タッチ入力操作又は編集するタッチ入力機能、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。

20

【0121】

タブレット型端末の表面に装着された太陽電池9633によって、電力をタッチパネル、表示部、又は映像信号処理部等に供給することができる。なお、太陽電池9633は、筐体9630の片面又は両面に設けることができ、バッテリー9635の充電を効率的に行う構成とすることができるため好適である。なおバッテリー9635としては、リチウムイオン電池を用いると、小型化を図れる等の利点がある。

【0122】

また、図7(B)に示す充放電制御回路9634の構成、及び動作について図7(C)にプロック図を示し説明する。図7(C)には、太陽電池9633、バッテリー9635、DCDCコンバータ9636、コンバータ9637、スイッチSW1乃至SW3、表示部9631について示しており、バッテリー9635、DCDCコンバータ9636、コンバータ9637、スイッチSW1乃至SW3が、図7(B)に示す充放電制御回路9634に対応する箇所となる。

30

【0123】

まず外光により太陽電池9633により発電がされる場合の動作の例について説明する。太陽電池9633で発電した電力は、バッテリー9635を充電するための電圧となるようDCDCコンバータ9636で昇圧又は降圧がなされる。そして、表示部9631の動作に太陽電池9633からの電力が用いられる際にはスイッチSW1をオンにし、コンバータ9637で表示部9631に必要な電圧に昇圧又は降圧をすることとなる。また、表示部9631での表示を行わない際には、SW1をオフにし、SW2をオンにしてバッテリー9635の充電を行う構成とすればよい。

40

【0124】

なお太陽電池9633については、発電手段の一例として示したが、特に限定されず、圧電素子(ピエゾ素子)や熱電変換素子(ペルティエ素子)などの他の発電手段によるバッテリー9635の充電を行う構成であってもよい。例えば、無線(非接触)で電力を送受信して充電する無接点電力伝送モジュールや、また他の充電手段を組み合わせて行う構成としてもよい。

【0125】

図8(A)において、テレビジョン装置8000は、筐体8001に表示部8002が組み込まれており、表示部8002により映像を表示し、スピーカ部8003から音声を出

50

力することが可能である。本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタを表示部 8002 に用いることが可能である。

【0126】

表示部 8002 は、液晶表示装置、有機 E L 素子などの発光素子を各画素に備えた発光装置、電気泳動表示装置、D M D (D i g i t a l M i c r o m i r r o r D e v i c e)、P D P (P l a s m a D i s p l a y P a n e l) などの、半導体表示装置を用いることができる。

【0127】

テレビジョン装置 8000 は、受信機やモデムなどを備えていてもよい。テレビジョン装置 8000 は、受信機により一般的な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又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）又は双方向（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。10

【0128】

また、テレビジョン装置 8000 は、情報通信を行うための C P U や、メモリを備えていてもよい。テレビジョン装置 8000 は、本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタを用いたメモリや C P U を用いることが可能である。

【0129】

図 8 (A)において、室内機 8200 及び室外機 8204 を有するエアコンディショナーは、本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタを用いた C P U を適用した電気機器の一例である。具体的に、室内機 8200 は、筐体 8201 、送風口 8202 、 C P U 8203 等を有する。図 8 (A)において、 C P U 8203 が、室内機 8200 に設けられている場合を例示しているが、 C P U 8203 は室外機 8204 に設けられてもよい。或いは、室内機 8200 と室外機 8204 の両方に、 C P U 8203 が設けられてもよい。本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタを用いた C P U は、酸化物半導体を用いた C P U であるため、耐熱性に優れており、信頼性の高いエアコンディショナーを実現できる。20

【0130】

図 8 (A)において、電気冷凍冷蔵庫 8300 は、酸化物半導体を用いた C P U を備える電気機器の一例である。具体的に、電気冷凍冷蔵庫 8300 は、筐体 8301 、冷蔵室用扉 8302 、冷凍室用扉 8303 、 C P U 8304 等を有する。図 8 (A)では、 C P U 8304 が、筐体 8301 の内部に設けられている。本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタを用いた C P U を電気冷凍冷蔵庫 8300 の C P U 8304 に適用することによって省電力化が図れる。30

【0131】

図 8 (B)において、電気機器の一例である電気自動車の例を示す。電気自動車 9700 には、二次電池 9701 が搭載されている。二次電池 9701 の電力は、制御回路 9702 により出力が調整されて、駆動装置 9703 に供給される。制御回路 9702 は、図示しない R O M 、 R A M 、 C P U 等を有する処理装置 9704 によって制御される。本明細書において開示する発明の一形態であるトランジスタを用いた C P U を電気自動車 9700 の C P U に適用することによって省電力化が図れる。40

【0132】

駆動装置 9703 は、直流電動機若しくは交流電動機単体、又は電動機と内燃機関と、を組み合わせて構成される。処理装置 9704 は、電気自動車 9700 の運転者の操作情報（加速、減速、停止など）や走行時の情報（上り坂や下り坂等の情報、駆動輪にかかる負荷情報など）の入力情報に基づき、制御回路 9702 に制御信号を出力する。制御回路 9702 は、処理装置 9704 の制御信号により、二次電池 9701 から供給される電気エネルギーを調整して駆動装置 9703 の出力を制御する。交流電動機を搭載している場合は、図示していないが、直流を交流に変換するインバータも内蔵される。

【0133】

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

【実施例】

【0134】

本実施例では、酸化物半導体膜の結晶状態について観察を行った。なお、試料として実施例試料及び比較例試料を作製した。

【0135】

ガラス基板上に、酸化物半導体膜として $In : Ga : Zn = 1 : 1 : 1$ [原子数比] の酸化物ターゲットを用いたスパッタリング法により、膜厚 200 nm の $In - Ga - Zn - O$ 膜を形成した。

10

【0136】

実施例試料の成膜条件は、酸素 (酸素 = 100 sccm) 雰囲気下、圧力 0.6 Pa、電源電力 2 kW、基板温度 170 とした。

【0137】

比較例試料の成膜条件は、アルゴン及び酸素 (アルゴン : 酸素 = 10 sccm : 90 sccm) 雰囲気下、圧力 0.6 Pa、電源電力 5 kW、基板温度 170 とした。

【0138】

以上の工程で得られた実施例試料、及び比較例試料において、端面を切り出し、高分解能透過電子顕微鏡 (日立ハイテクノロジー製「H9000-NAR」: TEM) で加速電圧を 300 kV とし、 $In - Ga - Zn - O$ 膜の断面観察を行った。図 1 に実施例試料、図 2 に比較例試料の倍率 800 万倍の TEM 像を示す。

20

【0139】

また、実施例試料及び比較例試料において、 $In - Ga - Zn - O$ 膜の X 線回折 (XRD : X-Ray Diffraction) 測定を行った。out-of-plane 法を用いて XRD スペクトルを測定した実施例試料の結果を図 4 (A)、比較例試料の結果を図 4 (B) に示す。図 4 (A) (B) において、縦軸は X 線回折強度 (任意単位) であり、横軸は回転角 2θ (deg.) である。なお、XRD スペクトルの測定は、Bruker AXS 社製 X 線回折装置 D8 ADVANCE を用いた。

【0140】

実施例試料は、図 1 の TEM 像に示すように、 $In - Ga - Zn - O$ 膜において、表面に概略垂直な c 軸を有し、c 軸に垂直な方向に 1.5 nm より長い層状の結晶部が確認できる。なお、図 1 において結晶部は点線で囲まれた領域であり、実施例試料の $In - Ga - Zn - O$ 膜におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さとは図 1 中の矢印の長さである。さらに、図 4 (A) に示すように XRD スペクトルにおいて、 $2\theta = 31^\circ$ 近傍に、 $InGaZnO_4$ 結晶の (009) 面における回折に起因するピークが見られている。

30

【0141】

一方、比較例試料は、図 2 の TEM 像に示すように、 $In - Ga - Zn - O$ 膜において、表面に概略垂直な c 軸を有している結晶が確認できない。また、図 4 (B) に示すように XRD スペクトルでも該結晶を示すピークが見られない。

40

【0142】

実施例試料の酸化物半導体膜は、c 軸が表面に概略垂直である結晶部を含み、結晶部において、c 軸に垂直な面におけるインジウム及び酸素で構成される結晶配列部の長さが 1.5 nm より長い。このような酸化物半導体膜を用いることにより、安定な電気特性を有するトランジスタ、信頼性の高い半導体装置を提供することができる。

【符号の説明】

【0143】

400 基板

401 ゲート電極層

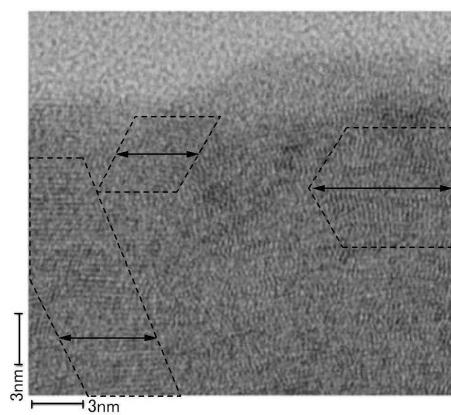
402 ゲート絶縁膜

50

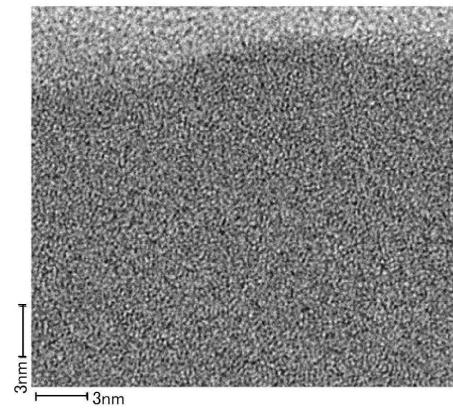
4 0 3	酸化物半導体膜	
4 0 5 a	ソース電極層	
4 0 5 b	ドレイン電極層	
4 0 7	絶縁膜	
4 1 0	トランジスタ	
4 1 5	絶縁膜	
4 2 0	トランジスタ	
4 2 7	絶縁膜	
4 3 0	トランジスタ	10
4 3 7	絶縁膜	
4 4 0	トランジスタ	
4 5 0	トランジスタ	
3 0 2 1	本体	
3 0 2 2	固定部	
3 0 2 3	表示部	
3 0 2 4	操作ボタン	
3 0 2 5	外部メモリスロット	
8 0 0 0	テレビジョン装置	
8 0 0 1	筐体	
8 0 0 2	表示部	20
8 0 0 3	スピーカ部	
8 2 0 0	室内機	
8 2 0 1	筐体	
8 2 0 2	送風口	
8 2 0 3	C P U	
8 2 0 4	室外機	
8 3 0 0	電気冷凍冷蔵庫	
8 3 0 1	筐体	
8 3 0 2	冷蔵室用扉	
8 3 0 3	冷凍室用扉	30
8 3 0 4	C P U	
9 0 0 0	テーブル	
9 0 0 1	筐体	
9 0 0 2	脚部	
9 0 0 3	表示部	
9 0 0 4	表示ボタン	
9 0 0 5	電源コード	
9 0 3 3	留め具	
9 0 3 4	スイッチ	
9 0 3 5	電源スイッチ	40
9 0 3 6	スイッチ	
9 0 3 8	操作スイッチ	
9 2 0 1	本体	
9 2 0 2	筐体	
9 2 0 3	表示部	
9 2 0 4	キー ボード	
9 2 0 5	外部接続ポート	
9 2 0 6	ポインティングデバイス	
9 6 3 0	筐体	
9 6 3 1	表示部	50

9 6 3 1 a	表示部	
9 6 3 1 b	表示部	
9 6 3 2 a	領域	
9 6 3 2 b	領域	
9 6 3 3	太陽電池	
9 6 3 4	充放電制御回路	
9 6 3 5	バッテリー	
9 6 3 6	D C D C コンバータ	
9 6 3 7	コンバータ	
9 6 3 8	操作キー	10
9 6 3 9	ボタン	
9 7 0 0	電気自動車	
9 7 0 1	二次電池	
9 7 0 2	制御回路	
9 7 0 3	駆動装置	
9 7 0 4	処理装置	

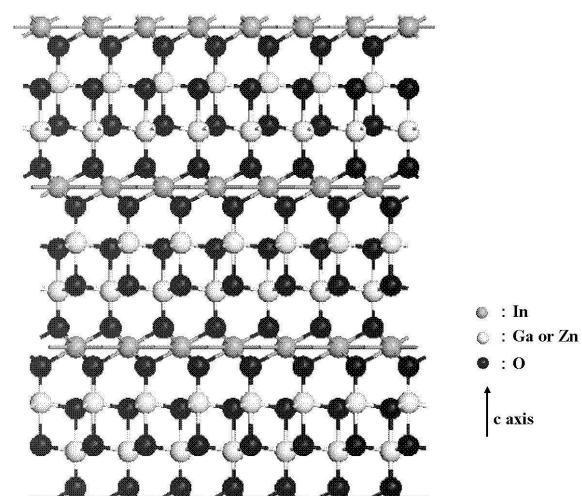
【図1】



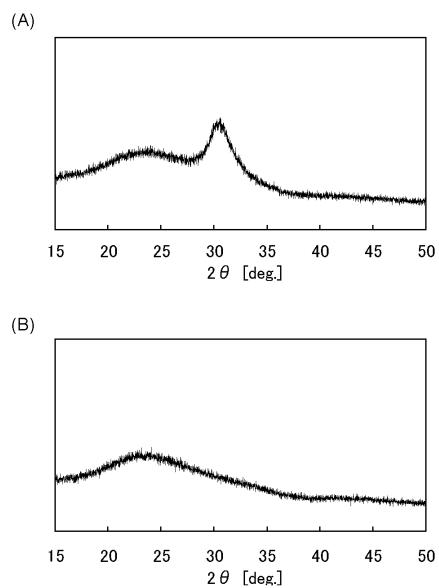
【図2】



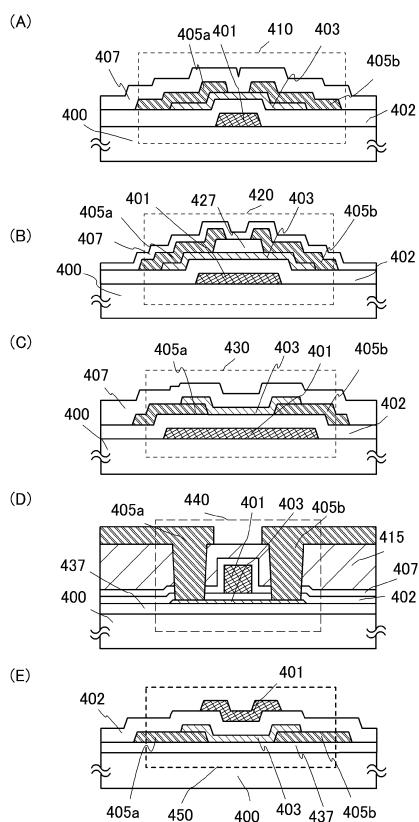
【図3】



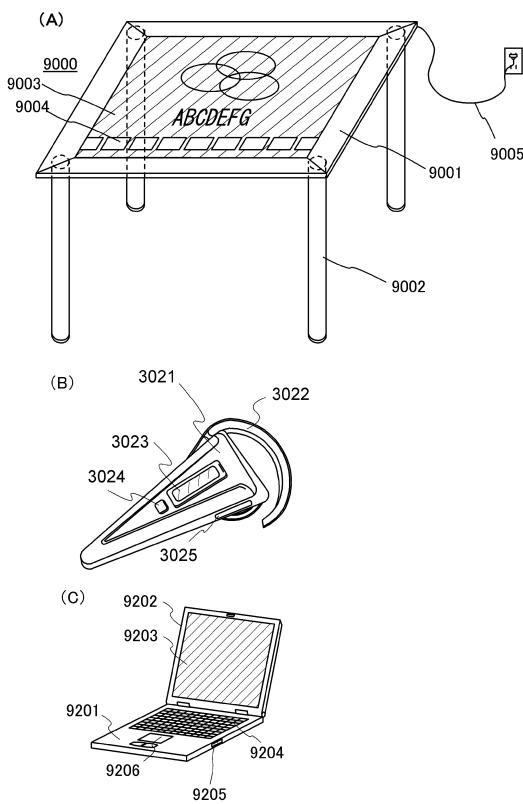
【図4】



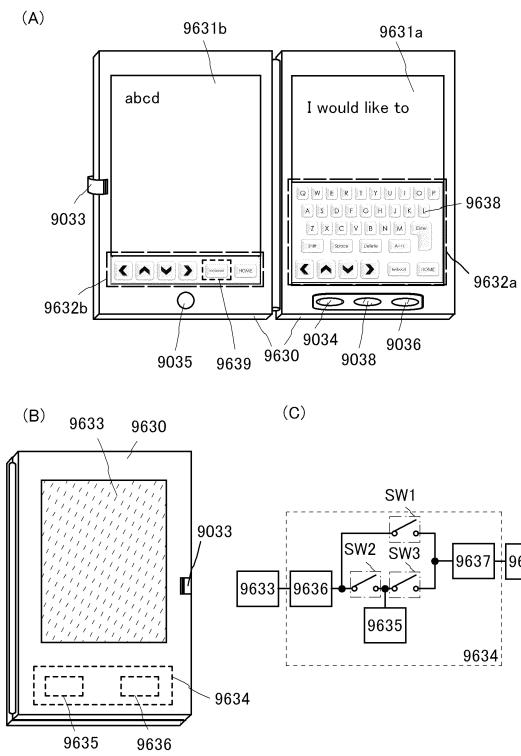
【図5】



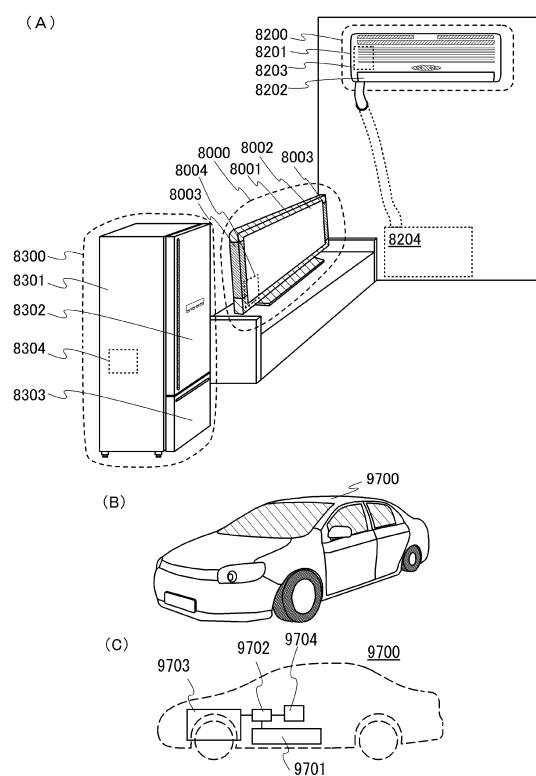
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-091375(JP,A)
特開2011-100979(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0032730(US,A1)
特開2012-034354(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0052625(US,A1)
米国特許出願公開第2012/0051118(US,A1)
特開2012-257187(JP,A)
特開2011-119718(JP,A)
特開2009-167087(JP,A)
米国特許出願公開第2013/0299827(US,A1)
米国特許出願公開第2013/0062601(US,A1)
米国特許出願公開第2011/0108837(US,A1)
特開昭63-079791(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 29/786
H01L 21/336