

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-187312

(P2015-187312A)

(43) 公開日 平成27年10月29日(2015.10.29)

| | | | | |
|--------------------------------|---------|-------|-------------|-----------|
| (51) Int.Cl. | F I | | テーマコード (参考) | |
| C 2 3 C 14/34 (2006.01) | C 2 3 C | 14/34 | A | 4 G 0 3 0 |
| C 0 4 B 35/00 (2006.01) | C 0 4 B | 35/00 | J | 4 K 0 2 9 |

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

| | | | |
|--------------|------------------------------|----------|--------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2015-151789 (P2015-151789) | (71) 出願人 | 000153878 |
| (22) 出願日 | 平成27年7月31日 (2015.7.31) | | 株式会社半導体エネルギー研究所 |
| (62) 分割の表示 | 特願2011-187729 (P2011-187729) | | 神奈川県厚木市長谷398番地 |
| | の分割 | (72) 発明者 | 山崎 舜平 |
| 原出願日 | 平成23年8月30日 (2011.8.30) | | 神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2010-197509 (P2010-197509) | | 半導体エネルギー研究所内 |
| (32) 優先日 | 平成22年9月3日 (2010.9.3) | Fターム(参考) | 4G030 AA01 AA02 AA03 AA04 AA32 |
| (33) 優先権主張国 | 日本国(JP) | | AA34 AA36 AA39 BA06 |
| | | | 4K029 DC05 DC09 |

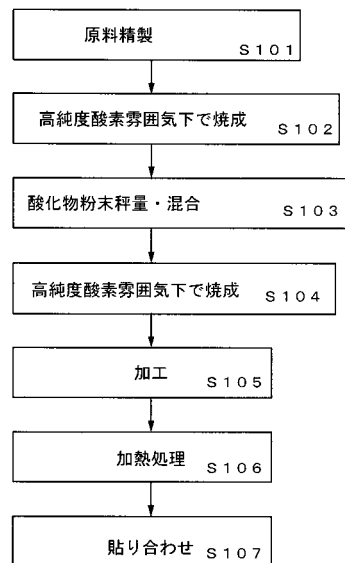
(54) 【発明の名称】 スパッタリングターゲット

(57) 【要約】

【課題】 酸化物半導体膜を成膜する成膜技術を提供することを課題の一とする。また、その酸化物半導体膜を用いた信頼性の高い半導体素子を作製する方法を提供することを課題の一とする。

【解決手段】 成膜に用いるスパッタリングターゲットの中の不純物であるアルカリ金属、アルカリ土類金属、及び水素を排除することにより得られる新規なスパッタリングターゲットを用いれば、これらの不純物の含有量の少ない酸化物半導体膜を成膜することができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

酸化物半導体膜を形成するためのスパッタリングターゲットであって、
酸化亜鉛、酸化アルミニウム、酸化ガリウム、酸化インジウム、酸化スズから選ばれた
少なくとも一の酸化物の焼結体を有し、

SIMSにおける前記焼結体の含有アルカリ金属濃度は、 $5 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とするスパッタリングターゲット。

【請求項 2】

酸化物半導体膜を形成するためのスパッタリングターゲットであって、
酸化亜鉛、酸化アルミニウム、酸化ガリウム、酸化インジウム、酸化スズから選ばれた
少なくとも一の酸化物の焼結体を有し、

SIMSにおける前記焼結体の含有アルカリ金属濃度は、 $5 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

SIMSにおける前記焼結体の含有水素濃度は、 $1 \times 10^{-19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とするスパッタリングターゲット。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 において、

前記焼結体の含有ナトリウム濃度は、 $1 \times 10^{-16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする
スパッタリングターゲット。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一において、

前記焼結体の含有リチウム濃度は、 $5 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする
スパッタリングターゲット。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか一において、

前記焼結体の含有カリウム濃度は、 $5 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする
スパッタリングターゲット。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明はスパッタリングターゲット及びその製造方法に関する。また、当該スパッタリン
グターゲットを用いて製造された、酸化物半導体を用いる半導体装置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】**

液晶表示装置に代表されるように、ガラス基板などの平板に形成されるトランジスタは、
主にアモルファスシリコン、または多結晶シリコンなどの半導体材料を用いて作製される
。アモルファスシリコンを用いたトランジスタは、電界効果移動度が低いもののガラス基
板の大面積化に対応することができ、一方、多結晶シリコンを用いたトランジスタは、電
界効果移動度が高いもののレーザアニールなどの結晶化工程が必要であり、ガラス基板の
大面積化には必ずしも適応しないといった特性を有している。

【0004】

これに対し、半導体材料として酸化物半導体を用いてトランジスタを作製し、該トランジ
スタを電子デバイスや光デバイスに応用する技術が注目されている。例えば、半導体材料
として酸化亜鉛、In-Ga-Zn系酸化物半導体を用いてトランジスタを作製し、画像
表示装置のスイッチング素子などに用いる技術が特許文献 1 及び特許文献 2 で開示されて
いる。

10

20

30

40

50

【0005】

酸化物半導体にチャンネル形成領域（チャンネル領域ともいう）を設けたトランジスタは、アモルファスシリコンを用いたトランジスタよりも高い電界効果移動度が得られている。酸化物半導体膜はスパッタリング法などによって比較的低温で膜形成が可能であり、多結晶シリコンを用いたトランジスタよりも製造工程が簡単である。

【0006】

このような酸化物半導体を用いてガラス基板、プラスチック基板などにトランジスタを形成し、液晶ディスプレイ、エレクトロルミネセンスディスプレイ（ELディスプレイともいう）または電子ペーパーなどの表示装置への応用が期待されている。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2007-123861号公報

【特許文献2】特開2007-96055号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、酸化物半導体を用いて作製した半導体素子の特性は未だ十分なものとは言えない。例えば、酸化物半導体膜を用いたトランジスタには、制御された閾値電圧、速い動作速度、そして十分な信頼性が求められている。

20

【0009】

本発明の一態様の目的は、酸化物半導体膜を成膜する成膜技術を提供することを課題の一とする。また、その酸化物半導体膜を用いた信頼性の高い半導体素子を作製する方法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】

【0010】

酸化物半導体を用いたトランジスタの閾値電圧は酸化物半導体膜に含まれるキャリア密度に影響される。また、酸化物半導体膜に含まれるキャリアは、酸化物半導体膜に含まれる不純物により発生する。例えば、成膜された酸化物半導体膜に含まれる H_2O に代表される水素原子を含む化合物や、アルカリ金属を含む化合物、もしくはアルカリ土類金属を含む化合物等の不純物は、酸化物半導体膜のキャリア密度を高める。

30

【0011】

そこで、上記目的を達成するためには、酸化物半導体膜に含まれるキャリア密度に影響する不純物、例えば、 H_2O に代表される水素原子を含む化合物、アルカリ金属を含む化合物、もしくはアルカリ土類金属を含む化合物等の不純物を排除すればよい。具体的には、成膜に用いるスパッタリングターゲットの中の不純物であるアルカリ金属、アルカリ土類金属、及び水素を排除することにより得られる新規なスパッタリングターゲットを用いれば、これらの不純物の含有量の少ない酸化物半導体膜を成膜することができる。

【0012】

本発明の一態様のスパッタリングターゲットは、酸化物半導体膜を形成するスパッタリングターゲットであって、亜鉛、アルミニウム、ガリウム、インジウム、またはスズから選ばれた少なくとも一の酸化物の焼結体を含み、SIMSにおける焼結体の含有アルカリ金属濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする。さらに、SIMSにおけるその焼結体の含有水素濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることを特徴とする。

40

【0013】

より具体的には、SIMSにおけるNa（ナトリウム）の濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、SIMSにおけるLi（リチウム）の濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、SIMSにおけるK（カリウム）の

50

濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。

【0014】

酸化物半導体は不純物に対して鈍感であり、膜中にはかなりの金属不純物が含まれていても問題がなく、ナトリウムのようなアルカリ金属が多量に含まれる廉価なソーダ石灰ガラスも使えると指摘されている（神谷、野村、細野、「アモルファス酸化物半導体の物性とデバイス開発の現状」、アグネ技術センター、固体物理、2009年9月号、Vol. 44、p. 621 - 633）。しかし、このような指摘は適切でない。

【0015】

アルカリ金属、及びアルカリ土類金属は酸化物半導体層を用いたトランジスタにとっては悪性の不純物であり、少ないほうがよい。特にアルカリ金属のうち、Naは酸化物半導体層に接する絶縁膜が酸化物であった場合、その中に拡散し、 Na^+ となる。また、酸化物半導体層内において、金属と酸素の結合を分断し、あるいは結合中に割り込む。その結果、トランジスタ特性の劣化（例えば、ノーマリオン化（しきい値の負へのシフト）、移動度の低下等）をもたらす。加えて、特性のばらつきの原因ともなる。このような問題は、特に酸化物半導体層中の水素の濃度が十分に低い場合において顕著となる。したがって、酸化物半導体層中の水素の濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下、特に $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である場合には、アルカリ金属の濃度を上記の値にすることが強く求められる。

【0016】

なお、本明細書において、スパッタリングターゲットまたは酸化物半導体膜中の不純物濃度は、二次イオン質量分析法（SIMS：Secondary Ion Mass Spectroscopy）による測定値を用いる。なお、SIMS分析は、その原理上、試料表面近傍や、材質が異なる膜との積層界面近傍のデータを正確に得ることが困難であることが知られている。そこで、膜中における不純物濃度の厚さ方向の分布を、SIMSで分析する場合、不純物濃度は、対象となる膜の存在する範囲において、極端な変動が無く、ほぼ一定の強度が得られる領域における最低値を採用する。また、測定の対象となる膜の厚さが小さい場合、隣接する膜中の不純物濃度の影響を受けて、ほぼ一定の強度の得られる領域を見いだせない場合がある。この場合、当該膜の存在する領域における、最低値を、不純物濃度として採用する。

【発明の効果】

【0017】

本発明の一態様は、水素原子や、アルカリ金属や、アルカリ土類金属等の不純物の含有量が少ないスパッタリングターゲットを提供することが可能である。また、そのスパッタリングターゲットを用い、不純物の低減された酸化物半導体膜を成膜することが可能である。また、不純物の含有量が少ない酸化物半導体膜を用いた信頼性の高い半導体素子を作製する方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】スパッタリングターゲットの製造方法を示すフロー図。

【図2】スパッタリングターゲットの上面を示す図。

【図3】トランジスタの作製方法の一例を示す断面図。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下では、本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。

【0020】

（実施の形態1）

本実施の形態では、本発明の一態様であるスパッタリングターゲットの製造方法について図1を参照して説明する。図1は、本実施の形態に係るスパッタリングターゲットの製造

10

20

30

40

50

方法の一例を示すフローチャートである。

【0021】

はじめに、スパッタリングターゲットの材料を構成する複数の単体金属（Zn、In、Al、Snなど）をそれぞれ蒸留、昇華、または再結晶を繰り返して精製する（S101）。その後、それぞれ精製した金属を粉末状に加工する。なお、スパッタリングターゲットの材料として、GaやSiを用いる場合は、ゾーンメルト法や、チョクラルスキー法を使って単結晶を得た後、粉末状に加工する。そして、これら各スパッタリングターゲット材料を高純度の酸素雰囲気下で焼成して酸化させる（S102）。そして得られた各酸化物粉末の秤量を適宜行い、秤量した各酸化物粉末を混合する（S103）。

【0022】

高純度の酸素雰囲気は、例えば6N（99.9999%）以上、好ましくは7N（99.99999%）以上、（即ち不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下）の純度とする。

【0023】

本実施の形態では、In-Ga-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲットを製造するものとし、例えば、 In_2O_3 、 Ga_2O_3 、及びZnOを、組成比として、 $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Ga}_2\text{O}_3 : \text{ZnO} = 1 : 1 : 1$ [mol数比]となるように秤量する。

【0024】

また、本実施の形態において製造される酸化物半導体用スパッタリングターゲットとしては、In-Ga-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲットに限られるものではなく、他にも、In-Sn-Ga-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、In-Sn-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、In-Al-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、Sn-Ga-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、Al-Ga-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、Sn-Al-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、In-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、Sn-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、Al-Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、In系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、Sn系酸化物半導体用スパッタリングターゲット、Zn系酸化物半導体用スパッタリングターゲットなどが挙げられる。

【0025】

次いで、混合物を所定の形状に成形し、焼成して、金属酸化物の焼結体を得る（S104）。スパッタリングターゲット材料を焼成することにより、スパッタリングターゲットに水素や水分やヒドロカーボン等が混入することを防ぐことができる。焼成は、不活性ガス雰囲気（窒素または希ガス雰囲気）下、真空中または高圧雰囲気中で行うことができ、さらに機械的な圧力を加えながら行ってもよい。焼成法としては、常圧焼成法、加圧焼成法等を適宜用いることができる。また、加圧焼成法としては、ホットプレス法、熱間等方加圧（HIP; Hot Isostatic Pressing）法、放電プラズマ焼結法、又は衝撃法を適用することが好ましい。焼成の最高温度はスパッタリングターゲット材料の焼結温度により選択するが、1000 ~ 2000 程度とするのが好ましく、1200 ~ 1500 とするのがより好ましい。また、最高温度の保持時間は、スパッタリングターゲット材料により選択するが、0.5時間 ~ 3時間とするのが好ましい。

【0026】

なお、本実施の形態の酸化物半導体用スパッタリングターゲットは充填率が90%以上100%以下、より好ましくは95%以上99.9%以下とするのが好ましい。

【0027】

次いで、所望の寸法、所望の形状、及び所望の表面粗さを有するスパッタリングターゲットに成形するための機械加工を施す（S105）。加工手段としては、例えば機械的研磨、化学的機械研磨（Chemical Mechanical Polishing CMP）、またはこれらの併用等を用いることができる。

【0028】

10

20

30

40

50

次いで、機械加工によって発生する細かな塵や、研削液成分の除去のために洗浄をおこなってもよい。ただし、洗浄として水や有機溶媒に浸漬させた超音波洗浄、流水洗浄等によってスパッタリングターゲットを洗浄する場合、その後にターゲット中及び表面の含水素濃度が充分低減するための加熱処理を行うことが好ましい。

【0029】

その後、スパッタリングターゲットに加熱処理を加える（S106）。加熱処理は、不活性ガス雰囲気（窒素または希ガス雰囲気）中で行うのが好ましく、加熱処理の温度は、スパッタリングターゲット材料によって異なるが、スパッタリングターゲット材料が変性しない温度とする。具体的には、150 以上であって750 以下、好ましくは425 以上であって750 以下とする。また、加熱時間は、具体的には0.5時間以上、好ましくは1時間以上とする。なお、加熱処理は、真空中または高圧雰囲気中に行ってもよい。

10

【0030】

その後、スパッタリングターゲットをバックングプレートと呼ばれる金属板に貼り合わせる（S107）。バックングプレートは、スパッタリングターゲット材料の冷却とスパッタ電極としての役割をもつため、熱伝導性および導電性に優れた銅を用いることが好ましい。また、銅以外にも、チタン、銅合金、ステンレス合金等を用いることも可能である。

【0031】

また、バックングプレートにスパッタリングターゲットを貼り付ける際、スパッタリングターゲットを分割して一枚のバックングプレートにボンディングしてもよい。図2（A）（B）にスパッタリングターゲットを分割して一枚のバックングプレートに貼り付ける（ボンディング）する例を示す。

20

【0032】

図2（A）はバックングプレート850にスパッタリングターゲット851をスパッタリングターゲット851a、851b、851c、851dと4分割して貼り付ける例である。また、図2（B）はより多数にスパッタリングターゲットを分割した例であり、バックングプレート850にスパッタリングターゲット852をスパッタリングターゲット852a、852b、852c、852d、852e、852f、852g、852h、852iと9分割して貼り付けている。なお、スパッタリングターゲットの分割数及びターゲット形状は図2（A）（B）に限定されない。スパッタリングターゲットを分割するとバックングプレートに貼り付ける際のスパッタリングターゲットの反りを緩和することができる。このような分割したスパッタリングターゲットは、大面積基板に成膜する場合、それに伴って大型化するスパッタリングターゲットに特に好適に用いることができる。もちろん、一枚のバックングプレートに一枚のスパッタリングターゲットを貼り付けてもよい。

30

【0033】

また、加熱処理後のスパッタリングターゲットは、水分や水素やアルカリ金属などの不純物の再混入を防止するため、高純度の酸素ガス、高純度の N_2O ガス、又は超乾燥エア（露点が-40 以下、好ましくは-60 以下）雰囲気で搬送、保存等するのが好ましい。または、ステンレス合金等の透水性の低い材料で形成された保護材で覆ってもよく、またその保護材とターゲットの間隙に上述のガスを導入しても良い。酸素ガスまたは N_2O ガスには、水、水素などが含まれないことが好ましい。または、酸素ガスまたは N_2O ガスの純度を、6N（99.9999%）以上、好ましくは7N（99.99999%）以上、（即ち酸素ガスまたは N_2O ガス中の不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下）とすることが好ましい。

40

【0034】

以上により、本実施の形態のスパッタリングターゲットを製造することができる。本実施の形態で示すスパッタリングターゲットは、製造工程において、それぞれ精製した高純度の材料を用いることで不純物の含有量の少ないものとすることができ。また、当該ターゲットを用いて作製された酸化物半導体膜が含有する不純物の濃度も低減することができ

50

る。

【0035】

また、上記スパッタリングターゲットの製造において、大気にさらさず不活性ガス雰囲気（窒素または希ガス雰囲気）下で行うことが好ましい。

【0036】

なお、スパッタリングターゲットをスパッタ装置に取り付ける際も、大気にさらさず不活性ガス雰囲気（窒素または希ガス雰囲気）下で行うことで、スパッタリングターゲットに水素や水分やアルカリ金属等が付着することを防ぐことができる。

【0037】

また、スパッタリングターゲットをスパッタ装置に取り付けた後、ターゲット表面やターゲット材料中に残存している水素を除去するために脱水素処理を行うことが好ましい。脱水素処理としては成膜チャンパー内を減圧下で200 ~ 600 に加熱する方法や、加熱しながら窒素や不活性ガスの導入と排気を繰り返す方法等がある。

【0038】

また、スパッタリングターゲットを取り付けたスパッタ装置は、リークレートを $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{秒}$ 以下とし、特に排気手段としてクライオポンプを用いて水の不純物としての混入を減らし、逆流防止も図ることが好ましい。

【0039】

以下に、上記フローにより得られたスパッタリングターゲットが取り付けられたスパッタ装置を用いてトランジスタを作製する例を図3を用いて説明する。トランジスタを作製する工程においても、スパッタ装置で成膜された酸化物半導体膜に対して、 H_2O に代表される水素原子を含む化合物や、アルカリ金属を含む化合物、もしくはアルカリ土類金属を含む化合物等の不純物が混入しないようにすることが好ましい。

【0040】

まず、絶縁表面を有する基板100上に導電膜を形成した後、第1のフォトリソグラフィ工程、及びエッチング工程によりゲート電極層112を形成する。

【0041】

基板100とゲート電極層112との間には、下地膜となる絶縁膜を設けてもよく、本実施の形態では下地膜101を設ける。下地膜101は、基板100からの不純物元素（Naなど）の拡散を防止する機能があり、酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化シリコン、酸化ハフニウム、酸化アルミニウム、酸化ガリウム、酸化ガリウムアルミニウム（ $\text{Ga}_x\text{Al}_{2-x}\text{O}_{3+y}$ （ x は0以上2以下、 y は0より大きく、1未満））から選ばれた膜で形成することができる。下地膜101を設けることによって、後に形成する酸化物半導体膜に基板100からの不純物元素（Naなど）が拡散されることをブロックできる。また、該下地膜は単層に限らず、上記の複数の膜の積層であっても良い。

【0042】

次いで、ゲート電極層112上に、スパッタリング法またはPCVD法によりゲート絶縁層102を形成する（図3（A）参照）。ゲート絶縁層102の形成時も、アルカリ金属を含む化合物、もしくはアルカリ土類金属を含む化合物等の不純物が混入しないようにすることが好ましく、下地膜101の成膜後、大気にふれることなくゲート絶縁層102を形成する。

【0043】

次いで、上記ゲート絶縁層102を形成した後、大気に触れることなく、ゲート絶縁層102上に膜厚1nm以上10nm以下の第1の酸化物半導体膜をスパッタリング法により形成する。本実施の形態では、酸化物半導体用ターゲット（In-Ga-Zn系酸化物半導体用ターゲット（ $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Ga}_2\text{O}_3 : \text{ZnO} = 1 : 1 : 2$ [mol数比]）を用いて、基板とターゲットの間との距離を170mm、基板温度250、圧力0.4Pa、直流（DC）電源0.5kW、酸素のみ、アルゴンのみ、又はアルゴン及び酸素雰囲気下で膜厚5nmの第1の酸化物半導体膜を成膜する。酸化物半導体用ターゲットは、酸化亜鉛、酸化アルミニウム、酸化ガリウム、酸化インジウム、または酸化スズから選ばれた

10

20

30

40

50

少なくとも一の酸化物の焼結体を含み、SIMSにおける前記焼結体の含有アルカリ金属濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、前記焼結体は、SIMSにおけるNaの濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、前記焼結体は、SIMSにおけるLiの濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、前記焼結体は、SIMSにおけるKの濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。

【0044】

次いで、上記第1の酸化物半導体膜を成膜後、大気に触れることなく、基板を配置する雰囲気窒素、または乾燥空気とし、第1の加熱処理を行う。第1の加熱処理の温度は、400以上750以下とする。また、第1の加熱処理の加熱時間は1分以上24時間以下とする。第1の加熱処理によって第1の結晶性酸化物半導体膜108aを形成する(図3(B)参照)。

10

【0045】

次いで、上記第1の加熱処理後に大気に触れることなく、第1の結晶性酸化物半導体膜108a上に10nmよりも厚い第2の酸化物半導体膜をスパッタリング法により形成する。本実施の形態では、酸化物半導体用ターゲット(In-Ga-Zn系酸化物半導体用ターゲット($\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Ga}_2\text{O}_3 : \text{ZnO} = 1 : 1 : 2$ [mol数比]))を用いて、基板とターゲットの間との距離を170mm、基板温度400、圧力0.4Pa、直流(DC)電源0.5kW、酸素のみ、アルゴンのみ、又はアルゴン及び酸素雰囲気下で膜厚25nmの第2の酸化物半導体膜を成膜する。酸化物半導体用ターゲットは、酸化亜鉛、酸化アルミニウム、酸化ガリウム、酸化インジウム、または酸化スズから選ばれた少なくとも一の酸化物の焼結体を含み、SIMSにおける前記焼結体の含有アルカリ金属濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、前記焼結体は、SIMSにおけるNaの濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、前記焼結体は、SIMSにおけるLiの濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、前記焼結体は、SIMSにおけるKの濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。

20

【0046】

なお、第1の酸化物半導体膜及び第2の酸化物半導体膜の成膜時において、 H_2O に代表される水素原子を含む化合物や、アルカリ金属を含む化合物、もしくはアルカリ土類金属を含む化合物等の不純物が混入しないようにすることが好ましく、具体的には、基板とターゲットの間との距離(TS距離とも呼ぶ)を長くすることによって質量の重い不純物元素を排気し、成膜中での混入を低減する、または成膜室内を高真空として基板上に付着した H_2O などを膜形成面から再蒸発させる。また、成膜時の基板温度を250以上450以下とすることによって、 H_2O に代表される水素原子を含む化合物や、アルカリ金属を含む化合物、もしくはアルカリ土類金属を含む化合物等の不純物が酸化物半導体膜中に混入することを防ぐことが好ましい。

30

【0047】

次いで、上記第2の酸化物半導体膜を成膜後、大気に触れることなく、基板を配置する雰囲気窒素、または乾燥空気とし、第2の加熱処理を行う。第2の加熱処理の温度は、400以上750以下とする。また、第2の加熱処理の加熱時間は1分以上24時間以下とする。第2の加熱処理によって第2の結晶性酸化物半導体膜108bを形成する(図3(C)参照)。

40

【0048】

次いで、第1の結晶性酸化物半導体膜108aと第2の結晶性酸化物半導体膜108bからなる酸化物半導体積層を加工して島状の酸化物半導体積層を形成する(図3(D)参照)。

【0049】

50

酸化物半導体積層の加工は、所望の形状のマスクを酸化物半導体積層上に形成した後、当該酸化物半導体積層をエッチングすることによって行うことができる。上述のマスクは、フォトリソグラフィなどの方法を用いて形成することができる。または、インクジェット法などの方法を用いてマスクを形成しても良い。

【0050】

なお、酸化物半導体積層のエッチングは、ドライエッチングでもウェットエッチングでもよい。もちろん、これらを組み合わせて用いてもよい。

【0051】

次いで、酸化物半導体積層上にソース電極層およびドレイン電極層（これと同じ層で形成される配線を含む）を形成するための導電膜を形成し、当該導電膜を加工して、ソース電極層104aおよびドレイン電極層104bを形成する。

10

【0052】

次いで、酸化物半導体積層、ソース電極層104a、及びドレイン電極層104bを覆う絶縁膜110a、絶縁膜110bを形成する（図3（E）参照）。絶縁膜110aは、酸化物絶縁材料を用い、成膜後に第3の加熱処理を行うことが好ましい。第3の加熱処理によって、絶縁膜110aから酸化物半導体積層への酸素供給が行われる。第3の加熱処理の条件は、不活性雰囲気、酸素雰囲気、酸素と窒素の混合雰囲気下で、200以上400、好ましくは250以上320以下とする。また、第3の加熱処理の加熱時間は1分以上24時間以下とする。

20

【0053】

以上の工程でボトムゲート型のトランジスタ150が形成される。

【0054】

トランジスタ150は、絶縁表面を有する基板100上に、下地膜101、ゲート電極層112、ゲート絶縁層102、チャネル形成領域を含む酸化物半導体積層、ソース電極層104a、ドレイン電極層104b、絶縁膜110aを含む。酸化物半導体積層を覆ってソース電極層104a、及びドレイン電極層104bが設けられる。酸化物半導体積層において、ゲート絶縁層102を介してゲート電極層112と重なる領域の一部がチャネル形成領域として機能する。

【0055】

図3（E）に示すトランジスタ150のチャネル形成領域を含む半導体層（上記、酸化物半導体積層を指す）は、SIMSにおけるNaの濃度が $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、トランジスタ150のチャネル形成領域を含む半導体層は、SIMSにおけるLiの濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。また、トランジスタ150のチャネル形成領域を含む半導体層は、SIMSにおけるKの濃度が $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下とする。

30

【0056】

また、図3（E）に示すトランジスタ150のチャネル形成領域を含む半導体層は、SIMSにおける水素の濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下、特に $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることが好ましい。

40

【0057】

また、図3（E）に示すトランジスタ150のチャネル形成領域を含む半導体層は、第1の結晶性酸化物半導体膜108a、及び第2の結晶性酸化物半導体膜108bの積層となる。第1の結晶性酸化物半導体膜108a、及び第2の結晶性酸化物半導体膜108bは、c軸配向を有している。第1の結晶性酸化物半導体膜108a及び第2の結晶性酸化物半導体膜108bは、単結晶構造ではなく、非晶質構造でもない構造であり、c軸配向を有した結晶（C Axis Aligned Crystal；CAACとも呼ぶ）を含む酸化物を有する。なお、第1の結晶性酸化物半導体膜108a及び第2の結晶性酸化物半導体膜108bは、一部に結晶粒界を有しており、非晶質構造（アモルファス構造）の酸化物半導体膜とは明らかに別材料である。

50

【 0 0 5 8 】

第 1 の結晶性酸化物半導体膜と第 2 の結晶性酸化物半導体膜の積層を有するトランジスタは、トランジスタに光照射が行われ、またはバイアス - 熱ストレス (B T) 試験前後においてもトランジスタのしきい値電圧の変化量が低減でき、安定した電気的特性を有する。

【 0 0 5 9 】

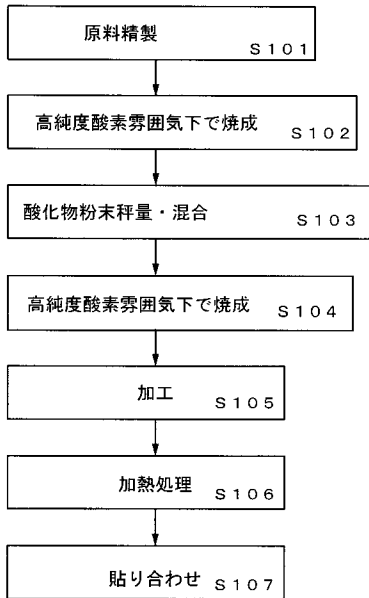
なお、図 3 では、ボトムゲート型のトランジスタの例を示したが特に限定されず、例えばトップゲート型のトランジスタを作製することもできる。

【 符号の説明 】

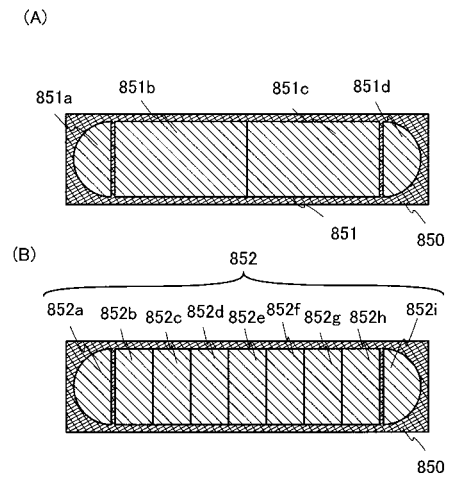
【 0 0 6 0 】

| | | |
|---------|-----------------|----|
| 1 0 0 | 基板 | 10 |
| 1 0 1 | 下地膜 | |
| 1 0 2 | ゲート絶縁層 | |
| 1 0 4 a | ソース電極層 | |
| 1 0 4 b | ドレイン電極層 | |
| 1 0 8 a | 第 1 の結晶性酸化物半導体膜 | |
| 1 0 8 b | 第 2 の結晶性酸化物半導体膜 | |
| 1 1 0 a | 絶縁膜 | |
| 1 1 0 b | 絶縁膜 | |
| 1 1 2 | ゲート電極層 | |
| 1 5 0 | トランジスタ | 20 |
| 8 5 0 | バックングプレート | |
| 8 5 1 | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 1 a | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 1 b | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 1 c | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 1 d | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 a | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 b | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 c | スパッタリングターゲット | 30 |
| 8 5 2 d | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 e | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 f | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 g | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 h | スパッタリングターゲット | |
| 8 5 2 i | スパッタリングターゲット | |

【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】

