

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5606682号
(P5606682)

(45) 発行日 平成26年10月15日(2014.10.15)

(24) 登録日 平成26年9月5日(2014.9.5)

| | | | |
|---------------|-----------|--------------|---------|
| (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 7 A |
| HO 1 L 21/20 | (2006.01) | HO 1 L 29/78 | 6 2 7 G |
| | | HO 1 L 21/20 | |

請求項の数 7 (全 15 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|--------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2009-18128 (P2009-18128) | (73) 特許権者 | 306037311 |
| (22) 出願日 | 平成21年1月29日 (2009.1.29) | | 富士フイルム株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開2010-177431 (P2010-177431A) | | 東京都港区西麻布2丁目26番30号 |
| (43) 公開日 | 平成22年8月12日 (2010.8.12) | (74) 代理人 | 100079049 |
| 審査請求日 | 平成23年8月12日 (2011.8.12) | | 弁理士 中島 淳 |
| 前置審査 | | (74) 代理人 | 100084995 |
| | | | 弁理士 加藤 和詳 |
| | | (74) 代理人 | 100099025 |
| | | | 弁理士 福田 浩志 |
| | | (72) 発明者 | 奈良 裕樹 |
| | | | 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 | 梅田 賢一 |
| | | | 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、多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法、及び薄膜トランジスタの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

表面粗さRa値が1.5nm以下であり、InとGaとZnの元素を含有する多結晶酸化物半導体からなる活性層を備え、前記多結晶酸化物半導体は結晶化度が70%以上のIn-Ga-Zn-O系の透明酸化物であり、InとGaとZnの元素を組成比(In:Ga:Zn)1:1:1で含有することを特徴とする薄膜トランジスタ。

【請求項2】

InとGaとZnの元素を含有する非晶質酸化物半導体の薄膜を、その表面粗さRa値を1.5nm以下として維持しつつ多結晶化する温度領域660以上840以下で焼成する工程を含んで、結晶化度が70%以上のIn-Ga-Zn-O系の透明酸化物である多結晶酸化物半導体の薄膜とすることを特徴とする多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法

10

【請求項3】

前記多結晶化された薄膜はInとGaとZnの元素を組成比(In:Ga:Zn)1:1:1で含有することを特徴とする請求項2に記載の多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法

【請求項4】

前記焼成は酸素雰囲気中で行われることを特徴とする請求項2又は請求項3に記載の多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法。

【請求項5】

20

InとGaとZnの元素を含有する非晶質酸化物半導体からなる層を、その表面粗さRa値を1.5nm以下として維持しつつ多結晶化する温度領域660以上840以下で焼成して活性層とする工程を含んで、結晶化度が70%以上のIn-Ga-Zn-O系の透明酸化物である多結晶酸化物半導体からなる活性層と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6】

前記活性層はInとGaとZnの元素を組成比(In:Ga:Zn)1:1:1で含有することを特徴とする請求項5に記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【請求項7】

前記焼成は酸素を含む雰囲気中で行われることを特徴とする請求項5又は請求項6に記載の薄膜トランジスタの製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、薄膜トランジスタ、多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法、及び薄膜トランジスタの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、画像表示装置等に用いる透明な薄膜トランジスタ(以後の説明に於いて、TFTと表記する場合がある)の開発が活発に行われている。特に、In-Ga-Zn-O系(以後の説明に於いて、IGZOと表記する場合がある)は、その光学バンドギャップの広さから盛んに開発が行われ、非晶質のIGZOを活性層として用いたTFTに関して多数の文献がある(例えば、特許文献1参照)。

20

【0003】

ここで、TFTにおいて、非晶質のIGZOが用いられる一つの理由は、非晶質であるが故に表面が平坦な活性層を作製でき、活性層表面の凹凸を要因とするキャリアトラップによるTFT特性の低下及び品質のばらつきを回避できることにある。

【0004】

一方、TFT特性の一つであるキャリア移動度を高めるためには、一般的に、非晶質の半導体より結晶質の半導体の方が有効である。半導体の一種であるIGZOでも、組成比が異なるので一概には比較できないが、非晶質のInGaZnO₄からなる薄膜を活性層に用いたTFTでのキャリア移動度が6~9cm²V⁻¹S⁻¹(on/off比10³)であるのに対し、単結晶のInGaO₃(ZnO)₅からなる薄膜を活性層に用いたTFTでのキャリア移動度は80cm²V⁻¹S⁻¹(on/off比10⁶)程度であることから、非晶質よりも結晶質のIGZOの方がキャリア移動度は高いことが推認される。よって、TFTにおいて、キャリア移動度を高めるためには、結晶質のIGZOを用いる方が有効であると考えられる(例えば、非特許文献1及び2参照)。

30

【0005】

【特許文献1】特開2008-53356号公報

【特許文献2】特開2007-73701号公報

40

【特許文献3】特開2003-41362号公報

【非特許文献1】Nature、Vol.432(2004)488頁

【非特許文献2】Science、Vol.300(2003)1269頁

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、結晶質、特に多結晶のIGZOからなる薄膜を活性層として用いると、特許文献2に示すように、非晶質のIGZOからなる薄膜を活性層として用いた場合に比べ、活性層の表面性は荒れたものになりやすく、活性層表面の凹凸を要因とするキャリアトラップによるTFT特性の低下及び品質のばらつきが生ずるという問題がある。

50

【0007】

特許文献3には、800 で熱処理された多結晶の $\text{In}_2\text{O}_3(\text{ZnO})_{20}$ からなる薄膜が開示されているものの、その表面性については開示されていない。

【0008】

本発明は、InとGaとZnからなる群のうち少なくとも1つの元素を含有する酸化物半導体からなる薄膜が、高いTFT特性を有することが可能な薄膜トランジスタ、多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法、及び薄膜トランジスタの製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

<1>表面粗さRa値が1.5nm以下であり、InとGaとZnの元素を含有する多結晶酸化物半導体からなる活性層を備え、前記多結晶酸化物半導体は結晶化度が70%以上のIn-Ga-Zn-O系の透明酸化物であり、InとGaとZnの元素を組成比(In:Ga:Zn)1:1:1で含有することを特徴とする薄膜トランジスタ。

<2>InとGaとZnの元素を含有する非晶質酸化物半導体の薄膜を、その表面粗さRa値を1.5nm以下として維持しつつ多結晶化する温度領域660以上840以下で焼成する工程を含んで、結晶化度が70%以上のIn-Ga-Zn-O系の透明酸化物である多結晶酸化物半導体の薄膜とすることを特徴とする多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法。

<3>前記多結晶化された薄膜はInとGaとZnの元素を組成比(In:Ga:Zn)1:1:1で含有することを特徴とする<2>に記載の多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法。

<4>前記焼成は酸素雰囲気中で行われることを特徴とする<2>又は<3>に記載の多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法。

<5>InとGaとZnの元素を含有する非晶質酸化物半導体からなる層を、その表面粗さRa値を1.5nm以下として維持しつつ多結晶化する温度領域660以上840以下で焼成して活性層とする工程を含んで、結晶化度が70%以上のIn-Ga-Zn-O系の透明酸化物である多結晶酸化物半導体からなる活性層とすることを特徴とする薄膜トランジスタの製造方法。

<6>前記活性層はInとGaとZnの元素を組成比(In:Ga:Zn)1:1:1で含有することを特徴とする<5>に記載の薄膜トランジスタの製造方法。

<7>前記焼成は酸素を含む雰囲気中で行われることを特徴とする<5>又は<6>に記載の薄膜トランジスタの製造方法。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、InとGaとZnからなる群のうち少なくとも1つの元素を含有する酸化物半導体からなる薄膜が、高いTFT特性を有することが可能な薄膜トランジスタ、多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法、及び薄膜トランジスタの製造方法が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の実施の形態の一例を図面を参照して説明する。

【0012】

なお、実質的に同様の機能を有するものには、全図面通して同じ符号を付して説明し、場合によってはその説明を省略することがある。また、本実施形態において透明とは、可視光に対して透明或いは半透明であることを示し、実質的に可視光に対して20%以上の光透過率を有することを示す。

【0013】

さらに、本実施形態において多結晶とは、後述する薄膜の結晶化度が70%以上のものを指し、非晶質とは、薄膜の結晶化度が70%未満のものを指すものとする。

【0014】

10

20

30

40

50

図1は、本実施形態で作製した多結晶酸化物半導体薄膜の模式図である。

【0015】

本実施形態に係る多結晶酸化物半導体薄膜10は、基板12上に設けられる。

【0016】

(薄膜)

本発明の多結晶酸化物半導体薄膜10は、多結晶のIGZO系の酸化物半導体を含有しており、かつ、その平坦性が高いものである。このため、多結晶酸化物半導体薄膜10は、TFTの活性層として用いた場合、活性層表面の凹凸を要因とするキャリアトラップによるTFT特性の低下及び品質のばらつきを回避できる。

【0017】

なお、本実施形態に係る平坦性は、JIS規格において次式で定義されるRa値で表現し、この値が1.5nm以下であって、好ましくは1.0nm以下であり、さらに好ましくは0.8nm以下である。

【0018】

【数1】

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |F(x)| dx \cdots \text{式(1)}$$

ただし、Raは原子間力顕微鏡による測定値で、Lはラインプロファイルの走査距離、F(x)は測定点xの高さである。また、最大高さRyも、JIS規格で定義される値で、走査範囲における最高点と最低点の高低差である。

【0019】

多結晶酸化物半導体薄膜10は、多結晶のIGZOを主成分としていれば良く、その他に非晶質のIGZOや不純物等を含有していても良い。

【0020】

IGZOとしては、例えば、In、Ga及びZnのうちの少なくとも1つを含む酸化物(例えばIn-O系)が好ましく、In、Ga及びZnのうちの少なくとも2つを含む酸化物(例えばIn-Zn-O系、In-Ga系、Ga-Zn-O系)がより好ましく、In、Ga及びZnを含む酸化物が特に好ましい。特に、結晶状態における組成がInGaO₃(ZnO)_m(mは6未満の自然数)で表される多結晶酸化物が好ましく、中でも、InGaZnO₄がより好ましい。

【0021】

IGZOは、非晶質状態だけでなく、多結晶状態においても、薄膜10の厚みに応じた透明性を有し、IGZOを含有する多結晶酸化物半導体薄膜10は、可視光に対して約80%以上の光透過率を有する(図10参照)。

【0022】

多結晶酸化物半導体薄膜10の形状、構造、大きさ等については特に制限はなく、薄膜の用途、目的等に応じて選択すればよい。

【0023】

(基板)

基板12の材質は、後述する焼成温度領域に対して耐熱性を有するものであれば特に限定されることはなく、無機材料、金属材料、及び有機材料等が挙げられる。本実施形態では、特に、耐熱性のある、例えばYSZ(ジルコニア安定化イットリウム)、ガラス、石英、サファイア、MgO、SiC、ZnO、LiF、CaF₂等の無機材料が好適に挙げられる。

【0024】

基板12の形状、構造、大きさ等については特に制限はなく、薄膜の用途、目的等に応じて選択すればよい。

【0025】

このような多結晶酸化物半導体薄膜10は、以下のようなTFTの活性層として好適に

10

20

30

40

50

適用される。

【0026】

(TF Tの構成)

本実施形態に係るTF Tは、少なくとも、ゲート電極、ゲート絶縁層、活性層、ソース電極及びドレイン電極を有し、ゲート電極に電圧を印加して、活性層に流れる電流を制御し、ソース電極とドレイン電極間の電流をスイッチングする機能を有するアクティブ素子である。

【0027】

TF T構造としては、逆スタガ構造(ボトムゲート型とも呼ばれる)及びスタガ構造(トップゲート型とも呼ばれる)のいずれの態様であってもよい。

10

【0028】

図2は、本実施形態に係るTF Tであって、逆スタガ型構造のTF Tの一例を示す模式図である。TF T20は、基板12の上にゲート電極24と、ゲート絶縁層26と、活性層28とを順に積層して有し、活性層28の表面上にソース電極30及びドレイン電極32が互いに離間して設置された構成である。

【0029】

一方、図3は、本実施形態に係るTF Tであって、スタガ型構造のTF Tの一例を示す模式図である。TF T40は、基板12の表面上に活性層28を積層し、活性層28上にソース電極30及びドレイン電極32が互いに離間して設置され、更にこれらの上にゲート絶縁層26と、ゲート電極24とを順に積層した構成である。

20

【0030】

なお、本実施形態に係るTF Tは、上記以外にも、様々な構成をとることが可能であり、適宜、活性層28上に保護層や基板12上に絶縁層等を備える構成であってもよい。

【0031】

(ゲート電極)

ゲート電極24は、電圧の印加により、ソース電極30とドレイン電極32との間に流れる電流を制御する。ゲート電極24を形成する材料としては、例えば、Al、Mo、Cr、Ta、Ti、Au、Ag等の金属、Al-Nd、APC等の合金、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体、ポリアニリン、ポリチオフェン、ポリピロ-ルなどの有機導電性化合物、またはこれらの混合物を好適に挙げられる。

30

【0032】

ゲート電極24の厚みは、10nm以上1000nm以下とすることが好ましい。

【0033】

TF Tが逆スタガ型のTF T20の場合は、ゲート電極24は活性層28よりも下側に形成されることから、後述するように、ゲート電極24も活性層28と共に、高温領域で焼成されるため、この温度領域に対して耐熱性を有するものであることが好ましい。一方、スタガ型のTF T40の場合は、ゲート電極24は、活性層28よりも上側に形成されるため、高温領域で焼成されず、耐熱性を有するものでなくても良い。

【0034】

(ゲート絶縁層)

ゲート絶縁層26を形成する材料としては、比誘電率の高い無機化合物や有機化合物が挙げられる。

40

【0035】

前記無機化合物としては、酸化珪素、窒化珪素、酸化ゲルマニウム、窒化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、窒化アルミニウム、酸化イットリウム、酸化タンタル、酸化ハフニウム、酸化窒化珪素、酸化炭化珪素、窒化炭化珪素、酸化窒化炭化珪素、酸化窒化ゲルマニウム、酸化炭化ゲルマニウム、窒化炭化ゲルマニウム、酸化窒化炭化ゲルマニウム、酸化窒化アルミニウム、酸化炭化アルミニウム、窒化炭化アルミニウム、酸化窒化炭化アルミニウムやこれらの混合物が挙げられる。

50

【0036】

前記有機化合物としては、ポリイミド、ポリアミド、ポリエステル、ポリアクリレート、光ラジカル重合系、光カチオン重合系の光硬化性樹脂、あるいはアクリロニトリル成分を含有する共重合体、ポリビニルフェノール、ポリビニルアルコール、ノボラック樹脂、およびシアノエチルプルラン等が挙げられる。また、これらのポリマー微粒子に無機酸化物を被覆した粒子も挙げられる。

【0037】

ゲート絶縁層26の膜厚としては、30nm~3μmが好ましく、より好ましくは、50nm~1μmである。

【0038】

TFTが逆スタガ型のTFT20の場合は、ゲート絶縁層26は活性層28よりも下側に形成されることから、後述するように、ゲート絶縁層26も活性層28と共に、高温領域で焼成されるため、この温度領域に対して耐熱性を有するものであることが好ましい。一方、スタガ型のTFT40の場合は、ゲート絶縁層26は、活性層28よりも上側に形成されるため、高温領域で焼成されず、耐熱性を有するものでなくても良い。

【0039】

(活性層)

【0040】

活性層28は、上述した多結晶酸化物半導体薄膜10と同一の構成である。

【0041】

活性層28の厚みは、TFTの用途、目的等に応じて異なるが、好ましくは、10nm以上1μm以下、さらに好ましくは20nm以上500nm以下、特に好ましくは30nm以上200nm以下である。

【0042】

(ソース電極及びドレイン電極)

ソース電極30とドレイン電極32は活性層28上に互いに離間して形成されている。

【0043】

ソース電極30及びドレイン電極32は、導電性材料であれば特に限定されず、例えば白金、金、銀、ニッケル、クロム、銅、鉄、錫、アンチモン鉛、タンタル、インジウム、アルミニウム、亜鉛、マグネシウム、モリブデン、これらの金属の合金、酸化インジウム錫(ITO)、酸化亜鉛インジウム(IZO)等の導電性金属酸化物、ドーピング等で導電率を向上させた無機及び有機半導体(シリコン単結晶、ポリシリコン、アモルファスシリコン、ゲルマニウム、グラファイト、ポリアセチレン、ポリパラフェニレン、ポリチオフェン、ポリピロール、ポリアニリン、ポリチエニレンビニレン、ポリパラフェニレンビニレン等)、これらの材料の複合体等が挙げられる。特にソース領域及びドレイン領域に用いる電極の材料は、上記の材料の中でも活性層28との接触面において電気抵抗が少ないものが好ましい。

【0044】

ソース電極30及びドレイン電極32の厚みは、好ましくは、10nm以上1μm以下、さらに好ましくは30nm以上500nm以下、特に好ましくは50nm以上200nm以下である。

【0045】

TFT20、40の場合も、ソース電極30及びドレイン電極32は、活性層28よりも上側に形成されるため、高温領域で焼成されず、耐熱性を有するものでなくても良い。

【0046】

(多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法)

以下、上述した多結晶酸化物半導体薄膜10の製造方法について詳細に説明する。

【0047】

図4(a)~(c)は、本実施形態に係る多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法の主要部分工程図であり、図1に示す多結晶酸化物半導体薄膜10の縦断面図である。

10

20

30

40

50

【0048】

1. 第1工程

まず、図4(a)及び(b)に示すように、基板12上に、公知の方法、例えば、スパッタリング法、パルスレーザー蒸着法(PLD法)等の気相成膜法を用いて、InとGaとZnからなる群のうち少なくとも1つの元素を含有する非晶質酸化物半導体からなる薄膜10Aを成膜する。ここで、スパッタリング法またはPLD法のターゲットとしては、IGZO系の組成を有する多結晶焼結体を単独で用いても良いが、IGZO系多結晶焼結体とZnOターゲットを同時に用いても良く、IGZO系多結晶焼結体とGa₂O₃ターゲットを同時に用いても良く、あるいはIn₂O₃ターゲット、Ga₂O₃ターゲット、ZnOターゲットを同時に用いても良い。

10

【0049】

2. 第2工程

次に、図4(b)に示すように、非晶質酸化物半導体からなる薄膜10Aを、電気炉へ投入し、その表面粗さRa値を1.5nm以下として維持しつつ多結晶化する温度領域で焼成する。この温度領域は、660以上840以下であって、好ましくは、667以上800以下、特に好ましくは、700以上800以下である。

【0050】

上記焼成のその他の条件としては、例えば、IGZOが酸素欠損を生じやすいことから酸素雰囲気中で焼成することが好ましい。

【0051】

以上の工程を適用することにより、図4(c)及び図1に示すような、多結晶酸化物半導体薄膜10を得ることができる。

20

【0052】

(逆スタガ型薄膜トランジスタの製造方法)

以下、上述した逆スタガ型のTFET20の製造方法について詳細に説明する。

【0053】

本実施形態では、活性層28以外は、公知の方法で形成するため、適宜説明を省略する。

【0054】

図5(a)~(c)は、本実施形態に係る薄膜トランジスタの製造方法の主要部分工程図であり、図2に示す逆スタガ型TFET20の縦断面図である。

30

【0055】

まず、図5(a)に示すように、以下のような公知の方法でゲート電極24及びゲート絶縁層26を順次形成する。ゲート電極24の形成方法としては、例えば、基板12上に、上述した中から選択した上記温度領域で耐熱性を有する材料でスパッタリングにより成膜した後、フォトリソグラフィによってパターニングされたゲート電極24を形成する方法がある。また、ゲート絶縁層26の形成方法としては、例えば、上述した中から選択した上記温度領域で耐熱性を有する材料を用いて、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気相成長法(PVD)、種々の化学的気相成長法(CVD)、めっきやゾルゲル法等の液相成長法がある。

40

【0056】

次に、図5(b)に示すように、上記多結晶酸化物半導体薄膜10の製造方法の第1工程と同一の方法で、ゲート絶縁層26上に、InとGaとZnからなる群のうち少なくとも1つの元素を含有する非晶質酸化物半導体からなる層28Aを形成する。

【0057】

そして、非晶質酸化物半導体からなる層28Aを、上記多結晶酸化物半導体薄膜10の製造方法の第2工程と同一の方法で焼成する。

【0058】

この結果、図5(c)に示すような、本実施形態に係る活性層28を得ることができる。

50

【0059】

最後に、ソース電極30及びドレイン電極32を、ゲート電極24と同様の方法で、活性層28上に互いに離間して形成して、図2に示すようなTF T 20を得る。

【0060】

(スタガ型薄膜トランジスタの製造方法)

以下、上述した逆スタガ型のTF T 40の製造方法について詳細に説明する。

【0061】

本実施形態では、活性層28以外は、公知の方法で形成するため、適宜説明を省略する。

【0062】

図6(a)~(c)は、本発明に係る薄膜トランジスタの製造方法の主要部分工程図であり、図3に示すスタガ型TF T 40の縦断面図である。

10

【0063】

まず、図6(a)及び(b)に示すように、上記多結晶酸化物半導体薄膜10の製造方法の第1工程と同一の方法で、基板12上に、InとGaとZnからなる群のうち少なくとも1つの元素を含有する非晶質酸化物半導体からなる層28Aを形成する。

【0064】

そして、非晶質酸化物半導体からなる層28Aを、上記多結晶酸化物半導体薄膜10の製造方法の第2工程と同一の方法で焼成する。

【0065】

この結果、図6(c)に示すような、本実施形態に係る活性層28を得ることができる。

20

【0066】

最後に、ソース電極30、ドレイン電極32、ゲート絶縁層26及びゲート電極24を、上記のような公知の方法で順次形成して、図3に示すようなTF T 40を得る。

【0067】

以上、本実施形態について説明したが、本発明はこの実施形態に限定されるものではない。

例えば、上記製造工程には、形成すべき活性層28に応じて、フォトリソグラフィによって焼成前の層28A又は焼成後の活性層28をパターニングする工程、形成すべき活性層28に対応した孔を有するマスクを介して所定の位置及び形状に焼成前の層28Aを形成する工程を含んでも良い。

30

【0068】

また、TF T 20又はTF T 40における上記第2工程の焼成は、活性層28上にソース電極及びドレイン電極、又は、ゲート絶縁層26及びゲート電極24を形成する前に行う場合を説明したが、InとGaとZnからなる群のうち少なくとも1つの元素を含有する非晶質酸化物半導体が多結晶化できれば全てを形成した後に行うようにしても良い。ただし、この場合、ゲート電極24、ゲート絶縁層26、ソース電極30及びドレイン電極32全て、上記温度領域で耐熱性を有するように形成する方が良い。

【0069】

さらに、非晶質である薄膜10A及び層28Aを多結晶化する方法としては、電気炉で焼成する以外にも、例えばSPC法(Solid Phase Crystallization)やRTA法(Rapid Thermal Annealing)などといった手法があるが、XeClを用いたエキシマレーザービームを照射することによるレーザアニール(ELA:Excimer Laser Annealing)を行えば、基板温度の上昇が抑えられ、耐熱性が低い基板12を用いることも可能となる。

40

【0070】

さらにまた、活性層28を構成するIGZOは、一般的に酸素不定比性がある。このため、本実施形態におけるIGZO、例えば $InGaO_3(ZnO)_m$ や $InGaZnO_4$ には、酸素量が増減したものを含んでも良い。

【実施例】

50

【0071】

以下、本発明に係る実施例について説明する。

【0072】

本発明に係る多結晶酸化物半導体薄膜10の実施例を、図1及び図4を用いて説明する。なお、TFT20、TFT40の活性層28の実施例についても以下同一となるので説明を省略する。

【0073】

(多結晶酸化物半導体薄膜の製造)

本実施例では、上述したスパッタリング成膜(第1工程)及び酸素雰囲気中での焼成(第2工程)を経ることにより、IGZOからなる多結晶酸化物半導体薄膜10を形成した。

10

【0074】

第1工程では、スパッタリング法により、10mm角のガラス基板12上に、IGZO(In:Ga:Zn=1:1:1)のターゲットと、ZnOのターゲットを、アルゴンと酸素との混合ガス(アルゴン約99%、酸素約1%)の雰囲気中、室温で共スパッタし、約150nmの膜厚を有したIGZO、すなわち、InとGaとZnからなる群のうち少なくとも1つの元素を含有する非晶質酸化物半導体からなる薄膜10Aを成膜した。この薄膜10Aの組成比は、公知の蛍光X線分析法により確認したところIn:Ga:Zn=1.11:0.91:1.00であった。

【0075】

なお、ZnOのターゲットを別に用いたのは、IGZOのターゲットによるZnOのスパッタ効率の低下を補填するためである。IGZO(In:Ga:Zn=1:1:1)のターゲットを単独で用いると、薄膜10Aの組成比は約1:0.9:0.7になり、GaとZnが若干減少する。したがって、望ましくはIGZOとGa₂O₃、ZnOターゲットを共スパッタするか、In₂O₃、Ga₂O₃、ZnOターゲットを共スパッタしてIGZO(In:Ga:Zn=1:1:1)の薄膜10Aを得るのが良いが、本実施例ではIGZOとZnOターゲットを併用し、それによって得た薄膜10Aを見かけ上InGaZnO₄(In:Ga:Zn=1:1:1)の薄膜として扱った。

20

【0076】

一度のスパッタで8枚の基板12にスパッタ可能であったため、上記第1工程を2回繰り返して、10個の薄膜試料を得た。

30

【0077】

第2工程では、上記薄膜試料から1個を除き、その他を電気炉に入れ、600~1000の間(600、633、667、700、733、767、800、833、900)で、1時間焼成した。この電気炉内には、焼成中、流量を200sccm(SI単位系で、0.338Pa・m³/s)に調節した100%酸素ガスを流した。

【0078】

以下、説明の便宜のため、各試料名を記載する。

試料1:焼成前の薄膜、試料2:600で焼成した薄膜、試料3:633で焼成した薄膜、試料4:667で焼成した薄膜、試料5:700で焼成した薄膜、試料6:733で焼成した薄膜、試料7:767で焼成した薄膜、試料8:800で焼成した薄膜、試料9:833で焼成した薄膜、試料10:900で焼成した薄膜

40

【0079】

(X線回折測定)

各薄膜試料1~10について、測定装置Rint-UltimaIII(リガク社)を用い、周知のX線回折法により回折強度の測定を行った。

【0080】

この測定条件は以下の通りである。

測定角度範囲: 15deg~80deg

50

ステップ幅： 0.01 deg
 走査速度： 4 deg/min

【0081】

図7は、本実施例に係る薄膜試料1～10のX線回折パターンを示す図である。この回折パターンは、X線回折測定を行って得た測定データに対してスムージング処理をした後のものである。

【0082】

667～900で焼成した各薄膜試料4～10の回折パターンは、空間群R-3m(166)、a軸格子定数=約3.295、b軸格子定数=約3.295、c軸格子定数=約26.070、軸間角、=90度、軸間角=120度のInGaZnO₄の回折パターンと略一致し、(101)、(104)、(10-5)、(110)結晶面等の指数付けが行え、667～900で焼成した各薄膜試料4～10がIGZOの酸化物半導体であることが確認できた。

10

【0083】

(結晶化度の算出)

次に、上記回折パターンに対し、解析ソフトJADE(リガク社)を用いて25度～40度の範囲で多重ピーク分離を行い、各試料1～10の結晶化度を算出した。この結晶化度は、次式で示される。

【0084】

【数2】

20

$$\text{結晶化度 (\%)} = \frac{\text{多結晶ピークの積分強度}}{\text{(非晶質ピークの積分強度 + 多結晶ピークの積分強度)} \times 100} \quad \dots \text{式 (2)}$$

なお、上記多結晶ピークと非晶質ピークの区分けに関しては、上記多重ピーク分離により得られた半値幅により区分けでき、本実施例ではIGZOの(009)、(101)、(104)、(10-5)結晶面の角度に位置するピークの半値幅が2.0以下のものを多結晶ピークとし、2.0以上のものを非晶質ピークとした。

【0085】

表1は、本実施例に係る実験結果をまとめたものである。

30

【0086】

表1に示すように、667～900で焼成した薄膜試料4～10は、結晶化度が70%以上であるため、多結晶であると判断した。

【0087】

一方、焼成前の試料及び600～633で焼成した薄膜試料1～3は、結晶化度が70%未満であるため、非晶質であると判断した。

【0088】

(表面粗さ測定)

各薄膜試料における表面粗さは、原子間力顕微鏡(AFM、Pacific Nanotechnology社製 Nano-R)による各試料の3μm角のAFM像を用いて測定した。

40

【0089】

ここで、「表面粗さ」とは、具体的には各試料のAFM像における、走査距離3μmのラインプロファイル3本から得た表面粗さRaの平均値とした。同時に、同様の方法で最大高さRyの測定も行った。以下では、Raの平均値を「Ra平均」とし、Ryの平均値を「Ry平均」と記載する。

【0090】

なお、最大高さRyもJIS規格で定義される値で、走査範囲における最高点と最低点の高低差である。

【0091】

図8は、表面粗さRaの測定結果を示す図である。また、図9は、最大高さRyの測定

50

結果を示す図である。

【 0 0 9 2 】

図 8、図 9 及び表 1 から、焼成前の薄膜試料及び 6 0 0 ~ 8 0 0 で焼成した薄膜試料までは、R a 平均 (R a 値も) が 1 . 5 n m 以下、かつ、R y 平均が 8 . 0 n m 以下であり、ともに比較的小さな値であることが確認できた。一方で、8 3 3 以上で焼成した試料は、R a 平均と R y 平均が、共に急激に増大していることが確認できた。

【 0 0 9 3 】

以上の結果に基づき表 1 を参照して、I G Z O 系の非晶質酸化物半導体薄膜 1 0 A を 6 6 7 ~ 8 3 3 で焼成することで、当該薄膜 1 0 A と同程度の表面粗さを持つ多結晶酸化物半導体薄膜 1 0、すなわち、当該薄膜 1 0 A を、その表面粗さ R a 値を 1 . 5 n m 以下として維持しつつ多結晶化する温度領域で焼成することで、多結晶酸化物半導体薄膜 1 0 を作製できたことが分かる。

10

【 0 0 9 4 】

この温度領域で焼成した多結晶酸化物半導体薄膜 1 0 を T F T 2 0 又は T F T 4 0 の活性層 2 8 に用いれば、I G Z O 系のアモルファス T F T よりもキャリア移動度が高く、かつチャンネル層の凹凸による歩留まりの悪化を低減できる。

【 0 0 9 5 】

(透明度)

各薄膜試料の光透過率を、日立製作所 (株) 製の分光光度計 U - 3 3 1 0 を用いて測定した。

20

【 0 0 9 6 】

この測定条件は、以下の通りである。

モード： 波長スキャン
 データモード： %T
 スキャン範囲： 2 4 0 ~ 9 0 0 n m
 スキャン速度： 6 0 0 n m / m i n
 サンプリング間隔： 1 . 0 0 n m
 スリット： 2 n m
 ホトマル電圧： 自動制御
 光源切換モード： 自動切換
 光源切換波長： 3 4 0 . 0 0 n m

30

【 0 0 9 7 】

図 1 0 は、本実施例に係る薄膜試料の光透過率の測定結果を示す図である。

【 0 0 9 8 】

図 1 0 及び表 1 に示すように、各薄膜試料は、非晶質か否かに関わらず、可視光に対して約 8 0 % 以上の光透過率を有することが確認できた。また、焼成温度を上昇させることにより、低波長側で光透過率を向上させることができることを見出した。

【 0 0 9 9 】

なお、図 1 0 及び表 1 では、焼成前の薄膜試料並びに、6 0 0、7 0 0 及び 8 0 0 で焼成した薄膜試料 2、5、8 のみの光透過率の測定結果を示したが、その他の薄膜試料についても可視光に対して透明であることを確認した。

40

【 0 1 0 0 】

このような透明な多結晶酸化物半導体薄膜 1 0 は、非晶質酸化物半導体薄膜 1 0 A と同様に、透明性が求められる T F T 2 0 又は T F T 4 0 の活性層 2 8 に用いることができ、他の材料からなる活性層 2 8 よりも有用なものとなる。

【 0 1 0 1 】

【表 1】

| 試料名 | 焼成温度 (℃) | 結晶化度 (%) | 結晶状態 | Ra 平均 (nm) | Ry 平均 (nm) | 波長400nm時 の光透過率 (%) |
|-------|-------------|-------------|------|---------------|---------------|-----------------------|
| 試料 1 | 焼成前 | 0 | 非晶質 | 0.88 | 6.09 | 89 |
| 試料 2 | 600 | 5 | 非晶質 | 0.65 | 5.76 | 90 |
| 試料 3 | 633 | 40 | 非晶質 | 0.88 | 6.67 | - |
| 試料 4 | 667 | 78 | 多結晶 | 0.79 | 5.66 | - |
| 試料 5 | 700 | 100 | 多結晶 | 0.77 | 5.19 | 90 |
| 試料 6 | 733 | 100 | 多結晶 | 0.64 | 4.39 | - |
| 試料 7 | 767 | 100 | 多結晶 | 0.61 | 4.28 | - |
| 試料 8 | 800 | 100 | 多結晶 | 0.67 | 4.80 | 90 |
| 試料 9 | 833 | 100 | 多結晶 | 1.10 | 7.46 | - |
| 試料 10 | 900 | 100 | 多結晶 | 2.25 | 13.40 | 89 |

10

【図面の簡単な説明】

【0102】

20

【図 1】本実施形態で作製した多結晶酸化物半導体薄膜の模式図である。

【図 2】本実施形態に係る T F T であって、逆スタガ型構造の T F T の一例を示す模式図である。

【図 3】本実施形態に係る T F T であって、スタガ型構造の T F T の一例を示す模式図である。

【図 4】(a) ~ (c) は、本実施形態に係る多結晶酸化物半導体薄膜の製造方法の主要部分工程図であり、図 1 に示す多結晶酸化物半導体薄膜の縦断面図である。

【図 5】(a) ~ (c) は、本実施形態に係る薄膜トランジスタの製造方法の主要部分工程図であり、図 2 に示す逆スタガ型 T F T の縦断面図である。

【図 6】(a) ~ (c) は、本発明に係る薄膜トランジスタの製造方法の主要部分工程図であり、図 3 に示すスタガ型 T F T の縦断面図である。

30

【図 7】本実施例に係る薄膜試料の X 線回折パターンを示す図である。

【図 8】表面粗さ R a の測定結果を示す図である。

【図 9】最大高さ R y の測定結果を示す図である。

【図 10】本実施例に係る薄膜試料の光透過率の測定結果を示す図である。

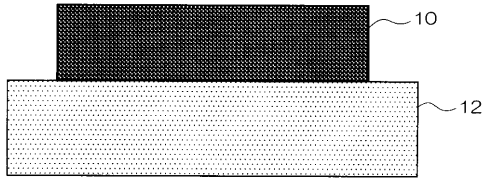
【符号の説明】

【0103】

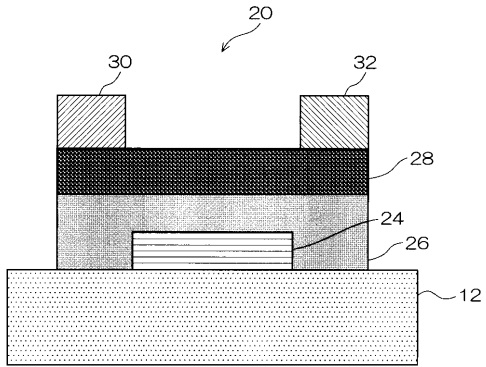
- 10 多結晶酸化物半導体薄膜
- 10A 非晶質酸化物半導体薄膜
- 12 基板
- 20、40 T F T
- 24 ゲート電極
- 26 ゲート絶縁層
- 28 活性層
- 28A 層
- 30 ソース電極
- 32 ドレイン電極

40

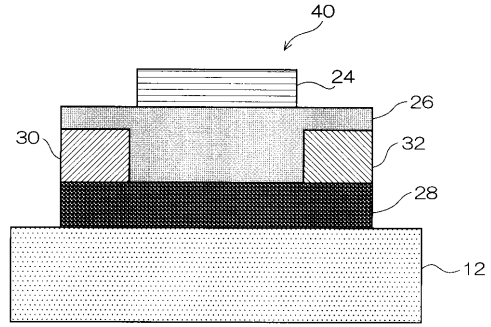
【図1】



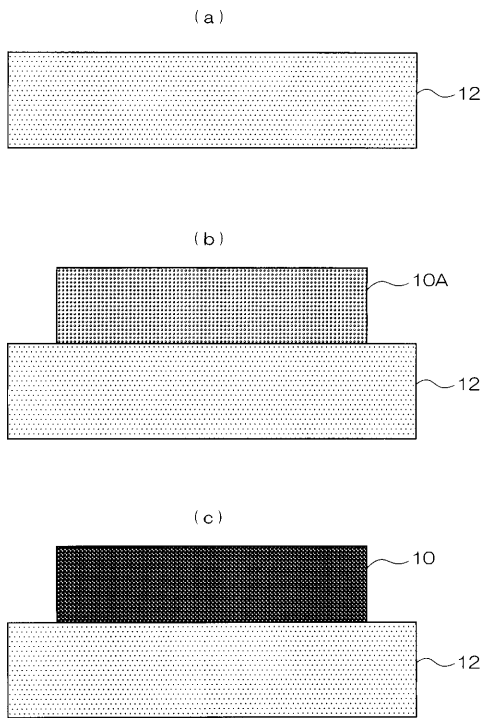
【図2】



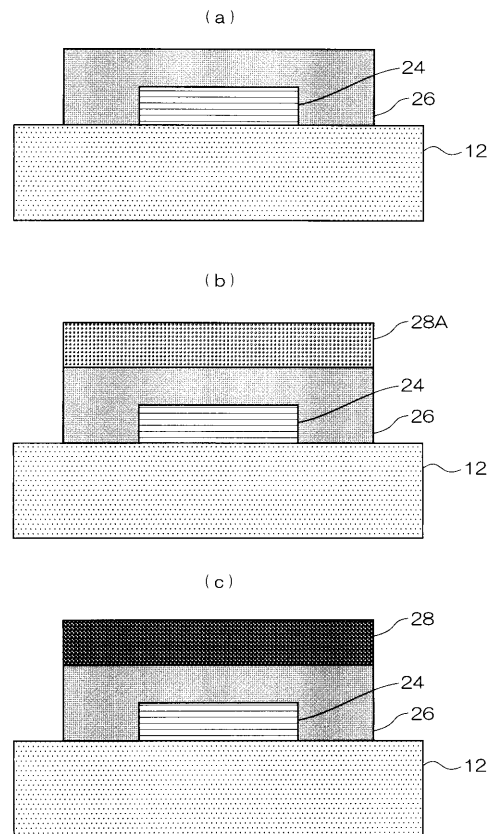
【図3】



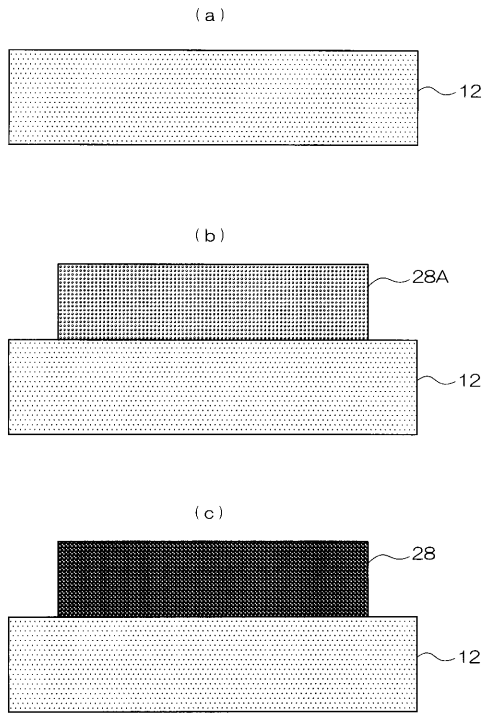
【図4】



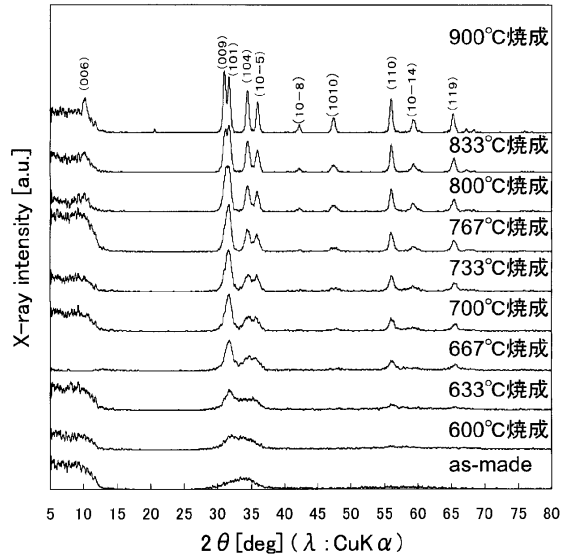
【図5】



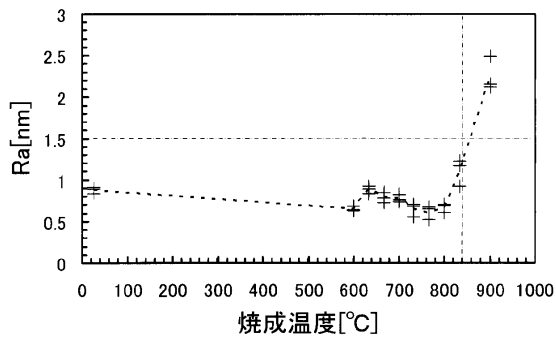
【 図 6 】



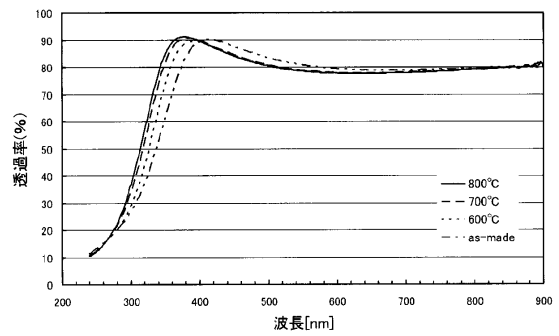
【 図 7 】



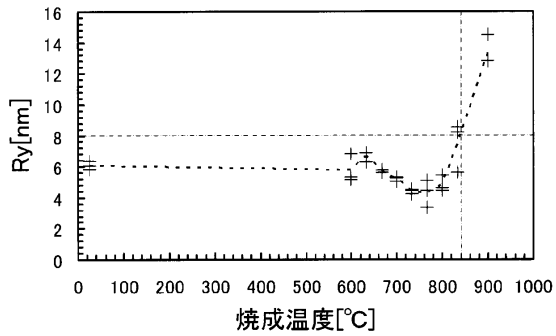
【 図 8 】



【 図 10 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 望月 文彦

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 鈴木 聡一郎

(56)参考文献 国際公開第2008/126492(WO, A1)

特開2008-130814(JP, A)

国際公開第2008/114588(WO, A1)

特開2007-201366(JP, A)

特開2008-311342(JP, A)

特表2006-502597(JP, A)

国際公開第2008/096768(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/20

H01L 21/336

H01L 29/786