

(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2007-88252

(P2007-88252A)

(43) 公開日 平成19年4月5日(2007.4.5)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/338 (2006.01)	HO 1 L 29/80	5 F 1 0 2
HO 1 L 29/778 (2006.01)		
HO 1 L 29/812 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2005-275897 (P2005-275897)	(71) 出願人	000241463 豊田合成株式会社 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地
(22) 出願日	平成17年9月22日 (2005. 9. 22)	(74) 代理人	100087723 弁理士 藤谷 修
(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成17年度独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 窒化物半導体を用いた低消費電力型高周波デバイスの開発委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願)		(72) 発明者	小崎 正芳 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合成株式会社内
		(72) 発明者	平田 宏治 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合成株式会社内
		F ターム (参考)	5F102 FA01 FA03 GB01 GC01 GD01 GJ02 GK04 GL04 GM04 GM10 GQ01 GS01 GT01 HC01 HC11 HC24

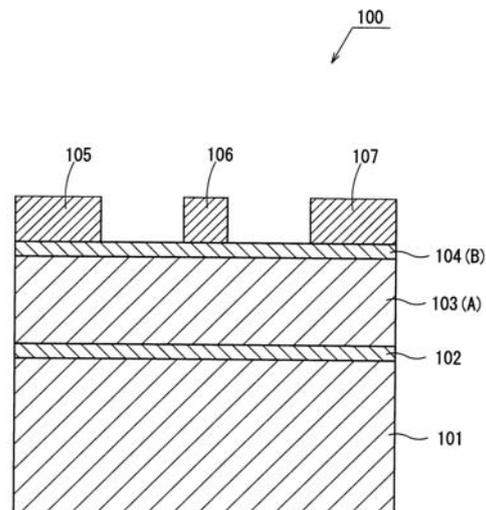
(54) 【発明の名称】 電界効果トランジスタ

(57) 【要約】

【課題】 on抵抗と耐圧性の両特性に優れた電界効果トランジスタを製造すること。

【解決手段】 バッファ層102の上には厚さ約2 μmのアンドープのGaNから成る半導体結晶層103が形成されている。そして、この半導体結晶層103が本発明のチャンネル層Aに相当する。この半導体結晶層103 (チャンネル層A)の上には、本発明のキャリア供給層Bに相当する厚さ約400 ÅのアンドープのAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0.15 ≤ x ≤ 0.20)から成る半導体結晶層104が積層されている。アルミニウム組成比xは、半導体結晶層103との界面からの距離の増大に対して、0.20から0.15まで単調に減少させる。電界効果トランジスタ100では、この様な設定により、良好に抑制されたリーク電流値に基づく高い耐圧性と、良好に抑制されたシート抵抗 (on抵抗) に基づく高い電気伝導性とが、従来にない非常に良い兼ね合いで合理的に両立されている。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

III族窒化物系化合物半導体より成る半導体結晶層を複数層結晶成長させることにより形成される電界効果トランジスタにおいて、

上側の界面またはその近傍にチャンネルが生成消滅されるチャンネル層 A と、

前記界面の上に直接積層された  $Al_x Ga_{1-x}N$  ( $0.45 > x > 0.04$ ) から成るキャリア供給層 B と

を有し、

前記界面の近傍において、

前記キャリア供給層 B のバンドギャップエネルギー  $E_B$  は、

前記チャンネル層 A のバンドギャップエネルギー  $E_A$  よりも大きく、

前記キャリア供給層 B のアルミニウム組成比  $x$  は、

前記界面からの距離に対して略単調に減少していることを特徴とする電界効果トランジスタ。

10

## 【請求項 2】

前記チャンネル層 A は、

窒化ガリウム ( $GaN$ ) の半導体結晶から形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電界効果トランジスタ。

## 【請求項 3】

前記チャンネル層 A は、

無添加の半導体結晶から形成されている

ことを特徴とする請求項 2 に記載の電界効果トランジスタ。

20

## 【請求項 4】

前記キャリア供給層 B の前記界面におけるアルミニウム組成比  $x_1$  は、

$0.15$  以上  $0.40$  以下である

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか 1 項に記載の電界効果トランジスタ。

## 【請求項 5】

前記キャリア供給層 B の前記界面とは反対側のもう一方の界面におけるアルミニウム組成比  $x_2$  は、

$0.05$  以上  $0.20$  以下である

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 の何れか 1 項に記載の電界効果トランジスタ。

30

## 【請求項 6】

前記キャリア供給層 B のアルミニウム組成比  $x$  は、

$0.20$  から  $0.15$  に、前記距離に対して略単調に減少している

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 の何れか 1 項に記載の電界効果トランジスタ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、III族窒化物系化合物半導体の結晶成長によって製造される電界効果トランジスタ（各種の FET や HEMT 等）の構成に関する。

40

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、電界効果トランジスタにおいては、キャリア供給層またはバリア層を  $Al_x Ga_{1-x}N$  から成る半導体結晶層で形成しているが、チャンネル層に対する障壁高さを十分に確保するために、この半導体結晶層のアルミニウム組成比  $x$  は、通常、 $0.20 \sim 0.30$  の間に設定される。そして、この様な設定によって、on 抵抗の小さな電界効果トランジスタが製造されている。

## 【0003】

また、電界効果トランジスタに生じるリーク電流の低減を図るための従来技術としては、下記の特許文献 1 や特許文献 2 などが公知である。

50

【特許文献1】特開2000-277536

【特許文献2】特開2005-183551

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記の設定(0.20 x 0.30)によってon抵抗の小さな電界効果トランジスタを製造する場合、素子(電界効果トランジスタ)の耐圧性を確保することは難しくなる。これは、 $Al_x Ga_{1-x}N$ から成る半導体結晶層において、アルミニウム組成比xを例えば上記などの様に比較的高く設定すると、半導体結晶層の結晶性が劣化し易くなり、その結果、素子に高い電圧を印加した際にゲートリーク電流が通るリークパスが形成され易くなるためだと考えられる。

【0005】

また、上記の特許文献1や特許文献2などの従来技術においては、たとえリーク電流の低減を図ることはできても、例えばキャップ層などの様な付加的な構成要素の導入が必須となるので、素子構造や製造プロセスなどが複雑になり易い。このため、これらの従来技術は、素子の高い生産性を確保する上で必ずしも有利な技術とは言えない。

【0006】

本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、on抵抗と耐圧性の両特性に優れた電界効果トランジスタを製造することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するためには、以下の手段が有効である。

即ち、本発明の第1の手段は、III族窒化物系化合物半導体より成る半導体結晶層を複数層結晶成長させることにより形成される電界効果トランジスタにおいて、上側の界面またはその近傍にチャンネルが生成消滅されるチャンネル層Aと、その界面の上に直接積層された $Al_x Ga_{1-x}N$ ( $0.45 > x > 0.04$ )から成るキャリア供給層Bとを設け、その界面の近傍において、キャリア供給層Bのバンドギャップエネルギー $E_B$ を、チャンネル層Aのバンドギャップエネルギー $E_A$ よりも大きくし、キャリア供給層Bのアルミニウム組成比xを、上記の界面からの距離に対して略単調に減少させることである。

【0008】

ただし、界面からの距離に対してアルミニウム組成比xを略単調減少させる設定は、界面からの距離の増大に対して段階的に行っても連続的に行っても良い。また、その変動には意図しない若干の揺らぎ(微小振動など)が含まれていても良い。また、上記のチャンネルの生成消滅は、ゲート電圧によって制御可能なものである。

なお、上記のチャンネル層Aは、 $GaN$ 、または $InGaN$ などから形成することができる。

【0009】

また、本発明の第2の手段は、上記の第1の手段において、上記のチャンネル層Aを窒化ガリウム( $GaN$ )の半導体結晶から形成することである。

また、本発明の第3の手段は、上記の第2の手段において、上記のチャンネル層Aを無添加の半導体結晶から形成することである。

【0010】

また、本発明の第4の手段は、上記の第1乃至第3の何れか1つの手段において、キャリア供給層Bの上記の界面におけるアルミニウム組成比x1を0.15以上0.40以下にすることである。

ただし、より望ましくは、上記のアルミニウム組成比x1は、0.19以上0.25以下が良い。

【0011】

また、本発明の第5の手段は、上記の第1乃至第4の何れか1つの手段において、キャリア供給層Bの上記の界面とは反対側のもう一方の界面におけるアルミニウム組成比x2

を 0.05 以上 0.20 以下にすることである。

ただし、より望ましくは、上記のアルミニウム組成比  $x$  は、0.13 以上 0.17 以下が良い。

#### 【0012】

また、本発明の第 6 の手段は、上記の第 1 乃至第 5 の何れか 1 つの手段において、キャリア供給層 B のアルミニウム組成比  $x$  を 0.20 から 0.15 に、上記の距離に対して略単調に減少させることである。

以上の本発明の手段により、前記の課題を効果的、或いは合理的に解決することができる。

#### 【発明の効果】

10

#### 【0013】

以上の本発明の手段によって得られる効果は以下の通りである。

即ち、本発明の第 1 の手段によれば、キャリア供給層 B のアルミニウム組成比  $x$  がチャンネル層 A との界面から遠ざかるにつれて単調に低下するので、チャンネル層 A に対するキャリア供給層 B の障壁高さを一定以上に確保しつつ、しかもキャリア供給層 B のもう一方の界面付近においては、アルミニウム組成比  $x$  の低減作用によって、キャリア供給層 B の結晶性をも一定以上に高く確保することができる。

したがって、本発明の第 1 の手段によれば、 $on$  抵抗と耐圧性の両特性に優れた電界効果トランジスタを製造することができる。

#### 【0014】

20

また、本発明の第 2 の手段によれば、チャンネル層 A が窒化ガリウム (GaN) 結晶から形成されるので、チャンネル層 A がキャリア供給層 B に対して供する結晶成長面は良質かつ平坦になり易い。このため、本発明の第 2 の手段によれば、素子の  $on$  抵抗を低く抑制することができる。

#### 【0015】

また、本発明の第 3 の手段によれば、チャンネル層 A が無添加の窒化ガリウム (GaN) 結晶から形成されるので、チャンネル層 A がキャリア供給層 B に対して供する結晶成長面は、更により良質かつ平坦になり易い。このため、本発明の第 3 の手段によれば、更に、素子の  $on$  抵抗を低く抑制することができる。

#### 【0016】

30

また、本発明の第 4 の手段によれば、チャンネル層 A に対するキャリア供給層 B の障壁高さを大きく確保することができるので、素子の  $on$  抵抗をより低く減少させることができる。

#### 【0017】

また、本発明の第 5 の手段によれば、キャリア供給層 B の結晶品質を高く確保することができるので、これによってリーク電流をより低く減少させることができる。

#### 【0018】

また、本発明の第 6 の手段によれば、チャンネル層 A に対するキャリア供給層 B の障壁高さを大きく確保できると同時に、キャリア供給層 B の結晶品質を高く確保することができるので、素子の  $on$  抵抗とリーク電流を同時に非常に効果的に低減させることができる。

40

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0019】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

ただし、本発明の実施形態は、以下に示す個々の実施例に限定されるものではない。

#### 【実施例 1】

#### 【0020】

図 1 は、本実施例 1 の電界効果トランジスタ 100 の断面図である。この電界効果トランジスタ 100 は、結晶成長によって III 族窒化物系化合物半導体を順次積層することにより形成した半導体素子であり、その結晶成長基板 101 は、厚さ約 400  $\mu\text{m}$  の炭化シ

50

リコン (SiC) から形成されている。この結晶成長基板 101 の上には、厚さ約 200 nm の AlN から成るバッファ層 102 が形成されている。

【0021】

そして、このバッファ層 102 の上には厚さ約 2 μm のアンドープの GaN から成る半導体結晶層 103 が形成されている。そして、この半導体結晶層 103 が本発明のチャネル層 A に相当する。また、この半導体結晶層 103 (チャネル層 A) の上には、本発明のキャリア供給層 B に相当する厚さ約 400 のアンドープの  $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0.15 < x < 0.20$ ) から成る半導体結晶層 104 が積層されている。

このアルミニウム組成比  $x$  は、半導体結晶層 103 との界面からの距離の増大に対して、0.20 から 0.15 まで単調に減少させる。

10

【0022】

この半導体結晶層 104 (本発明のキャリア供給層 B) の膜厚 (約 400) は、ゲート ON 時に両半導体結晶層 A, B の界面近傍に生成されるチャネル層と、下記の個々のオーミック電極 (105, 107) との間におけるキャリア (電子) のトンネル効果が、それぞれ確実かつ良好に発現する様に設定されている。

【0023】

また、符号 105, 106, 107 はそれぞれ、ソース電極 (オーミック電極)、ゲート電極 (ショットキー電極)、ドレイン電極 (オーミック電極) を示している。各オーミック電極 (ソース電極 105 とドレイン電極 107) は、何れもチタン (Ti) から成る膜厚約 100 の薄い金属層を蒸着によって積層し、その上にアルミニウム (Al) から成る膜厚約 3000 の金属層を更に蒸着にて積層したものである。これらのオーミック電極は、1 秒未満のフラッシュアニール処理による約 700 ~ 900 の熱処理によって、良好に密着及び合金化されている。他方、ゲート電極 106 は、約 100 のニッケル (Ni) から成る金属層を蒸着によって積層し、その上に、金 (Au) から成る金属層を更に約 3000 蒸着して形成したショットキー電極である。

20

【0024】

以下、上記の電界効果トランジスタ 100 の製造方法を、本発明の特徴部分である半導体結晶層 104 (キャリア供給層 B) を中心に説明する。

上記の電界効果トランジスタ 100 の各半導体結晶層 (半導体結晶層 102, 103, 104) は何れも、有機金属化合物気相成長法 (MOVPE) による気相成長により結晶成長されたものである。ここで用いられたガスは、キャリアガス ( $H_2$  又は  $N_2$ ) と、アンモニアガス ( $NH_3$ ) と、トリメチルガリウム ( $Ga(CH_3)_3$ ) と、トリメチルアルミニウム ( $Al(CH_3)_3$ ) などである。

30

ただし、これらの半導体結晶層を結晶成長させる方法としては、上記の有機金属化合物気相成長法 (MOVPE) の他にも、分子線気相成長法 (MBE)、ハイドライド気相成長法 (HVPE) 等が有効である。

【0025】

なお、各半導体結晶層は、以下の結晶成長条件に基づいて結晶成長させた。

1. バッファ層 102

- (1) 結晶成長温度  $T_0$  : 1140 [ ]  
 (2) 積層構成 : 単層 (膜厚約 200 nm の AlN)

40

【0026】

2. チャネル層 A (半導体結晶層 103)

- (1) 結晶成長温度  $T_A$  : 1140 [ ]  
 (2) 積層構成 : 単層 (膜厚約 2 μm の GaN)

【0027】

3. キャリヤ供給層 B (半導体結晶層 104)

- (1) 結晶成長温度  $T_B$  : 1000 [ ]  
 (2) 積層構成 : 複層 (6 層)  
 第 1 層 : 膜厚約 70 , アルミニウム組成比  $x = 0.20$

50

第2層	:	膜厚約70	,	アルミニウム組成比 $x = 0.19$
第3層	:	膜厚約60	,	アルミニウム組成比 $x = 0.18$
第4層	:	膜厚約60	,	アルミニウム組成比 $x = 0.17$
第5層	:	膜厚約70	,	アルミニウム組成比 $x = 0.16$
第6層	:	膜厚約70	,	アルミニウム組成比 $x = 0.15$

## 【0028】

図2にこの電界効果トランジスタ100のゲートリーク電流の特性を示す。この図2では、一番下のグラフi)が、上記の電界効果トランジスタ100のゲートリーク電流の特性を示しており、その上のグラフii)は、キャリア供給層Bを単層の膜厚約400の  $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$  から成る半導体結晶層から形成した別のサンプルS2の特性を示している。また、グラフiii)は、キャリア供給層Bを単層の膜厚約400の  $Al_{0.20}Ga_{0.80}N$  から成る半導体結晶層から形成した他のサンプルS3の特性を示している。勿論、その他の構成要件については、S2, S3の何れのサンプルにおいても、上記の電界効果トランジスタ100と同等にした。

10

## 【0029】

このリーク電流の測定結果より、上記の電界効果トランジスタ100では、キャリア供給層Bを膜厚約400の  $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$  から成る単層の半導体結晶層から形成したサンプルS2の場合と比較して、同等以上にリーク電流の抑制効果が得られていることが分かる。また、上記の電界効果トランジスタ100では、キャリア供給層Bを膜厚約400の  $Al_{0.20}Ga_{0.80}N$  から成る単層の半導体結晶層から形成した上記のサンプルS3の場合と比較して、リーク電流が1/100以下と極めて効果的に抑制されていることが分かる。

20

## 【0030】

また、上記の電界効果トランジスタ100とサンプルS2, S3について、チャンネル層Aとキャリア供給層Bの界面におけるシート抵抗を測定したところ、以下の測定結果を得た。

(シート抵抗)

電界効果トランジスタ100	:	約600 [ / ]
サンプルS2	:	約700 [ / ]
サンプルS3	:	約500 [ / ]

30

## 【0031】

以上の実験結果より、電界効果トランジスタ100においては、良好に抑制されたリーク電流値に基づく高い耐圧性と、良好に抑制されたシート抵抗(on抵抗)に基づく高い電気伝導性とが、従来にない非常に良い兼ね合いで、とても合理的に両立されていることが分かる。言い換えれば、図2のグラフi)の様にリーク電流が低く抑制された電界効果トランジスタにおいて、約600 [ / ]程度のシート抵抗を達成することは、従来は必ずしも容易ではなかった。

## 【0032】

また、上記のキャリア供給層Bにおける複層構造は、上記の6層(第1層~第6層)の結晶成長時におけるアルミニウム供給ガス(トリメチルアルミニウム( $Al(CH_3)_3$ ))の供給量を僅かに調整するだけで実現することができるものであるから、例えばこの様にして電界効果トランジスタ100を製造する場合には、従来と同等以上の生産性を確保することも容易である。

40

【産業上の利用可能性】

## 【0033】

本発明は、III族窒化物系化合物半導体の結晶成長によって製造可能な電界効果トランジスタ(各種のFETやHEMT等)の設計や製造に大いに有用なものである。

【図面の簡単な説明】

## 【0034】

【図1】実施例1の電界効果トランジスタ100の断面図

50

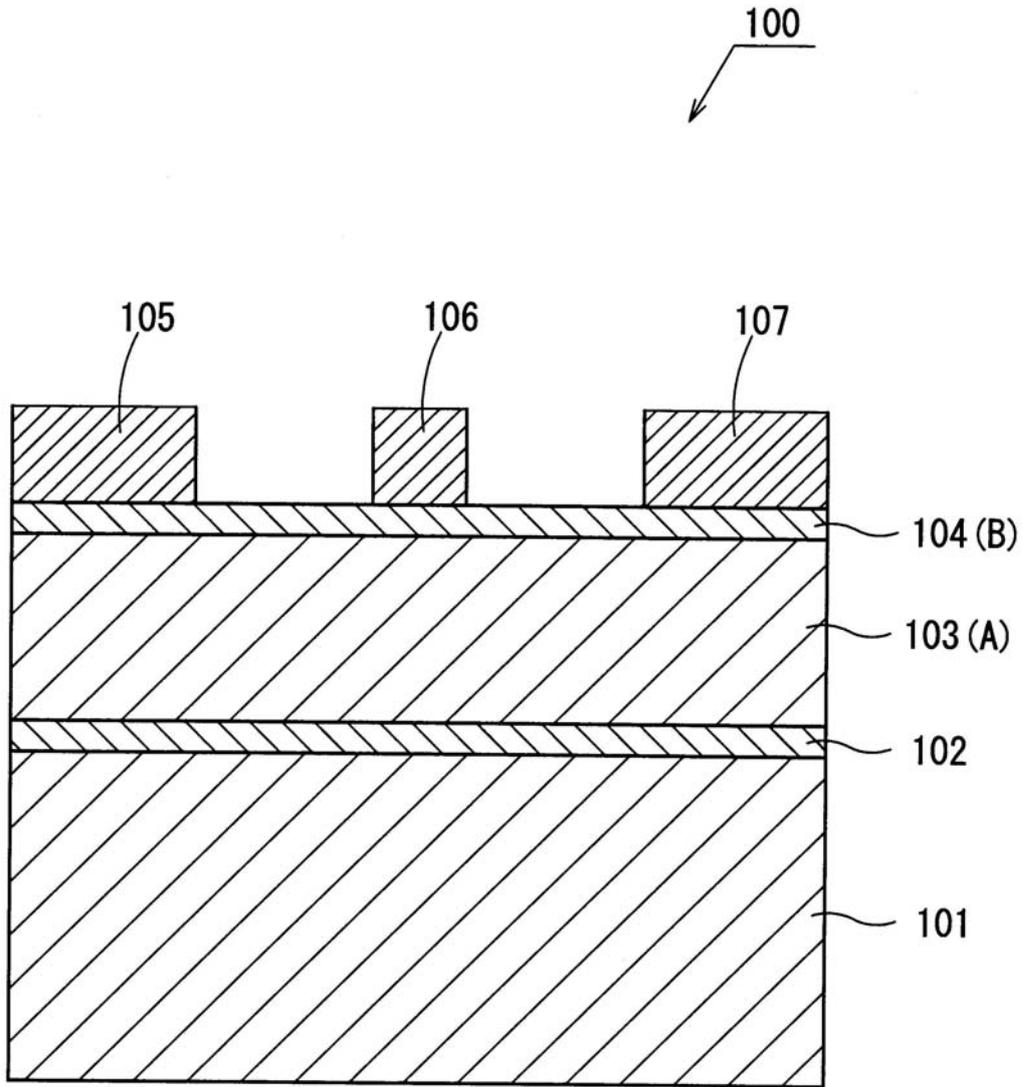
【図2】電界効果トランジスタ100のリーク電流特性を示すグラフ

【符号の説明】

【0035】

- 100 : 電界効果トランジスタ
- 101 : 結晶成長基板 (SiC)
- 102 : バッファ層 (AlN)
- 103 : チャネル層A (GaNから成る半導体結晶層)
- 104 : キャリヤ供給層B (AlGaNから成る半導体結晶層)
- 105 : ソース電極 (オーミック電極)
- 106 : ゲート電極 (ショットキー電極)
- 107 : ドレイン電極 (オーミック電極)

【 図 1 】



【 図 2 】

