

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6239017号  
(P6239017)

(45) 発行日 平成29年11月29日(2017.11.29)

(24) 登録日 平成29年11月10日(2017.11.10)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/205 (2006.01)

H O 1 L 21/205

C 2 3 C 16/34 (2006.01)

C 2 3 C 16/34

H O 1 L 21/338 (2006.01)

H O 1 L 29/80

H

H O 1 L 29/778 (2006.01)

C 3 O B 29/38

D

H O 1 L 29/812 (2006.01)

請求項の数 6 (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-27459 (P2016-27459)  
 (22) 出願日 平成28年2月16日(2016.2.16)  
 (65) 公開番号 特開2016-195241 (P2016-195241A)  
 (43) 公開日 平成28年11月17日(2016.11.17)  
 審査請求日 平成29年1月26日(2017.1.26)  
 (31) 優先権主張番号 特願2015-72914 (P2015-72914)  
 (32) 優先日 平成27年3月31日(2015.3.31)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

早期審査対象出願

前置審査

(73) 特許権者 507182807  
 クアーズテック株式会社  
 東京都品川区大崎二丁目11番1号  
 (74) 代理人 100194124  
 弁理士 吉川 まゆみ  
 (74) 代理人 100131026  
 弁理士 藤木 博  
 (72) 発明者 大森 典子  
 神奈川県秦野市曾屋30番地 クアーズテック株式会社 秦野事業所 技術開発センター内  
 (72) 発明者 大石 浩司  
 神奈川県秦野市曾屋30番地 クアーズテック株式会社 秦野事業所 技術開発センター内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体基板

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

単結晶基板の一主面上に形成された第1層と、この第1層の上に形成された窒化物半導体層とを備えた窒化物半導体基板であって、

前記窒化物半導体基板の一主面上の直径部で劈開した断面から径方向に任意の3ヶ所を選択し、それぞれ前記第1層と前記窒化物半導体層との界面を径方向に少なくとも500nmの幅を取って観察した時に、前記単結晶基板から前記窒化物半導体層に向かう厚さ方向において、前記単結晶基板の一主面を基準とした前記第1層の凸部頂部の最大高さと、凹部底部の最小高さとの差は、前記3ヶ所の平均値で6nm以上13nm以下の範囲内であり、かつ、凸部及び凹部が鈍角であり、

前記3ヶ所の断面において、隣接する凸部頂部と凹部底部との径方向の間隔は、前記3ヶ所の平均値で10nm以上21nm以下の範囲内である

ことを特徴とする窒化物半導体基板。

【請求項2】

前記第1層の最大高さの凸部頂部と、最小高さの凹部底部との間の差は、前記3ヶ所の平均値で6nm以上8nm以下の範囲内であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体基板。

【請求項3】

前記第1層はAlNよりなることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の窒化物半導体基板。

## 【請求項 4】

前記第 1 層の (002) 面の X 線回折におけるロッキングカーブの半値幅が、 $1000 \text{ arc sec}$  以上  $1900 \text{ arc sec}$  以下の範囲内であることを特徴とする請求項 3 記載の窒化物半導体基板。

## 【請求項 5】

前記単結晶基板は Si 単結晶基板よりなり、前記第 1 層の Si 濃度は、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$  以上  $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  以下の範囲内であることを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 記載の窒化物半導体基板。

## 【請求項 6】

前記単結晶基板は、(111) 面又は (0001) 面から  $0.15^\circ$  以上  $1^\circ$  以下の範囲内のオフ角度が形成された一主面を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 に記載の窒化物半導体基板。

10

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、単結晶基板の一主面上に形成された窒化物半導体層を備えた窒化物半導体基板に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

GaN (窒化ガリウム) 等の窒化物半導体は、高い電子移動度を有しており、例えば、高電子移動度トランジスタ (HEMT) 等のパワー系トランジスタに好適である。

20

## 【0003】

この高電子移動度トランジスタは、例えば、異種基板の上に窒化物半導体層を形成した窒化物半導体基板を用いて作製される。窒化物半導体基板は、例えば、Si (ケイ素)、SiC (炭化ケイ素)、又は、サファイアよりなる単結晶基板の一主面上に、AlN (窒化アルミニウム)、SiC、又は、SiN (窒化ケイ素) よりなる初期層を形成し、この初期層の上に GaN 等の窒化物半導体層を形成した構造を有している。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

30

【特許文献 1】特開 2013 - 12767 号公報

【特許文献 2】特開 2012 - 15304 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

この高電子移動度トランジスタ等で求められる電気特性としては、例えば、耐圧の向上、リーク電流の低減、及び、電流コラプスの改善がある。これらの特性をバランス良く向上させるための技術が以前から開発されているが、より簡単な構造で、より効果的にこれらの性能を向上させることが求められている。

## 【0006】

40

本発明は、このような問題に基づきなされたものであり、第 1 の目的は、リーク電流を低減し、耐圧を向上させることができる窒化物半導体基板を提供することを目的とする。

## 【0007】

また、本発明の第 2 の目的は、更に、電流コラプスも改善することができる窒化物半導体基板を提供することを目的とする。

## 【0008】

なお、特許文献 1 には、単結晶基板の上に形成された AlN 層と、この AlN 層の上に形成された窒化物半導体のバッファ層とを有し、単結晶基板と AlN 層間界面よりも AlN 層とバッファ層間界面の方が凹凸が大きく、AlN 層の表面のスキューネス  $R_s k$  が正である化合物半導体装置が記載されている。この特許文献 1 は、AlN 層とバッファ層と

50

の界面構造に着目したものはあるが、単結晶基板とAlN層間界面よりもAlN層とバッファ層間界面の方の凹凸を大きくすることを特徴としており、より平坦とすることを特徴とする本願発明とは考え方が異なっている。また、特許文献1は、高周波信号遮断との回復を早くすることを目的としており、リーク電流を低減させることを目的とする本願発明とは目的も異なっている。

#### 【0009】

また、特許文献2には、Si基板の主面に形成されたAlN層と、このAlN層の上に形成されたGaN層とを有し、AlN層の(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅が2000sec以下である半導体装置が記載されている。しかしながら、特許文献2では、AlN層の(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅をより小さくするものであるのに対して、本願発明では、半値幅を所定の範囲内とするものである点で異なっている。

10

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0010】

本発明の窒化物半導体基板は、単結晶基板の一主面上に形成された第1層と、この第1層の上に形成された窒化物半導体層とを備えたものであって、窒化物半導体基板の一主面上の直径部で劈開した断面から径方向に任意の3ヶ所を選択し、それぞれ第1層と窒化物半導体層との界面を径方向に少なくとも500nmの幅を取って観察した時に、単結晶基板から窒化物半導体層に向かう厚さ方向において、単結晶基板の一主面を基準とした第1層の凸部頂部の最大高さと、凹部底部の最小高さとの差は、3ヶ所の平均値で6nm以上15nm以下の範囲内であり、3ヶ所の断面において、隣接する凸部頂部と凹部底部との径方向の間隔は、前記3ヶ所の平均値で10nm以上25nm以下の範囲である。

20

#### 【発明の効果】

#### 【0011】

本発明によれば、第1層の凸部頂部の最大高さと凹部底部の最小高さとの差を3ヶ所の平均値で6nm以上15nm以下とするようにし、かつ、隣接する凸部頂部と凹部底部との径方向の間隔を前記3ヶ所の平均値で10nm以上25nm以下とするようにしたので、第1層の表面が平坦となり、第1層の上に形成される窒化物半導体層に対して転位が斜めに進展するようにすることができる。このため、転位は途中で屈曲して転位同士が合体し、上に伸びる転位進展を減少させることができる。よって、リーク電流を低減させることができ、耐圧を向上させることができる。

30

#### 【0012】

また、第1層をAlNにより構成し、(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅を1900arcsec以下とするようにすれば、第1層に存在する転位が少なくなり、窒化物半導体層に伝搬する転位を少なくすることができる。よって、リーク電流をより低減させることができる。更に、(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅を1000arcsec以上とするようにすれば、第1層に存在する転位により格子不整合を緩和することができ、窒化物半導体基板の反りを低減することができる。

40

#### 【0013】

加えて、第1層をAlNにより構成し、Si濃度を $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下の範囲内とするようにすれば、電流コラプスの悪化をより効果的に抑制することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0014】

【図1】本発明の一実施の形態に係る窒化物半導体基板の構成を表す図である。

【図2】図1に示した窒化物半導体基板の一部を拡大して表す図である。

【図3】本発明の実施例1における窒化物半導体基板の断面構造を表す走査透過電子顕微鏡(STEM; 以下、STEMと表記する)像である。

【図4】図3に示した窒化物半導体基板の断面構造を縮小して表すSTEM像である。

50

【図 5】図 4 に示した窒化物半導体基板の断面構造において転位線を強調して示した模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0016】

図 1 は、本発明の一実施の形態に係る窒化物半導体基板 1 の構成を表わすものである。図 2 は、図 1 において破線丸印で示した部分を拡大して表すものである。なお、図 1 及び図 2 は構造を概念的に表したものであり、実際の構造とは寸法等が異なっている。

【0017】

この窒化物半導体基板 1 は、例えば、単結晶基板 10 の一主面上に形成された第 1 層 20 と、この第 1 層 20 の上に形成された窒化物半導体層 30 とを備えている。この窒化物半導体基板 1 は、高電子移動度トランジスタ等のパワー系トランジスタに好ましく用いられるものであり、図 1 では、高電子移動度トランジスタに用いられる場合の一構成例を示している。

【0018】

単結晶基板 10 は、窒化物半導体とは異なる材料により構成されたいわゆる異種基板により構成されている。単結晶基板 10 としては、例えば、Si 単結晶基板、六方晶 SiC 基板、Si 単結晶基板に立方晶 SiC 層が形成された基板、又は、サファイア基板が挙げられる。中でも、Si 単結晶基板を用いるようにすれば、大口径化や低コスト化を図ることができ、また、不純物濃度や酸素濃度を変更することにより、適切かつ精度良く比抵抗及び硬さを調整することができるので好ましい。Si 単結晶基板には、公知の半導体用の基板を広く適用することができる。結晶育成方法、面方位、酸素濃度、不純物濃度、PN タイプ、面粗さ、厚さ等の各仕様は、設計される窒化物半導体基板 1 の要求事項に応じて適宜設定することができる。

【0019】

また、単結晶基板 10 としては、例えば、(111) 面又は(0001) 面から  $0.15^\circ$  以上  $1^\circ$  以下の範囲内のオフ角が形成された一主面を有するものが好ましい。例えば、Si 単結晶基板であれば、(111) 面から  $0.15^\circ$  以上  $1^\circ$  以下の範囲内のオフ角が形成された一主面を有するものが好ましく、六方晶 SiC 基板又は Si 単結晶基板に立方晶 SiC 層が形成された基板であれば、(0001) 面から  $0.15^\circ$  以上  $1^\circ$  以下の範囲内のオフ角が形成された一主面を有するものが好ましい。

【0020】

単結晶基板 10 の一主面がオフ角を有していることにより、オフ角を有していない場合に比べて、ステップの規則性が保持され、平坦性が良好な第 1 層 20 を形成することができるからである。また、一方で、オフ角が大きすぎると、大きなステップ段差の影響により、この平坦性が損なわれてしまうからである。そして、上記のように、(111) 面又は(0001) 面から  $0.15^\circ$  以上  $1^\circ$  以下の範囲内のオフ角であれば、後述する本発明の特徴的な、平坦性の高い第 1 層 20 の凹凸形状を、より効果的に形成することが可能となる。

【0021】

第 1 層 20 は、単結晶基板 10 の一主面に接してエピタキシャル成長により形成されている。第 1 層 20 は、AlN、SiC、又は、SiN により構成されることが好ましい。中でも、Si 単結晶基板の上に、AlN よりなる第 1 層 20 を形成するようにすれば、その上に良好な窒化物半導体層 30 を形成することができるので、より好ましい。

【0022】

第 1 層 20 の窒化物半導体層 30 の側の表面は、平坦であることが好ましい。具体的には、窒化物半導体基板 1 の一主面上の直径部で劈開した断面から径方向に任意の 3ヶ所を選択し、それぞれ第 1 層 20 と窒化物半導体層 30 との界面を径方向に少なくとも 500 nm の幅を取って観察した時に、単結晶基板 10 から窒化物半導体層 30 に向かう厚さ方

10

20

30

40

50

向において、単結晶基板 10 の一主面を基準とした第 1 層 20 の凸部頂部 21 の最大高さ T1 と、凹部底部 22 の最小高さ T2 との差 d は、3 ヶ所の平均値で 6 nm 以上 15 nm 以下の範囲内となっている。また、この 3 ヶ所の断面において、隣接する凸部頂部 21 と凹部底部 22 との径方向の間隔 L は、前記 3 ヶ所の平均値で 10 nm 以上 25 nm 以下の範囲となっている。

#### 【0023】

ここで、「窒化物半導体基板 1 の一主面上の直径部で劈開した断面から径方向に任意の 3 ヶ所を選択し」というのは、例えば、一主面の直径上において、中心部及び両外周端から 10 mm 内側の計 3 ヶ所を選択することが好適である。もちろん、これら以外の箇所を選択してもよく、更には選択する数を 3 ヶ所以上に増やしてもよい。

10

#### 【0024】

上記で選択した箇所の断面の観察では、単結晶基板 10 との界面を含み、かつ、この第 1 層 20 の上に形成された窒化物半導体層 30 の一部が含まれるように厚さ方向を確保することが好ましい。そして、本発明の観察において、径方向というのは、図 2 に示すように、単結晶基板 10 と第 1 層 20 との界面を基準面 K とし、この基準面 K を断面から見た線と平行の方向を径方向として取り扱う。

#### 【0025】

「径方向に少なくとも 500 nm の幅を取って観察」というのは、上記の通り定めた径方向に沿って、任意の点から 500 nm の幅を取って観察範囲とするものである。この幅は、サンプリングのバラツキを考慮して、少なくとも 500 nm 確保する。もちろん、これ以上の幅で観察してもよい。

20

#### 【0026】

なお、観察には、透過電子顕微鏡 (TEM; 以下、TEM と表記する)、STEM、走査電子顕微鏡 (SEM; 以下、SEM と表記する)、原子間力顕微鏡 (AFM; 以下、AFM と表記する)、その他の高倍率での観察が可能な手段を、適宜用いることが可能である。

#### 【0027】

このように第 1 層 20 の凸部頂部 21 の最大高さ T1 と、凹部底部 22 の最小高さ T2 との差 d、及び、隣接する凸部頂部 21 と凹部底部 22 との径方向の間隔 L を規定するのは、例えば、第 1 層 20 の表面に 15 nm を超える大きさでかつ鋭角な凸部及び凹部が存在すると、その凸部頂部 21 あるいは凹部底部 22 の少なくともいずれかを起点として、転位が積層方向に進展し、上方まで転位が進み、貫通転位となりやすいからである。この窒化物半導体基板 1 では、例えば、凸部及び凹部が 15 nm 以内の大きさでかつ鈍角であるので、第 1 層 20 の表面は平坦であり、第 1 層 20 の上に形成される窒化物半導体層 30 に対して転位が斜めに進展し、途中で屈曲して転位同士が合体し、上に伸びる転位進展を減少させることができるようになっている。

30

#### 【0028】

第 1 層 20 の凸部頂部 21 の最大高さ T1 と、凹部底部 22 の最小高さ T2 との差 d は、3 ヶ所の平均値で 6 nm 以上 8 nm 以下の範囲内であればより好ましい。この差 d が 3 ヶ所の平均値で 6 nm よりも小さくなるように製造すると、転位が積層方向に対して斜めに進展することが難しくなり、6 nm 以上であっても、貫通転位の発生を抑制することができるためである。ここで、第 1 層 20 の凸部頂部 21 の最大高さ T1 及び凹部底部 22 の最小高さ T2 は、基準面 K からの高さである。

40

#### 【0029】

なお、隣接する凸部頂部 21 と凹部底部 22 との径方向の間隔 L が、前記 3 ヶ所の平均値で 25 nm を超えると、特に気相成長法においては、隣接する凸部頂部 21 と凹部底部 22 との間に、新たな凸部または凹部が発生する確率が高くなる。すなわち、前記差 d を小さく保ちつつ前記間隔 L を大きくすることは、実用的ではないので、前記間隔 L は 25 nm 以下とすることが好ましい。

#### 【0030】

50

また、第1層20は、AlNにより構成される場合には、(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅が $1000 \text{ arc sec}$ 以上 $1900 \text{ arc sec}$ 以下の範囲内であることが好ましく、 $1300 \text{ arc sec}$ 以上 $1700 \text{ arc sec}$ 以下の範囲内とすればより好ましい。(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅を $1900 \text{ arc sec}$ 以下、更には、 $1700 \text{ arc sec}$ 以下とするようにすれば、第1層20に存在する転位が少なくなり、窒化物半導体層30に伝搬する転位を少なくすることができるからである。一方、(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅を $1000 \text{ arc sec}$ 以上、更には、 $1300 \text{ arc sec}$ 以上とするようにすれば、第1層20に存在する転位により、単結晶基板10と窒化物半導体層30との熱膨張係数の差で発生する応力が分散されて、格子不整合を緩和することができ、窒化物半導体基板1の反りを低減することができるからである。

10

#### 【0031】

更に、第1層20は、AlNにより構成される場合には、Si濃度が $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下の範囲内であることが好ましい。AlN中のSi濃度が高いと、AlN中のSi、又は、AlN中にSiが存在することでその近傍に発生する欠陥に、自由電子がトラップされ、これが電流コラプス悪化の原因となると考えられるからである。これは単結晶基板10にSi単結晶基板を用いる場合に、特に有効である。

#### 【0032】

なお、上記Si濃度は低い方が好ましいが、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ より低い値は、一般的に用いられる元素の測定手法(例えば、二次イオン質量分析法(SIMS; 以下、SIMSと表記する))の測定下限値であり、また、このようなSi濃度を、例えば有機金属気相成長(MOCVD; 以下、MOCVDと表記する)法において実現することも実用的でない。これらを考慮すると、Si濃度は $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上でよいが、そこまで低くなくても、 $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上であればよい。

20

#### 【0033】

第1層20の厚さは、例えば、 $80 \text{ nm}$ 以上 $500 \text{ nm}$ 以下の範囲内であることが好ましい。 $80 \text{ nm}$ よりも薄いと、第1層20の上に形成する窒化物半導体層30の結晶性が低下してリーク電流が増加してしまい、 $500 \text{ nm}$ よりも厚いと、クラックが発生してしまう恐れがあるからである。より好ましい厚さは、 $120 \text{ nm}$ 以上 $200 \text{ nm}$ 以下の範囲内である。

30

#### 【0034】

窒化物半導体層30は、第1層20の上にエピタキシャル成長により形成されている。窒化物半導体層30の層構造は、目的に応じて適宜設計される。一例としては、図1に示したように、窒化物半導体層30は、第1層20の上に形成された $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) よりなる第2層31と、第2層31の上に形成され、AlN層とGaN層とを交互に繰り返し積層したマルチレイヤー層よりなる第3層32と、第3層32の上に形成されたGaNよりなる第4層33と、第4層33の上に形成されたGaNよりなる活性層34と、活性層34の上に形成された $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) よりなる電子供給層35と、電子供給層35の上に形成されたGaNよりなるキャップ層36とを備えている。

40

#### 【0035】

この窒化物半導体基板1は、例えば、単結晶基板10の上に、MOCVD法により第1層20及び窒化物半導体層30をエピタキシャル成長させることにより形成することができる。その際、温度、原料の種類、流量、及び、供給時間等を調整することにより、第1層20の構造を制御する。例えば、第1層20を成長温度が異なる2段階以上の複数段階に分けて積層するようにしてもよい。

#### 【0036】

このように本実施の形態によれば、第1層20の凸部頂部21の最大高さT1と凹部底

50

部 2 2 の最小高さ T 2 との差 d を 3 ヶ所の平均値で 6 nm 以上 15 nm 以下とするようにし、かつ、隣接する凸部頂部 2 1 と凹部底部 2 2 との径方向の間隔 L を前記 3 ヶ所の平均値で 10 nm 以上 25 nm 以下とするようにしたので、第 1 層 2 0 の表面が平坦となり、第 1 層 2 0 の上に形成される窒化物半導体層 3 0 に対して転位が斜めに進展することができる。このため、転位は途中で屈曲して転位同士が合体し、上に伸びる転位進展を減少させることができる。よって、リーク電流を低減させることができ、耐圧も向上させることができる。

#### 【 0 0 3 7 】

また、第 1 層 2 0 を AlN により構成し、( 0 0 2 ) 面の X 線回折におけるロッキングカーブの半値幅を  $1900 \text{ arc sec}$  以下とするようにすれば、第 1 層 2 0 に存在する転位が少なくなり、窒化物半導体層 3 0 に伝搬する転位を少なくすることができる。よって、リーク電流をより低減させることができる。更に、( 0 0 2 ) 面の X 線回折におけるロッキングカーブの半値幅を  $1000 \text{ arc sec}$  以上とするようにすれば、第 1 層 2 0 に存在する転位により格子不整合を緩和することができ、窒化物半導体基板 1 の反りを低減することができる。

#### 【 0 0 3 8 】

加えて、第 1 層 2 0 を AlN により構成し、Si 濃度を  $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$  以上  $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  以下の範囲内とするようにすれば、電流コラプスの悪化をより効果的に抑制することができる。

#### 【実施例】

#### 【 0 0 3 9 】

##### ( 実施例 1 )

図 1 に示した窒化物半導体基板 1 を以下の工程により作製した。まず、単結晶基板 1 0 として、直径 6 インチ、比抵抗  $0.01 \text{ cm}$ 、基板中央 1 点での厚さ  $625 \mu\text{m}$ 、P タイプ、( 1 1 1 ) 面から  $0.2^\circ$  のオフ角度が形成された一主面を有する Si 単結晶基板を用意した。次いで、この単結晶基板 1 0 を MOCVD 装置にセットし、原料として、トリメチルガリウム ( T M G )、トリメチルアルミニウム ( T M A )、 $\text{NH}_3$ 、メタンを用い、積層する層に応じてこれらの原料を適宜使い分け、気相成長温度  $1000^\circ\text{C}$  を基準として、表 1 に示す組成と膜厚で、各層を気相成長により形成した。なお、各層の組成及び膜厚等は、各原料の選択、流量、供給時間、成長圧力、成長温度の微調整により、設定された各値となるように行った。

#### 【 0 0 4 0 】

##### 【表 1】

層	図の符号	組成	厚さ(nm)
活性層	34	GaN	700
第4層	33	GaN	1300
第3層	32	AlN層とGaN層とを交互に繰り返す 50 回積層	2500
第2層	31	$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N} (x=0.15)$	300
第1層	20	AlN	100

#### 【 0 0 4 1 】

作製した窒化物半導体基板 1 を任意の 1 直径上で劈開後、基板の一主面上の中心部及び両外周端から 10 mm 内側の計 3 ヶ所の断面で、第 1 層 2 0 と窒化物半導体層 3 0 との界面の構造を STEM で観察した。図 3 と図 4 に中心部の断面 STEM 像を示すと共に、図 5 に図 4 の断面 STEM 像について転位線を表した模式図を示す。図 3 に示したように、

第1層20の表面は極めて平坦であった。また、図4及び図5に示したように、窒化物半導体層30には第1層20から転位が斜めに進展し、途中で屈曲して転位同士が合体していることが分かった。

#### 【0042】

また、3ヶ所における500nm幅の断面について、STEMにより、第1層20の凸部頂部21の最大高さT1と、凹部底部22の最小高さT2との差d、及び、隣接する凸部頂部21と凹部底部22との径方向の間隔Lを調べた。その結果、第1層20の凸部頂部21の最大高さT1と、凹部底部22の最小高さT2との差dは、3ヶ所の平均値で7nmであり、隣接する凸部頂部21と凹部底部22との径方向の間隔Lは、3ヶ所の平均値で12nmであった。表2にその結果を示す。

10

#### 【0043】

更に、第1層20について、X線回折により、(002)面のロッキングカーブの半値幅を調べたところ、1600arcsecであった。加えて、第1層20について、SIMSにより、Si濃度を測定したところ、 $5 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>3</sup>であった。これらの結果も、表2に合わせて示す。

#### 【0044】

更にまた、作製した窒化物半導体基板1について、耐圧を評価した。耐圧は、縦方向にデバイスを想定し、リセスゲート領域及び素子分離領域の溝をドライエッチングにより形成し、活性層34の側にゲート電極として径2mmのAu電極を、ソース電極及びドレイン電極として径0.5mmのAl電極を、また、単結晶基板10の裏面側に裏面電極としてAl電極を、それぞれ真空蒸着により形成し、市販のカーブトレーサを用いて、電界をかけて測定した。そして、この値が650V以上の場合を合格とした。

20

#### 【0045】

その結果、耐圧は740Vであり、良好な結果であった。これらの結果を表2に合わせて示す。

#### 【0046】

#### 【表2】

	差d平均値 (nm)	間隔L (nm)	(002)面半値幅 (arcsec)	Si濃度 (atoms/cm <sup>3</sup> )	耐圧 (V)
実施例1	7	12	1600	$5 \times 10^{16}$	740
比較例1	20	50	2500	$5 \times 10^{16}$	600

30

#### 【0047】

#### (比較例1)

第1層を形成する際の成長温度、原料の種類、流量、又は、供給時間等を調整することにより、第1層の構造を制御することを除き、他は実施例1と同様にして窒化物半導体基板を作製した。なお、比較例1の第1層の組成は実施例1と同一とし、第1層の厚さも100nmとした。比較例1についても、実施例1と同様にして、第1層と窒化物半導体層との界面の構造、第1層の(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅、第1層のSi濃度、並びに、窒化物半導体基板1の耐圧を調べた。それらの結果を図3から図5及び表2に合わせて示す。

40

#### 【0048】

図3に示したように、比較例1の第1層の表面には、大きなピット状の凹部がみられた。また、図4と図5に示したように、比較例1の窒化物半導体層には、第1層の凸部頂部及び凹部底部を起点として、転位が積層方向に進展し、転位の量は実施例1よりも多いことが分かった。

50



## 【0049】

また、表2に示したように、第1層の凸部頂部の最大高さT1と、凹部底部の最小高さT2との差dは、3ヶ所の平均値で20nmであり、隣接する凸部頂部と凹部底部との径方向の間隔Lは、3ヶ所の平均値で50nmであった。なお、第1層の(002)面のX線回折におけるロッキングカーブの半値幅は2500arcsec、第1層のSi濃度は $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 、耐圧は600Vであった。

## 【0050】

(実施例1と比較例1の結果)

実施例1と比較例1の結果からわかるように、第1層20の凸部頂部21の最大高さT1と凹部底部22の最小高さT2との差dを3ヶ所の平均値で6nm以上15nm以下とするようにし、かつ、隣接する凸部頂部21と凹部底部22との径方向の間隔Lを3ヶ所の平均値で10nm以上25nm以下とするようにすれば、窒化物半導体基板1の耐圧を向上させることができることが分かった。

## 【0051】

ここで、本発明を実施する好適な一態様として、第1層20のAlN層を、第1の温度で第1の層厚を形成後、第2の温度で第2の層厚を形成するという2段階積層方法が挙げられる。すなわち、これらの第1の温度、第2の温度、第1の層厚、第2の層厚を適時調整することで、上記の差dの平均値を、ある程度任意に設定する事が可能となる。なお、必要に応じて3段階以上で積層してもよい。

## 【0052】

実施例1は、第1の温度が750、第1の層厚が30nm、第2の温度が1050、第2の層厚が70nmである。比較例1は、第1の温度が750、第1の層厚が30nm、第2の温度が900、第2の層厚が70nmである。

## 【0053】

(実施例2)

第1の温度を750、第1の層厚を50nm、第2の温度を1050、第2の層厚を50nmとする以外は実施例1と同様にして、実施例2の窒化物半導体基板を作製した。

## 【0054】

(実施例3)

第1の温度を750、第1の層厚を5nm、第2の温度を1050、第2の層厚を95nmとする以外は実施例1と同様にして、実施例3の窒化物半導体基板を作製した。

## 【0055】

実施例2, 3についても、実施例1と同様に評価した。その結果を実施例1の結果と共に表3に示す。

## 【0056】

## 【表3】

	差d平均値 (nm)	間隔L (nm)	(002)面半値幅 (arcsec)	Si濃度 (atoms/cm <sup>3</sup> )	耐圧 (V)
実施例1	7	12	1600	$5 \times 10^{16}$	740
実施例2	10	17	1900	$3 \times 10^{16}$	700
実施例3	13	21	1900	$8 \times 10^{16}$	660

## 【0057】

表3に示したように、実施例2は実施例1に比べ、耐圧がやや低く、実施例3は実施例

2 に比べ、やはり耐圧が低かった。さらに、( 0 0 2 ) 面半値幅は、実施例 2 , 3 共に実施例 1 に比べてやや高い傾向を示した。

#### 【 0 0 5 8 】

このことから、第 1 層 2 0 の凸部頂部 2 1 の最大高さ  $T_1$  と凹部底部 2 2 の最小高さ  $T_2$  との差  $d$  の平均値、および、隣接する凸部頂部 2 1 と凹部底部 2 2 との径方向の間隔  $L$  の平均値が、実施例 1 から大きくなるに従い、耐圧または結晶性は、やや低下する傾向にあると言える。

#### 【 0 0 5 9 】

以上、実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、種々変形可能である。例えば、上記実施の形態では、窒化物半導体層 3 0 の層構造について具体的に説明したが、他の層構造を有するように構成してもよい。また、上記実施の形態では、窒化物半導体基板 1 を高電子移動度トランジスタ等のパワー系トランジスタに用いる場合について説明したが、その他の窒化物化合物半導体素子についても同様に用いることができる。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【 0 0 6 0 】

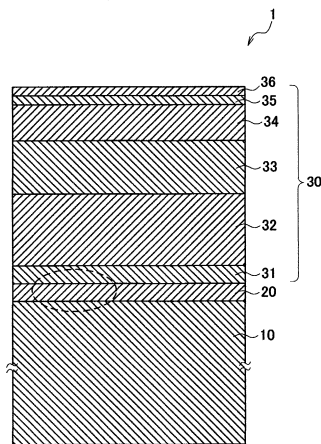
高電子移動度トランジスタ等のパワー系トランジスタに好ましく用いることができる。

#### 【符号の説明】

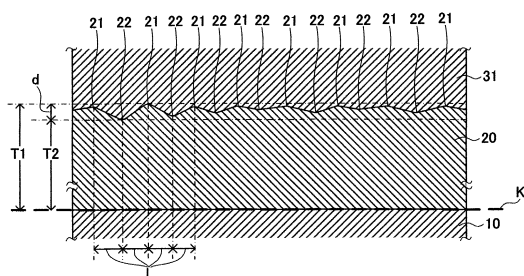
#### 【 0 0 6 1 】

1 ... 窒化物半導体基板、1 0 ... 単結晶基板、2 0 ... 第 1 層、2 1 ... 凸部頂部、2 2 ... 凹部底部、3 0 ... 窒化物半導体層、3 1 ... 第 2 層、3 2 ... 第 3 層、3 3 ... 第 4 層、3 4 ... 活性層、3 5 ... 電子供給層、3 6 ... キャップ層、 $T_1$  ... 最大高さ、 $T_2$  ... 最小高さ、 $d$  ...  $T_1$  と  $T_2$  の差、 $L$  ... 径方向の隣接する凸部頂部と凹部底部との間隔、 $K$  ... 基準面

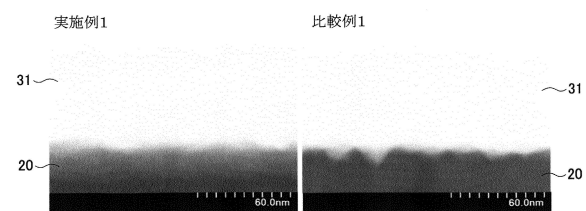
【図 1】



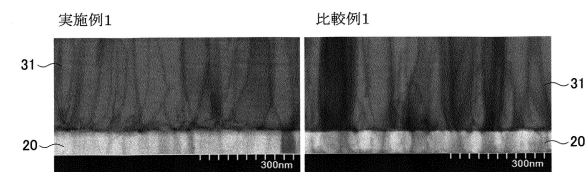
【図 2】



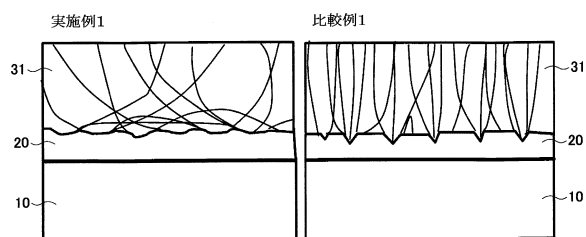
【図 3】



【図 4】



【図 5】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

**C 3 0 B 29/38 (2006.01)**

(72)発明者 阿部 芳久

神奈川県秦野市曽屋 3 0 番地 クアーズテック株式会社 秦野事業所 技術開発センター内

(72)発明者 小宮山 純

神奈川県秦野市曽屋 3 0 番地 クアーズテック株式会社 秦野事業所 技術開発センター内

(72)発明者 江里口 健一

神奈川県秦野市曽屋 3 0 番地 クアーズテック株式会社 秦野事業所 技術開発センター内

審査官 正山 旭

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 1 / 0 1 6 3 0 4 ( W O , A 1 )

特開 2 0 1 3 - 0 4 2 0 3 2 ( J P , A )

特開 2 0 1 4 - 2 2 2 7 1 6 ( J P , A )

特開 2 0 1 4 - 2 1 6 4 7 4 ( J P , A )

特開 2 0 1 4 - 1 4 6 7 3 3 ( J P , A )

特開 2 0 1 6 - 1 2 7 2 2 3 ( J P , A )

特開 2 0 1 3 - 0 1 2 7 6 7 ( J P , A )

特開 2 0 1 2 - 0 1 5 3 0 4 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 2 0 5

C 2 3 C 1 6 / 3 4

C 3 0 B 2 9 / 3 8

H 0 1 L 2 1 / 3 3 8

H 0 1 L 2 9 / 7 7 8

H 0 1 L 2 9 / 8 1 2