

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5497417号  
(P5497417)

(45) 発行日 平成26年5月21日(2014.5.21)

(24) 登録日 平成26年3月14日(2014.3.14)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 29/786 (2006.01)	HO 1 L 29/78	6 1 8 B
HO 1 L 21/336 (2006.01)	HO 1 L 29/78	6 2 6 C
HO 1 L 27/146 (2006.01)	HO 1 L 29/78	6 1 8 A
HO 1 L 21/363 (2006.01)	HO 1 L 27/14	C
	HO 1 L 21/363	

請求項の数 22 (全 36 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-280217 (P2009-280217)  
 (22) 出願日 平成21年12月10日(2009.12.10)  
 (65) 公開番号 特開2011-124360 (P2011-124360A)  
 (43) 公開日 平成23年6月23日(2011.6.23)  
 審査請求日 平成24年6月29日(2012.6.29)

(73) 特許権者 306037311  
 富士フイルム株式会社  
 東京都港区西麻布2丁目26番30号  
 (74) 代理人 100073184  
 弁理士 柳田 征史  
 (74) 代理人 100090468  
 弁理士 佐久間 剛  
 (72) 発明者 高田 真宏  
 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地  
 富士フイルム株式会社内  
 (72) 発明者 小野 雅司  
 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地  
 富士フイルム株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜トランジスタおよびその製造方法、並びにその薄膜トランジスタを備えた装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に、酸化物半導体層と、ソース電極と、ドレイン電極と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とを有する薄膜トランジスタであって、

前記酸化物半導体層が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する、該井戸型ポテンシャルの井戸部となる第1の電子親和力を有する第1の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極に近い側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第2の電子親和力を有する第2の領域と、前記第1の領域よりも前記ゲート電極から離れた側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第3の電子親和力を有する第3の領域とを含み、

少なくとも前記第3の領域の酸素濃度が前記第1の領域の酸素濃度より低いこと、および、前記第2の領域の酸素濃度が、前記第1の領域の酸素濃度より低いことを特徴とする薄膜トランジスタ。

【請求項2】

前記第1の領域と前記第2の領域とのカチオン組成比が異なり、かつ、

前記第1の領域と前記第3の領域とのカチオン組成比が異なることを特徴とする請求項1記載の薄膜トランジスタ。

【請求項3】

前記第2の領域および前記第3の領域のバンドギャップが、前記第1の領域のバンドギャップよりも大きいことを特徴とする請求項1または2記載の薄膜トランジスタ。

【請求項4】

10

20

前記酸化物半導体層が非晶質であることを特徴とする請求項 1 から 3 いずれか 1 項記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 5】

前記酸化物半導体層の前記各領域が、Al、Sc、Ti、Mn、Fe、Ga、Y、In、Sn、Ho、Er、Tm、Yb、Lu からなる群から選ばれた少なくとも 1 種の元素と、Mg、Ca、Ni、Zn、Sr、Ba からなる群から選ばれた少なくとも 1 種の元素とを含むものであることを特徴とする請求項 1 から 4 いずれか 1 項記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 6】

前記酸化物半導体層の前記各領域が、少なくとも In および Ga のいずれか一方の元素を含むものであることを特徴とする請求項 1 から 5 いずれか 1 項記載の薄膜トランジスタ。

10

【請求項 7】

前記酸化物半導体層の前記各領域が、 $a(\text{In}_2\text{O}_3) \cdot b(\text{Ga}_2\text{O}_3) \cdot c(\text{ZnO})$  からなるものであることを特徴とする請求項 1 から 6 いずれか 1 項記載の薄膜トランジスタ。

(ここで a、b、c は、それぞれ  $a > 0$ 、 $b > 0$ 、 $c > 0$ 、かつ  $a + b > 0$ 、 $b + c > 0$ 、 $c + a > 0$  である。)

【請求項 8】

前記酸化物半導体層において、前記第 1 の領域の  $b / (a + b)$  が、前記第 2 の領域および前記第 3 の領域の  $b / (a + b)$  よりも小さいものであることを特徴とする請求項 7 記載の薄膜トランジスタ。

20

【請求項 9】

前記酸化物半導体層の前記第 1 の領域の  $b / (a + b)$  が 0.95 以下であることを特徴とする請求項 8 記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 10】

前記酸化物半導体層の前記第 2 の領域および前記第 3 の領域の  $b / (a + b)$  が 0.5 以上であることを特徴とする請求項 9 記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 11】

前記酸化物半導体層の前記第 1 の領域の  $b / (a + b)$  が 0.25、前記第 2 の領域および前記第 3 の領域の  $b / (a + b)$  が 0.75 であることを特徴とする請求項 10 記載の薄膜トランジスタ。

30

【請求項 12】

前記基板が可撓性を有するものであることを特徴とする請求項 1 から 11 いずれか 1 項記載の薄膜トランジスタ。

【請求項 13】

前記基板が、飽和ポリエステル系樹脂、ポリエチレンテレフタレート系樹脂、ポリエチレンナフタレート樹脂、架橋フマル酸ジエステル系樹脂、ポリカーボネート系樹脂、ポリエーテルスルホン樹脂、ポリスルホン樹脂、ポリアリレート樹脂、環状ポリオレフィン樹脂、セルロース系樹脂、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂、マレイミド-オレフィン樹脂、ポリアミド樹脂、アクリル系樹脂、フッ素系樹脂、エポキシ系樹脂、シリコン系樹脂フィルム、ポリベンズアゾール系樹脂、エピスルフィド化合物、液晶ポリマー、シアネート系樹脂および芳香族エーテル系樹脂からなる樹脂材料群のうちのいずれか 1 つからなる基板

40

酸化ケイ素粒子を含む複合プラスチック材料、金属ナノ粒子、無機酸化物ナノ粒子、無機窒化物ナノ粒子などのナノ粒子を含む複合プラスチック材料、金属系もしくは無機系のナノファイバー、または金属系もしくは無機系のマイクロファイバーを含む複合プラスチック材料、カーボン繊維および/またはカーボンナノチューブを含む複合プラスチック材料、ガラスフェレーク、ガラスファイバーおよび/またはガラスビーズを含む複合プラスチック材料、粘土鉱物または雲母派生結晶構造を有する粒子を含む複合プラスチック材料

50

、および薄いガラスと前記樹脂材料群のうちのいずれか1つとの間に少なくとも1回の接合界面を有する積層プラスチック材料からなるプラスチック材料群のうちのいずれか1つからなる基板、

無機層と前記樹脂材料群のうちのいずれか1つを交互に積層することで、少なくとも1回以上の接合界面を有するバリア性能を有する複合材料からなる基板

ステンレス基板、ステンレスと異種金属を積層した金属多層基板、アルミニウム基板、表面に酸化処理が施された酸化被膜付きのアルミニウム基板、からなる基板群のうちのいずれか1つからなる基板であることを特徴とする請求項12記載の薄膜トランジスタ。

【請求項14】

基板上に、酸化物半導体層と、ソース電極と、ドレイン電極と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とを有する薄膜トランジスタの製造方法であって、

前記酸化物半導体層が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する、該井戸型ポテンシャルの井戸部となる第1の電子親和力を有する第1の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第2の電子親和力を有する第2の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極から離れて配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第3の電子親和力を有する第3の領域とを含む構成となるように、該酸化物半導体層をスパッタ法により成膜する成膜工程を含み、

該成膜工程において、成膜室内を第1の酸素分圧/アルゴン分圧として前記第1の領域を成膜し、前記成膜室内を第2の酸素分圧/アルゴン分圧として前記第2の領域を成膜し、前記成膜室内を前記第1の酸素分圧/アルゴン分圧よりも低い第3の酸素分圧/アルゴン分圧として前記第3の領域を成膜すること、かつ、前記第2の酸素分圧/アルゴン分圧を、前記第1の酸素分圧/アルゴン分圧より小さくすることを特徴とする薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項15】

基板上に、酸化物半導体層と、ソース電極と、ドレイン電極と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とを有する薄膜トランジスタの製造方法であって、

前記酸化物半導体層が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する、該井戸型ポテンシャルの井戸部となる第1の電子親和力を有する第1の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第2の電子親和力を有する第2の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極から離れて配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第3の電子親和力を有する第3の領域とを含む、少なくとも前記第3の領域の酸素濃度が前記第1の領域の酸素濃度より低く、前記第2の領域の酸素濃度が、前記第1の領域の酸素濃度より低い構成となるように、該酸化物半導体層をスパッタ法により成膜する成膜工程を含み、

該成膜工程が、前記第1の領域の成膜中および/または該第1の領域を成膜した後に、該第1の領域の成膜面に酸素含有ラジカルを照射する工程を含むことを特徴とする薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項16】

基板上に、酸化物半導体層と、ソース電極と、ドレイン電極と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とを有する薄膜トランジスタの製造方法であって、

前記酸化物半導体層が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する、該井戸型ポテンシャルの井戸部となる第1の電子親和力を有する第1の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第2の電子親和力を有する第2の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極から離れて配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第3の電子親和力を有する第3の領域とを含む、少なくとも前記第3の領域の酸素濃度が前記第1の領域の酸素濃度より低く、前記第2の領域の酸素濃度が、前記第1の領域の酸素濃度より低い構成となるように、該酸化物半導体層をスパッタ法により成膜する成膜工程を含み、

該成膜工程が、前記第1の領域の成膜中および/または第1の領域の成膜後に、オゾン

10

20

30

40

50

雰囲気中にて該第1の領域の成膜面に紫外線を照射する工程を含むことを特徴とする薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項17】

前記成膜工程の間、成膜基板を大気に曝さないことを特徴とする請求項14から16いずれか1項記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項18】

請求項1から13いずれか1項記載の薄膜トランジスタを備えたことを特徴とする表示装置。

【請求項19】

請求項1から13いずれか1項記載の薄膜トランジスタを備えたことを特徴とするイメージセンサー。

【請求項20】

請求項1から13いずれか1項記載の薄膜トランジスタを備えたことを特徴とするX線センサー。

【請求項21】

請求項20記載のX線センサーを備えたことを特徴とするX線デジタル撮影装置。

【請求項22】

動画撮影が可能であることを特徴とする請求項21記載のX線デジタル撮影装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、酸化物半導体薄膜を備えた薄膜トランジスタおよびその製造方法に関するものである。また、本発明は、その薄膜トランジスタを用いた表示装置、イメージングセンサーおよびX線デジタル撮影装置等の装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、In-Ga-Zn-O系(IGZO)の酸化物半導体薄膜をチャネル層に用いた薄膜トランジスタの開発が活発に行われている。上記酸化物半導体薄膜は低温成膜が可能であり、且つアモルファスシリコンよりも高移動度を示し、更に可視光に透明であることからプラスチック板やフィルム等の基板上にフレキシブルな透明薄膜トランジスタを形成

【0003】

表1に各種トランジスタ特性の移動度、プロセス温度等の比較表を示す。

【表1】

	LTPS 低温ポリシリコン	a-Si:H	$\mu$ C-Si:H	Organic-TFT	Oxide-TFT
移動量	100	<1	2~3	<1~5	3~50
安定性 $\Delta V_{TH}$	<1	100	1~2	30	1~2
均一性	$\Delta$	○	○?	$\Delta$	○?
成膜温度	450	300	300	RT~100	RT~350

従来のポリシリコン薄膜トランジスタは  $100 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  程度の移動度を得ることが可能だが、プロセス温度が450度以上と非常に高いため、耐熱性が高い基板にしか形成

できないため、安価、大面積、フレキシブル化には不向きである。また、アモルファスシリコン薄膜トランジスタは300度程度の比較的低温で形成可能なため基板の選択性はポリシリコンに比べて広いが、せいぜい $1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度の移動度しか得られず高精細なディスプレイ用途には不向きである。一方、低温成膜という観点では有機薄膜トランジスタは100度以下での形成が可能なため、耐熱性の低いプラスチックフィルム基板等を用いたフレキシブルディスプレイ用途等への応用が期待されているが、移動度はアモルファスシリコンと同程度の結果しか得られていない。

【0004】

すなわち、300度以下の比較的低温での形成が可能で、かつ $100\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度以上の高移動度を有する薄膜トランジスタはこれまで実現されていない。

10

【0005】

トランジスタのキャリア移動度を向上させる方法として、電子親和力の異なる異種半導体を接合させ、量子井戸をトランジスタのチャネルとして利用するHEMT (High Electron Mobility Transistor:高電子移動度トランジスタ)構造が提案されている。酸化物半導体薄膜トランジスタにおいてはZnOをZnMgOで挟みこんだHEMT構造デバイスを作製し、 $140\text{ cm}^2/\text{Vs}$ という高い移動度が得られた文献報告がなされている(非特許文献1)。

【0006】

また、IGZO系の酸化物半導体薄膜を用いた薄膜トランジスタにおいて、物理量の異なるIGZO膜を多層構造にして活性層として用いる薄膜トランジスタが提案されている。特許文献1には、非晶質酸化物を含む活性層が、第1の領域と、第1の領域よりもゲート絶縁膜に近い第2の領域とを含む2層構造となっており、第2の領域の酸素濃度が、第1の領域の酸素濃度より高いことを特徴とする電界効果型トランジスタについて記載がなされている。このような構造にすることにより、ゲート絶縁膜側の活性層の電気抵抗が高くなることから、チャネルが非晶質酸化物の内部に形成され、リーク電流を減らすことが可能であることが記載されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2006-165529号公報

30

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】K. Koike, et al., Applied Physics Letters, 87 (2005) 112106.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、非特許文献1においては、本発明における、酸素濃度の大小による電子親和力の制御については全く視点に入っておらず、かつ、HEMT構造は全てMBE (Molecular Beam Epitaxy:分子線エピタキシー)等による単結晶薄膜エピタキシャル成長により形成されている。このような成長法を採用するために、膜と基板の格子不整合を極めて小さくする必要があり、成膜時の基板温度を700度超の高温に保持する必要があることから基材の選択性は極めて低いという問題がある。

40

また、特許文献1記載の発明ではリーク電流を減らすことが可能とされているが、十分なキャリア密度を得ることができず、結果として移動度が十分得られないという問題がある。

【0010】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、酸化物半導体、特にIGZO系の酸化物半導体に関して、低温(300度以下)での作製が可能で、かつチャネル層において電子移動度の高い薄膜トランジスタおよびその製造方法を提供することを目的とするものである。また、本発明はチャネル層において高い電子移動度を有する薄膜トランジスタ

50

を備えた装置を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の薄膜トランジスタは、基板上に、酸化物半導体層と、ソース電極と、ドレイン電極と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とを有する薄膜トランジスタであって、

前記酸化物半導体層が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する、該井戸型ポテンシャルの井戸部となる第1の電子親和力を有する第1の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極に近い側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第2の電子親和力を有する第2の領域と、前記第1の領域よりも前記ゲート電極から離れた側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第3の電子親和力を有する第3の領域とを含み、

少なくとも前記第3の領域の酸素濃度が前記第1の領域の酸素濃度より低いことを特徴とするものである。

【0012】

図1に半導体電子構造のパラメータを示す。電子親和力( )とは、電子を一つ付与するのに要するエネルギーを意味し、半導体の場合は伝導体下端(  $E_c$  )から真空準位(  $E_{vac}$  )までのエネルギー差を指す。

電子親和力は図1に示すように、イオン化ポテンシャル(  $I$  )とバンドギャップエネルギー(  $E_g$  )の差から求めることが可能である。イオン化ポテンシャル(  $I$  )は光電子分光測定から、バンドギャップエネルギー(  $E_g$  )は透過スペクトル測定および反射スペクトル測定から得ることが可能である。

【0013】

すなわち、本発明の薄膜トランジスタは、図2(A)にそのポテンシャル構造を示すように、酸化物半導体層がそのゲート電極側(図2(A)においてはゲート絶縁膜側)から膜厚方向に第2の領域  $A_2$ 、第1の領域  $A_1$ 、第3の領域  $A_3$  を含み、第1の領域  $A_1$  の電子親和力  $\chi_1$  が、第2の領域  $A_2$  および第3の領域  $A_3$  の領域の電子親和力  $\chi_2$ 、 $\chi_3$  よりも大きく井戸型ポテンシャルを構成し、少なくとも第1の領域  $A_1$  と第3の領域  $A_3$  との電子親和力の大小を、酸素濃度の大小により付与することを特徴としている。

【0014】

なおここで、「領域」とは、膜厚方向における3次元的な領域(部分)を示すものである。なお、酸化物半導体層の第1～第3の領域は同種の材料により構成されているものとしている。同種とは、膜を構成する元素種が同一で、カチオン組成比や酸素濃度が異なるもの、または、構成元素の一部に、異なる元素がドーピングされているものを意味する。例えば、互いに  $Ga/(In+Ga)$  が異なるIGZO膜は同種であり、IGZO膜とZnの一部にMgをドーピングしたIGZO膜とは同種である。

【0015】

酸化物半導体層は第1～第3の領域毎に酸素濃度を変化させる、および/または、カチオン(正イオン)組成比を変化させることによって各領域間にポテンシャル差(電子親和力差)をつけることができる。

【0016】

本発明の薄膜トランジスタにおいては、前記第2の領域の酸素濃度を、前記第1の領域の酸素濃度より低いものであってもよい。

また、本発明の薄膜トランジスタにおいては、前記第1の領域と前記第2の領域とのカチオン組成比、および、前記第1と前記第3の領域とのカチオン組成比がそれぞれ異なるものであってもよい。

【0017】

また、本発明の薄膜トランジスタは、前記第2の領域および前記第3の領域のバンドギャップが、前記第1の領域のバンドギャップよりも大きいことが望ましい。すなわち、図2(B)にそのポテンシャル構造を示すように、第2の領域  $A_2$  のバンドギャップ  $E_{g2}$  および第3の領域  $A_3$  のバンドギャップ  $E_{g3}$  が、第1の領域  $A_1$  のバンドギャップ  $E_{g1}$  よりも大きいことが望ましい。

10

20

30

40

50

## 【0018】

本発明の薄膜トランジスタにおいては、酸化物半導体層は非晶質膜であることが好ましい。

前記酸化物半導体層が非晶質であるかどうかは、X線回折測定により確認することができる。すなわち、X線回折測定により、結晶構造を示す明確なピークが検出されなかった場合は、その酸化物半導体層は非晶質であると判断することができる。

## 【0019】

本発明の薄膜トランジスタは、前記酸化物半導体層の前記各領域が、Al、Sc、Ti、Mn、Fe、Ga、Y、In、Sn、Ho、Er、Tm、Yb、Luからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素と、Mg、Ca、Ni、Zn、Sr、Baからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素とを含むものであることが望ましい。

10

## 【0020】

あるいは、本発明の薄膜トランジスタは、前記酸化物半導体層の前記各領域が、少なくともInおよびGaのいずれか一方の元素を含むものであることが望ましい。

## 【0021】

本発明の薄膜トランジスタは、特に、前記酸化物半導体層の前記各領域が、 $a(\text{In}_2\text{O}_3) \cdot b(\text{Ga}_2\text{O}_3) \cdot c(\text{ZnO})$ からなるものであることが望ましい。(ここでa、b、cは、それぞれa > 0、b > 0、c > 0、かつa + b > 0、b + c > 0、c + a > 0である。)

## 【0022】

前記酸化物半導体層において、前記第1の領域の $b/(a+b)$ が、前記第2の領域および前記第3の領域の $b/(a+b)$ よりも小さいものであることが望ましい。

20

このとき、さらに前記酸化物半導体層の前記第1の領域の $b/(a+b)$ が0.95以下であることが望ましい。

また、前記酸化物半導体層の前記第2の領域および前記第3の領域の $b/(a+b)$ が0.5以上であることが望ましい。

特に、前記酸化物半導体層の前記第1の領域の $b/(a+b)$ が0.25、前記第2の領域および前記第3の領域の $b/(a+b)$ が0.75であることが望ましい。

## 【0023】

本発明の薄膜トランジスタにおいては、前記基板が可撓性を有するものであることが望ましい。

30

可撓性を有する基板としては、飽和ポリエステル/ポリエチレンテレフタレート(PET)系樹脂基板、ポリエチレンナフタレート(PEN)樹脂基板、架橋フマル酸ジエステル系樹脂基板、ポリカーボネート(PC)系樹脂基板、ポリエーテルスルホン(PES)樹脂基板、ポリスルホン(PSF, PSU)樹脂基板、ポリアリレート(PAR)樹脂基板、環状ポリオレフィン(COP, COC)樹脂基板、セルロース系樹脂基板、ポリイミド(PI)樹脂基板、ポリアミドイミド(PAI)樹脂基板、マレイミド-オレフィン樹脂基板、ポリアミド(PA)樹脂基板、アクリル系樹脂基板、フッ素系樹脂基板、エポキシ系樹脂基板、シリコン系樹脂フィルム基板、ポリベンズアゾール系樹脂基板、エピスルフィド化合物による基板、液晶ポリマー(LCP)基板、シアネート系樹脂基板、芳香族エーテル系樹脂基板、酸化ケイ素粒子との複合プラスチック材料からなる基板、金属ナノ粒子、無機酸化物ナノ粒子、無機窒化物ナノ粒子などのナノ粒子との複合プラスチック材料からなる基板、金属系・無機系のナノファイバーおよびマイクロファイバーとの複合プラスチック材料からなる基板、カーボン繊維、カーボンナノチューブとの複合プラスチック材料からなる基板、ガラスフェレック、ガラスファイバー、ガラスビーズとの複合プラスチック材料からなる基板、粘土鉱物や、雲母派生結晶構造を有する粒子との複合プラスチック材料からなる基板、薄いガラスと上記単独有機材料との間に少なくとも1回の接合界面を有する積層プラスチック材料からなる基板、無機層(例えば、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y$ )と有機層を交互に積層することで、少なくとも1回以上の接合界面を有するバリア性能を有する複合材料からなる基板、ステンレス基板、ステンレスと異種

40

50

金属を積層した金属多層基板、アルミニウム基板、表面に酸化処理（例えば、陽極酸化処理）を施すことで、表面の絶縁性を向上してある酸化被膜付きのアルミニウム基板などが挙げられる。

【0024】

本発明の第1の薄膜トランジスタの製造方法は、基板上に、酸化物半導体層と、ソース電極と、ドレイン電極と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とを有する薄膜トランジスタの製造方法であって、

前記酸化物半導体層が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する、該井戸型ポテンシャルの井戸部となる第1の電子親和力を有する第1の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第2の電子親和力を有する第2の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極から離れて配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第3の電子親和力を有する第3の領域とを含む構成となるように、該酸化物半導体層をスパッタ法により成膜する成膜工程を含み、

該成膜工程において、成膜室内を第1の酸素分圧/アルゴン分圧として前記第1の領域を成膜し、前記成膜室内を第2の酸素分圧/アルゴン分圧として前記第2の領域を成膜し、前記成膜室内を前記第1の酸素分圧/アルゴン分圧よりも低い第3の酸素分圧/アルゴン分圧として前記第3の領域を成膜することを特徴とする。

【0025】

ここで、前記第2の酸素分圧/アルゴン分圧を、前記第1の酸素分圧/アルゴン分圧より小さくすることが望ましい。

【0026】

本発明の第2の薄膜トランジスタの製造方法は、基板上に、酸化物半導体層と、ソース電極と、ドレイン電極と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とを有する薄膜トランジスタの製造方法であって、

前記酸化物半導体層が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する、該井戸型ポテンシャルの井戸部となる第1の電子親和力を有する第1の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第2の電子親和力を有する第2の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極から離れて配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第3の電子親和力を有する第3の領域とを含む構成となるように、該酸化物半導体層をスパッタ法により成膜する成膜工程を含み、

該成膜工程が、前記第1の領域の成膜中および/または該第1の領域を成膜した後に、該第1の領域の成膜面に酸素含有ラジカルを照射する工程を含むことを特徴とする。

【0027】

本発明の第3の薄膜トランジスタの製造方法は、基板上に、酸化物半導体層と、ソース電極と、ドレイン電極と、ゲート絶縁膜と、ゲート電極とを有する薄膜トランジスタの製造方法であって、

前記酸化物半導体層が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する、該井戸型ポテンシャルの井戸部となる第1の電子親和力を有する第1の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極側に配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第2の電子親和力を有する第2の領域と、該第1の領域よりも前記ゲート電極から離れて配置された、前記第1の電子親和力よりも小さい第3の電子親和力を有する第3の領域とを含む構成となるように、該酸化物半導体層をスパッタ法により成膜する成膜工程を含み、

該成膜工程が、前記第1の領域の成膜中および/または第1の領域の成膜後に、オゾン雰囲気中にて該第1の領域の成膜面に紫外線を照射する工程を含むことを特徴とする。

【0028】

なお、本発明の第1から第3の薄膜トランジスタの製造方法においては、いずれも前記成膜工程の間、成膜基板を大気に曝さないことが望ましい。

【0029】

本発明の表示装置は、本発明の薄膜トランジスタを備えたことを特徴とするものである。

## 【0030】

本発明イメージセンサーは、本発明の薄膜トランジスタを備えたことを特徴とするものである。

## 【0031】

本発明のX線センサーは、本発明の薄膜トランジスタを備えたことを特徴とするものである。

## 【0032】

本発明のX線デジタル撮影装置は、本発明のX線センサーを備えたことを特徴とするものである。

本発明のX線デジタル撮影装置においては、動画撮影を可能とした構成を含むものであることが好ましい。

## 【発明の効果】

## 【0033】

本発明の薄膜トランジスタは、酸化物半導体層の第1の領域が、より電子親和力の小さな第2および第3の領域に挟まれた構造となっていることから、第1の領域の伝導帯下端が第2および第3の領域の伝導帯下端より低い井戸型ポテンシャル構造を形成し、その結果、第1の領域への電子キャリアの流れ込みが起こり、第1の領域の組成比や酸素欠損量を変化させることなく、キャリア密度を高めることができるので高い移動度を有するものとすることができる。

## 【0034】

一般に、酸化物半導体においては、キャリア密度を高めるために、酸素欠損量を増やすことがなされるが、酸素欠損は移動度を低下させる要因となる。本発明においては、井戸層となる第1の領域において酸素欠損量を増やす必要がないので、チャンネル層となる第1の領域中における酸素空孔による移動度低下が抑制され移動度を向上させることができる。

## 【0035】

酸化物半導体層は、第1～第3の領域に亘って同種の材料で形成されていることから、チャンネル層となる第1の領域が、異種材料と接している場合に比べて界面での欠陥密度が低減され、均一性、安定性、信頼性の観点からも優れた薄膜トランジスタを提供することができる。

## 【0036】

本発明において、酸化物半導体層が非晶質膜であれば、300以下の低温で成膜可能であるため、プラスチック基板のような可撓性のある樹脂基板に形成し易い。従って薄膜トランジスタ付プラスチック基板を用いたフレキシブルディスプレイへの適用がより容易となる。さらに、非晶質膜は大面積にわたって均一な膜を形成し易く、多結晶のような粒界が存在しないため素子特性のバラツキを抑えることが容易である。

## 【0037】

本発明の表示装置は、高い移動度を有する本発明の薄膜トランジスタを備えているので、低消費電力かつ高品位な表示を実現することができる。

## 【0038】

本発明のX線センサーは、信頼性に優れた本発明の薄膜トランジスタを備えるため、S/Nが高く、高い感度特性を実現することができる。

## 【0039】

本発明のX線デジタル撮影装置は、そのX線センサーに高い移動度を有するトランジスタを備えているので、軽量かつフレキシブル性を有し、かつ広いダイナミックレンジの画像が得られ、その高速性から特に動画撮影に好適である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0040】

【図1】半導体電子構造のパラメータを説明するための図

【図2】(A)電子親和力差によるポテンシャル構造を示す図および(B)バンドギャップ

10

20

30

40

50

プエネルギー構造を示す図

【図3】(A)トップゲート-トップコンタクト型、(B)トップゲート-ボトムコンタクト型、(C)ボトムゲート-トップコンタクト型、(D)ボトムゲート-ボトムコンタクト型の薄膜トランジスタの構成を模式的に示す断面図

【図4】サンプル1~5についてのTaucプロットを示す図

【図5】図4から導いたバンドギャップエネルギーの組成比依存性を示す図

【図6】サンプル1~5についての励起光エネルギーと規格化光電子収率を示す図

【図7】図6から求めたイオン化ポテンシャルの組成依存性を示す図

【図8】電子親和力の組成依存性を示す図

【図9】(A)サンプル6、7、(B)サンプル8、9についてのTaucプロットを示す図

10

【図10】図9から導いたバンドギャップエネルギーの酸素分圧/アルゴン分圧依存性を示す図

【図11】(A)サンプル6、7、(B)サンプル8、9についての励起光エネルギーと規格化電子収率を示す図

【図12】図11から導いたイオン化ポテンシャルの酸素分圧/アルゴン分圧依存性を示す図

【図13】電子親和力の酸素分圧/アルゴン分圧依存性を示す図

【図14】(A)比抵抗、(B)キャリア密度、(C)移動度のGa/(In+Ga)依存性をそれぞれ示す図

20

【図15】積層構造、単膜についての(A)比抵抗、(B)キャリア濃度、(C)移動度をそれぞれ示す図

【図16】IGZO積層膜の(A)積層直後、(B)250アニール処理後、(C)500アニール処理後を示す断面STEM像

【図17】実施形態の液晶表示装置の一部分を示す概略断面図

【図18】図17の液晶表示装置の電気配線の概略構成図

【図19】実施形態の有機EL表示装置の一部分を示す概略断面図

【図20】図19の有機EL表示装置の電気配線の概略構成図

【図21】実施形態のX線センサーアレイの一部分を示す概略断面図

【図22】図21のX線センサーアレイの電気配線の概略構成図

30

【発明を実施するための形態】

【0041】

以下、本発明の実施形態について図を参照して説明する。

【0042】

<薄膜トランジスタ>

図3(A)から(D)は、本発明の第1~第4の実施形態の薄膜トランジスタ1~4の構成を模式的に示す断面図である。図3(A)~(D)の各薄膜トランジスタにおいて、共通の要素には同一の符号を付している。

【0043】

本発明の実施形態に係る薄膜トランジスタ1~4は、基板11上に、酸化半導体層12と、ソース電極13と、ドレイン電極14と、ゲート絶縁膜15と、ゲート電極16とを有し、酸化半導体層12が、膜厚方向に井戸型ポテンシャルを構成する第1から第3の領域A<sub>1</sub>~A<sub>3</sub>を備えている(図3(A)~(D)参照)。

40

【0044】

第1の領域A<sub>1</sub>は、井戸型ポテンシャル(図2(A)参照)の井戸部となる第1の電子親和力 $\chi_1$ を有する領域であり、第2の領域A<sub>2</sub>は、第1の領域A<sub>1</sub>よりもゲート電極16に近い側に配置された、第1の電子親和力 $\chi_1$ よりも小さい第2の電子親和力 $\chi_2$ を有する領域であり、第3の領域A<sub>3</sub>は、第1の領域A<sub>1</sub>よりもゲート電極16から離れた側に配置された、第1の電子親和力 $\chi_1$ よりも小さい第3の電子親和力 $\chi_3$ を有する領域である。

50

## 【 0 0 4 5 】

これらの領域  $A_1 \sim A_3$  のポテンシャル差は、各領域間で酸素濃度を変化させることにより、および/またはカチオン組成比を変化させることにより生じさせることができるが、本発明においては、少なくとも第3の領域  $A_3$  の酸素濃度を第1の領域  $A_1$  の酸素濃度より小さいことを特徴とする。第1の領域  $A_1$  の酸素濃度を第3の領域  $A_3$  の酸素濃度より大きくすることにより、第1の領域  $A_1$  の電子親和力  $\chi_1$  を第3の領域  $A_3$  の電子親和力  $\chi_3$  よりも大きくすることができる。

## 【 0 0 4 6 】

図3(A)に示す第1の実施形態の薄膜トランジスタ1は、トップゲート-トップコンタクト型のトランジスタであり、図3(B)に示す第2の実施形態の薄膜トランジスタ2は、トップゲート-ボトムコンタクト型のトランジスタであり、図3(C)に示す第3の実施形態の薄膜トランジスタ3は、ボトムゲート-トップコンタクト型のトランジスタであり、図3(D)に示す第4の実施形態の薄膜トランジスタ4は、ボトムゲート-ボトムコンタクト型のトランジスタである。

図3(A)~(D)に示す実施形態は、ゲート、ソース、ドレイン電極の、酸化物半導体層に対する配置が異なるが、同一符号を付与されている各要素の機能は同一であり、同様の材料を適応することができる。

## 【 0 0 4 7 】

以下、各構成要素について詳述する。

## 【 0 0 4 8 】

(基板)

薄膜トランジスタ1を形成するための基板11の形状、構造、大きさ等については特に制限はなく、目的に応じて適宜選択することができる。基板の構造は単層構造であってもよいし、積層構造であってもよい。

## 【 0 0 4 9 】

基板11としては、例えば、YSZ(イットリウム安定化ジルコニウム)やガラス等の無機材料、樹脂や樹脂複合材料等からなる基板を用いることができる。

中でも軽量である点、可撓性を有する点から樹脂あるいは樹脂複合材料からなる基板が好ましい。具体的には、ポリブチレンテレフタレート、ポリエチレンテレフタレート、ポリエチレンナフタレート、ポリブチレンナフタレート、ポリスチレン、ポリカーボネート、ポリスルホン、ポリエーテルスルホン、ポリアリレート、アリルジグリコールカーボネート、ポリアミド、ポリイミド、ポリアミドイミド、ポリエーテルイミド、ポリベンズアゾール、ポリフェニレンサルファイド、ポリシクロオレフィン、ノルボルネン樹脂、ポリクロロトリフルオロエチレン等のフッ素樹脂、液晶ポリマー、アクリル樹脂、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、アイオノマー樹脂、シアネート樹脂、架橋フマル酸ジエステル、環状ポリオレフィン、芳香族エーテル、マレイミド-オレフィン、セルロース、エピスルフィド化合物等の合成樹脂からなる基板、既述の合成樹脂等と酸化珪素粒子との複合プラスチック材料からなる基板、既述の合成樹脂等と金属ナノ粒子、無機酸化物ナノ粒子もしくは無機窒化物ナノ粒子等との複合プラスチック材料からなる基板、既述の合成樹脂等とカーボン繊維もしくはカーボンナノチューブとの複合プラスチック材料からなる基板、既述の合成樹脂等とガラスフェレック、ガラスファイバーもしくはガラスビーズとの複合プラスチック材料からなる基板、既述の合成樹脂等と粘土鉱物もしくは雲母派生結晶構造を有する粒子との複合プラスチック材料からなる基板、薄いガラスと既述のいずれかの合成樹脂との間に少なくとも1回の接合界面を有する積層プラスチック基板、無機層と有機層(既述の合成樹脂)を交互に積層することで、少なくとも1回以上の接合界面を有するバリア性能を有する複合材料からなる基板、ステンレス基板またはステンレスと異種金属とを積層した金属多層基板、アルミニウム基板または表面に酸化処理(例えば陽極酸化処理)を施すことで表面の絶縁性を向上させた酸化皮膜付きのアルミニウム基板等を用いることができる。

## 【 0 0 5 0 】

なお、樹脂基板としては、耐熱性、寸法安定性、耐溶剤性、電気絶縁性、加工性、低通気性、および低吸湿性等に優れていることが好ましい。

樹脂基板は、水分や酸素の透過を防止するためのガスバリア層や、樹脂基板の平坦性や下部電極との密着性を向上するためのアンダーコート層等を備えていてもよい。

【0051】

また、基板の厚みは50 μm以上500 μm以下であることが好ましい。基板の厚みが50 μm以上であると、基板自体の平坦性がより向上する。基板の厚みが500 μm以下であると、基板自体の可撓性がより向上し、フレキシブルデバイス用基板としての使用がより容易となる。なお、基板を構成する材料によって、十分な平坦性および可撓性を有する厚みは異なるため、基板材料に応じてその厚みを設定する必要があるが、概ねその範囲は50 μm - 500 μmの範囲となる。

10

【0052】

(酸化物半導体層)

酸化物半導体層12は、既述の通り、第1～第3の電子親和力 $\chi_1 \sim \chi_3$ をそれぞれ有する第1～第3の領域 $A_1 \sim A_3$ を備え、少なくとも第3の領域 $A_3$ の酸素濃度を第1の領域 $A_1$ の酸素濃度より小さくしたものである。

【0053】

第1の領域 $A_1$ と第2の領域 $A_2$ とのポテンシャルの差は第2の領域 $A_2$ の酸素濃度を、第1の領域 $A_1$ の酸素濃度より低くすることにより達成することができる。各領域が共通の元素および組成比により構成されてなる場合、酸素濃度が高いほど電子親和力が大きい。

20

【0054】

積層方向に井戸型ポテンシャルを形成させるためには、各領域間でカチオン組成比を変化させることによって各領域間の電子親和力を変化させることができる。従って、さらに、第1の領域と第2の領域とのカチオン組成比を異ならせ、第1の領域と第3の領域とのカチオン組成比を異ならせることにより、井戸型ポテンシャルを形成してもよい。なお、酸素濃度の変調とカチオン組成比の変調とを組み合わせると、結果として井戸型ポテンシャルを形成していればよく、例えば、第1の領域の酸素濃度が第2の領域の酸素濃度よりも低く、酸素濃度の違いに起因するポテンシャル差は第2の領域が小さいものであっても、その差以上のポテンシャル差を得ることができるようカチオン組成比を設定することにより、結果として第1のポテンシャルが第2のポテンシャルよりも低くなるようにすればよい。

30

【0055】

なお、図2(B)に示すように、第2の領域 $A_2$ および第3の領域 $A_3$ のバンドギャップ $E_{g2}$ 、 $E_{g3}$ が、第1の領域 $A_1$ のバンドギャップ $E_{g1}$ よりも大きいことが望ましい。

【0056】

酸素濃度の制御は、具体的には第2の領域、および/または第3の領域の成膜時には相対的に酸素分圧の低い条件で成膜をし、第1の領域については成膜時の相対的に酸素分圧が高い条件で成膜をすることにより、あるいは、第1の領域成膜後に酸素ラジカルやオゾン照射する処理を施すことにより膜の酸化を促進し、第1の領域中の酸素欠損量を低減させるなどにより行うことができる。

40

【0057】

なお、第1の領域の酸素欠損量は極めて少なくすることが好ましい。従来酸化物半導体層をチャネル層として用いる場合には、移動度を高めるためにキャリア密度をある程度増やす必要があり、酸素欠損を意図的に形成する、すなわち酸素濃度を低くすることがなされてきた。しかしながら酸素欠損が多いと酸素欠陥自体がキャリアの散乱要因となり移動度の低下を招くという問題があった。本発明ではチャネル層としてのキャリアは、第3の領域、および/または第2の領域から供給されるため、第1の領域の酸素欠損量を極めて少ない状態にしても十分なキャリア密度、それに伴う移動度が得られる。

50

## 【0058】

酸化物半導体層12は、各領域 $A_1 \sim A_3$ が、Al、Sc、Ti、Mn、Fe、Ga、Y、In、Sn、Ho、Er、Tm、Yb、Luからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素と、Mg、Ca、Ni、Zn、Sr、Baからなる群から選ばれた少なくとも1種の元素とを含むものであることが望ましい。

あるいは、酸化物半導体層12の各領域 $A_1 \sim A_3$ が、少なくともInおよびGaのいずれか一方の元素を含むものであることが望ましい。

## 【0059】

また、特に、酸化物半導体層12の各領域 $A_1 \sim A_3$ が、  
 $a(\text{In}_2\text{O}_3) \cdot b(\text{Ga}_2\text{O}_3) \cdot c(\text{ZnO}) \cdots$  一般式  
 からなるものであることが望ましい(ここでa、b、cは、それぞれ $a > 0$ 、 $b > 0$ 、 $c > 0$ 、かつ $a + b > 0$ 、 $b + c > 0$ 、 $c + a > 0$ である。)

10

このとき、第1の領域 $A_1$ の $b / (a + b)$ を、第2の領域 $A_2$ および第3の領域 $A_3$ の $b / (a + b)$ よりも小さいものとするのが好ましい。このとき、第1の領域 $A_1$ の $\text{Ga} / (\text{In} + \text{Ga})$ (前述の一般式における $b / (a + b)$ に相当)が0.95以下であることが望ましい。さらに、このとき、第2の領域 $A_2$ および第3の領域 $A_3$ の $b / (a + b)$ が0.5以上であることが望ましい。

## 【0060】

第1の領域と第2の領域の $b / (a + b)$ の差、および第1の領域と第3の領域の $b / (a + b)$ の差を大きくすることにより、伝導帯下端のエネルギー差が大きくなり、効率よく電子キャリアを第1の領域に局在させることが可能となる。

20

## 【0061】

また、本発明における酸化物半導体層を形成する第1の領域の $\text{Zn} / (\text{In} + \text{Ga})$ (前述の一般式においては $2c / (a + b)$ に相当)は0.5以下であることが好ましく、第2の領域および第3の領域の $2c / (a + b)$ は0.5以上であることが好ましい。 $\text{Zn} / (\text{In} + \text{Ga})$ が大きくなるにつれて光学吸収端が長波長側にシフトし、 $\text{Zn} / (\text{In} + \text{Ga})$ が大きくなることによりバンドギャップが狭くなる。そのため第1の領域に相対的に $\text{Zn} / (\text{In} + \text{Ga})$ の小さなIGZO層を配置し、第2の領域および第3の領域に相対的に $\text{Zn} / (\text{In} + \text{Ga})$ の大きなIGZO層を配置することにより伝導帯下端のエネルギー差を得ることができ、電子キャリアを第1領域に局在させることが可能である。 $\text{Zn} / (\text{In} + \text{Ga})$ を制御する手法は $\text{Ga} / (\text{In} + \text{Ga})$ の差を大きくした膜に適用させることで、より深い井戸型ポテンシャル構造を形成することが可能であり、当然 $\text{Ga} / (\text{In} + \text{Ga})$ が各領域で同一の場合においても用いることが可能である。

30

## 【0062】

また、IGZOからなる酸化物半導体層のZnの一部を、よりバンドギャップの広がる元素イオンをドーピングすることによって、より深い井戸型ポテンシャル構造を得ることができる。具体的には、Mgをドーピングすることにより膜のバンドギャップを大きくすることが可能である。例えば、第2の領域および第3の領域のみにMgをドーピングすることにより、より深い井戸型ポテンシャル構造を形成することができる。また、第1の領域と、第2の領域および第3の領域との間に、 $b / (a + b)$ および $2c / (a + b)$ に差を持たせた状態で、各領域にMgをドーピングすることで、In、Ga、Znのみの組成比を制御した系に比べて、井戸障壁の高さを保ったまま、全体のバンドギャップを広くすることができる。

40

## 【0063】

有機ELに用いられる青色発光層は $\lambda = 450 \text{ nm}$ 程度にピークを持つブロードな発光を示すことから、仮にIGZO膜の光学バンドギャップが比較的狭く、その領域に光学吸収を持つ場合には、トランジスタの閾値シフトが起こってしまうという問題が生じる。従って、特に有機EL駆動用に用いられる薄膜トランジスタとしては、チャネル層に用いる材料のバンドギャップが、より大きいことが好ましい。

## 【0064】

50

I G Z Oにおいて  $G a / ( I n + G a )$  を大きくすると光学吸収端が短波長側にシフトし、バンドギャップが広がるが、それと同時に  $G a / ( I n + G a )$  の大きな組成にすることで電気伝導性が低下する。すなわち、 $G a / ( I n + G a )$  の大きな I G Z O 膜を単独で薄膜トランジスタに用いた場合には、求めるようなトランジスタ特性（具体的には、数十～100  $c m^2 / V s$  を超えるような移動度）は得られない（図15参照。）。本発明では、バンドギャップの広い  $G a / ( I n + G a )$  の大きな酸化物半導体層（第2の領域および第3の領域）で、相対的にバンドギャップの狭い、 $G a / ( I n + G a )$  の小さな酸化物半導体層（第1の領域）を挟み込む構造を用いることにより井戸型のエネルギー構造が形成され、第1の領域にキャリアを局在化させることが可能となる。

#### 【0065】

第1の領域のキャリア密度は第2の領域または第3の領域の酸素欠損量制御やカチオンドーピングにより任意に制御することができる。キャリア密度を増やしたい際には第2の領域または第3の領域の酸素欠損量を増やす、または相対的に価数の大きなカチオンになりやすい材料（例えばTi、Zr、Hf、Ta等）をドーピングすればよい。但し、価数の大きいカチオンをドーピングする場合は、酸化物半導体膜の構成元素数が増えるため、成膜プロセスの単純化、低コスト化の面で不利であることから、酸素濃度（酸素欠損量）により、キャリア密度を制御することが好ましい。

#### 【0066】

第2の領域、第3の領域のどちらの領域に上記処理を施しても、第1の領域のキャリア密度制御は可能だが、ゲート電極により近い領域に高いキャリア密度を持った層が存在することで移動度劣化、サブスレッショルド領域の特性劣化の懸念があることから第3の領域で制御することが好ましい。

#### 【0067】

なお、300 以下の温度で成膜が可能であるという点から、酸化物半導体層は非晶質であることが好ましい。例えば、非晶質 I G Z O 膜は基板温度 200 以下で成膜可能である。

#### 【0068】

酸化物半導体層12のトータルの膜厚（総膜厚）は30～200 nm程度であることが好ましい。

#### 【0069】

（ソース・ドレイン電極）

ソース電極13およびドレイン電極14はいずれも高い導電性を有するものであれば特に制限なく、例えばAl、Mo、Cr、Ta、Ti、Au、Ag等の金属、Al-Nd、酸化錫、酸化亜鉛、酸化インジウム、酸化インジウム錫（ITO）、酸化亜鉛インジウム（IZO）等の金属酸化物導電膜等を、単層または2層以上の積層構造として用いることができる。

#### 【0070】

ソース電極13およびドレイン電極14はいずれも、例えば印刷方式、コーティング方式等の湿式方式、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法等の物理的方式、CVD、プラズマCVD法等の化学的方式等の中から使用する材料との適性を考慮して適宜選択した方法に従って成膜すればよい。

#### 【0071】

ソース電極13およびドレイン電極14を、上記金属により構成する場合、成膜性、エッチングやリフトオフ法によるパターンニング性および導電性等を考慮すると、その厚みは、10 nm以上、1000 nm以下とすることが好ましく、50 nm以上、100 nm以下とすることがより好ましい。

#### 【0072】

（ゲート絶縁膜）

ゲート絶縁膜15としては、高い絶縁性を有するものが好ましく、例えばSiO<sub>2</sub>、SiN<sub>x</sub>、SiON、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、HfO<sub>2</sub>等の絶縁膜、またはこ

10

20

30

40

50

これらの化合物を少なくとも二つ以上含む絶縁膜等から構成することができる。

【0073】

ゲート絶縁膜15は、印刷方式、コーティング方式等の湿式方式、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法等の物理的方式、CVD、プラズマCVD法等の化学的方式等の中から使用する材料との適性を考慮して適宜選択した方法に従って成膜すればよい。

【0074】

なお、ゲート絶縁膜15はリーク電流の低下および電圧耐性の向上のために十分な厚みを有する必要がある一方、厚みが大きすぎると駆動電圧の上昇を招いてしまう。ゲート絶縁膜15の厚みは、材質にもよるが、10nm~10μmが好ましく、50nm~1000nmがより好ましく、100nm~400nmが特に好ましい。

10

【0075】

(ゲート電極)

ゲート電極16としては、高い導電性を有するものであれば特に制限なく、例えばAl、Mo、Cr、Ta、Ti、Au、Ag等の金属、Al-Nd、酸化錫、酸化亜鉛、酸化インジウム、酸化インジウム錫(ITO)、酸化亜鉛インジウム(IZO)等の金属酸化物導電膜等を、単層または2層以上の積層構造として用いることができる。

【0076】

ゲート電極16は、例えば印刷方式、コーティング方式等の湿式方式、真空蒸着法、スパッタリング法、イオンプレーティング法等の物理的方式、CVD、プラズマCVD法等の化学的方式等の中から使用する材料との適性を考慮して適宜選択した方法に従って成膜すればよい。

20

【0077】

ゲート電極16を、上記金属により構成する場合、成膜性、エッチングやリフトオフ法によるパターンニング性および導電性等を考慮すると、その厚みは、10nm以上、1000nm以下とすることが好ましく、50nm以上、200nm以下とすることがより好ましい。

【0078】

(薄膜トランジスタの製造方法)

図3(A)に示すトップゲート-トップコンタクト型の薄膜トランジスタ1の製造方法について簡単に説明する。

30

【0079】

基板11を用意し、基板11上に酸化物半導体層12を、第3の領域A<sub>3</sub>、第1の領域A<sub>1</sub>、第2の領域A<sub>2</sub>の順にスパッタ法等の成膜手法により成膜する。

次いで酸化物半導体層12をパターンニングする。パターンニングはフォトリソグラフィおよびエッチングにより行うことができる。具体的には、残存させる部分にフォトリソグラフィによりレジストパターンを形成し、塩酸、硝酸、希硫酸、または燐酸、硝酸および酢酸の混合液等の酸溶液によりエッチングすることによりパターンを形成する。

【0080】

次に、酸化物半導体層12の上にソース・ドレイン電極13、14を形成するための金属膜を形成する。

40

次いで金属膜をエッチングまたはリフトオフ法により所定の形状にパターンニングし、ソース電極13およびドレイン電極14を形成する。この際、ソース・ドレイン電極13、14および図示しない、これらの電極に接続する配線を同時にパターンニングすることが好ましい。

【0081】

ソース・ドレイン電極13、14および配線を形成した後、ゲート絶縁膜15を形成する。ゲート絶縁膜15はフォトリソグラフィおよびエッチングによって所定の形状にパターンニング形成される。

【0082】

50

ゲート絶縁膜 15 を形成した後、ゲート電極 16 を形成する。電極膜を成膜後、エッチングまたはリフトオフ法により所定の形状にパターンニングし、ゲート電極 16 を形成する。この際、ゲート電極 16 およびゲート配線を同時にパターンニングすることが好ましい。

【 0 0 8 3 】

以上の手順により、図 3 A に示す薄膜トランジスタ 1 を作製することができる。

【 0 0 8 4 】

( 酸化半導体層の成膜工程 )

次に、酸化半導体層の成膜工程について、より詳細に説明する。

酸化半導体層 12 のトータルの膜厚 ( 総膜厚 ) は 30 ~ 200 nm 程度が好ましく、各領域は大気中に暴露されることなく連続して成膜されることが好ましい。大気中に暴露されることなく連続して成膜されることにより、結果として、より優れたトランジスタ特性を得ることができる。また、成膜工程数を削減できるため、製造コストも低減できる。

10

【 0 0 8 5 】

本実施形態においては、既述のとおり、酸化半導体層の第 3 の領域  $A_3$ 、第 1 の領域  $A_1$ 、第 2 の領域  $A_2$  の順に成膜する。なお、ボトムゲート型の薄膜トランジスタの製造時には、酸化半導体層は、第 2 の領域  $A_2$ 、第 1 の領域  $A_1$ 、第 3 の領域  $A_3$  の順に成膜することとなる。

【 0 0 8 6 】

まず、第 3 の領域  $A_3$  を成膜する。ここで、例えば、第 3 の領域  $A_3$  として、 $Ga / (In + Ga) = 0.75$ 、 $Zn / (In + Ga) = 0.5$  である  $InGaZnO$  膜を膜厚 100 nm となるように形成する。

20

【 0 0 8 7 】

上記のような金属元素の組成比となるように成膜する手法として、スパッタ成膜であれば  $In$ 、 $Ga$ 、 $Zn$ 、またはこれらの酸化物若しくはこれらの複合酸化物のターゲットを組み合わせて用いた共スパッタであってもよいし、あらかじめ、成膜した  $InGaZnO$  膜中の金属元素の組成比が上記となるような複合酸化物ターゲットの単独スパッタであってもよい。成膜中の基板温度は基板に応じて任意に選択してもよいが、フレキシブル基板を用いる場合には基板温度はより室温に近いことが好ましい。

【 0 0 8 8 】

第 3 の領域のキャリア密度を高める場合は、成膜時の成膜室内の酸素分圧を相対的に低くして、膜中の酸素濃度を低くする。例えば成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を 0.005 とする。逆に電子キャリア密度を低くする場合は、成膜時の成膜室内の酸素分圧を相対的に高くする (例えば成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を 0.05 とする。) か、成膜中または成膜後に酸素ラジカルを照射するか、オゾン雰囲気中にて該成膜基板表面に紫外線を照射する等により膜中の酸素濃度を高める。

30

【 0 0 8 9 】

次に、第 1 の領域の成膜を行う。第 1 の領域の成膜は、第 3 の領域の成膜後、一旦成膜を停止し、成膜室内の酸素分圧およびターゲットにかかる電力を変更した後、成膜を再開する方法であってもよいし、成膜を停止せず成膜室内の酸素分圧およびターゲットにかかる電力を速やかにまたは緩やかに変更する方法であってもよい。また、ターゲットは第 3 の領域成膜時に用いたターゲットをそのまま使い、投入電力を変化させる手法であってもよいし、第 3 の領域から第 1 領域に成膜を切り替える際に、第 3 の領域成膜に用いたターゲットへの電力投入を停止し、異なるターゲットに電力印加を行う手法であってもよいし、第 3 の領域の成膜に用いたターゲットに加えて、更に複数のターゲットに追加で電力印加を行う手法であってもよい。

40

【 0 0 9 0 】

ここで、第 1 の領域として、例えば金属元素の組成比が  $Ga / (In + Ga) = 0.25$ 、 $Zn / (In + Ga) = 0.5$  である  $InGaZnO$  膜を膜厚 10 nm となるように形成する。

50

## 【 0 0 9 1 】

成膜中の基板温度は基板に応じて任意に選択してもよいが、フレキシブル基板を用いる場合には基板温度はより室温に近いことが好ましい。

## 【 0 0 9 2 】

第1の領域の成膜においては、膜中の酸素欠損量を減らすために、すなわち、膜中の酸素濃度を高くするために、成膜時の成膜室内の酸素分圧を高くするか、成膜中または成膜後に酸素ラジカルを照射するか、オゾン雰囲気中にて該成膜基板面に紫外線を照射する。例えば成膜時の成膜室内の酸素分圧 / アルゴン分圧を 0 . 0 5 とする。

## 【 0 0 9 3 】

最後に、第2の領域の成膜を行う。第2の領域の成膜は、第1の領域の成膜後、一旦成膜を停止し、成膜室内の酸素分圧およびターゲットにかかる電力を変更した後、成膜を再開する方法であってもよいし、成膜を停止せず成膜室内の酸素分圧およびターゲットにかかる電力を速やかにまたは緩やかに変更する方法であってもよい。また、ターゲットは第1の領域成膜時に用いたターゲットをそのまま使い、投入電力を変化させる手法であってもよいし、第1の領域から第2の領域に成膜を切り替える際に、第1の領域成膜に用いたターゲットへの電力投入を停止し、異なるターゲットに電力印加を行う手法であってもよいし、第1の領域の成膜に用いたターゲットに加えて、更に複数のターゲットに追加で電力印加を行う手法であってもよい。

10

## 【 0 0 9 4 】

ここで、第2の領域として、例えば金属元素の組成比が  $G a / ( I n + G a ) = 0 . 7 5$ 、 $Z n / ( I n + G a ) = 0 . 5$  の I G Z O 膜を膜厚 1 0 n m となるように形成する。

20

## 【 0 0 9 5 】

成膜中の基板温度は基板に応じて任意に選択してもよいが、フレキシブル基板を用いる場合には基板温度はより室温に近いことが好ましい。

## 【 0 0 9 6 】

また、第2の領域のキャリア密度を高める場合は、成膜時の成膜室内の酸素分圧を低くする。例えば成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を 0 . 0 0 5 とする。逆に電子キャリア密度を低くする場合は、成膜時の成膜室内の酸素分圧を高くする（例えば成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を 0 . 0 5 とする。）か、成膜中または成膜後に酸素ラジカルを照射するか、オゾン雰囲気中にて該成膜基板表面に紫外線を照射する。

30

## 【 0 0 9 7 】

なお、酸素ラジカル照射またはオゾン雰囲気中での紫外線照射により膜中の酸素濃度を高める際には、第1の領域および第2の領域の成膜中および成膜後の両方で行ってもよく、第2の領域成膜後のみに行ってもよい。また、酸素ラジカル照射時の基板温度は基板に応じて任意に選択してもよいが、フレキシブル基板を用いる場合には基板温度はより室温に近いことが好ましい。

## 【 0 0 9 8 】

さらに、酸化物半導体層形成後にアニール処理を施してもよい。アニールの際の雰囲気は膜に応じて任意に選択することが可能であり、アニール温度は基板に応じて任意に選択してもよいが、フレキシブル基板を用いる場合にはより低温（例えば 2 0 0 以下）でアニールすることが好ましい。

40

一方、高い耐熱性を有する基板を用いる場合には、5 0 0 近い高温でアニール処理を施してもよい。

## 【 0 0 9 9 】

なお、図 1 6 は、 $G a / ( I n + G a ) = 0 . 7 5$  の I G Z O 膜と  $G a / ( I n + G a ) = 0 . 2 5$  の I G Z O 膜を 5 層積層した積層膜の断面 S T E M 像であり、同図 ( A ) は、積層直後（アニール処理前）、同図 ( B ) はアニール温度 2 5 0 で処理したもの、同図 ( C ) はアニール温度が 5 0 0 で処理したものを示す。図 1 6 から、5 0 0 でアニール処理されても積層構造を維持していることが確認できる。

## 【 0 1 0 0 】

50

なお、本発明者らは、IGZO層について、電子親和力をカチオンの組成比および/または酸素濃度により変化させることができること、および井戸型ポテンシャル構造とすることにより、エネルギーギャップが小さいIGZO層を井戸層として用いることが可能であることを以下の実験を行い確認した。

【0101】

電子親和力は前述したとおりイオン化ポテンシャルIとバンドギャップエネルギーE<sub>g</sub>の差で決定される。

バンドギャップエネルギーE<sub>g</sub>は、光の反射率および透過率測定を行い、Taucプロットを用いて算出することができる。また、イオン化ポテンシャルIは、光電子分光測定から求めることができる。

10

【0102】

(電子親和力のカチオン組成比依存)

カチオン組成比が異なるサンプル1~5を作製し、上記各測定を行って電子親和力のカチオン組成比に対する依存性を調べた。

【0103】

まず、IGZO膜を測定対象とし、カチオン組成比の異なるIGZO膜サンプル1~5を作製した。サンプル1~5は、カチオン組成比として、Ga/(In+Ga)が異なるIGZO膜をそれぞれ基板上に成膜したものである。いずれのサンプルも基板として合成石英ガラス基板(コバレントマテリアル社製、品番T-4040)を用いた。

【0104】

サンプル1は、基板上に、Ga/(In+Ga)=0、Zn/(In+Ga)=0.5のIGZO膜を100nm厚となるように成膜させたものである。成膜時の酸素分圧/アルゴン分圧=0.01とし、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ターゲット、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ターゲットおよびZnOターゲットを用いた共スパッタ(co-sputter)にて行った。なお、成膜時の基板温度は室温とし、成膜時の成膜室内圧力は排気バルブの開度を自動制御することで常に4.4×10<sup>-1</sup>Paを保った。

20

【0105】

サンプル2~5は、Ga/(In+Ga)の値が異なる点を除き、サンプル1と同様の作製手順で作製した。サンプル2は、Ga/(In+Ga)=0.25、サンプル3は、Ga/(In+Ga)=0.5、サンプル4は、Ga/(In+Ga)=0.75、サンプル5は、Ga/(In+Ga)=1とした。

30

【0106】

なお、各サンプル1~5におけるGa/(In+Ga)およびZn/(In+Ga)の制御はIn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZnOの各ターゲットに投入する電力値を調整することにより行った。

【0107】

各サンプル1~5について、反射率および透過率測定を行った結果のTaucプロットを図4に示す。Ga/(In+Ga)が大きくなればなるほどバンドギャップエネルギーも大きくなっていることがわかる。

【0108】

図5は、図4に示すTaucプロットから導き出した各サンプルのバンドギャップエネルギーを示すものである。この結果からGa/(In+Ga)を0から1へと大きくするとバンドギャップエネルギーが1.2~1.3eV程度大きくなることが明らかになった。

40

【0109】

図6は、各サンプル1~5についての光電子分光測定による励起光エネルギーと規格化光電子収率を示す。図6のグラフにおいて、それぞれ曲線の立ち上がりの励起光エネルギー、すなわち光電子放出を始めるエネルギー値がイオン化ポテンシャルを意味するものとなる。

【0110】

50

図7は、図6のグラフから求めた各サンプル1～5のイオン化ポテンシャルを示すグラフである。図7から  $G a / ( I n + G a )$  が0.5付近でイオン化ポテンシャルが最大値をとり、そこから離れるにしたがってイオン化ポテンシャルは小さくなっていることが明らかである。

【0111】

先に求めたバンドギャップエネルギー  $E g$  とイオン化ポテンシャル  $I$  の差から各サンプル1～5の電子親和力を求めた。

次に示す表2は、各サンプルの組成比、酸素分圧/アルゴン分圧、エネルギーギャップ  $E g$ 、イオン化ポテンシャル  $I$  および電子親和力を一覧にしたものである。

【表 2】

	Ga/(In+Ga)	Zn/(In+Ga)	O <sub>2</sub> 分圧/Ar分圧	エネルギーギャップ E <sub>g</sub> (eV)	イオン化ポテンシャル エネルギー (eV)	電子親和力 χ (eV)
サンプル1	0	0.5	0.01	3.45	7.00	3.55
サンプル2	0.25	0.5	0.01	3.55	7.19	3.64
サンプル3	0.5	0.5	0.01	3.78	7.23	3.45
サンプル4	0.75	0.5	0.01	3.98	7.14	3.16
サンプル5	1	0.5	0.01	4.70	7.07	2.37

## 【0112】

図8は、上記結果から得られた電子親和力のGa/(In+Ga)依存性を示すものである。電子親和力は、Ga/(In+Ga)が0.25付近で最大値をとり、そこから離れるにしたがって小さくなることがわかり、Ga/(In+Ga)を0.25から1へと大きくすると電子親和力が1.2~1.3eV程度小さくなることが分かった。

## 【0113】

10

20

30

40

50

以上のように、 $Ga / (In + Ga)$ を変化させることにより電子親和力を変化させることができることが明確になった。従って、 $InGaZnO$ からなる酸化物半導体層において、例えば、領域 $A_1$ の $Ga / (In + Ga)$ を $0.25$ とし、領域 $A_2$ （および領域 $A_3$ ）の $Ga / (In + Ga)$ を $0.75$ とすることにより、ポテンシャル差 $0.48 eV$ の井戸型構造とすることができることがわかる。

【0114】

（電子親和力 の酸素濃度依存）

酸素濃度が異なるサンプル6～9を作製し、同様の測定を行った電子親和力 の酸素濃度に対する依存性を調べた。

【0115】

サンプル6～9は、上記と同様に $IGZO$ 膜を測定対象とし、同様の作製手順および同様の基板の上に成膜して得た。

サンプル6は、 $Ga / (In + Ga) = 0.75$ 、 $Zn / (In + Ga) = 0.5$ であり、成膜時の酸素分圧/アルゴン分圧 =  $0$ とした。サンプル7は、サンプル6において、成膜時の酸素分圧/アルゴン分圧 =  $0.01$ とした。サンプル8は、 $Ga / (In + Ga) = 0.25$ 、 $Zn / (In + Ga) = 0.5$ であり、成膜時の酸素分圧/アルゴン分圧 =  $0$ とした。サンプル9は、サンプル8において、成膜時の酸素分圧/アルゴン分圧 =  $0.01$ とした。作製サンプル6から9の組成比、酸素分圧/アルゴン分圧、および後述するエネルギーギャップ等を表3に示す。

【表 3】

	Ga/(In+Ga)	Zn/(In+Ga)	O <sub>2</sub> 分圧/Ar分圧	エネルギーギャップ E <sub>g</sub> (eV)	イオン化ポテンシャル エネルギー-I(eV)	電子親和力 χ (eV)
サンプル6	0.75	0.5	0	3.94	6.93	2.99
サンプル7	0.75	0.5	0.01	3.98	7.14	3.16
サンプル8	0.25	0.5	0	3.59	7.05	3.46
サンプル9	0.25	0.5	0.01	3.55	7.19	3.64

## 【0116】

各サンプル6～9について、反射率および透過率測定を行った結果のT a u cプロットを図9(A)および(B)に示す。図9(A)はGa/(In+Ga)が0.75のサンプル6および7について、図9(B)はGa/(In+Ga)が0.25のサンプル8、9についてのT a u cプロットである。いずれの場合も、成膜時の酸素分圧/アルゴン分圧を変えても、バンドギャップエネルギーE<sub>g</sub>は大きく変化していないことがわかった。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 7 】

図 1 0 は、図 9 ( A ) および図 9 ( B ) に示す T a u c プロットから導き出した各サンプルのバンドギャップエネルギーを酸素分圧 / アルゴン分圧を横軸にプロットしたものである。この結果から、酸素分圧 / アルゴン分圧を変化させてもバンドギャップエネルギーの変化はほとんどないことが明らかになった。

## 【 0 1 1 8 】

図 1 1 ( A ) はサンプル 6、7 について、図 1 1 ( B ) はサンプル 8、9 についての光電子分光測定による励起光エネルギーと規格化光電子収率を示し、図 1 2 は、図 1 1 ( A ) および図 1 1 ( B ) のグラフから求めた各サンプルのイオン化ポテンシャルを示すものである。図 1 2 に示す結果から、 $G a / ( I n + G a )$  の値が異なる場合であっても成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧が大きくなるにつれてイオン化ポテンシャルが大きくなっていることがわかった。

10

## 【 0 1 1 9 】

先に求めたバンドギャップエネルギー  $E_g$  とイオン化ポテンシャル  $I$  との差から各サンプル 6 ~ 9 の電子親和力  $\chi$  を求めた (表 3 参照)。

## 【 0 1 2 0 】

図 1 3 は、上記結果から得られた、電子親和力の、成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧依存性を示すものである。電子親和力  $\chi$  は、成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧が大きくなるほど大きくなることが明らかになった。成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を 0 から 0 . 0 1 へと大きくすると  $G a / ( I n + G a )$  の値が 0 . 7 5、0 . 2 5 いずれの場合にも電子親和力が 0 . 2 e V 程度大きくなることが分かった。

20

## 【 0 1 2 1 】

以上のように、成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を変化させることにより電子親和力を変化させることができること、より詳細には、酸素分圧 / アルゴン分圧を大きくすることにより電子親和力を大きくすることができることが明確になった。

## 【 0 1 2 2 】

従って、 $I n G a Z n O$  からなる酸化物半導体層において、例えば、領域  $A_1$  から領域  $A_3$  の  $I n G a Z n O$  の組成比は同一とし、領域  $A_1$  成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を、領域  $A_3$  成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧よりも大きくすることにより、領域  $A_1$  の電子親和力  $\chi_1$  を領域  $A_3$  の電子親和力  $\chi_3$  よりも大きくすることができることが明らかである。

30

## 【 0 1 2 3 】

同様に領域  $A_2$  の成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を領域  $A_1$  成膜時よりも小さくすることにより、成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を変化させるだけで、井戸型ポテンシャル構造を形成することができることは明らかである。

## 【 0 1 2 4 】

なお、一般に成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧が大きい場合は膜中の酸素濃度が高く、逆に成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧が小さい場合は酸素濃度が低くなるので、上記結果は膜中の酸素濃度が高くなるにつれて電子親和力が大きくなることを意味する。

## 【 0 1 2 5 】

本実験においては、膜内の酸素濃度を高める手法として、成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧を大きくするという方法を採用したが、その他、成膜面に酸素ラジカルを照射させる、オゾン雰囲気中で成膜面に紫外線を照射する等の方法を探っても同様に膜内の酸素濃度を高めることができる。

40

## 【 0 1 2 6 】

上述した  $G a / ( I n + G a )$  の変調と膜中酸素濃度の変調は同時に適用することが可能であり、例えば、第 1 の領域  $A_1$  を、 $G a / ( I n + G a ) = 0 . 7 5$  の組成比、かつ膜中酸素濃度が高い (成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧 = 0 . 0 1)  $I G Z O$  膜 (表 3 におけるサンプル 9) とし、第 2 および第 3 の領域  $A_2$ 、 $A_3$  を、 $G a / ( I n + G a ) = 0 . 2 5$  付近の組成比、かつ膜中酸素濃度が低い (成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧 = 0

50

) I G Z O 膜 ( 表 3 におけるサンプル 6 ) で挟み込んだ構造にすることによって、組成比のみ、あるいは酸素濃度のみを変調した場合よりも深い井戸型障壁構造 ( 電子親和力差 = 0 . 6 5 ) を得ることができる。

【 0 1 2 7 】

ここで、I G Z O 膜におけるキャリア濃度、移動度について行った実験について説明する。キャリア濃度および移動度は、ホール効果および比抵抗の測定により求めることができる。

【 0 1 2 8 】

図 1 4 ( A ) ~ ( C ) は、酸素分圧 / アルゴン分圧を変化させて作製した I G Z O 膜中の比抵抗、キャリア密度、移動度の  $G a / ( I n + G a )$  依存性をそれぞれ示すものである。図 1 4 中において、 $\square$  は酸素分圧 / アルゴン分圧が 0 . 0 1、 $\triangle$  は酸素分圧 / アルゴン分圧が 0 . 0 0 5、 $\circ$  は酸素分圧 / アルゴン分圧が 0 のサンプルについてのデータである。

10

【 0 1 2 9 】

測定に供されたサンプルは、上記と同様の方法で作製したものである。ホール効果および比抵抗の測定にはホール測定装置 ( 東陽テクニカ製、ホール効果・比抵抗測定装置 Resi Test 8300 ) を用いた。

【 0 1 3 0 】

図 1 4 ( B ) から  $G a / ( I n + G a )$  または酸素分圧 / アルゴン分圧を変化させることによってキャリア密度を独立に制御できることがわかる。例えば  $G a / ( I n + G a )$  を一定にし、酸素分圧 / アルゴン分圧のみを変化させることで、膜のバンドギャップを変化させずに膜中のキャリア濃度のみを任意に調整することができる。但し、酸素分圧 / アルゴン分圧が 0 であるとき、 $G a / ( I n + G a )$  を変化させることにより、キャリア濃度は任意に制御できるが、図 1 4 ( C ) に示すように移動度は低い状態のままとなっていることがわかる。この結果から、単に酸素欠損量を増やしてキャリア濃度を増やすだけでは求めるような移動度の向上は得られないことがわかった。

20

【 0 1 3 1 】

次に、I G Z O の単層膜と積層構造との比抵抗、キャリア濃度、移動度を比較した結果について説明する。

【 0 1 3 2 】

積層構造として、表 3 で示したサンプル 9 の組成比 ( 0.25 ) - 酸素分圧 / アルゴン分圧 ( 0.01 ) の I G Z O 膜と、サンプル 7 の組成比 ( 0.75 ) - 酸素分圧 / アルゴン分圧 ( 0.01 ) の I G Z O 膜と、サンプル 6 の組成比 ( 0.75 ) - 酸素分圧 / アルゴン分圧 ( 0 ) とを用い、膜厚 1 0 n m のサンプル 9 の I G Z O 膜を、膜厚 1 0 n m のサンプル 7 および膜厚 5 0 n m のサンプル 6 で挟み込んだ構造を作製した。

30

【 0 1 3 3 】

単膜として、それぞれサンプル 9 ( I G Z O - 0.25 - 0.01 )、サンプル 7 ( I G Z O - 0.75 - 0.01 )、サンプル 6 ( I G Z O - 0.75 - 0 ) のそれぞれの膜を用意した。

【 0 1 3 4 】

上記積層構造、単膜についてホール測定評価を行った。図 1 5 ( A ) ~ ( C ) は、ホール測定から得られた比抵抗、キャリア濃度、移動度をそれぞれ示すものであり、各図において、左側に単膜、右側に積層構造のサンプルについての結果を示している。なお、サンプル 7 ( I G Z O - 0.75 - 0.01 ) については測定不可 ( シート抵抗  $1 \times 1 0^9$  / 以上 ) であった。

40

【 0 1 3 5 】

各領域の単膜の結果に比べて、積層構造はキャリア密度が増大し、比抵抗が減少し、移動度が増大した。これは井戸型ポテンシャルが形成され、井戸層に電子が移動したことを意味する。

なお、ここでは I G Z O 膜の実験を行ったが、他の材料系においても同様に、井戸型ポテンシャルを形成することにより、同様の効果が得られると考えられる。

50

## 【 0 1 3 6 】

以上において説明した本発明の薄膜トランジスタの用途は特に限定されるものではないが、例えば電気光学装置としての表示装置（例えば液晶表示装置、有機EL（Electro Luminescence）表示装置、無機EL表示装置等）における駆動素子として好適である。

## 【 0 1 3 7 】

さらに、本発明の電子素子は、樹脂基板を用いた低温プロセスで作製可能なフレキシブルディスプレイ等のデバイス、CCD（Charge Coupled Device）、CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）等のイメージセンサー、X線センサー等の各種センサー、MEMS（Micro Electro Mechanical System）等、種々の電子デバイスにおける駆動素子（駆動回路）として、好適に用いられるものである。

10

## 【 0 1 3 8 】

本発明の薄膜トランジスタを用いた本発明の表示装置およびセンサーは、いずれも低い消費電力により良好な特性を示す。なお、ここで言う「特性」とは、表示装置の場合には表示特性、センサーの場合には感度特性である。

## 【 0 1 3 9 】

<液晶表示装置>

図17に、本発明の電気光学装置の一実施形態の液晶表示装置について、その一部分の概略断面図を示し、図18にその電気配線の概略構成図を示す。

## 【 0 1 4 0 】

図17に示すように、本実施形態の液晶表示装置5は、図3Aに示したトップゲート型の薄膜トランジスタ1と、トランジスタ1のパッシベーション層54で保護されたゲート電極16上に画素下部電極55およびその対向上部電極56で挟まれた液晶層57と、各画素に対応させて異なる色を発色させるためのRGBカラーフィルタ58とを備え、TFT10の基板11側およびカラーフィルタ58上にそれぞれ偏光板59a、59bを備えた構成である。

20

## 【 0 1 4 1 】

また、図18に示すように、本実施形態の液晶表示装置5は、互いに平行な複数のゲート配線51と、該ゲート配線51と交差する、互いに平行なデータ配線52とを備えている。ここでゲート配線51とデータ配線52は電氣的に絶縁されている。ゲート配線51とデータ配線52との交差部付近に、薄膜トランジスタ1が備えられている。

30

## 【 0 1 4 2 】

薄膜トランジスタ1のゲート電極16は、ゲート配線51に接続されており、薄膜トランジスタ1のソース電極13はデータ配線52に接続されている。また、薄膜トランジスタ1のドレイン電極14はゲート絶縁膜15に設けられたコンタクトホール19を介して（コンタクトホール19に導電体が埋め込まれて）画素下部電極55に接続されている。この画素下部電極55は、接地された対向電極56とともにコンデンサ53を構成している。

## 【 0 1 4 3 】

図17に示した本実施形態の液晶装置においては、トップゲート型の薄膜トランジスタを備えるものとしたが、本発明の表示装置である液晶装置において用いられる薄膜トランジスタはトップゲート型に限定されることなく、ボトムゲート型の薄膜トランジスタであってもよい。

40

## 【 0 1 4 4 】

本発明の薄膜トランジスタは高い移動度を有するため、液晶表示装置において高精細、高速応答、高コントラスト等の高品位表示が可能となり、大画面化にも適している。また、活性層のIGZOが非晶質である場合には素子特性のバラツキを抑えることができ、大画面でムラのない優れた表示品位が実現される。

しかも特性シフトが少ないため、ゲート電圧を低減でき、ひいては表示装置の消費電力を低減できる。また、本発明によると、半導体層として低温（例えば200以下）での成膜が可能な非晶質IGZO膜を用いて薄膜トランジスタを作製することができるため、

50

基板としては樹脂基板（プラスチック基板）を用いることができる。従って、本発明によれば、表示品質に優れフレキシブルな液晶表示装置を提供することができる。

【0145】

<有機EL表示装置>

図19に、本発明の電気光学装置の一実施形態のアクティブマトリクス方式の有機EL表示装置について、その一部分の概略断面図を示し、図20に電気配線の概略構成図を示す。

【0146】

有機EL表示装置の駆動方式には、単純マトリクス方式とアクティブマトリクス方式の2種類がある。単純マトリクス方式は低コストで作製できるメリットがあるが、走査線を1本ずつ選択して画素を発光させることから、走査線数と走査線あたりの発光時間は反比例する。そのため高精細化、大画面化が困難となっている。アクティブマトリクス方式は画素ごとにトランジスタやキャパシタを形成するため製造コストが高くなるが、単純マトリクス方式のように走査線数を増やせないという問題はないため高精細化、大画面化に適している。

【0147】

本実施形態のアクティブマトリクス方式の有機EL表示装置6は、図3Aに示したトップゲート型の薄膜トランジスタ1が、パッシベーション層61aを備えた基板60上に、駆動用1aおよびスイッチング用1bとして備えられ、該トランジスタ1aおよび1b上に下部電極62および上部電極63に挟まれた有機発光層64からなる有機発光素子65を備え、上面もパッシベーション層61bにより保護された構成となっている。

【0148】

また、図20に示すように、本実施形態の有機EL表示装置7は、互いに平行な複数のゲート配線66と、該ゲート配線66と交差する、互いに平行なデータ配線67および駆動配線68とを備えている。ここでゲート配線66とデータ配線67、駆動配線68とは電氣的に絶縁されている。スイッチング用薄膜トランジスタ1bのゲート電極16aは、ゲート配線66に接続されており、スイッチング用薄膜トランジスタ1bのソース電極13bはデータ配線67に接続されている。また、スイッチング用薄膜トランジスタ1bのドレイン電極14bは駆動用薄膜トランジスタ1aのゲート電極16aに接続されるとともに、コンデンサ69を用いることで駆動用薄膜トランジスタ1aをオン状態に保つ。駆動用薄膜トランジスタ1aのソース電極13aは駆動配線68に接続され、ドレイン電極14aは有機EL発光素子65に接続される。

【0149】

図19に示した本実施形態の有機EL装置においては、トップゲート型の薄膜トランジスタ1aおよび1bを備えるものとしたが、本発明の表示装置である有機EL装置において用いられる薄膜トランジスタは、トップゲート型に限定されることなく、ボトムゲート型の薄膜トランジスタであってもよい。

【0150】

本発明の薄膜トランジスタは高い移動度を有するため、低消費電力で且つ高品位な表示が可能となる。また、本発明によると、半導体層として低温（例えば200以下）での成膜が可能な非晶質IGZO膜を用いて薄膜トランジスタを作製することができるため、基板として樹脂基板（プラスチック基板）を用いることができる。従って、本発明によれば、表示品質に優れフレキシブルな有機EL表示装置を提供することができる。

【0151】

なお、図19に示した有機EL表示装置において、上部電極63を透明電極としてトップエミッション型としてもよいし、下部電極62およびTFTの各電極を透明電極とすることによりボトムエミッション型としてもよい。

【0152】

<X線センサー>

図21に、本発明のセンサーの一実施形態であるX線センサーについて、その一部分の

10

20

30

40

50

概略断面図を示し、図 2 2 にその電気配線の概略構成図を示す。

【 0 1 5 3 】

図 2 1 は、より具体的には X 線センサーアレイの一部を拡大した概略断面図である。本実施形態の X 線センサー 7 は基板上に形成された薄膜トランジスタ 1 およびキャパシタ 7 0 と、キャパシタ 7 0 上に形成された電荷収集用電極 7 1 と、X 線変換層 7 2 と、上部電極 7 3 とを備えて構成される。薄膜トランジスタ 1 上にはパッシベーション膜 7 5 が設けられている。

【 0 1 5 4 】

キャパシタ 7 0 はキャパシタ用下部電極 7 6 とキャパシタ用上部電極 7 7 とで絶縁膜 7 8 を挟んだ構造となっている。キャパシタ用上部電極 7 7 は絶縁膜 7 8 に設けられたコンタクトホール 7 9 を介し、薄膜トランジスタ 1 のソース電極 1 3 およびドレイン電極 1 4 のいずれか一方（図 2 1 においてはドレイン電極 1 4）と接続されている。

【 0 1 5 5 】

電荷収集用電極 7 1 は、キャパシタ 7 0 におけるキャパシタ用上部電極 7 7 上に設けられており、キャパシタ用上部電極 7 7 に接している。

X 線変換層 7 2 はアモルファスセレンからなる層であり、薄膜トランジスタ 1 およびキャパシタ 7 0 を覆うように設けられている。

上部電極 7 3 は X 線変換層 7 2 上に設けられており、X 線変換層 7 2 に接している。

【 0 1 5 6 】

図 2 2 に示すように、本実施形態の X 線センサー 7 は、互いに平行な複数のゲート配線 8 1 と、ゲート配線 8 1 と交差する、互いに平行な複数のデータ配線 8 2 とを備えている。ここでゲート配線 8 1 とデータ配線 8 2 は電氣的に絶縁されている。ゲート配線 8 1 とデータ配線 8 2 との交差部付近に、薄膜トランジスタ 1 が備えられている。

【 0 1 5 7 】

薄膜トランジスタ 1 のゲート電極 1 6 は、ゲート配線 8 1 に接続されており、薄膜トランジスタ 1 のソース電極 1 3 はデータ配線 8 2 に接続されている。また、薄膜トランジスタ 1 のドレイン電極 1 4 は電荷収集用電極 7 1 に接続されており、さらにこの電荷収集用電極 7 1 は、接地された対向電極 7 6 とともにキャパシタ 7 0 を構成している。

【 0 1 5 8 】

本構成の X 線センサー 7 において、X 線は図 2 1 中、上部（上部電極 7 3 側）から照射され、X 線変換層 7 2 で電子-正孔対を生成する。この X 線変換層 7 2 に上部電極 7 3 によって高電界を印加しておくことにより、生成した電荷はキャパシタ 7 0 に蓄積され、薄膜トランジスタ 1 を順次走査することによって読み出される。

【 0 1 5 9 】

本発明の X 線センサーは、オン電流が高く、信頼性に優れた薄膜トランジスタ 1 を備えるため、S/N が高く、感度特性に優れているため、X 線デジタル撮影装置に用いた場合に広ダイナミックレンジの画像が得られる。特に本発明の X 線デジタル撮影装置は、静止画撮影のみ可能なものではなく、動画による透視と静止画の撮影が 1 台で行える X 線デジタル撮影装置に用いるのが好適である。さらに薄膜トランジスタにおける活性層の I G Z O が非晶質である場合には均一性に優れた画像が得られる。

【 0 1 6 0 】

なお、図 2 1 に示した本実施形態の X 線センサーにおいては、トップゲート型の薄膜トランジスタを備えるものとしたが、本発明のセンサーにおいて用いられる薄膜トランジスタはトップゲート型に限定されることなく、ボトムゲート型の薄膜トランジスタであってもよい。

【実施例 1】

【 0 1 6 1 】

トップゲート型薄膜トランジスタについて実施例 1、比較例 1 から 4 を作製して、移動度を比較した。表 4 は、各トランジスタの  $G a / ( I n + G a )$  および成膜時の酸素分圧 / アルゴン分圧および移動度を示す表である。

10

20

30

40

50

【表 4】

	第3の領域 Ga/(In+Ga) O <sub>2</sub> 分圧/Ar分圧	第1の領域 Ga/(In+Ga) O <sub>2</sub> 分圧/Ar分圧	第2の領域 Ga/(In+Ga) O <sub>2</sub> 分圧/Ar分圧	移動度 $\mu$ [cm <sup>2</sup> /Vs]
実施例1	0.75 0.05	0.25 0.05	0.75 0.005	65
比較例1	0.75 0.005	0.25 0.005	0.75 0.005	—
比較例2	0.75 0.05	0.25 0.05	0.75 0.05	—
比較例3	0.75 0.05	0.75 0.05	0.75 0.005	—
比較例4	0.25 0.05	0.25 0.05	0.25 0.005	—

## 【0162】

&lt;実施例1&gt;

図3Aに示す構造のトップゲート、トップコンタクト型の薄膜トランジスタを実施例1として作製した。

基板11として、合成石英ガラス基板（コバレントマテリアル社製、品番T4040）を用いた。酸化物半導体層12はInGaZnOからなるものとし、まず、第3の領域A<sub>3</sub>として、Ga/(In+Ga)=0.75、Zn/(In+Ga)=0.5であるInGaZnO膜を100nmスパッタ成膜した後、第1の領域A<sub>1</sub>として、Ga/(In+Ga)=0.25、Zn/(In+Ga)=0.5のIGZO膜を10nmスパッタ成膜し、さらに第2の領域A<sub>2</sub>として、Ga/(In+Ga)=0.75、Zn/(In+Ga)=0.5のIGZO膜を10nmスパッタ成膜した。酸化物半導体層12は各領域間で大気中に暴露することなく連続して成膜を行った。各領域のスパッタは、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ターゲット、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ターゲット、ZnOターゲットを用いた共スパッタ（co-sputter）にて行った。各領域の膜厚調整は成膜時間の調整にて行った。各領域の詳細なスパッタ条件は以下の通りである。

## 【0163】

（第3の領域A<sub>3</sub>のスパッタ条件）到達真空度； $6 \times 10^{-6}$  Pa成膜圧力； $4.4 \times 10^{-1}$  Pa

成膜温度；室温

酸素分圧/アルゴン分圧；0.005

In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZnOターゲットの投入電力比；15.5:67.1:17.4

## 【0164】

（第1の領域A<sub>1</sub>のスパッタ条件）到達真空度； $6 \times 10^{-6}$  Pa成膜圧力； $4.4 \times 10^{-1}$  Pa

10

20

30

40

50

成膜温度；室温

酸素分圧 / アルゴン分圧；0.05

$\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$ ターゲットの投入電力比；43.0：38.0：19.0

【0165】

(第2の領域のスパッタ条件)

到達真空度； $6 \times 10^{-6}$  Pa

成膜圧力； $4.4 \times 10^{-1}$  Pa

成膜温度；室温

酸素分圧 / アルゴン分圧；0.05

$\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$ ターゲットの投入電力比；14.7：67.8：17.5

【0166】

スパッタによる酸化半導体層12の積層後、酸化半導体層12のパターンニングを、フォトリソグラフィおよび希硫酸を用いたウェットエッチングにて行った。ソース電極13、ドレイン電極14は、膜厚10nmのTiをスパッタ成膜後、Auを100nmスパッタ成膜し、リフトオフ法によりパターンニングして形成した。ゲート絶縁膜15は100nmの $\text{Al}_2\text{O}_3$ をスパッタ成膜して作製した。ゲート電極16は、膜厚10nmのTiをスパッタ成膜後、Au100nmスパッタ成膜し、リフトオフ法によりパターンニングして形成した。

【0167】

以上により、チャネル長10 $\mu\text{m}$ 、チャネル幅10 $\mu\text{m}$ のトップゲート型薄膜トランジスタ1の実施例1を得た。すなわち実施例1は、その酸化半導体層において、第1の領域と第3の領域との電子親和力の差をGa/In+Gaおよび酸素濃度の変調により構成し、第1の領域と第2の領域との電子親和力の差はGa/In+Gaのみにより構成して、結果として井戸型ポテンシャルを構成してなるものである。

【0168】

<比較例1>

実施例1の酸化半導体層の成膜において、第1および第2の領域のスパッタ成膜条件を、酸素分圧 / アルゴン分圧0.005として成膜した以外は実施例1と同様の方法で薄膜トランジスタを作製したものを比較例1とした。比較例1は、第1～第3の領域の成膜において酸素分圧 / アルゴン分圧が共通であり、酸素濃度を一樣としたものである。

【0169】

<比較例2>

実施例1の酸化半導体層の成膜において、第3の領域のスパッタ成膜条件を酸素分圧 / アルゴン分圧を0.05として成膜した以外は実施例1と同様の方法で薄膜トランジスタを作製したものを比較例2とした。比較例2は、第1～第3の領域の成膜において酸素分圧 / アルゴン分圧が共通であり、酸素濃度を一樣としたものである。この酸素濃度は比較例1よりも高いものとした。

【0170】

<比較例3>

実施例1の酸化半導体層において、第1の領域のIGZO膜の組成比を、 $\text{Ga}/(\text{In} + \text{Ga}) = 0.75$ 、 $\text{Zn}/(\text{In} + \text{Ga}) = 0.5$ とした以外は、実施例1と同様の方法で薄膜トランジスタを作製し、比較例3とした。比較例3は、酸化半導体層において、第1の領域、第2の領域および第3の領域の $\text{Ga}/(\text{In} + \text{Ga})$ は同一であり、第1の領域と第2の領域の酸素濃度が共通であるため、第1の領域と第2の領域の電子親和力は同一であり、膜厚方向に向かって井戸構造が形成されていないものである。

【0171】

<比較例4>

実施例1の酸化半導体層の成膜において、第2および第3の領域をGa/(In+G

10

20

30

40

50

$a) = 0.25$ 、 $Zn / (In + Ga) = 0.5$ とした以外は実施例1と同様の方法で薄膜トランジスタを作製し、実施例4とした。比較例4は、酸化物半導体層において、比較例3とは $Ga / (In + Ga)$ が異なるが、第1、第2および第3の領域の $Ga / (In + Ga)$ は同一であり、第1の領域と第2の領域の酸素濃度が共通であるため、第1の領域と第2の領域の電子親和力は同一であり、膜厚方向に向かって井戸構造が形成されていないものである。

【0172】

上記実施例1および比較例1～4について、半導体パラメータ・アナライザ4156C（アジレントテクノロジー社製）を用い、トランジスタ特性（ $V_g - I_d$ 特性）および移動度 $\mu$ の測定を行った。

$V_g - I_d$ 特性の測定は、ドレイン電圧（ $V_d$ ）を5Vに固定し、ゲート電圧（ $V_g$ ）を-5V～+10Vの範囲内で変化させ、各ゲート電圧（ $V_g$ ）におけるドレイン電流（ $I_d$ ）を測定することで行った。

【0173】

表4に示す通り、実施例1においては移動度 $65 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 程度が得られた。一方、比較例1、4についてはゲート電圧 $V_g$ に依らず、常に高い電流値が得られ、トランジスタ駆動しなかった。また、比較例2、3についてはゲート電圧 $V_g$ に依らず、常に電流値が低く、これもまたトランジスタ駆動しなかった。

【符号の説明】

【0174】

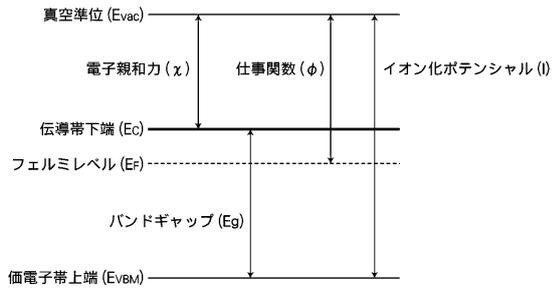
- 1、2、3、4 薄膜トランジスタ
- 11 基板
- 12 酸化物半導体層
- 13 ソース電極
- 14 ドレイン電極
- 15 ゲート絶縁膜
- 16 ゲート電極
- A<sub>1</sub> 酸化物半導体層の第1の領域
- A<sub>2</sub> 酸化物半導体層の第2の領域
- A<sub>3</sub> 酸化物半導体層の第3の領域

10

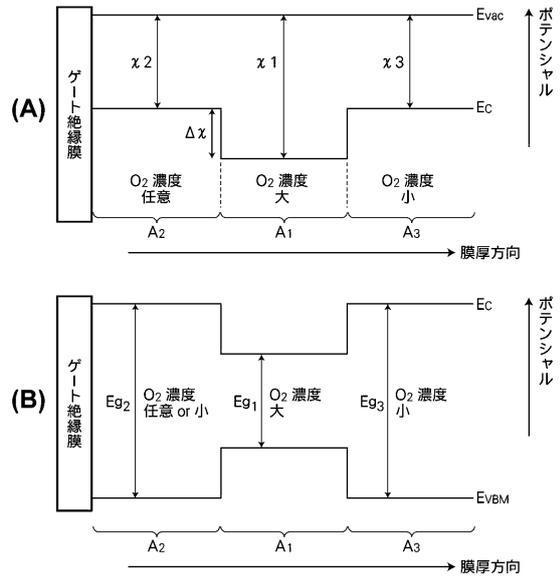
20

30

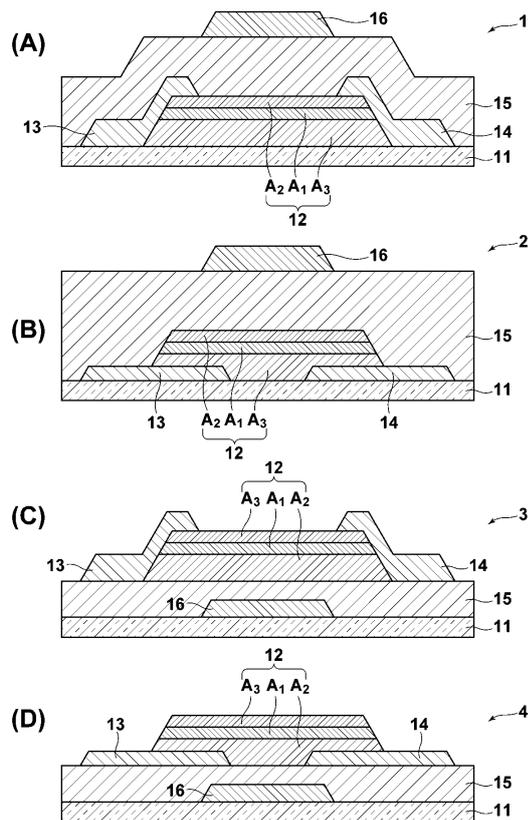
【図1】



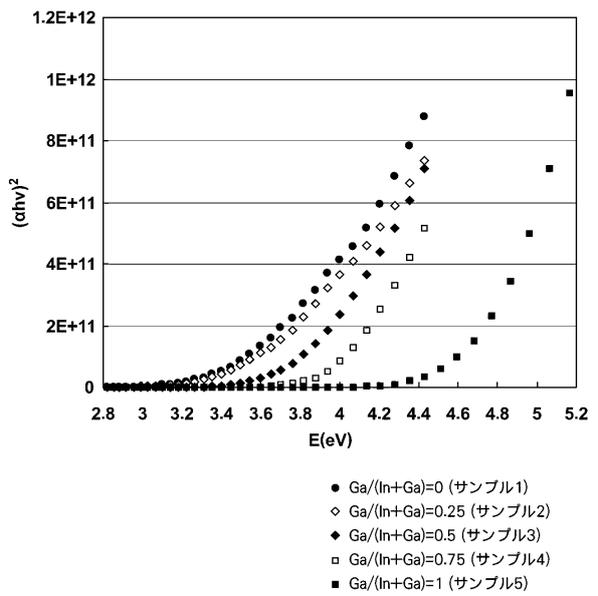
【図2】



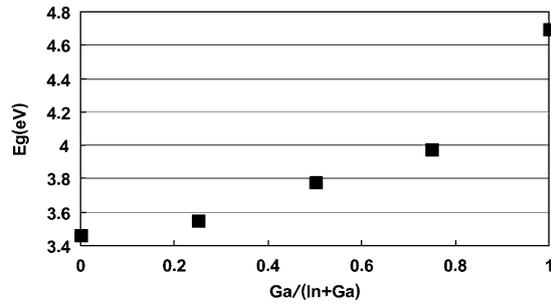
【図3】



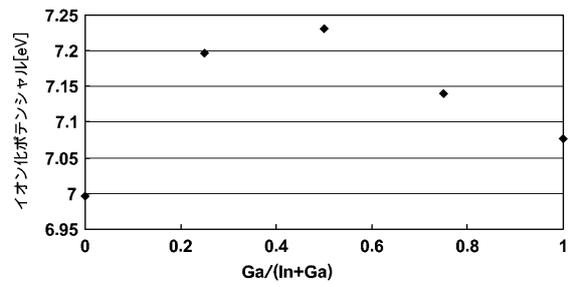
【図4】



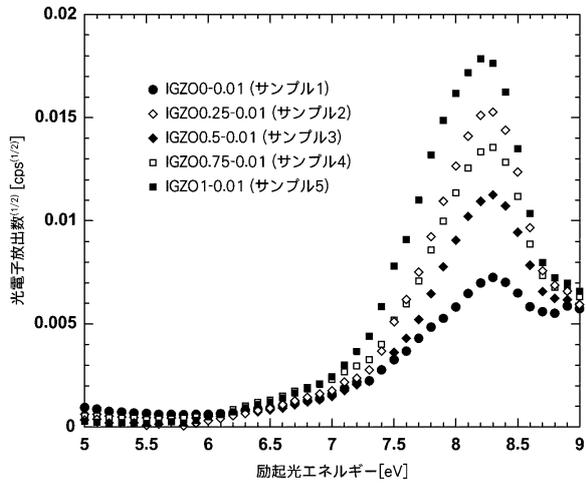
【 図 5 】



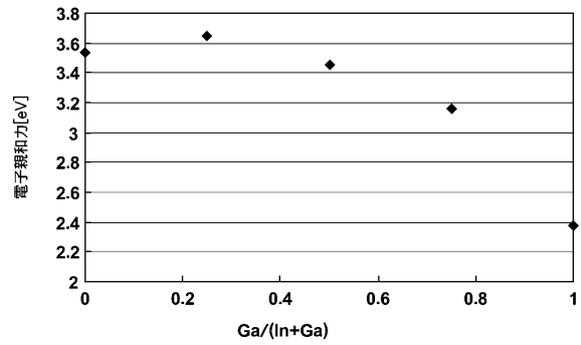
【 図 7 】



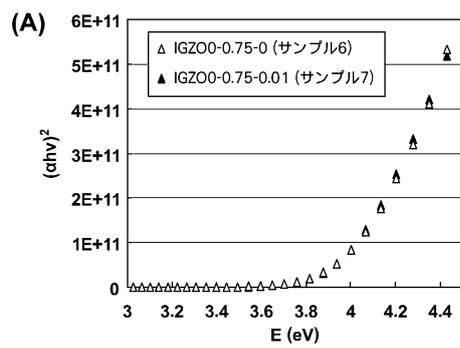
【 図 6 】



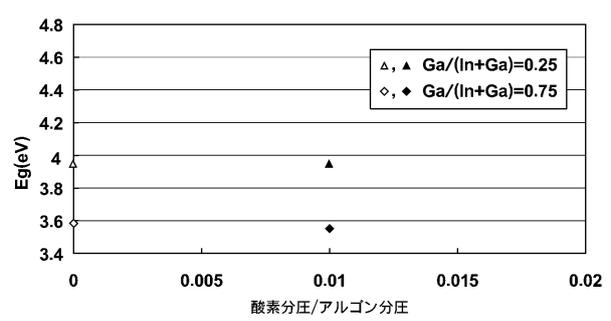
【 図 8 】



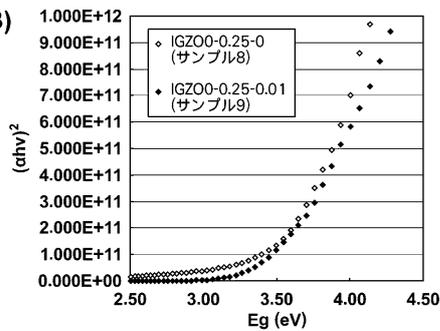
【 図 9 】



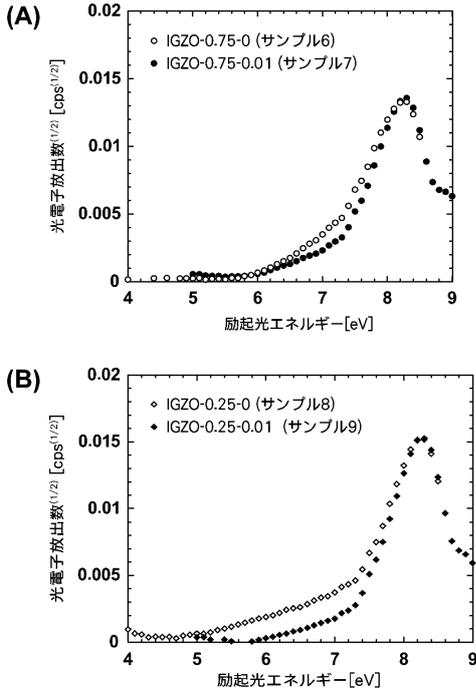
【 図 10 】



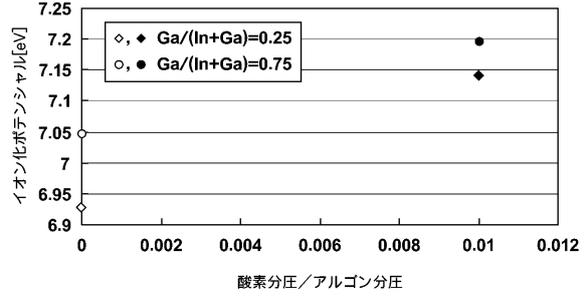
【 図 9 (B) 】



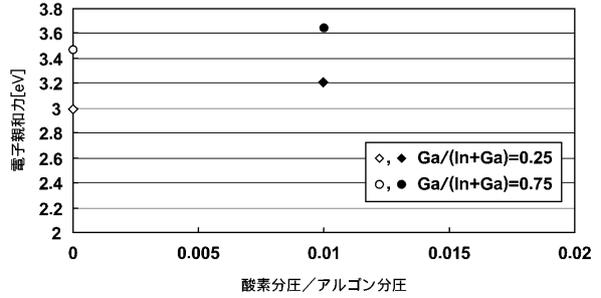
【 図 1 1 】



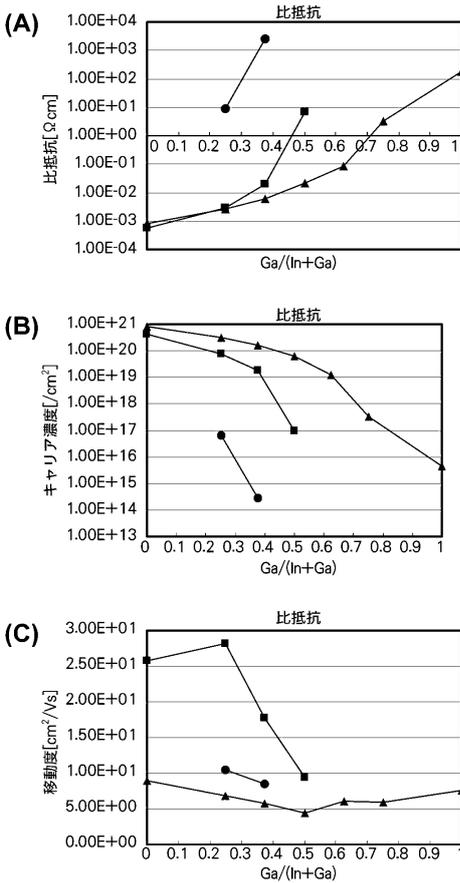
【 図 1 2 】



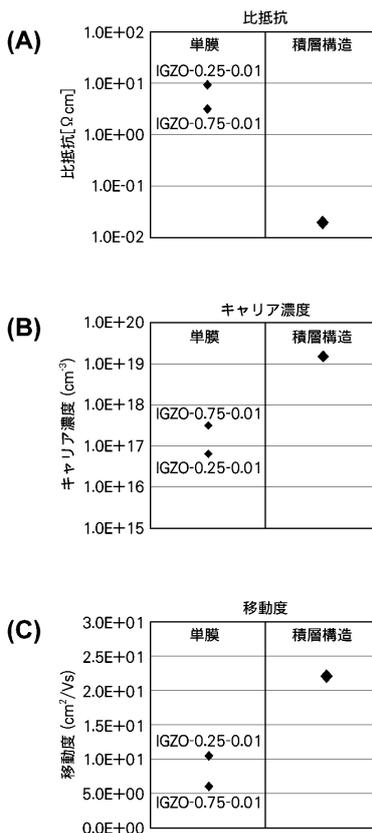
【 図 1 3 】



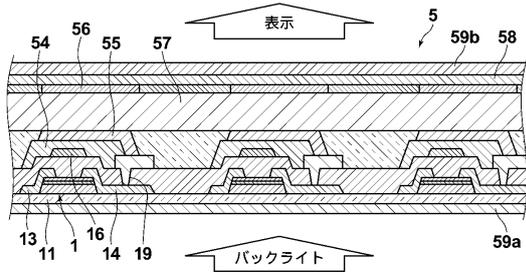
【 図 1 4 】



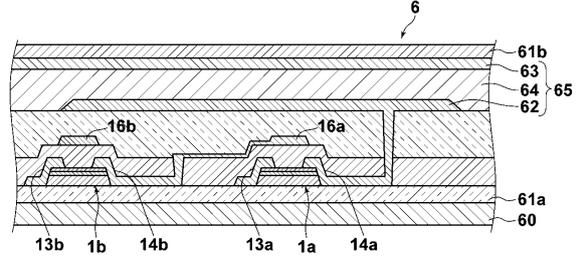
【 図 1 5 】



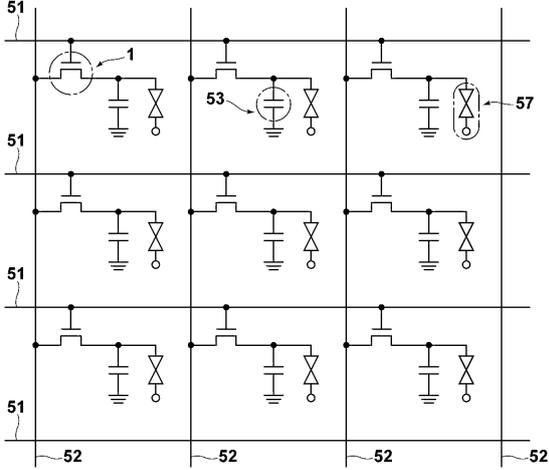
【図17】



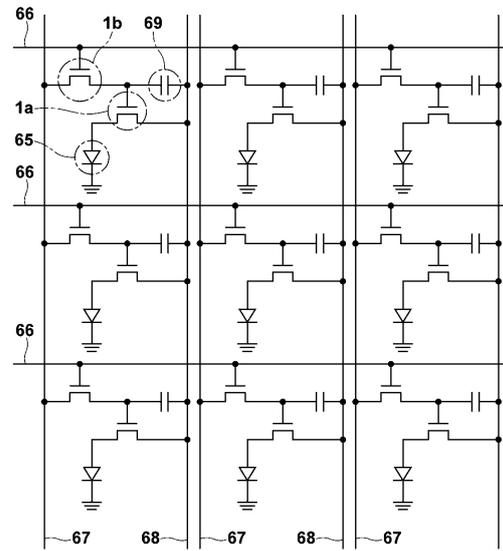
【図19】



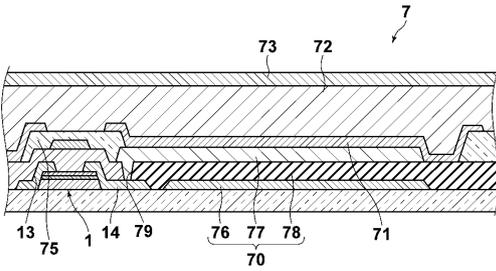
【図18】



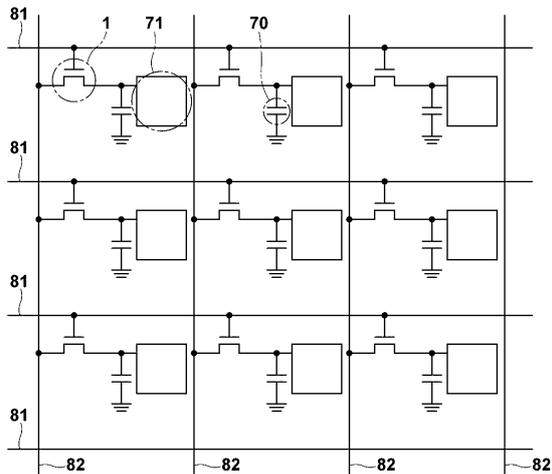
【図20】



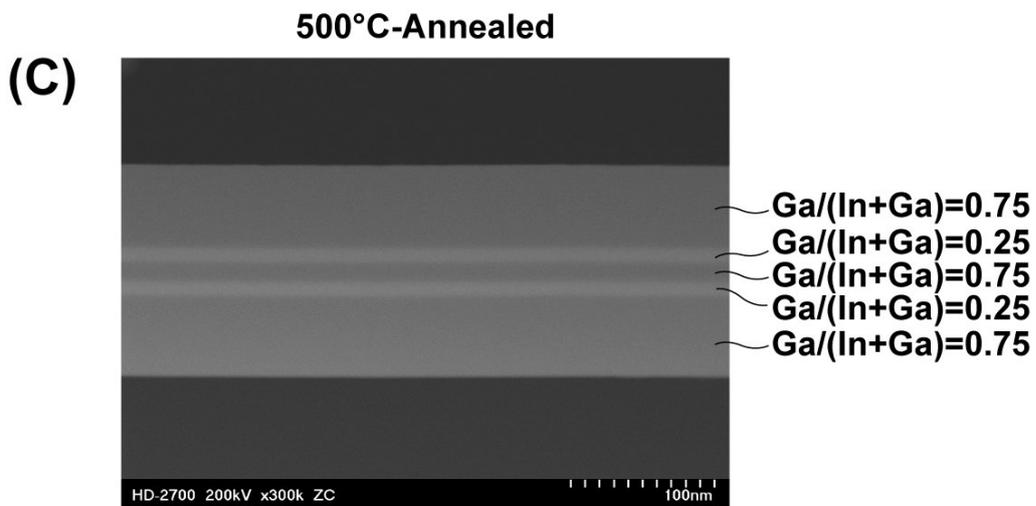
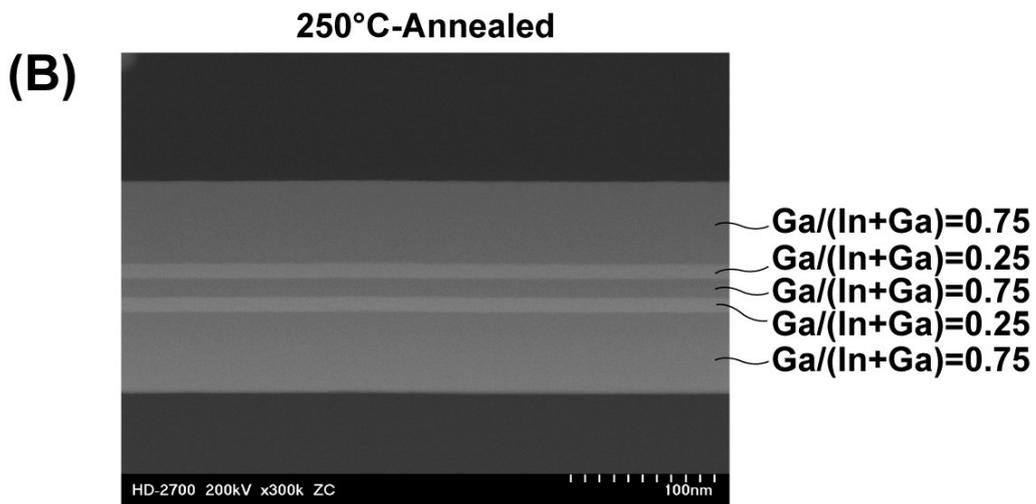
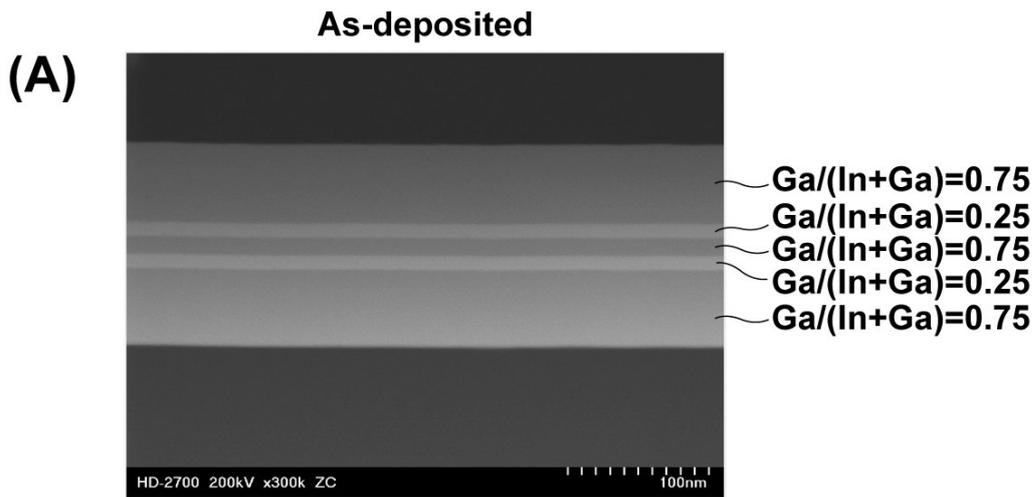
【図21】



【図22】



【 図 1 6 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 1 L 29/78 6 1 8 E

(72)発明者 鈴木 真之  
神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内

(72)発明者 田中 淳  
神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内

審査官 竹口 泰裕

(56)参考文献 特開2006-165529(JP,A)  
特開2009-224356(JP,A)  
特開2009-170905(JP,A)  
特開2009-130209(JP,A)  
特開2009-290113(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H 0 1 L 2 1 / 3 3 6、2 9 / 7 8 6