

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5714250号  
(P5714250)

(45) 発行日 平成27年5月7日 (2015.5.7)

(24) 登録日 平成27年3月20日 (2015.3.20)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/338 (2006.01)

H O 1 L 29/80 F

H O 1 L 29/812 (2006.01)

H O 1 L 29/80 H

H O 1 L 29/778 (2006.01)

H O 1 L 21/28 3 O 1 B

H O 1 L 21/28 (2006.01)

H O 1 L 21/28 3 O 1 R

H O 1 L 29/417 (2006.01)

H O 1 L 29/50 J

請求項の数 8 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2010-160119 (P2010-160119)  
 (22) 出願日 平成22年7月14日 (2010.7.14)  
 (65) 公開番号 特開2012-23213 (P2012-23213A)  
 (43) 公開日 平成24年2月2日 (2012.2.2)  
 審査請求日 平成25年7月11日 (2013.7.11)

(73) 特許権者 000154325  
 住友電工デバイス・イノベーション株式会  
 社  
 神奈川県横浜市栄区金井町 1 番地  
 (74) 代理人 100087480  
 弁理士 片山 修平  
 (72) 発明者 小山 政俊  
 神奈川県横浜市栄区金井町 1 番地 住友電  
 工デバイス・イノベーション株式会社内  
 審査官 須原 宏光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

A 1 組成比が 0 . 2 以上の A 1 G a N 層をエッチングして、R M S 粗さが 0 . 2 n m 以下の底面を有する凹部を形成する工程と、

前記凹部の底面に接して、4 n m から 8 n m の厚さの第 1 T a 層を形成する工程と、

前記第 1 T a 層上に、A 1 層を形成する工程と、

前記第 1 T a 層と前記 A 1 層に熱処理を施して、前記 A 1 G a N 層にオーミック接触させる工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 2】

前記第 1 T a 層を形成する工程は、5 n m から 7 n m の厚さの前記第 1 T a 層を形成することを特徴とする請求項 1 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3】

前記凹部を形成する工程は、塩化ホウ素ガスと塩素ガスとの混合ガス、塩化ホウ素ガスと塩化珪素ガスと塩素ガスとの混合ガス、塩化珪素ガスと塩素ガスとの混合ガスのうちのいずれかの混合ガスをエッチングガスに用いたプラズマエッチングにより実施することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 4】

前記 A 1 層上に、前記熱処理前に第 2 T a 層または T i 層を形成する工程を有することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 5】

10

20

前記凹部を形成する工程は、ICP法を用い0.2Paから4Paの圧力の下、20Wから300Wの高周波電力を印加して前記プラズマエッチングを実施することを特徴とする請求項3記載の半導体装置の製造方法。

【請求項6】

前記オーミック接触させる工程は、ソース電極およびドレイン電極をオーミック接触させる工程であることを特徴とする請求項1から5のいずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【請求項7】

前記凹部を形成する工程は、前記AlGaIn層と前記AlGaIn層上に設けられたGaIn層とをエッチングすることを特徴とする請求項1から6のいずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

10

【請求項8】

前記AlGaIn層の前記Al組成比は0.24以上であることを特徴とする請求項1から7のいずれか一項記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置の製造方法に関し、特に、オーミック電極を凹部に設ける半導体装置の製造方法に関する。

【背景技術】

20

【0002】

窒化物半導体は、高周波かつ高出力で動作するパワー素子などに用いられている。また、電氣的接触が円滑に行われるために、窒化物半導体層上に形成される電極をオーミック電極としている（例えば、特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2006-173386号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

窒化物半導体のような高出力デバイスでは、電力効率を高めるために、オーミック電極のコンタクト抵抗を小さくすることが求められている。コンタクト抵抗を小さくする方法として、オーミック電極を窒化物半導体層に形成した凹部に設ける方法がある。しかしながら、凹部をエッチングによって形成する場合、凹部の底面が荒れてしまう場合がある。凹部の底面が荒れてしまうと、オーミック電極のコンタクト抵抗率が高くなってしまいう課題が生じる。

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、コンタクト抵抗率を低く抑えることが可能な半導体装置の製造方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、Al組成比が0.2以上のAlGaIn層をエッチングして、RMS粗さが0.2nm以下の底面を有する凹部を形成する工程と、前記凹部の底面に接して、4nmから8nmの厚さの第1Ta層を形成する工程と、前記第1Ta層上に、Al層を形成する工程と、前記第1Ta層と前記Al層に熱処理を施して、前記AlGaIn層にオーミック接触させる工程と、を有することを特徴とする半導体装置の製造方法である。本発明によれば、コンタクト抵抗率を低く抑えることができる。

【0007】

上記構成において、前記第1Ta層を形成する工程は、5nmから7nmの厚さの前記

50

第1 Ta層を形成する構成とすることができる。

【0008】

上記構成において、前記凹部を形成する工程は、塩化ホウ素ガスと塩素ガスとの混合ガス、塩化ホウ素ガスと塩化珪素ガスと塩素ガスとの混合ガス、塩化珪素ガスと塩素ガスとの混合ガスのうちのいずれかの混合ガスをエッチングガスに用いたプラズマエッチングにより実施する構成とすることができる。

【0009】

上記構成において、前記凹部を形成する工程は、前記AlGa<sub>N</sub>層と前記AlGa<sub>N</sub>層上に設けられたGa<sub>N</sub>層とをエッチングする構成とすることができる。また、上記構成において、前記AlGa<sub>N</sub>層の前記Al組成比は0.24以上である構成とすることができる。

10

【0010】

上記構成において、前記Al層上に、前記熱処理前に第2 Ta層またはTi層を形成する工程を有する構成とすることができる。

【0011】

上記構成において、前記凹部を形成する工程は、ICP法を用い0.2 Paから4 Paの圧力の下、20 Wから300 Wの高周波電力を印加して前記プラズマエッチングを実施する構成とすることができる。

【0012】

上記構成において、前記オーミック接触させる工程は、ソース電極およびドレイン電極をオーミック接触させる工程である構成とすることができる。

20

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、コンタクト抵抗率を低く抑えることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1は、凹部を有するAlGa<sub>N</sub>層の断面模式図の例である。

【図2】図2(a)から図2(d)は、実施例1に係る半導体装置の製造方法を示す断面模式図の例である。

【図3】図3は、第1 Ta層の厚さとコンタクト抵抗率との相関を示す図である。

30

【図4】図4は、異なる製造条件で製造した半導体装置についてのコンタクト抵抗率の測定結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

まず初めに、本発明が解決しようとする課題について、図を用いて説明する。図1は、凹部を有するAlGa<sub>N</sub>層の断面模式図の例である。図1のように、チャンネル層50上に設けられたAlGa<sub>N</sub>層52のオーミック電極を形成すべき領域に、プラズマエッチングによって所望の深さの凹部54を形成する。言い換えると、凹部54の底面とチャンネル層50との間隔が所望の長さになるように、プラズマエッチングによって凹部54を形成する。この場合、エッチング条件やエッチング対象の材料などによって、凹部54の底面に面荒れが生じる場合がある。

40

【0016】

凹部54の底面が荒れると、凹部54の底面とチャンネル層50との間隔が面内で大きく異なるようになってしまう。つまり、凹部54の底面とチャンネル層50との間隔が所望の長さよりも長い部分が存在することになる。このような場合、凹部54の底面とチャンネル層50との間隔が長い部分D1では、トンネル障壁が厚くなりコンタクト抵抗が高くなると考えられる。このため、面内平均のコンタクト抵抗が狙いの値よりも高くなるが生じてしまう。そこで、このような課題を解決すべく、コンタクト抵抗率を低く抑えることが可能な実施例について以下に説明する。

【実施例1】

50

## 【 0 0 1 7 】

図 2 ( a ) から図 2 ( d ) は、実施例 1 に係る半導体装置 ( 例えば H E M T ) の製造方法を示す断面模式図の例である。図 1 ( a ) のように、例えばサファイア (  $Al_2O_3$  ) 基板である基板 1 0 上に、例えば M O C V D 法 ( 有機金属気相成長法 ) を用いて、 $AlN$  ( 窒化アルミニウム ) からなるシード層 1 2、 $GaN$  ( 窒化ガリウム ) 電子走行層 1 4、 $AlGaN$  電子供給層 1 6、および  $GaN$  キャップ層 1 8 をエピタキシャル成長により順次積層する。 $GaN$  電子走行層 1 4 と  $AlGaN$  電子供給層 1 6 との界面には 2 D E G ( 2 次元電子ガス ) が生じてチャネル層 3 6 が形成される。なお、基板 1 0 は、サファイア基板の他に、 $SiC$  ( 炭化シリコン ) 基板や  $Si$  ( シリコン ) 基板を用いることもできる。シード層 1 2 の厚さは例えば 3 0 0 n m であり、 $GaN$  電子走行層 1 4 の厚さは例えば 1 0 0 0 n m であり、 $AlGaN$  電子供給層 1 6 の厚さは例えば 2 0 n m であり、 $GaN$  キャップ層 1 8 の厚さは例えば 4 n m である。また、 $AlGaN$  電子供給層 1 6 の  $Al$  組成比は、例えば 0 . 2 4 である。

10

## 【 0 0 1 8 】

図 2 ( b ) のように、ソース電極およびドレイン電極を形成すべき領域が開口したフォトレジスト 2 0 を、 $GaN$  キャップ層 1 8 上に形成する。フォトレジスト 2 0 をマスクとして、例えばプラズマエッチング法により、 $GaN$  キャップ層 1 8 と  $AlGaN$  電子供給層 1 6 の一部とをエッチングして、凹部 2 2 を形成する。即ち、凹部 2 2 の底面は、 $AlGaN$  電子供給層 1 6 が露出している。プラズマエッチングは、 $ICP$  法 ( Inductive Coupled plasma ) により  $BCl_3$  ガス ( 塩化ホウ素ガス ) と  $Cl_2$  ガス ( 塩素ガス ) との混合ガスをエッチングガスに用い、ガス流量を  $BCl_3$  が 3 s c c m、 $Cl_2$  が 3 0 s c c m とし、0 . 5 P a の圧力で、RF パワーを 7 0 W、バイアスを 1 5 W にして行う。表 1 にエッチング条件を示す。なお、 $ICP$  法以外にも、 $RIE$  法 ( Reactive Ion Etching ) を用いることもできる。

20

## 【 表 1 】

エッチングガス	$BCl_3 / Cl_2$
流量 [sccm]	3/30
圧力 [Pa]	0. 5
RF パワー [W]	70
バイアス [W]	15

30

## 【 0 0 1 9 】

図 2 ( c ) のように、例えば蒸着法およびリフトオフ法を用いて、凹部 2 2 の底面に接して、凹部 2 2 の底面側から第 1 T a ( タンタル ) 層 2 4、 $Al$  ( アルミニウム ) 層 2 6、第 2 T a 層 2 8 の 3 層構造を有するソース電極 3 0 およびドレイン電極 3 2 を形成する。第 1 T a 層 2 4 の厚さは例えば 8 0 n m であり、 $Al$  層 2 6 の厚さは例えば 3 5 0 n m であり、第 2 T a 層 2 8 の厚さは例えば 1 0 n m である。その後、例えば 5 5 0 の温度でアニールを行い、 $AlGaN$  電子供給層 1 6 にオーミック接触するオーミック電極としてのソース電極 3 0 およびドレイン電極 3 2 を形成する。なお、アニールの温度は 5 5 0 に限られず、5 0 0 から 6 0 0 の範囲内の温度を用いることができる。

40

## 【 0 0 2 0 】

図 2 ( d ) のように、例えば蒸着法およびリフトオフ法を用いて、ソース電極 3 0 とドレイン電極 3 2 との間であって、 $AlGaN$  電子供給層 1 6 の上面に接して、 $AlGaN$  電子供給層 1 6 側から  $Ni$  ( ニッケル )、 $Au$  ( 金 ) が順次積層された 2 層構造のゲート電極 3 4 を形成する。以上により、実施例 1 に係る半導体装置が完成する。

## 【 0 0 2 1 】

ここで、図 2 ( b ) の工程を実行した後の凹部 2 2 の底面状態について説明する。また

50

、比較のために、実施例 1 とは異なるエッチング条件で凹部 2 2 を形成した比較例 1 および比較例 2 に係る半導体装置における凹部 2 2 の底面状態についても説明する。凹部 2 2 の底面状態の評価方法は、表面粗さを評価する一般的な指標となる平均二乗粗さ (Root Mean Square 粗さ: R M S 粗さ) を用いた。また、R M S 粗さ測定は、凹部 2 2 の底面の中の一部である  $0.5 \mu\text{m} \times 1.0 \mu\text{m}$  の範囲で行った。

#### 【0022】

まず、比較例 1 および比較例 2 に係る半導体装置の製造方法について説明する。初めに、基板 1 0 上に、シード層 1 2、G a N 電子走行層 1 4、A l G a N 電子供給層 1 6、G a N キャップ層 1 8 を順次積層する。各層の厚さは、比較例 1 および比較例 2 共に、実施例 1 と同じである。A l G a N 電子供給層 1 6 の A l 組成比は、比較例 1 は実施例 1 と同じで 0.24 であるが、比較例 2 は実施例 1 と異なり 0.2 である。

#### 【0023】

次に、プラズマエッチング法 (I C P 法) を用いて、G a N キャップ層 1 8 と A l G a N 電子供給層 1 6 の一部とをエッチングして凹部 2 2 を形成する。プラズマエッチングのエッチング条件は実施例 1 と異なり、比較例 1 および比較例 2 共に、エッチングガスに  $\text{Cl}_2$  ガスを用い、 $\text{Cl}_2$  ガスのガス流量を  $30 \text{ sccm}$  とし、圧力を  $0.5 \text{ Pa}$ 、R F パワーを  $70 \text{ W}$ 、バイアスを  $15 \text{ W}$  とする。

#### 【0024】

次に、凹部 2 2 にオーミック電極としてのソース電極 3 0 およびドレイン電極 3 2 を形成する。ソース電極 3 0 およびドレイン電極 3 2 の層構造および厚さは、比較例 1 および比較例 2 共に、実施例 1 と同じである。また、A l G a N 電子供給層 1 6 とオーミック接触させるためのアニールの温度も、比較例 1 および比較例 2 共に、実施例 1 と同じある。

#### 【0025】

最後に、A l G a N 電子供給層 1 6 上にゲート電極 3 4 を形成する。ゲート電極 3 4 の層構造は、比較例 1 および比較例 2 共に、実施例 1 と同じである。

#### 【0026】

表 2 に、実施例 1、比較例 1 および比較例 2 それぞれの凹部 2 2 の底面について測定した R M S 粗さの結果を示す。また、凹部 2 2 の底面に接して形成したソース電極 3 0 およびドレイン電極 3 2 のコンタクト抵抗率の測定結果についても示す。なお、表 2 における A l 組成比とは、上述した A l G a N 電子供給層 1 6 の A l 組成比を示している。凹部深さとは、G a N キャップ層 1 8 の上面からの凹部 2 2 の深さを示している。表 2 のように、比較例 1 および比較例 2 における凹部 2 2 の底面の R M S 粗さは  $0.3 \text{ nm}$  および  $0.32 \text{ nm}$  であるのに対し、実施例 1 における凹部 2 2 の底面の R M S 粗さは  $0.2 \text{ nm}$  と小さい結果となった。また、比較例 1 および比較例 2 におけるソース電極 3 0 およびドレイン電極 3 2 のコンタクト抵抗率は  $32 \mu \cdot \text{cm}^2$  および  $16 \mu \cdot \text{cm}^2$  であるのに対し、実施例 1 におけるソース電極 3 0 およびドレイン電極 3 2 のコンタクト抵抗率は  $1.8 \mu \cdot \text{cm}^2$  と低い結果となった。

#### 【表 2】

	実施例1	比較例1	比較例2
A l 組成比	0.24	0.24	0.2
凹部深さ [nm]	10	7	7.4
RMS粗さ [nm]	0.2	0.3	0.32
コンタクト抵抗率 [ $\mu \Omega \cdot \text{cm}^2$ ]	1.8	32	16

#### 【0027】

実施例 1 における凹部 2 2 の底面の R M S 粗さが、比較例 1 および比較例 2 に比べて小

さくなったのは、以下のように考えられる。A l 組成比が例えば 0 . 2 以上の A l G a N 電子供給層 1 6 では、表面が酸化され易く、アルミ酸化物が形成され易くなる。比較例 1 および比較例 2 では、A l G a N 電子供給層 1 6 に凹部 2 2 を形成するプラズマエッチングにおいて、A l G a N などをエッチングする際に一般的に用いられている C l <sub>2</sub> ガスをエッチングガスに用いて実行した。エッチングガスに C l <sub>2</sub> ガスを用いた場合は、化学反応を利用した化学エッチングが主体となるため、A l G a N 電子供給層 1 6 の表面に形成されたアルミ酸化物はエッチングされ難く、A l G a N 電子供給層 1 6 の表面に残渣が残ると考えられる。この結果、比較例 1 および比較例 2 では、凹部 2 2 の底面の R M S 粗さが大きくなったものと考えられる。一方、実施例 1 では、凹部 2 2 を形成するプラズマエッチングのエッチングガスに B C l <sub>3</sub> ガスと C l <sub>2</sub> ガスとの混合ガスを用いた。B C l <sub>3</sub> ガスを混合したガスをエッチングガスとすることで、物理的なエッチングの作用が強まり、A l G a N 電子供給層 1 6 の表面に形成されたアルミ酸化物もエッチングされ、その結果、凹部 2 2 の底面の R M S 粗さが小さくなったものと考えられる。

#### 【 0 0 2 8 】

比較例 1 および比較例 2 のように凹部 2 2 底面の R M S 粗さが 0 . 3 および 0 . 3 2 のような大きな値になると、凹部 2 2 の底面とチャネル層 3 6 との間隔が面内で大きく異なるようになる。凹部 2 2 の底面とチャネル層 3 6 との間隔が長い部分では、トンネル障壁が厚くなりコンタクト抵抗が高くなるため、比較例 1 および比較例 2 ではコンタクト抵抗率が高くなったと考えられる。一方、実施例 1 のように R M S 粗さが 0 . 2 のような小さい値であると、凹部 2 2 の底面とチャネル層 3 6 との間隔は面内でより均一となり、トンネル障壁が厚くなってコンタクト抵抗が高くなる部分が少なくなるため、コンタクト抵抗率は低くなったものと考えられる。この結果から、凹部 2 2 底面の R M S 粗さが 0 . 3 以上となるとコンタクト抵抗率が高くなるため、凹部 2 2 底面の R M S 粗さは 0 . 3 未満とすることがよいことが言える。

#### 【 0 0 2 9 】

次に、発明者は、ソース電極 3 0 およびドレイン電極 3 2 を構成する 3 層構造のうち、凹部 2 2 の底面に接して形成される第 1 T a 層 2 4 の厚さが、コンタクト抵抗率に影響を与えることを見出した。図 3 は、第 1 T a 層 2 4 の厚さとコンタクト抵抗率との相関を示す図である。図 3 の測定に用いた半導体装置は、第 1 T a 層 2 4 の厚さを変化させている点以外は、図 2 ( a ) から図 2 ( d ) で説明した製造方法で製造した実施例 1 に係る半導体装置と同じである。

#### 【 0 0 3 0 】

図 3 のように、第 1 T a 層 2 4 の厚さが 8 n m よりも大きくなると、急激にコンタクト抵抗率が増加することが分かる。これは、第 1 T a 層 2 4 が厚くなると、A l 層 2 6 がコンタクトをとることに対して阻害する方向に働くためと考えられる。したがって、第 1 T a 層 2 4 の厚さは 8 n m 以下の場合が好ましい。また、第 1 T a 層 2 4 の厚さが薄くなりすぎると、エピ表面への N 空孔の形成効果が低くなり、G a リッチな表面が形成されにくくなるためコンタクト抵抗率が上昇すると考えられる。よって、第 1 T a 層 2 4 の厚さは 4 n m 以上の場合が好ましい。

#### 【 0 0 3 1 】

次に、凹部 2 2 の底面の R M S 粗さを 0 . 3 未満とし且つ第 1 T a 層 2 4 の厚さを 4 n m から 8 n m とすることで、コンタクト抵抗率が低くなる効果が得られることを証明するために行った実験について説明する。実験は、異なる 2 つの製造条件により半導体装置を製造し、それぞれのコンタクト抵抗率を測定することで行った。

#### 【 0 0 3 2 】

具体的には、1 つ目の製造条件は、凹部 2 2 の底面の R M S 粗さを 0 . 3 未満とするために、実施例 1 と同様に、凹部 2 2 を形成する I C P 法を用いたプラズマエッチングを、B C l <sub>3</sub> ガスと C l <sub>2</sub> ガスの混合ガスをエッチングガスに用いた場合である。B C l <sub>3</sub> ガスのガス流量を 3 s c c m、C l <sub>2</sub> ガスのガス流量を 3 0 s c c m、圧力を 0 . 5 P a、R F パワーを 7 0 W、バイアスを 1 5 W としてエッチングを行った。また、A l G a N 電

10

20

30

40

50

子供給層 16 の Al 組成比は 0.2 とし、第 1 Ta 層 24 の厚さは 8 nm とした。その他については、実施例 1 に係る半導体装置と同じである。

【0033】

2 つ目の製造条件は、比較例 1 および比較例 2 と同様に、凹部 22 を形成する ICP 法を用いたプラズマエッチングを、 $Cl_2$  ガスをエッチングガスに用い、 $Cl_2$  ガスのガス流量を 30 sccm、圧力を 0.5 Pa、RF パワーを 70 W、バイアスを 15 W としてエッチングした場合である。また、AlGaIn 電子子供給層 16 の Al 組成比は 0.2 とし、第 1 Ta 層 24 の厚さは 10 nm とした。その他については、比較例 2 に係る半導体装置と同じである。 $Cl_2$  ガスをエッチングガスに用いたため、凹部 22 の底面の RMS 粗さは 0.3 以上であった。

10

【0034】

図 4 に、上記の 2 つの製造条件で製造した半導体装置についてのコンタクト抵抗率の測定結果を示す。コンタクト抵抗率の測定は、上記の 2 つの製造条件それぞれについて、複数の基板それぞれに対して複数の半導体装置を形成し、1 つの基板につき 5 つの半導体装置についてコンタクト抵抗率を測定することで行った。

【0035】

図 4 のように、凹部 22 の底面の RMS 粗さが 0.3 未満で且つ第 1 Ta 層 24 の厚さが 8 nm である場合（図 4 中の領域 A）は、凹部 22 の底面の RMS 粗さが 0.3 以上で且つ第 1 Ta 層 24 の厚さが 10 nm である場合（図 4 中の領域 B）に比べて、コンタクト抵抗率が安定的に低く抑えられた結果が得られた。このことから、表 2 および図 3 で説明したように、凹部 22 の底面の RMS 粗さを 0.3 未満とし且つ第 1 Ta 層 24 の厚さを 4 nm から 8 nm とすることで、コンタクト抵抗率を低く抑えることができることが証明された。

20

【0036】

以上説明してきたように、実施例 1 によれば、図 2 (b) および表 2 に示すように、Al 組成比が 0.2 以上の AlGaIn 電子子供給層 16 をプラズマエッチングして、RMS 粗さが 0.3 nm 未満の底面を有する凹部 22 を形成する。図 2 (c) および図 3 に示すように、凹部 22 の底面に接して、4 nm から 8 nm の厚さの第 1 Ta 層 24 を形成し、第 1 Ta 層 24 に熱処理を施して、AlGaIn 電子子供給層 16 にオーミック接触をさせる。これにより、図 4 に示したように、コンタクト抵抗率を低く抑えることが可能となる。

30

【0037】

凹部 22 の底面の RMS 粗さが小さいほど、凹部 22 の底面とチャネル層 36 との間隔は面内でより均一になることから、コンタクト抵抗率はより低くなる。したがって、凹部 22 の底面の RMS 粗さは、0.25 nm 未満である場合がより好ましく、0.2 nm 未満である場合がさらに好ましい。

【0038】

第 1 Ta 層 24 の厚さとしては、図 3 で説明したように、4 nm から 8 nm であることが好ましく、5 nm から 7 nm である場合がより好ましい。これにより、コンタクト抵抗率をより低く抑えることができる。

【0039】

表 2 で説明したように、凹部 22 を形成するプラズマエッチングにおいて、 $BCl_3$  ガスと  $Cl_2$  ガスとの混合ガスをエッチングガスに用いることで、凹部 22 の底面の RMS 粗さを小さくすることができる。つまり、 $BCl_3$  ガスと  $Cl_2$  ガスとの混合ガスをエッチングガスに用いることで、凹部 22 の底面の RMS 粗さを小さくして、コンタクト抵抗率を低く抑えることが可能となる。

40

【0040】

実施例 1 では、ソース電極 30 およびドレイン電極 32 は、第 1 Ta 層 24 上に、Al 層 26 と第 2 Ta 層 28 が順次形成された 3 層構造である場合を例に示した。この場合に限らず、第 2 Ta 層 28 の代わりに Ti 層を用いる場合でもよい。

【0041】

50

実施例 1 では、 $\text{BCl}_3$  ガスのガス流量を  $3 \text{ sccm}$ 、 $\text{Cl}_2$  ガスのガス流量を  $30 \text{ sccm}$  としてプラズマエッチングを行う場合を例に示したが、この場合に限られない。 $\text{BCl}_3$  ガスのガス流量は、 $2 \text{ sccm}$  から  $200 \text{ sccm}$  の範囲内であればよく、 $2 \text{ sccm}$  から  $100 \text{ sccm}$  の場合がより好ましく、 $2 \text{ sccm}$  から  $50 \text{ sccm}$  の場合がさらに好ましい。 $\text{Cl}_2$  ガスのガス流量は、 $5 \text{ sccm}$  から  $200 \text{ sccm}$  の範囲内であればよく、 $5 \text{ sccm}$  から  $100 \text{ sccm}$  の場合がより好ましく、 $5 \text{ sccm}$  から  $50 \text{ sccm}$  の場合がさらに好ましい。

【0042】

また、圧力は  $0.2 \text{ Pa}$  から  $4 \text{ Pa}$  の範囲内であればよく、 $0.2 \text{ Pa}$  から  $2 \text{ Pa}$  の場合がより好ましく、 $0.2 \text{ Pa}$  から  $1 \text{ Pa}$  の場合がさらに好ましい。さらに、RF パワーは  $20 \text{ W}$  から  $300 \text{ W}$  の範囲内であればよく、 $20 \text{ W}$  から  $200 \text{ W}$  の場合がより好ましく、 $20 \text{ W}$  から  $100 \text{ W}$  の場合がさらに好ましい。さらに、バイアスは  $3 \text{ W}$  から  $100 \text{ W}$  の範囲内であればよく、 $3 \text{ W}$  から  $50 \text{ W}$  の場合がより好ましく、 $3 \text{ W}$  から  $20 \text{ W}$  の場合がさらに好ましい。なお、以下の実施例 2 および実施例 3 においても、圧力、RF パワー、バイアスの好ましい範囲は同じである。

【実施例 2】

【0043】

実施例 2 は、凹部 22 を形成する ICP 法を用いたプラズマエッチングにおいて、エッチングガスに  $\text{BCl}_3$  ガスと  $\text{SiCl}_4$  ガス（塩化珪素ガス）と  $\text{Cl}_2$  ガスとの混合ガスを用いる場合の例である。

【0044】

実施例 2 に係る半導体装置は、凹部 22 を形成するプラズマエッチングにおいて、 $\text{BCl}_3$  ガスと  $\text{SiCl}_4$  ガスと  $\text{Cl}_2$  ガスとの混合ガスをエッチングガスに用い、 $\text{BCl}_3$  ガスのガス流量を  $2 \text{ sccm}$  から  $200 \text{ sccm}$ 、 $\text{SiCl}_4$  ガスのガス流量を  $2 \text{ sccm}$  から  $100 \text{ sccm}$ 、 $\text{Cl}_2$  ガスのガス流量を  $5 \text{ sccm}$  から  $200 \text{ sccm}$  とし、圧力を  $0.2 \text{ Pa}$  から  $4 \text{ Pa}$ 、RF パワーを  $20 \text{ W}$  から  $300 \text{ W}$ 、バイアスを  $3 \text{ W}$  から  $100 \text{ W}$  とする。この点以外は、実施例 1 に係る半導体装置の製造方法と同じであり、図 2 (a) から図 2 (d) に示しているため、ここでは詳しい説明を省略する。

【0045】

実施例 1 で説明したように、 $\text{BCl}_3$  ガスと  $\text{Cl}_2$  ガスとの混合ガスをエッチングガスに用いることで凹部 22 の底面の RMS 粗さが  $0.3 \mu\text{m}$  未満と小さい値になるのは、 $\text{BCl}_3$  ガスにより、物理的なエッチングの作用が強まり、 $\text{AlGaN}$  電子供給層 16 の表面に形成されたアルミ酸化物もエッチングされるためである。実施例 2 においても、 $\text{BCl}_3$  ガスと  $\text{SiCl}_4$  ガスとを混合させることで、物理的なエッチングの作用が強まるため、 $\text{AlGaN}$  電子供給層 16 の表面に形成されたアルミ酸化物もエッチングされ、凹部 22 の底面の RMS 粗さを小さい値にできる。よって、実施例 2 によっても、コンタクト抵抗率を低く抑えることが可能となる。

【0046】

実施例 2 において、 $\text{BCl}_3$  ガスのガス流量は、 $2 \text{ sccm}$  から  $100 \text{ sccm}$  の場合がより好ましく、 $2 \text{ sccm}$  から  $50 \text{ sccm}$  の場合がさらに好ましい。 $\text{SiCl}_4$  ガスのガス流量は、 $2 \text{ sccm}$  から  $50 \text{ sccm}$  の場合がより好ましく、 $2 \text{ sccm}$  から  $25 \text{ sccm}$  の場合がさらに好ましい。 $\text{Cl}_2$  ガスのガス流量は、 $5 \text{ sccm}$  から  $100 \text{ sccm}$  の場合がより好ましく、 $5 \text{ sccm}$  から  $50 \text{ sccm}$  の場合がさらに好ましい。

【実施例 3】

【0047】

実施例 3 は、ICP 法を用いた凹部 22 を形成するプラズマエッチングにおいて、エッチングガスに  $\text{SiCl}_4$  ガスと  $\text{Cl}_2$  ガスとの混合ガスを用いる場合の例である。

【0048】

実施例 3 に係る半導体装置は、凹部 22 を形成するプラズマエッチングにおいて、 $\text{SiCl}_4$  ガスと  $\text{Cl}_2$  ガスとの混合ガスをエッチングガスに用い、 $\text{SiCl}_4$  ガスのガス流



量を2 s c c mから1 0 0 s c c m、C l <sub>2</sub> ガスのガス流量を5 s c c mから2 0 0 s c c mとし、圧力を0 . 2 P aから4 P a、R F パワーを2 0 Wから3 0 0 W、バイアスを3 Wから1 0 0 Wとする。この点以外は、実施例1に係る半導体装置の製造方法と同じであり、図2 ( a ) から図2 ( d ) に示しているため、ここでは詳しい説明を省略する。

【0049】

実施例3においても、S i C l <sub>4</sub> ガスを混合させたガスをエッチングガスとすることで、物理的なエッチングの作用が強まり、A l G a N 電子供給層1 6 の表面に形成されたアルミ酸化物もエッチングされ、凹部2 2 の底面のR M S 粗さを小さい値にできる。よって、実施例3によっても、コンタクト抵抗率を低く抑えることが可能となる。

【0050】

10

実施例3において、S i C l <sub>4</sub> ガスのガス流量は、2 s c c mから5 0 s c c mの場合がより好ましく、2 s c c mから2 5 s c c mの場合がさらに好ましい。C l <sub>2</sub> ガスのガス流量は、5 s c c mから1 0 0 s c c mの場合がより好ましく、5 s c c mから5 0 s c c mの場合がさらに好ましい。

【0051】

以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【符号の説明】

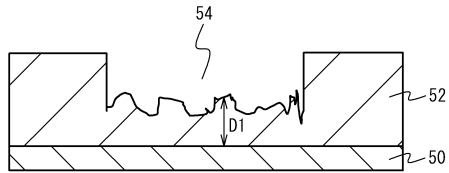
【0052】

20

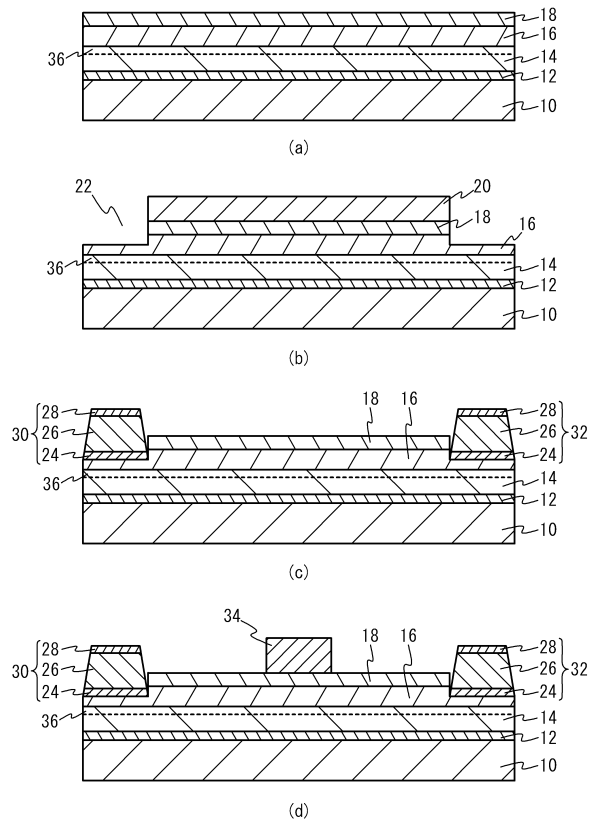
- 1 0 基板
- 1 2 シード層
- 1 4 G a N 電子走行層
- 1 6 A l G a N 電子供給層
- 1 8 G a N キャップ層
- 2 0 フォトレジスト
- 2 2 凹部
- 2 4 第1 T a 層
- 2 6 A l 層
- 2 8 第2 T a 層
- 3 0 ソース電極
- 3 2 ドレイン電極
- 3 4 ゲート電極
- 3 6 チャンネル層

30

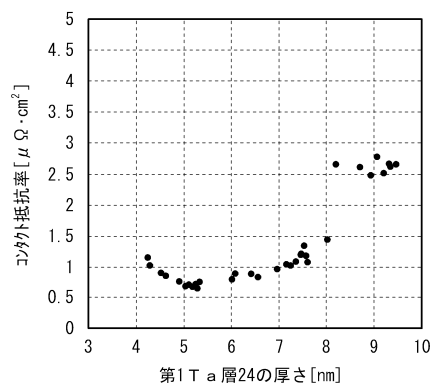
【図 1】



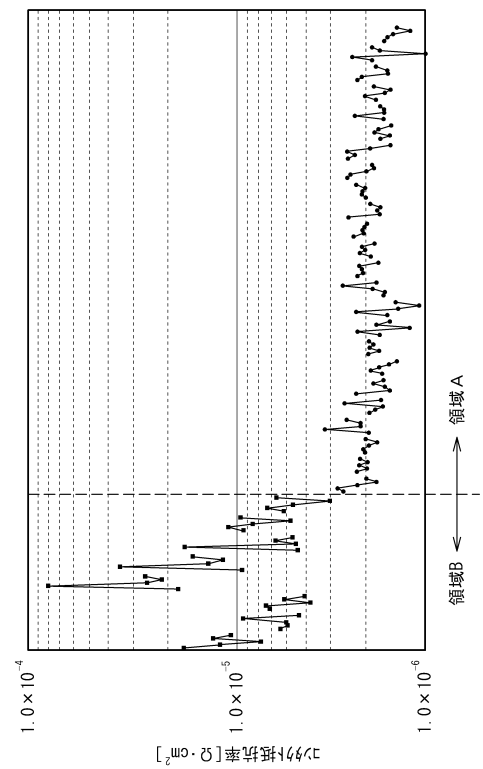
【図 2】



【図 3】



【図 4】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-165207(JP,A)  
特開2007-273844(JP,A)  
特開2009-194081(JP,A)  
特開2003-124188(JP,A)  
再公表特許第2005/057641(JP,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L 29/80