

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6895544号  
(P6895544)

(45) 発行日 令和3年6月30日(2021.6.30)

(24) 登録日 令和3年6月9日(2021.6.9)

(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 1 6 K
HO 1 L 21/363 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 1 8 A
C 2 3 C 14/08 (2006.01)	HO 1 L 29/78 6 2 7 C
	HO 1 L 21/363

請求項の数 10 (全 26 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2019-561204 (P2019-561204)	(73) 特許権者	000231464
(86) (22) 出願日	令和1年6月19日(2019.6.19)		株式会社アルバック
(86) 国際出願番号	PCT/JP2019/024344		神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地
(87) 国際公開番号	W02019/244945	(74) 代理人	100104215
(87) 国際公開日	令和1年12月26日(2019.12.26)		弁理士 大森 純一
審査請求日	令和1年11月6日(2019.11.6)	(74) 代理人	100196575
(31) 優先権主張番号	特願2018-117885 (P2018-117885)		弁理士 高橋 満
(32) 優先日	平成30年6月21日(2018.6.21)	(74) 代理人	100168181
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 中村 哲平
		(74) 代理人	100144211
			弁理士 日比野 幸信
		(72) 発明者	半那 拓
			神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 株式会社アルバック内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 酸化物半導体薄膜、薄膜トランジスタおよびその製造方法、ならびにスパッタリングターゲット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

$I n$ 、 $S n$ および $G e$ を主成分として $G e / ( I n + S n + G e )$ の原子比で0.07以上0.40以下含有し、

$Z n$ を任意成分として $Z n / ( I n + S n + G e + Z n )$ の原子比で0以上0.25以下含有する、酸化物半導体で構成された

酸化物半導体薄膜。

【請求項2】

請求項1に記載の酸化物半導体薄膜であって、

$S n / ( I n + S n + G e )$ の原子比は、0.04以上0.60以下である

酸化物半導体薄膜。

【請求項3】

請求項1または2に記載の酸化物半導体薄膜であって、

$I n / ( I n + S n + G e )$ の原子比は、0.3以上であり、  
 $G e / ( I n + S n + G e )$ の原子比は、0.10以上0.25以下である

酸化物半導体薄膜。

【請求項4】

請求項1～3のいずれか1つに記載の酸化物半導体薄膜であって、

前記酸化物半導体は、 $S i$ 、 $T i$ 、 $M g$ 、 $C a$ 、 $B a$ 、 $Z r$ 、 $A l$ 、 $W$ 、 $T a$ 、 $H f$ および $B$ から選択される少なくとも1つの元素である第1の元素をさらに含有する

酸化物半導体薄膜。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の酸化物半導体薄膜であって、  
前記第 1 の元素を  $\text{In}$  としたとき、

$\text{In} / (\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge} + \dots)$  の原子比は、 $0.10$  以下である

酸化物半導体薄膜。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の酸化物半導体薄膜であって、

前記酸化物半導体は、 $\text{Sr}$  および  $\text{Ga}$  から選択される少なくとも 1 つの元素である第 2  
の元素をさらに含有する

酸化物半導体薄膜。

10

【請求項 7】

請求項 6 に記載の酸化物半導体薄膜であって、

前記第 2 の元素を  $\text{Sr}$  としたとき、

$\text{Sr} / (\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge} + \dots)$  の原子比は、 $0.25$  以下である

酸化物半導体薄膜。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 つに記載の酸化物半導体薄膜からなる活性層

を具備する薄膜トランジスタ。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 つに記載の酸化物半導体薄膜からなる活性層を具備する薄膜  
トランジスタの製造方法であって、

ゲート電極の上にゲート絶縁膜を形成し、

前記ゲート絶縁膜の上に前記活性層をスパッタリング法で形成し、

前記活性層を下地膜とする金属層を形成し、

前記金属層をウェットエッチング法でパターニングすることでソース電極及びドレイン  
電極を形成する

薄膜トランジスタの製造方法。

20

【請求項 10】

$\text{In}$ 、 $\text{Sn}$  および  $\text{Ge}$  を主成分として  $\text{Ge} / (\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge})$  の原子比で  $0.07$   
以上  $0.40$  以下含有し、

$\text{Zn}$  を任意成分として  $\text{Zn} / (\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge} + \text{Zn})$  の原子比で  $0$  以上  $0.25$  以  
下含有する、酸化物半導体で構成された

スパッタリングターゲット。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば薄膜トランジスタの活性層（チャネル層）として用いられる酸化物半  
導体薄膜、これを備えた薄膜トランジスタおよびその製造方法、ならびに当該酸化物半導  
体薄膜製造用のスパッタリングターゲットに関する。

40

【背景技術】

【0002】

$\text{In} - \text{Ga} - \text{Zn} - \text{O}$  系酸化物半導体膜（IGZO）を活性層に用いた薄膜トランジスタ（TF  
T：Thin-Film Transistor）は、従来のアモルファスシリコン膜を活性層に用いたTF  
Tと比較して、高移動度を得ることができることから、近年、種々のディスプレイ  
に幅広く適用されている（例えば特許文献 1 ~ 3 参照）。

【0003】

例えば特許文献 1 には、有機 EL 素子を駆動する TF T の活性層が IGZO で構成され  
た有機 EL 表示装置が開示されている。特許文献 2 には、チャネル層（活性層）が a - I  
GZO で構成され、移動度が  $5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上の薄膜トランジスタが開示されている。

50

さらに特許文献3には、活性層がIGZOで構成され、オン/オフ電流比が5桁以上の薄膜トランジスタが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-31750号公報

【特許文献2】特開2011-216574号公報

【特許文献3】WO2010/092810号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0005】

近年、各種ディスプレイにおける高解像度化や低消費電力化、高フレームレート化に関する要求から、より高い移動度を示す酸化物半導体への要求が高まっている。しかしながら、活性層にIGZOを用いる薄膜トランジスタにおいては、移動度で $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を超える値を得ることが難しく、より高い移動度を示す薄膜トランジスタ用途の材料の開発が求められている。

【0006】

以上のような事情に鑑み、本発明の目的は、IGZOに代わる高特性の酸化物半導体薄膜、これを備えた薄膜トランジスタ及びその製造方法、ならびに当該酸化物半導体薄膜製造用のスパッタリングターゲットを提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するため、本発明の一形態に係る酸化物半導体薄膜は、In、SnおよびGeを主成分とする酸化物半導体で構成される。

$\text{Ge}/(\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge})$ の原子比は、0.07以上0.40以下である。

これにより、 $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の移動度を有するトランジスタ特性を得ることができる。

$\text{Ge}/(\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge})$ の原子比を0.07以上とすることで、Snの含有量に依存することなく、アモルファスの酸化物半導体薄膜を得ることができる。

【0008】

30

$\text{Sn}/(\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge})$ の原子比は、0.04以上0.60以下であってもよい。

$\text{Sn}/(\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge})$ の原子比を0.04以上とすることで、キャリア濃度が $5 \times 10^{19}$ 以下の酸化物半導体薄膜を得ることができる。

$\text{Sn}/(\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge})$ の原子比を0.60以下とすることで、Geの含有量に依存することなく、移動度10以上の酸化物半導体薄膜を得ることができる。

【0009】

$\text{In}/(\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge})$ の原子比は、0.3以上であり、 $\text{Ge}/(\text{In} + \text{Sn} + \text{Ge})$ の原子比は、0.10以上0.25以下であってもよい。これにより、Snの含有量に依存することなく、アモルファスの酸化物半導体薄膜を得ることができる。

【0010】

40

前記酸化物半導体は、Si、Ti、Mg、Ca、Ba、Zr、Al、W、Ta、HfおよびBから選択される少なくとも1つの元素である第1の元素をさらに含有してもよい。

【0011】

あるいは、前記酸化物半導体は、Sr、GaおよびZnから選択される少なくとも1つの元素である第2の元素をさらに含有してもよい。

【0012】

本発明の一形態に係る薄膜トランジスタは、上記構成の酸化物半導体薄膜からなる活性層を具備する。

【0013】

本発明の一形態に係る薄膜トランジスタの製造方法は、上記構成の酸化物半導体薄膜が

50

らなる活性層を具備する薄膜トランジスタの製造方法であって、  
 ゲート電極の上にゲート絶縁膜を形成し、  
 前記ゲート絶縁膜の上に前記活性層をスパッタリング法で形成し、  
 前記活性層を下地膜とする金属層を形成し、  
 前記金属層をウェットエッチング法でパターンニングすることでソース電極及びドレイン電極を形成する。

【0014】

本発明の一形態に係るスパッタリングターゲットは、In、SnおよびGeを主成分とする酸化物半導体の焼結体で構成される。

Ge / (In + Sn + Ge) の原子比は、0.07以上0.40以下である。

10

【発明の効果】

【0015】

以上述べたように、本発明によれば、例えば、IGZOに代わる高特性の薄膜トランジスタを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の一実施形態に係る薄膜トランジスタの構成を示す概略断面図である。

【図2】スパッタ法で成膜したIn-Ge-O系材料におけるGeの含有量(原子%)と得られる薄膜の結晶性について評価した実験結果である。

【図3】In-Ge-O系材料における移動度のGe濃度依存性を示す一実験結果である

20

【図4】In-Ge-O系材料におけるキャリア濃度のGe濃度依存性を示す一実験結果である。

【図5】In-Sn-Ge-O系材料における結晶性のSn濃度依存性を示す一実験結果である。

【図6】In-Sn-Ge-O系材料における移動度のSn濃度依存性を示す一実験結果である。

【図7】Sn含有量を5原子%に固定して成膜したIn-Sn-Ge-O系材料における移動度のGe濃度依存性を示す一実験結果である。

【図8】Sn含有量を5原子%に固定して成膜したIn-Sn-Ge-O系材料におけるキャリア濃度のGe濃度依存性を示す一実験結果である。

30

【図9】Ge含有量を5原子%に固定し、Snの含有量を5原子%、20原子%および40原子%に振ったときの薄膜の結晶性についての評価結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態を説明する。

【0018】

図1は、本発明の一実施形態に係る薄膜トランジスタの構成を示す概略断面図である。本実施形態では、いわゆるボトムゲート型の電界効果型トランジスタを例に挙げて説明する。

40

【0019】

[薄膜トランジスタ]

本実施形態の薄膜トランジスタ100は、ゲート電極11と、ゲート絶縁膜12と、活性層13と、ソース電極14Sと、ドレイン電極14Dとを有する。

【0020】

ゲート電極11は、基材10の表面に形成された導電膜からなる。基材10は、典型的には、透明なガラス基板である。ゲート電極11は、典型的には、モリブデン(Mo)、チタン(Ti)、アルミニウム(Al)、銅(Cu)などの金属単層膜あるいは金属多層膜で構成され、例えばスパッタリング法によって形成される。本実施形態では、ゲート電極11は、モリブデンで構成される。ゲート電極11の厚さは特に限定されず、例えば、

50

200 nmである。ゲート電極11は、例えば、スパッタ法、真空蒸着法等で成膜される。

#### 【0021】

活性層13は、薄膜トランジスタ100のチャンネル層として機能する。活性層12の膜厚は、例えば10 nm~200 nmである。活性層13は、In（インジウム）、Sn（スズ）及びGe（ゲルマニウム）を含むIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜で構成される。活性層13は、例えば、スパッタ法で成膜される。上記酸化物半導体薄膜の具体的な組成については後述する。

#### 【0022】

ゲート絶縁膜12は、ゲート電極11と活性層13との間に形成される。ゲート絶縁膜12は、例えば、シリコン酸化膜（SiO<sub>x</sub>）、シリコン窒化膜（SiN<sub>x</sub>）又はこれらの積層膜で構成される。成膜方法は特に限定されず、CVD法でもよいし、スパッタリング法、蒸着法等であってもよい。ゲート絶縁膜12の膜厚は特に限定されず、例えば、200 nm~400 nmである。

#### 【0023】

ソース電極14S及びドレイン電極14Dは、活性層13の上に相互に離間して形成される。ソース電極14S及びドレイン電極14Dは、例えば、アルミニウム、モリブデン、銅、チタンなどの金属単層膜あるいはこれら金属の多層膜で構成することができる。後述するように、ソース電極14S及びドレイン電極14Dは、金属膜をパターニングすることで同時に形成することができる。当該金属膜の厚さは、例えば、100 nm~200 nmである。ソース電極14S及びドレイン電極14Dは、例えば、スパッタ法、真空蒸着法等で成膜される。

#### 【0024】

ソース電極14S及びドレイン電極14Dは、保護膜15によって被覆される。保護膜15は、例えばシリコン酸化膜、シリコン窒化膜、またはこれらの積層膜などの電気絶縁性材料で構成される。保護膜15は、活性層13を含む素子部を外気から遮蔽するためのものである。保護膜15の膜厚は特に限定されず、例えば、100 nm~300 nmである。保護膜15は、例えば、CVD法で成膜される。

#### 【0025】

保護膜15の形成後、アニール処理が実施される。これにより、活性層13が活性化される。アニール条件は特に限定されず、本実施形態では、大気中において約300℃、1時間実施される。

#### 【0026】

保護膜15には適宜の位置にソース/ドレイン電極14S、14Dを配線層（図示略）と接続するための層間接続孔が設けられている。上記配線層は、薄膜トランジスタ100を図示しない周辺回路へ接続するためのもので、ITO等の透明導電膜で構成されている。

#### 【0027】

##### [酸化物半導体薄膜]

続いて、活性層13を構成する酸化物半導体薄膜について説明する。

#### 【0028】

高移動度の酸化物半導体材料としては、ITO（In-Sn-O）系、IGZO（In-Ga-Zn-O）系等が代表的である。これらの酸化物半導体材料は、成膜直後の結晶性がアモルファスであるため、ウェットエッチング法によるパターニングを容易に行うことができる。パターニング後は、熱処理により活性化させることで、所望とするトランジスタ特性を発現させるようにしている。

#### 【0029】

一般に高移動度酸化物は移動度が上昇するにつれ、ゲート閾値電圧の変動を所定値以下に抑えることが困難になるため長期にわたり信頼性の高いスイッチング動作を確保することが困難であるという問題がある。これらの問題の原因として酸素の欠損が起因するため

10

20

30

40

50

Hf（ハフニウム）やTi（チタン）、W（タングステン）といった酸素との結合の強い材料をキャリアキラーとして少量添加することが広く行われている。しかし、所望とする信頼性を確保するためには、これらの元素を十分量添加する必要があるが、キャリアキラー元素の多量添加は逆に移動度の低下につながる。

【0030】

一方、本発明者らは、Inをベースとし、これにキャリアキラーとしての効果が高く移動度の低下率の低いGeを所定以上添加することで、従来のITO系およびIGZO系材料よりも移動度および信頼性の双方が高められることを見出した。

【0031】

例えば図2に、スパッタ法で成膜したIn-Ge-O系材料におけるGeの含有量（原子%）と得られる薄膜の結晶性について評価した実験結果を示す。ここでは、成膜後、大気中において350℃で1時間アニール処理した薄膜サンプルを評価した。同図に示すように、Ge含有量が4.3原子%のサンプルは結晶質であるのに対して、Ge含有量が7%および20%のサンプルは、それぞれアモルファスであった。

【0032】

一方、図3および図4に、上記各サンプルの移動度およびキャリア濃度のHall効果測定器での測定結果をそれぞれ示す。移動度に関しては、図3に示すように、Geの含有量が多くなるほど低下する傾向にある。キャリア濃度に関しては、図4に示すように、Geの含有量が4.3原子%および11原子%のサンプルは $1 \times 10^{20}$  ( /  $\text{cm}^3$  ) と高い値を示すが、Ge含有量が20原子%のサンプルは $1 \times 10^{18}$  ( /  $\text{cm}^3$  ) 以下にまで低下する。キャリア濃度の好適な範囲は、一般に、 $10^{18} \sim 10^{19}$  ( /  $\text{cm}^3$  ) のオーダーとされており、 $1 \times 10^{18}$  ( /  $\text{cm}^3$  ) 未満では移動度の低下が顕著となり、 $1 \times 10^{20}$  ( /  $\text{cm}^3$  ) を超えるとスイッチング動作の信頼性の低下が顕著となる。

【0033】

図2～図4の結果より、Ge含有量を7原子%以上とすることで、アモルファスの酸化物薄膜が得られるとともに、キャリアキラーとして十分な効果が得られることが確認された。

【0034】

続いて、In-Sn-Ge-O系材料における結晶性および移動度のSn濃度依存性を図5および図6にそれぞれ示す。移動度の測定にはHall効果測定器を用いた。ここでは、Ge含有量を12原子%に固定し、成膜後、大気中において350℃（図6中「 $\square$ 」）および400℃（図6中「 $\triangle$ 」）で1時間アニール処理した薄膜サンプルを評価した。

【0035】

図5に示すように、Sn含有量が2.4原子%、4.3原子%および7.5原子%のサンプルはいずれもアモルファスであった。このことから、Sn含有量に依存せず、スパッタ法によって成膜されるIn-Sn-Ge-O系酸化物薄膜は、アモルファスであることが推認される。一方、図6に示すように、Sn含有量が30原子%までは移動度の顕著な低下は認められず（概ね、 $30 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  前後）、Sn含有量を60原子%にまで増加させた場合でも $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上の移動度が得られた。

【0036】

続いて、Sn含有量を5原子%に固定して成膜したIn-Sn-Ge-O系材料における移動度およびキャリア濃度のGe濃度依存性を図7および図8にそれぞれ示す。移動度およびキャリア濃度の測定にはHall効果測定器を用いた。ここでは、酸化インジウム、酸化ゲルマニウム、酸化スズの3つのターゲットを酸素雰囲気中で同時にスパッタする三元スパッタ法を採用した。成膜後、大気中において350℃（各図中「 $\square$ 」）および400℃（各図中「 $\triangle$ 」）で1時間アニール処理した薄膜サンプルをそれぞれ評価した。

【0037】

図7に示すように、すべてのサンプルについて移動度が $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上であることが確認された。また、図7および図8に示すように、Ge含有量が10～25原子%の範囲で、移動度が $15 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上、キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19}$  ( /  $\text{cm}^3$  )

10

20

30

40

50

m<sup>3</sup>)であることが確認された。

【0038】

なお、図7および図8の評価結果は三元スパッタによって成膜したサンプルについてのものであるが、Ge含有量が15原子%(Sn含有量5原子%)のIn-Sn-Ge-O系焼結体ターゲットを用いて成膜したサンプルについて測定した移動度およびキャリア濃度を図7および図8に併せて示す。各図中「 $\square$ 」は大気中において350で、「 $\triangle$ 」は大気中において400で1時間アニール処理した薄膜サンプルをそれぞれ示す。図7および図8に示すように、焼結体ターゲットにおいても三元スパッタ法で成膜したサンプルと同等な電気特性を示し、移動度が約20~30cm<sup>2</sup>/Vs、キャリア濃度が約5×10<sup>18</sup>~1×10<sup>19</sup>(/cm<sup>3</sup>)であることが確認された。

10

【0039】

一方、上述のようにGe含有量が12原子%以上でアモルファスの薄膜が得られることを説明したが、Geの代わりにSnの含有量を増やすことでもアモルファスの薄膜を得ることができる。図9に、Ge含有量を5原子%に固定し、Snの含有量を5原子%、20原子%および40原子%に振ったときの薄膜の結晶性についての評価結果を示す。ここでは、成膜後、大気中において350で1時間アニール処理した薄膜サンプルを評価した。同図に示すように、Sn含有量を20原子%以上とすることで、アモルファスのIn-Sn-Ge-O系薄膜を得ることができる。

【0040】

本実施形態の活性層13は、上述のように、In、SnおよびGeを含む酸化物半導体薄膜で構成される。Ge/(In+Sn+Ge)の原子比は、0.07以上0.4以下である。

20

なお、組成の上限値および下限値は、少数第3位を四捨五入した値である(以下同様)。

【0041】

活性層13を上記組成範囲のIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜で構成することにより、10cm<sup>2</sup>/Vs以上の移動度を有するトランジスタ特性を得ることができる。

【0042】

活性層13として、Sn/(In+Sn+Ge)の原子比を0.03以上0.60以下とすることにより、アモルファスのIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を得ることができるので、活性層13を例えばシュウ酸系エッチング液などを用いて容易にパターニングすることができる。

30

【0043】

さらに、活性層13がSnを含む酸化物半導体薄膜で構成されているため、活性層13の耐薬品性を高めることができる。このため、ソース電極14Sおよびドレイン電極14Dのパターニング工程に際して、活性層をエッチング液から保護するエッチングストップ層を設ける必要がなくなる。これにより、活性層13を下地膜とする金属層を形成した後、当該金属層をウェットエッチング法でパターニングすることでソース電極14Sおよびドレイン電極14Dを容易に形成することが可能となる。

【0044】

エッチング液としては、典型的には、シュウ酸系エッチャント(シュウ酸95%)を用いることができ、例えば、ITO 06N(関東化学)等が挙げられる。

40

【0045】

活性層13を構成する酸化物半導体薄膜において、Ge/(In+Sn+Ge)の原子比は、0.07以上0.40以下、より好ましくは、0.10以上0.25以下である。これにより、Snの含有量に依存することなく、アモルファスの酸化物半導体薄膜を得ることができる。また、Geの含有量を上記範囲にすることにより、In/(In+Sn+Ge)の原子比が0.3以上の場合において、15~35cm<sup>2</sup>/Vsの高移動度と、10<sup>19</sup>(/cm<sup>3</sup>)オーダー以下の低キャリア濃度を両立させることができる。

【0046】

50

活性層13を構成する酸化物半導体薄膜は、Si（シリコン）、Ti（チタン）、Mg（マグネシウム）、Ca（カルシウム）、Zr（ジルコニウム）、Al（アルミニウム）、W（タングステン）、Ta（タンタル）、Hf（ハフニウム）およびB（ホウ素）から選択される少なくとも1つの元素である第1の元素（ ）をさらに含有してもよい。これら第1の元素（ ）は、キャリアキラーとして働く元素であり、薄膜中のキャリア濃度の低減に寄与してスイッチング動作の信頼性を高めることができる。

【0047】

第1の元素（ ）の添加量は特に限定されず、例えば、 $x$  / (In + Sn + Ge + ...) の原子比が0.10以下である。これにより、キャリア濃度を $10^{18}$  ( /  $\text{cm}^3$  ) オーダー以下に低減しつつ、 $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上の高移動度を安定に実現することができる。

10

【0048】

あるいは、活性層13を構成する酸化物半導体薄膜は、Sr（ストロンチウム）、Ga（ガリウム）およびZn（亜鉛）から選択される少なくとも1つの元素である第2の元素（ ）をさらに含有してもよい。これら第2の元素（ ）もまた、キャリアキラーとしての性能は十分ではないものの、移動度の低減が少ない添加元素であり、結晶性の改善や薄膜中のキャリア濃度の低減に寄与してスイッチング動作の信頼性を高めることができる。

【0049】

第2元素（ ）の添加量は特に限定されず、例えば、 $x$  / (In + Sn + Ge + ...) の原子比が0.25以下である。これにより、キャリア濃度を $10^{18}$  ( /  $\text{cm}^3$  ) オーダー以下に低減しつつ、 $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上の高移動度を安定に実現することができる。

20

【0050】

以上のように構成される本実施形態の活性層13を備えた薄膜トランジスタ100においては、閾値電圧の変動を所定電圧以下に抑えることができるので、長期にわたり信頼性の高いスイッチング動作を確保することが可能となる。例えば、ゲート電極 - ソース電極間（あるいはゲート電極 - ソース電極間およびドレイン電極 - ソース電極間）に一定電圧をかけ続け、そのときの閾値電圧の変動を評価するBTS試験において、PBTS（Positive Bias Temperature Stress）およびNBTS（Negative Bias Temperature Stress）のいずれについても良好な結果が得られることが本発明者らにより確認された。

【0051】

具体的に、60 の温度下で、+30Vのゲート電圧を60分間印加し続けるPBTS試験の実施前後における閾値電圧の変化量は、0V以上1V以下であった。

30

また、60 の温度下で、-30Vのゲート電圧を60分間印加し続けるNBTS試験の実施前後における閾値電圧の変化量は、-1V以上0V以下であった。

【0052】

活性層13は、In、Sn及びGeのそれぞれの酸化物の焼結体で構成されたスパッタリングターゲットを用いて成膜された後、所定温度で熱処理（アニール）されることで形成される。上記ターゲットを所定条件下でスパッタすることにより、ターゲットの組成と同一またはほぼ同一の組成を有する酸化物半導体薄膜が形成される。この半導体薄膜を所定温度でアニール処理することで、例えば、移動度が $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上のトランジスタ特性を有する活性層13が形成される。

40

【0053】

上記スパッタリングターゲットは、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SnO}_2$ および $\text{GeO}_2$ 等のIn、SnおよびGeそれぞれの酸化物を原料粉末に用い、これらを上記組成比で混合した焼結体で構成することができる。

【0054】

[実験例]

本発明者らは、In - Sn - Ge - O系酸化物薄膜をスパッタ法でそれぞれ形成し、Hall効果測定器を用いてこれらの膜の基本的な電気特性（移動度、キャリア濃度）を評価した。

【0055】

50



移動度およびキャリア濃度は、成膜直後の酸化半導体薄膜を350で1時間、大気中でアニールした後、Hall効果測定器で測定した。

結晶性は、X線回折測定装置を用いて薄膜のX線回折パターンを測定し、有意のピークが認められた場合は結晶質と評価し、有意のピークがないブロードなパターン（ハローパターン）である場合はアモルファスと評価した。

【0056】

成膜条件としては、基板温度は100、スパッタガスはアルゴン及び酸素の混合ガス（酸素含有比率7%）、膜厚は50nmとした。

【0057】

（実験例1）

（サンプル1-1）

In-Sn-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In及びSnの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：98原子%、Sn：2原子%であるIn-Sn-O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、結晶質であった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $7.4 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $5.6 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ であった。

【0058】

（サンプル1-2）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：93原子%、Sn：2原子%、Ge：5原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、結晶質であった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $37.1 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $1.7 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ であった。

【0059】

（サンプル1-3）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：91原子%、Sn：2原子%、Ge：7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $35.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $4.6 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であった。

【0060】

（サンプル1-4）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：85原子%、Sn：2原子%、Ge：13原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $33.9 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $7.9 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ であった。

【0061】

（サンプル1-5）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：73原子%、Sn：2原子%、Ge：25原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $14.7 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $9.6 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ であった。

【0062】

（サンプル1-6）

10

20

30

40

50

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：58原子%、Sn：2原子%、Ge：40原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $10.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $3.8 \text{ E} + 16 (3.8 \times 10^{16}) / \text{cm}^3$ であった。

【0063】

実験例1の結果を表1にまとめて示す。

【0064】

【表1】

No.	組成at%			キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Amorphous
	In	Sn	Ge			
1-1	98	2	0	5.6E+20	7.4	×
1-2	93	2	5	1.7E+20	37.1	×
1-3	91	2	7	4.6E+19	35.2	○
1-4	85	2	13	7.9E+18	33.9	○
1-5	73	2	25	9.6E+17	14.7	○
1-6	58	2	40	3.8E+16	10.2	○

【0065】

(実験例2)

(サンプル2-1)

In - Sn - Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In及びSnの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：94.7原子%、Sn：5.3原子%であるIn - Sn - O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、結晶質であった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $31.0 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $6.4 \text{ E} + 20 (6.4 \times 10^{20}) / \text{cm}^3$ であった。

【0066】

(サンプル2-2)

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：90.2原子%、Sn：4.9原子%、Ge：4.9原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、結晶質であった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $36.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $1.6 \text{ E} + 20 (1.6 \times 10^{20}) / \text{cm}^3$ であった。

【0067】

(サンプル2-3)

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：88.5原子%、Sn：4.5原子%、Ge：7原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $33.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $9.8 \text{ E} + 18 (9.8 \times 10^{18}) / \text{cm}^3$ であった。

【0068】

(サンプル2-4)

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合

10

20

30

40

50

計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：83.5原子%、Sn：4.3原子%、Ge：12.2原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $31.7 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $7.4 \text{ E} + 18 (7.4 \times 10^{18}) / \text{cm}^3$ であった。

【0069】

(サンプル2-5)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：77.1原子%、Sn：4.2原子%、Ge：18.7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $24.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $8.9 \text{ E} + 18 (8.9 \times 10^{18}) / \text{cm}^3$ であった。

【0070】

(サンプル2-6)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：71.9原子%、Sn：4原子%、Ge：24.1原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $17.1 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $9.5 \text{ E} + 17 (9.5 \times 10^{17}) / \text{cm}^3$ であった。

【0071】

(サンプル2-7)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：55.5原子%、Sn：4.5原子%、Ge：40原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $10.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $4.5 \text{ E} + 16 (4.5 \times 10^{16}) / \text{cm}^3$ であった。

【0072】

実験例2の結果を表2にまとめて示す。

【0073】

【表2】

No.	組成at%			キャリア濃度 ( $\text{cm}^3$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Amorphous
	In	Sn	Ge			
2-1	94.7	5.3	0	6.4E+20	31.0	×
2-2	90.2	4.9	4.9	1.6E+20	36.5	×
2-3	88.5	4.5	7	9.8E+18	33.2	○
2-4	83.5	4.3	12.2	7.4E+18	31.7	○
2-5	77.1	4.2	18.7	8.9E+18	24.5	○
2-6	71.9	4	24.1	9.5E+17	17.1	○
2-7	55.5	4.5	40	4.5E+16	10.2	○

【0074】

(実験例3)

( サンプル 3 - 1 )

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：88原子%、Sn：7原子%、Ge：5原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $31.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $2.9 \text{ E} + 20$  ( $2.9 \times 10^{20}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

【 0 0 7 5 】

( サンプル 3 - 2 )

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：86原子%、Sn：7原子%、Ge：7原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $30.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $1.0 \text{ E} + 19$  ( $1.0 \times 10^{19}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

【 0 0 7 6 】

( サンプル 3 - 3 )

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：80原子%、Sn：7原子%、Ge：13原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $27.1 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $7.3 \text{ E} + 18$  ( $7.3 \times 10^{18}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

【 0 0 7 7 】

( サンプル 3 - 4 )

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：53原子%、Sn：7原子%、Ge：40原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $11.0 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $8.1 \text{ E} + 16$  ( $8.1 \times 10^{16}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

【 0 0 7 8 】

実験例3の結果を表3にまとめて示す。

【 0 0 7 9 】

【 表 3 】

No.	組成at%			キャリア濃度 ( $\text{cm}^3$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Amorphous
	In	Sn	Ge			
3-1	88	7	5	2.9E+20	31.5	○
3-2	86	7	7	1.0E+19	30.2	○
3-3	80	7	13	7.3E+18	27.1	○
3-4	53	7	40	8.1E+16	11.0	○

【 0 0 8 0 】

( 実験例 4 )

( サンプル 4 - 1 )

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：77.1原子%、Sn：18原子%、G

10

20

30

40

50

e : 4.9 原子%である In - Sn - Ge - O 系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $31.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $5.2 \text{ E} + 20 (5.2 \times 10^{20}) / \text{cm}^3$  であった。

【0081】

(サンプル 4 - 2)

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn 及び Ge の合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In : 75 原子%、Sn : 18 原子%、Ge : 7 原子%である In - Sn - Ge - O 系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、

10

アモルファスであった。作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $32.0 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $3.1 \text{ E} + 19 (3.1 \times 10^{19}) / \text{cm}^3$  であった。

【0082】

(サンプル 4 - 3)

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn 及び Ge の合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In : 71.4 原子%、Sn : 18 原子%、Ge : 10.6 原子%である In - Sn - Ge - O 系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $31.6 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $1.7 \text{ E} + 19 (1.7 \times 10^{19}) / \text{cm}^3$  であった。

20

【0083】

(サンプル 4 - 4)

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn 及び Ge の合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In : 42 原子%、Sn : 18 原子%、Ge : 40 原子%である In - Sn - Ge - O 系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $10.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $6.6 \text{ E} + 11 (6.6 \times 10^{11}) / \text{cm}^3$  であった。

【0084】

実験例 4 の結果を表 4 にまとめて示す。

30

【0085】

【表 4】

No.	組成at%			キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Amorphous
	In	Sn	Ge			
4-1	77.1	18	4.9	5.2E+20	31.5	○
4-2	75	18	7	3.1E+19	32.0	○
4-3	71.4	18	10.6	1.7E+19	31.6	○
4-4	42	18	40	6.6E+11	10.5	○

40

【0086】

(実験例 5)

(サンプル 5 - 1)

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn 及び Ge の合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In : 67 原子%、Sn : 30 原子%、Ge : 3 原子%である In - Sn - Ge - O 系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $30.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$

50

、キャリア濃度は  $5.6 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  であった。

【0087】

(サンプル5-2)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：63原子%、Sn：30原子%、Ge：7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $32.8 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $3.3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  であった。

【0088】

(サンプル5-3)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：60原子%、Sn：30原子%、Ge：10原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $30.0 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $1.5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  であった。

【0089】

(サンプル5-4)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：30原子%、Sn：30原子%、Ge：40原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $11.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $7.7 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  であった。

【0090】

実験例5の結果を表5にまとめて示す。

【0091】

【表5】

No.	組成at%			キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Amorphous
	In	Sn	Ge			
5-1	67	30	3	$5.6\text{E}+20$	30.2	○
5-2	63	30	7	$3.3\text{E}+19$	32.8	○
5-3	60	30	10	$1.5\text{E}+19$	30.0	○
5-4	30	30	40	$7.7\text{E}+16$	11.5	○

【0092】

(実験例6)

(サンプル6-1)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：36原子%、Sn：60原子%、Ge：4原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $25.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $6.0 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  であった。

【0093】

(サンプル6-2)

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：33原子%、Sn：60原子%、Ge：7原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $18.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $2.2 \text{ E} + 19 (2.2 \times 10^{19}) / \text{cm}^3$ であった。

【0094】

(サンプル6-3)

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：31原子%、Sn：60原子%、Ge：9原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $11.3 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $1.6 \text{ E} + 19 (1.6 \times 10^{19}) / \text{cm}^3$ であった。

【0095】

(サンプル6-4)

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：2原子%、Sn：58原子%、Ge：40原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度 $3.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $7.3 \text{ E} + 16 (7.3 \times 10^{16}) / \text{cm}^3$ であった。

【0096】

実験例6の結果を表6にまとめて示す。

【0097】

【表6】

No.	組成at%			キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Amorphous
	In	Sn	Ge			
6-1	36	60	4	6.0E+20	25.2	○
6-2	33	60	7	2.2E+19	18.2	○
6-3	31	60	9	1.6E+19	11.3	○
6-4	2	58	40	7.3E+16	3.5	○

【0098】

(実験例7)

(サンプル7-1)

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：91原子%、Sn：2原子%、Ge：7原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、結晶質であった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $35.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $8.9 \text{ E} + 19 (8.9 \times 10^{19}) / \text{cm}^3$ であった。

【0099】

(サンプル7-2)

In - Sn - Ge - Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：89原子%、Sn：4原子%、Ge：7原子%であるIn - Sn - Ge - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、ア

モルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度  $33.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $9.8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  であった。

【0100】

(サンプル7-3)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：86原子%、Sn：7原子%、Ge：7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度  $30.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $1.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  であった。

10

【0101】

(サンプル7-4)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：73原子%、Sn：20原子%、Ge：7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度  $32.0 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $3.1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  であった。

【0102】

20

(サンプル7-5)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：63原子%、Sn：30原子%、Ge：7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度  $30.8 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $3.3 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  であった。

【0103】

(サンプル7-6)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板の上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：33原子%、Sn：60原子%、Ge：7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

30

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度  $18.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $2.2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  であった。

【0104】

実験例7の結果を表7にまとめて示す。

【0105】



【表 7】

No.	組成at%			キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Amorphous
	In	Sn	Ge			
7-1	91	2	7	8.9E+19	35.2	×
7-2	89	4	7	9.8E+18	33.2	○
7-3	86	7	7	1.0E+19	30.2	○
7-4	73	20	7	3.1E+19	32.0	○
7-5	63	30	7	3.3E+19	30.8	○
7-6	33	60	7	2.2E+19	18.2	○

10

## 【0106】

(実験例8)

(サンプル8-1)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：58原子%、Sn：2原子%、Ge：40原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、

20

アモルファスであった。作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $8.2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、キャリア濃度は $3.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。

## 【0107】

(サンプル8-2)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：56原子%、Sn：4原子%、Ge：40原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、

アモルファスであった。作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度 $10.2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、キャリア濃度は $4.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。

30

## 【0108】

(サンプル8-3)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：53原子%、Sn：7原子%、Ge：40原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、

アモルファスであった。作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度 $11.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、キャリア濃度は $8.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。

## 【0109】

(サンプル8-4)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：40原子%、Sn：20原子%、Ge：40原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、

アモルファスであった。作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度 $10.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、キャリア濃度は $6.6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。

40

## 【0110】

(サンプル8-5)

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合

50

計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In : 30原子%、Sn : 30原子%、Ge : 40原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度  $11.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $7.7 \text{ E} + 16 (7.7 \times 10^{16}) / \text{cm}^3$ であった。

【0111】

(サンプル8-6)

Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、Sn : 60原子%、Ge : 40原子%であるSn-Ge-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

10

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度  $3.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $7.3 \text{ E} + 16 (7.3 \times 10^{16}) / \text{cm}^3$ であった。

【0112】

実験例8の結果を表8にまとめて示す。

【0113】

【表8】

No.	組成at%			キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	Amorphous
	In	Sn	Ge			
8-1	58	2	40	3.8E+16	8.2	○
8-2	56	4	40	4.5E+16	10.2	○
8-3	53	7	40	8.1E+16	11.0	○
8-4	40	20	40	6.6E+16	10.5	○
8-5	30	30	40	7.7E+16	11.5	○
8-6	0	60	40	7.3E+16	3.5	○

20

【0114】

30

(実験例9)

(サンプル9-1)

In-Sn-Ge-O系材料に第1の元素( )としてTiを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In : 80原子%、Sn : 7原子%、Ge : 10原子%、Ti : 3原子%であるIn-Sn-Ge-Ti-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $21.8 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $2.3 \text{ E} + 18 (2.3 \times 10^{18}) / \text{cm}^3$ であった。

【0115】

40

(サンプル9-2)

In-Sn-Ge-O系材料に第1の元素( )としてTiを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In : 79原子%、Sn : 7原子%、Ge : 10原子%、Ti : 4原子%であるIn-Sn-Ge-Ti-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $18.8 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $1.9 \text{ E} + 18 (1.9 \times 10^{18}) / \text{cm}^3$ であった。

【0116】

(サンプル9-3)

50

In - Sn - Ge - O系材料に第1の元素( )としてTiを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：76原子%、Sn：7原子%、Ge：10原子%、Ti：7原子%であるIn - Sn - Ge - Ti - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $15.0 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $7.9 \text{ E} + 17 (7.9 \times 10^{17}) / \text{cm}^3$ であった。

【0117】

(サンプル9 - 4)

In - Sn - Ge - O系材料に第1の元素( )としてTiを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：71原子%、Sn：7原子%、Ge：10原子%、Ti：12原子%であるIn - Sn - Ge - Ti - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

10

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $6.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $1.2 \text{ E} + 17 (1.2 \times 10^{17}) / \text{cm}^3$ であった。

【0118】

(サンプル9 - 5)

In - Sn - Ge - O系材料に第1の元素( )としてCaを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：82原子%、Sn：7原子%、Ge：10原子%、Ca：1原子%であるIn - Sn - Ge - Ca - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

20

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $25.9 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $9.0 \text{ E} + 18 (9.0 \times 10^{18}) / \text{cm}^3$ であった。

【0119】

(サンプル9 - 6)

In - Sn - Ge - O系材料に第1の元素( )としてCaを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：80原子%、Sn：7原子%、Ge：10原子%、Ca：3原子%であるIn - Sn - Ge - Ca - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

30

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $20.5 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $3.4 \text{ E} + 18 (3.4 \times 10^{18}) / \text{cm}^3$ であった。

【0120】

(サンプル9 - 7)

In - Sn - Ge - O系材料に第1の元素( )としてCaを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：78原子%、Sn：7原子%、Ge：10原子%、Ca：5原子%であるIn - Sn - Ge - Ca - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

40

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は $18.9 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は $1.9 \text{ E} + 18 (1.9 \times 10^{18}) / \text{cm}^3$ であった。

【0121】

(サンプル9 - 8)

In - Sn - Ge - O系材料に第1の元素( )としてCaを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：71原子%、Sn：7原子%、Ge：10原子%、Ca：12原子%であるIn - Sn - Ge - Ca - O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

50

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $8.9 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $6.1 \text{ E} + 17$  ( $6.1 \times 10^{17}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

【0122】

(サンプル9-9)

In-Sn-Ge-O系材料に第2の元素( )としてGaを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In:79.5原子%、Sn:7原子%、Ge:10原子%、Ga:3.5原子%であるIn-Sn-Ge-Ga-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $26.6 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $7.2 \text{ E} + 18$  ( $7.2 \times 10^{18}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

10

【0123】

(サンプル9-10)

In-Sn-Ge-O系材料に第2の元素( )としてGaを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In:75.6原子%、Sn:7原子%、Ge:10原子%、Ga:7.4原子%であるIn-Sn-Ge-Ga-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $22.4 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $3.6 \text{ E} + 18$  ( $3.6 \times 10^{18}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

20

【0124】

(サンプル9-11)

In-Sn-Ge-O系材料に第2の元素( )としてGaを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In:69.7原子%、Sn:7原子%、Ge:10原子%、Ga:13.3原子%であるIn-Sn-Ge-Ga-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $17.6 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $2.4 \text{ E} + 18$  ( $2.4 \times 10^{18}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

30

【0125】

(サンプル9-12)

In-Sn-Ge-O系材料に第2の元素( )としてGaを添加したターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn、Ge及びTiの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In:59原子%、Sn:7原子%、Ge:10原子%、Ga:24原子%であるIn-Sn-Ge-Ga-O系酸化物半導体薄膜を作製した。得られた薄膜は、アモルファスであった。

作製した酸化物半導体薄膜の電気特性を評価した結果、移動度は  $10.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、キャリア濃度は  $1.0 \text{ E} + 18$  ( $1.0 \times 10^{18}$ ) /  $\text{cm}^3$ であった。

【0126】

実験例9の結果を表9にまとめて示す。

40

【0127】

【表 9】

No.	組成at%				キャリア濃度 ( $\text{cm}^{-3}$ )	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )
	In	Sn	Ge	$\alpha/\beta$		
9-1	80	7	10	Ti 3	2.3E+18	21.8
9-2	79	7	10	Ti 4	1.9E+18	18.8
9-3	76	7	10	Ti 7	7.9E+17	15.0
9-4	71	7	10	Ti 12	1.2E+17	6.5
9-5	82	7	10	Ca 1	9.0E+18	25.9
9-6	80	7	10	Ca 3	3.4E+18	20.5
9-7	78	7	10	Ca 5	1.9E+18	18.9
9-8	71	7	10	Ca 12	6.1E+17	8.9
9-9	79.5	7	10	Ga 3.5	7.2E+18	26.6
9-10	75.6	7	10	Ga 7.4	3.6E+18	22.4
9-11	69.7	7	10	Ga 13.3	2.4E+18	17.6
9-12	59	7	10	Ga 24	1.0E+18	10.2

10

20

## 【0128】

実験例 1 ~ 8 の結果より、In の含有量が多いほど移動度が高くなる傾向にあり、Ge の含有量が多いほどキャリア濃度が低くなる傾向にある。特に、Ge の含有量を 7 原子% 以上とすることで膜中のキャリア濃度を  $10^{19} / \text{cm}^3$  オーダー以下に抑えることができる。また、Ge の含有量を 40 原子% 以下とすることにより、約  $20 \sim 35 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  の高い移動度を得ることができる。また、Ge の含有量を 40 原子% 以下に抑えることで、 $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上の移動度を得られやすくなる。

30

## 【0129】

一方、Sn の含有量が多いほど、アモルファスの薄膜が得られやすくなり、例えば、Sn 含有量を 4 原子% 以上とすることで、Ge 含有量 7 原子% のサンプルでもアモルファスの薄膜を得ることができる（サンプル 2 - 3 参照）。さらに Sn の含有量が多いほど、Ge の含有量の増加に伴う移動度の低下を抑制することができる。Sn の含有量は、Ge の含有量に応じて最適化するのが好適であり、 $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上の移動度を確保するためには、Sn の含有量は 60 原子% 以下であることが好ましい。

## 【0130】

さらに、実験例 9 の結果より、第 1 の元素 ( ) あるいは第 2 の元素 ( ) の含有量が多いほどキャリア濃度が低下することから、In - Sn - Ge 系の酸化物半導体においてもキャリアキラーとして機能することが確認された。なお、第 1 の元素 ( ) あるいは第 2 の元素 ( ) の添加により移動度も低下するため、 $10 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  以上の移動度を確保するためには、第 1 の元素 ( ) の含有量は 10 原子% 以下、第 2 の元素 ( ) の含有量は 25 原子% 以下であることが好ましい。なお、第 1 の元素 ( ) あるいは第 2 の元素 ( ) の最小含有量は、キャリアキラーとしての効果が確認できる量であれば特に限定されず、1 原子% 以下であってもよい。

40

## 【0131】

(実験例 10)

(サンプル 10 - 1)

In - Sn - Ge - O ターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn 及び Ge の含

50

計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：83原子%、Sn：10原子%、Ge：7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜をスパッタ法で作製した。作製した酸化物半導体薄膜を活性層として図1に示した構造の薄膜トランジスタを作製し、各々のトランジスタ特性（移動度、閾値電圧（ $V_{th}$ ）、PBT S（ $V_{th}$ ）、NBT S（ $V_{th}$ ））を評価した。

【0132】

PBT S（ $V_{th}$ ）は、60の温度下で、+30Vのゲート電圧を60分間印加した後の閾値電圧の変化量とした。

NBT S（ $V_{th}$ ）は、60の温度下で、-30Vのゲート電圧を60分間印加した後の閾値電圧の変化量とした。

成膜条件としては、基板温度は100、スパッタガスはアルゴン及び酸素の混合ガス（酸素含有比率7%）、膜厚は50nmとした。

【0133】

評価の結果、移動度は $44.3 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、閾値電圧（ $V_{th}$ ）は3.6V、PBT S（ $V_{th}$ ）は+0.6V、NBT S（ $V_{th}$ ）は-1.0Vであった。

【0134】

（サンプル10-2）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：73原子%、Sn：20原子%、Ge：7原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜をスパッタ法で作製した。作製した酸化物半導体薄膜を活性層として図1に示した構造の薄膜トランジスタを作製し、各々のトランジスタ特性（移動度、閾値電圧（ $V_{th}$ ）、PBT S（ $V_{th}$ ）、NBT S（ $V_{th}$ ））を評価した。

評価の結果、移動度は $40.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、閾値電圧（ $V_{th}$ ）は3.5V、PBT S（ $V_{th}$ ）は+0.6V、NBT S（ $V_{th}$ ）は-1.4Vであった。

【0135】

（サンプル10-3）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：75原子%、Sn：10原子%、Ge：15原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜をスパッタ法で作製した。作製した酸化物半導体薄膜を活性層として図1に示した構造の薄膜トランジスタを作製し、各々のトランジスタ特性（移動度、閾値電圧（ $V_{th}$ ）、PBT S（ $V_{th}$ ）、NBT S（ $V_{th}$ ））を評価した。

評価の結果、移動度は $37.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、閾値電圧（ $V_{th}$ ）は3.8V、PBT S（ $V_{th}$ ）は+0.7V、NBT S（ $V_{th}$ ）は-0.9Vであった。

【0136】

（サンプル10-4）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：65原子%、Sn：20原子%、Ge：15原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜をスパッタ法で作製した。作製した酸化物半導体薄膜を活性層として図1に示した構造の薄膜トランジスタを作製し、各々のトランジスタ特性（移動度、閾値電圧（ $V_{th}$ ）、PBT S（ $V_{th}$ ）、NBT S（ $V_{th}$ ））を評価した。

評価の結果、移動度は $31.2 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、閾値電圧（ $V_{th}$ ）は4.0V、PBT S（ $V_{th}$ ）は+0.6V、NBT S（ $V_{th}$ ）は-1.0Vであった。

【0137】

（サンプル10-5）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計量に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：70原子%、Sn：10原子%、Ge：20原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜をスパッタ法で作製した。作

10

20

30

40

50

製した酸化物半導体薄膜を活性層として図1に示した構造の薄膜トランジスタを作製し、各々のトランジスタ特性（移動度、閾値電圧（ $V_{th}$ ）、PBT S（ $\Delta V_{th}$ ）、NBTS（ $\Delta V_{th}$ ））を評価した。

評価の結果、移動度は $20.1 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、閾値電圧（ $V_{th}$ ）は $4.1 \text{ V}$ 、PBT S（ $\Delta V_{th}$ ）は $+1.0 \text{ V}$ 、NBTS（ $\Delta V_{th}$ ）は $-0.7 \text{ V}$ であった。

【0138】

（サンプル10-6）

In-Sn-Ge-Oターゲットを用いて、ガラス基板上に、In、Sn及びGeの合計に占める各元素の原子比がそれぞれ、In：60原子%、Sn：20原子%、Ge：20原子%であるIn-Sn-Ge-O系酸化物半導体薄膜をスパッタ法で作製した。作製した酸化物半導体薄膜を活性層として図1に示した構造の薄膜トランジスタを作製し、各々のトランジスタ特性（移動度、閾値電圧（ $V_{th}$ ）、PBT S（ $\Delta V_{th}$ ）、NBTS（ $\Delta V_{th}$ ））を評価した。

評価の結果、移動度は $19.8 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 、閾値電圧（ $V_{th}$ ）は $4.2 \text{ V}$ 、PBT S（ $\Delta V_{th}$ ）は $+0.9 \text{ V}$ 、NBTS（ $\Delta V_{th}$ ）は $-0.6 \text{ V}$ であった。

【0139】

実験例10の結果を表10にまとめて示す。

【0140】

【表10】

No.	組成at%			移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	$V_{th}$ (V)	PBTS ( $\Delta V_{th}$ )	NBTS ( $\Delta V_{th}$ )
	In	Sn	Ge				
10-1	83	10	7	44.3	3.6	0.6	-1.0
10-2	73	20	7	40.2	3.5	0.6	-1.4
10-3	75	10	15	37.2	3.8	0.7	-0.9
10-4	65	20	15	31.2	4.0	0.6	-1.0
10-5	70	10	20	20.1	4.1	1.0	-0.7
10-6	60	20	20	19.8	4.2	0.9	-0.6

【0141】

実験例10の結果より、Ge含有量が7原子%以上であるIn-Sn-Ge系酸化物半導体薄膜を活性層に用いた薄膜トランジスタにおいては、約 $20 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ 以上の高い移動度が得られることが確認された。また、スイッチング動作の信頼性の指標となるPBT S特性およびNBTS特性のいずれについても良好な値であることが確認された。

【0142】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態にのみ限定されるものではなく種々変更を加え得ることは勿論である。

【0143】

例えば以上の実施形態では、いわゆるボトムゲート型（逆スタガ型）のトランジスタを例に挙げて説明したが、トップゲート型（スタガ型）の薄膜トランジスタにも本発明は適用可能である。

【0144】

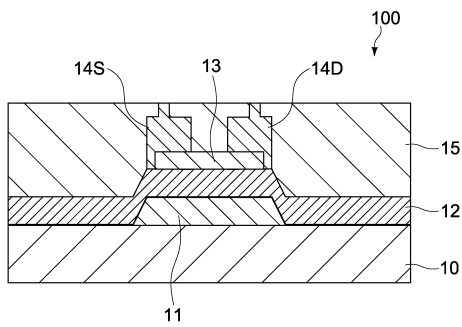
また、上述した薄膜トランジスタは、液晶ディスプレイや有機ELディスプレイ等のアクティブマトリクス型表示パネル用のTF Tとして用いることができる。これ以外に、上記トランジスタは、各種半導体装置あるいは電子機器のトランジスタ素子として用いることができる。

【符号の説明】

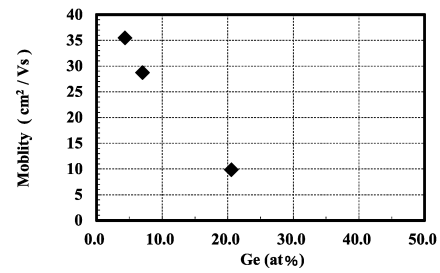
【0145】

- 10 ... 基板
- 11 ... ゲート電極
- 12 ... ゲート絶縁膜
- 13 ... 活性層
- 14 S ... ソース電極
- 14 D ... ドレイン電極
- 15 ... 保護膜

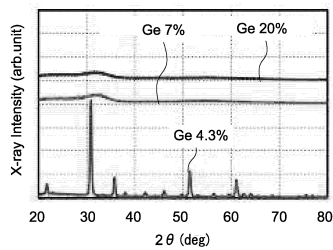
【図1】



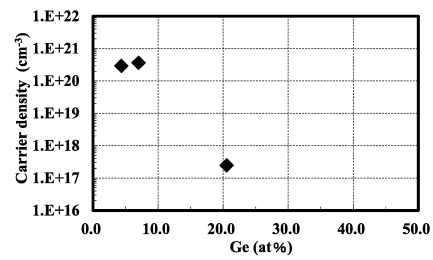
【図3】



【図2】

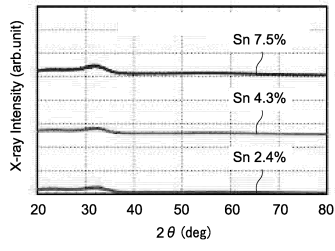


【図4】

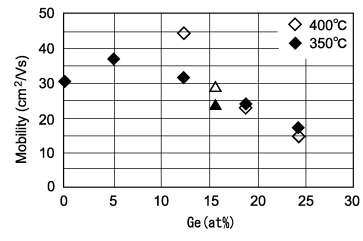




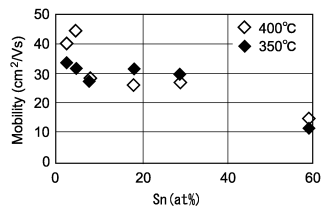
【 図 5 】



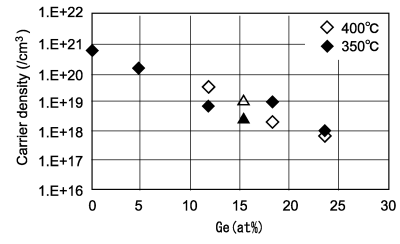
【 図 7 】



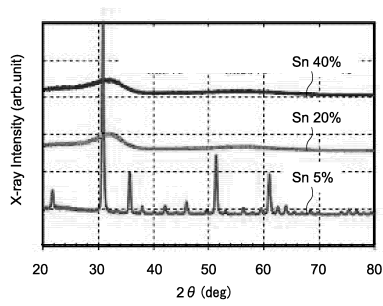
【 図 6 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
C 2 3 C 14/08 D

(72)発明者 小林 大士  
神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 株式会社アルバック内

(72)発明者 小野田 淳吾  
神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 株式会社アルバック内

審査官 岩本 勉

(56)参考文献 特開2013-093561(JP,A)  
特開2013-070010(JP,A)  
国際公開第2018/074083(WO,A1)  
特開2017-054502(JP,A)  
特開2012-033854(JP,A)  
国際公開第2007/058248(WO,A1)  
特開2014-103379(JP,A)  
特開2015-030896(JP,A)  
国際公開第2009/008297(WO,A1)  
米国特許出願公開第2005/0199880(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 2 9 / 7 8 6  
C 2 3 C 1 4 / 0 8  
H 0 1 L 2 1 / 3 3 6  
H 0 1 L 2 1 / 3 6 3