

(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2015-170803

(P2015-170803A)

(43) 公開日 平成27年9月28日(2015.9.28)

(51) Int.Cl.

**H01S 5/042** (2006.01)  
**H01S 5/343** (2006.01)  
**H01L 33/32** (2010.01)  
**H01L 33/16** (2010.01)  
**H01L 21/337** (2006.01)

F 1

H01S 5/042  
H01S 5/343  
H01L 33/00  
H01L 33/00  
H01L 29/80

テーマコード (参考)

5 F 1 O 2  
5 F 1 4 1  
5 F 1 7 3  
5 F 2 4 1

審査請求 有 請求項の数 21 O L (全 26 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2014-46342 (P2014-46342)

(22) 出願日

平成26年3月10日 (2014.3.10)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社  
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社  
東京都港区港南1丁目7番1号

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹

(74) 代理人 100113435

弁理士 黒木 義樹

(74) 代理人 100136722

弁理士 ▲高▼木 邦夫

(74) 代理人 100108257

弁理士 近藤 伊知良

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体素子、p型コンタクト構造、III族窒化物半導体素子を作製する方法

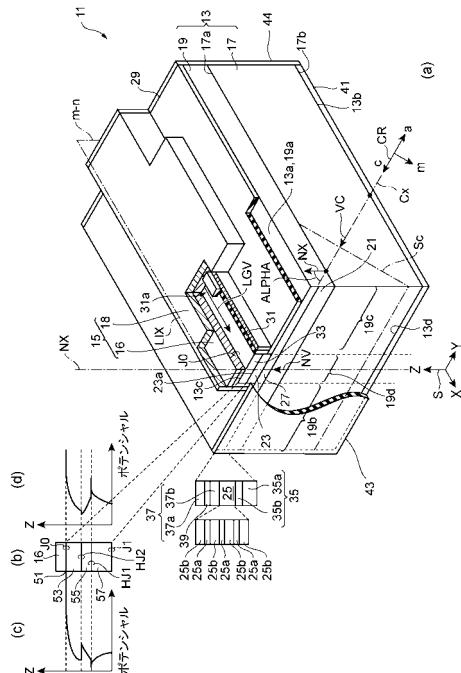
## (57) 【要約】

【課題】 p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有する窒化物半導体素子を提供する。

【解決手段】 電極 16 と第 1 の p型III族窒化物半導体層 53 との接触による金属 - 半導体界面 J0 に界面障壁が形成され、この界面障壁は、III族窒化物半導体レーザ素子 11 の接触抵抗として現れる。第 2 の p型III族窒化物半導体層 55 が歪みを内包するように第 1 の p型III族窒化物半導体層 53 と第 3 の p型III族窒化物半導体層 57 との間に第 2 の p型III族窒化物半導体層 55 を挟んで p型III族窒化物半導体積層 51 を構成する。

第 2 の p型III族窒化物半導体層 55 の歪みが p型III族窒化物半導体積層 51 のバンド構造を変化させる。このバンド構造の変化は、下地の主面 23a が 50 度以上 80 度未満の範囲の角度で傾斜するとき、金属 - 半導体界面で界面障壁によるバリア高を下げるよう働く。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

III族窒化物半導体素子であって、  
III族窒化物半導体からなり、該III族窒化物半導体のc面と50度以上80度以下の範囲の角度で傾斜した主面を有するIII族窒化物半導体層と、

前記III族窒化物半導体層の前記主面上に設けられた第1のp型III族窒化物半導体層、第2のp型III族窒化物半導体層及び第3のp型III族窒化物半導体層を含み、前記第2のp型III族窒化物半導体層が歪みを内包するように前記第1のp型III族窒化物半導体層と前記第3のp型III族窒化物半導体層との間に前記第2のp型III族窒化物半導体層が挟まれたp型III族窒化物半導体積層と、

前記p型III族窒化物半導体積層上に設けられた電極と、  
を備え、

前記電極は前記第1のp型III族窒化物半導体層に接触を成し、

前記第1のp型III族窒化物半導体層、前記第2のp型III族窒化物半導体層及び前記第3のp型III族窒化物半導体層は、前記電極から前記III族窒化物半導体層への方向に、前記主面の法線軸に沿って配列されている、III族窒化物半導体素子。

## 【請求項 2】

前記第1のIII族窒化物半導体層の構成元素の種類は、前記第2のIII族窒化物半導体層の構成元素の種類と異なり、

前記第3のIII族窒化物半導体層の構成元素の種類は、前記第2のIII族窒化物半導体層の構成元素の種類と異なり、

前記第2のIII族窒化物半導体層のIII族窒化物半導体は、インジウム(I n)及びアルミニウム(A l)の少なくともいずれか一方を構成元素として備える、請求項1に記載されたIII族窒化物半導体素子。

## 【請求項 3】

前記第2のp型III族窒化物半導体層は、2nm以上の厚さを有し、10nm以下の厚さを有する、請求項1又は請求項2に記載のIII族窒化物半導体素子。

## 【請求項 4】

前記第1のp型III族窒化物半導体層のアクセプタは、Mg及びZnの少なくともいずれか一方を備え、

前記第2のp型III族窒化物半導体層のアクセプタは、Mg及びZnの少なくともいずれか一方を備え、

前記第3のp型III族窒化物半導体層のアクセプタは、Mg及びZnの少なくともいずれか一方を備える、請求項1～請求項3のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

## 【請求項 5】

前記III族窒化物半導体層の前記主面は、前記III族窒化物半導体の前記c面と63度以上80度未満の範囲の角度で傾斜する、請求項1～請求項4のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

## 【請求項 6】

前記第3のp型III族窒化物半導体層の材料は前記第1のp型III族窒化物半導体層の材料と同じである、請求項1～請求項5のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

## 【請求項 7】

前記第1のp型III族窒化物半導体層はGaNを備える、請求項1～請求項6のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

## 【請求項 8】

前記第2のp型III族窒化物半導体層はAlGaNを備える、請求項1～請求項6のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

## 【請求項 9】

10

20

30

40

50

前記第2のp型III族窒化物半導体層のAlGaNは2%以上のAl組成を有し、10%以下のAl組成を有する、請求項8に記載されたIII族窒化物半導体素子。

【請求項10】

前記第2のp型III族窒化物半導体層はInGaNを備える、請求項1～請求項6のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

【請求項11】

前記第2のp型III族窒化物半導体層のInGaNは2%以上のIn組成を有し、10%以下のIn組成を有する、請求項10に記載されたIII族窒化物半導体素子。

【請求項12】

前記第1のp型III族窒化物半導体層は50nm以下の厚さを有する、請求項1～請求項11のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。 10

【請求項13】

前記第2のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度は、前記第1のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度を基準に-20%以上+20%以下の範囲にあり、

前記第3のp型III族窒化物半導体層は、前記第1のp型III族窒化物半導体層及び前記第2のp型III族窒化物半導体層より低いアクセプタ濃度を有する、請求項1～請求項12のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

【請求項14】

前記第1のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上で 20 あり、

前記第2のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上で 20 ある、請求項1～請求項13のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

【請求項15】

前記第3のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上で 30 あり、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満である、請求項1～請求項14のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

【請求項16】

発光素子のための活性層を更に備え、

前記III族窒化物半導体層はn型の導電性を有し、

当該III族窒化物半導体素子は、前記発光素子のための活性層を更に備え、

前記活性層は前記III族窒化物半導体層の前記主面と前記p型III族窒化物半導体積層との間に設けられる、請求項1～請求項15のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。 30

【請求項17】

当該III族窒化物半導体素子は電子デバイス素子を含む、請求項1～請求項15のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子。

【請求項18】

p型コンタクト構造であって、

III族窒化物半導体からなり、該III族窒化物半導体のc面と50度以上80度以下の範囲の角度で傾斜した主面を有するIII族窒化物半導体層と、

前記III族窒化物半導体層の前記主面上に設けられたp型III族窒化物半導体領域と、

前記p型III族窒化物半導体領域上に設けられた電極と、  
を備え、

前記p型III族窒化物半導体領域は、第1のp型III族窒化物半導体層と、第2のp型III族窒化物半導体層と、第3のp型III族窒化物半導体層を含み、

前記第1のp型III族窒化物半導体層、前記第2のp型III族窒化物半導体層及び前記第3のp型III族窒化物半導体層は、前記電極から前記III族窒化物半導体層への方向に、前記主面の法線軸に沿って配列されており、

前記電極は前記第1のp型III族窒化物半導体層に接触を成し、

前記第1のp型III族窒化物半導体層は前記第2のp型III族窒化物半導体層に第1ヘテ 50

口接合を成すと共に、前記第2のp型III族窒化物半導体層は前記第3のp型III族窒化物半導体層に第2ヘテ口接合を成して、前記第2のp型III族窒化物半導体層は歪みを内包する、p型コンタクト構造。

【請求項19】

III族窒化物半導体素子を作製する方法であって、  
 III族窒化物半導体からなる主面を有する複数の基板を準備する工程と、  
 第1のp型III族窒化物半導体層と、第1のIII族構成元素及び第2のIII族構成元素を備える第2のp型III族窒化物半導体層と、第3のp型III族窒化物半導体層とを備えるp型窒化物半導体積層を含む複数のエピタキシャル基板を形成する工程と、

前記複数のエピタキシャル基板の前記p型窒化物半導体積層の表面に接触を成す電極を形成して、複数の基板生産物を形成する工程と、

前記複数の基板生産物における前記p型窒化物半導体積層の前記表面と前記電極との接触抵抗を測定する工程と、

前記複数の基板生産物における前記第1のIII族構成元素と前記第2のIII族構成元素との比率と前記複数の基板生産物における前記接触抵抗との関係を得る工程と、

前記関係に基づき、前記第2のp型III族窒化物半導体層のための前記第1のIII族構成元素及び前記第2のIII族構成元素の組成を決定する工程と、

前記III族窒化物半導体素子を作製するために、第3III族窒化物層、前記決定された組成を有する第2III族窒化物層、及び第1III族窒化物層を順に成長する工程と、

前記III族窒化物半導体素子を作製するために、前記第1III族窒化物層の表面に接触を成す電極を形成する工程と、  
 を備え、

前記複数のエピタキシャル基板を形成する前記工程では、前記基板の各々における前記主面上に、前記第3のp型III族窒化物半導体層と、前記第2のp型III族窒化物半導体層と、前記第1のp型III族窒化物半導体層とを順に成長しており、

前記第2のp型III族窒化物半導体層は、前記第1のp型III族窒化物半導体層及び前記第3のp型III族窒化物半導体層に挟まれて歪みを内包しており、

前記複数のエピタキシャル基板を形成する前記工程では、前記エピタキシャル基板において前記第1のIII族構成元素と前記第2のIII族構成元素との比率が互いに異なるように、前記エピタキシャル基板の前記第2のp型III族窒化物半導体層を成長する、III族窒化物半導体素子を作製する方法。

【請求項20】

前記第1のIII族構成元素はインジウムである、請求項19に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

【請求項21】

前記第2のIII族構成元素はアルミニウムである、請求項19又は請求項20に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、III族窒化物半導体素子、p型コンタクト構造、及びIII族窒化物半導体素子を作製する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1は、発光効率に優れた窒化物半導体発光素子を開示する。窒化物半導体発光素子は、n型窒化物半導体層と、p型窒化物半導体層と、n型窒化物半導体層とp型窒化物半導体層との間に発光する活性層とを有する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

20

30

40

50

【特許文献 1】特開平 08 - 330629 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

窒化物半導体発光素子の p 型窒化物半導体層表面には、正電極が形成されている。この窒化物半導体発光素子では、p 型窒化物半導体層は、第 1 の p 型窒化物半導体層及び第 2 の p 型窒化物半導体層を含む。第 1 の p 型窒化物半導体層は、正電極と接しており、高いアクセプタ濃度を有する。第 2 の p 型窒化物半導体層は、第 1 の p 型窒化物半導体層より低いアクセプタ濃度を有し、第 1 の p 型窒化物半導体層に接している。正電極の接触面を基準とし、この正電極と接する面を高不純物濃度の第 1 の p 型窒化物半導体層が提供し、その第 1 の p 型窒化物半導体層に接して低不純物濃度の第 2 の p 型窒化物半導体層を設けている。正電極に接する層を基準としてアクセプタ濃度が調整されたドーパントプロファイルを有する p 層を作成することにより、窒化物半導体発光素子の発光効率を向上させている。

10

【0005】

上記のように、引用文献 1 では、正電極に接触を成す p 型窒化物半導体領域内のドーパントプロファイルの形状を利用して窒化物半導体発光素子の特性を改善している。しかし、発明者らの知見によれば、窒化物半導体発光素子の発光効率に関して更なる向上の要求があり、更には、発光素子及び電子デバイスといった窒化物半導体素子において、特に p 型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性改善に关心が向けられる。

20

【0006】

本発明の一側面は、このような事情を鑑みて為されたものであり、p 型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有する窒化物半導体素子を提供することを目的し、本発明の別の側面は、p 型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有する p 型コンタクト構造を提供することを目的とする。また、本発明の更なる別の側面は、p 型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を作製可能な窒化物半導体発光素子を作製することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面に係る III 族窒化物半導体素子は、III 族窒化物半導体からなり、該 III 族窒化物半導体の c 面と 50 度以上 80 度以下の範囲の角度で傾斜した主面を有する III 族窒化物半導体層と、前記 III 族窒化物半導体層の前記主面上に設けられた第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層、第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層及び第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層を含み、前記第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層が歪みを内包するように前記第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層と前記第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層との間に前記第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層が挟まれた p 型 III 族窒化物半導体積層と、前記 p 型 III 族窒化物半導体積層上に設けられた電極とを備える。前記電極は前記第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層に接触を成し、前記第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層、前記第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層及び前記第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層は、前記電極から前記 III 族窒化物半導体層への方向に、前記主面の法線軸に沿って配列されている。

30

【0008】

本発明の別の側面に係る p 型コンタクト構造は、III 族窒化物半導体からなり、該 III 族窒化物半導体の c 面と 50 度以上 80 度以下の範囲の角度で傾斜した主面を有する III 族窒化物半導体層と、前記 III 族窒化物半導体層の前記主面上に設けられた p 型 III 族窒化物半導体領域と、前記 p 型 III 族窒化物半導体領域上に設けられた電極とを備える。前記 p 型 III 族窒化物半導体領域は、第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層と、第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層と、第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層を含み、前記第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層、前記第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層及び前記第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層は、前記電極から前記 III 族窒化物半導体層への方向に、前記主面の法線軸に沿って配列され

40

50

ており、前記電極は前記第1のp型III族窒化物半導体層に接触を成し、前記第1のp型III族窒化物半導体層は前記第2のp型III族窒化物半導体層に第1ヘテロ接合を成すと共に、前記第2のp型III族窒化物半導体層は前記第3のp型III族窒化物半導体層に第2ヘテロ接合を成して、前記第2のp型III族窒化物半導体層は歪みを内包する。

【0009】

本発明の更なる別の側面はIII族窒化物半導体素子を作製する方法に係る。この方法は、III族窒化物半導体からなる主面を有する複数の基板を準備する工程と、第1のp型III族窒化物半導体層と、第1のIII族構成元素及び第2のIII族構成元素を備える第2のp型III族窒化物半導体層と、第3のp型III族窒化物半導体層とを備えるp型窒化物半導体積層を含む複数のエピタキシャル基板を形成する工程と、前記複数のエピタキシャル基板の前記p型窒化物半導体積層の表面に接触を成す電極を形成して、複数の基板生産物を形成する工程と、前記複数の基板生産物における前記p型窒化物半導体積層の前記表面と前記電極との接触抵抗を測定する工程と、前記複数の基板生産物における前記第1のIII族構成元素と前記第2のIII族構成元素との比率と前記複数の基板生産物における前記接触抵抗との関係を得る工程と、前記関係に基づき、前記第2のp型III族窒化物半導体層のための前記第1のIII族構成元素及び前記第2のIII族構成元素の組成を決定する工程と、前記III族窒化物半導体素子を作製するために、第3III族窒化物層、前記決定された組成を有する第2III族窒化物層、及び第1III族窒化物層を順に成長する工程と、前記III族窒化物半導体素子を作製するために、前記第1III族窒化物層の表面に接触を成す電極を形成する工程とを備えることができる。前記複数のエピタキシャル基板を形成する前記工程では、前記基板の各々における前記主面上に、前記第3のp型III族窒化物半導体層と、前記第2のp型III族窒化物半導体層と、前記第1のp型III族窒化物半導体層とを順に成長しており、前記第2のp型III族窒化物半導体層は、前記第1のp型III族窒化物半導体層及び前記第3のp型III族窒化物半導体層に挟まれて歪みを内包しており、前記複数のエピタキシャル基板を形成する前記工程では、前記エピタキシャル基板毎に前記第1のIII族構成元素と前記第2のIII族構成元素との比率が異なるように、前記エピタキシャル基板の前記第2のp型III族窒化物半導体層を成長する。

【0010】

本発明の上記の目的および他の目的、特徴、並びに利点は、添付図面を参照して進められる本発明の好適な実施の形態の以下の詳細な記述から、より容易に明らかになる。

【発明の効果】

【0011】

以上説明したように、本発明の一側面によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有する窒化物半導体素子が提供される。また、本発明の別の側面によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有するp型コンタクト構造が提供される。さらに、本発明の更なる別の側面によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を作製可能な窒化物半導体発光素子を作製する方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体素子の構造を概略的に示す図面である。

【図2】図2は、ポテンシャルダイアグラムの計算値を示す図面を示す。

【図3】図3は、第2のp型III族窒化物半導体層が圧縮歪みを内包するp型コンタクト構造のポテンシャルダイアグラムを示す図面である。

【図4】図4は、実施例1の構成を示す図面である。

【図5】図5は、実施例1のための実験条件の一覧を示す図面である。

【図6】図6は、層厚を横軸に示しそしてIII構成元素を縦軸に示して、良好な素子特性の範囲を規定する図面である。

【図7】図7は、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体素子を作製する方法における主

10

20

30

40

50

要な工程を示す図面である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

引き続き、本発明に係るいくつかの形態を説明する。

【0014】

本発明の実施形態に係るIII族窒化物半導体素子は、(a)III族窒化物半導体からなり、該III族窒化物半導体のc面と50度以上80度以下の範囲の角度で傾斜した主面を有するIII族窒化物半導体層と、(b)前記III族窒化物半導体層の前記主面上に設けられた第1のp型III族窒化物半導体層、第2のp型III族窒化物半導体層及び第3のp型III族窒化物半導体層を含み、前記第2のp型III族窒化物半導体層が歪みを内包するように前記第1のp型III族窒化物半導体層と前記第3のp型III族窒化物半導体層との間に前記第2のp型III族窒化物半導体層が挟まれたp型III族窒化物半導体積層と、(c)前記p型III族窒化物半導体積層上に設けられた電極とを備える。前記電極は前記第1のp型III族窒化物半導体層に接触を成し、前記第1のp型III族窒化物半導体層、前記第2のp型III族窒化物半導体層及び前記第3のp型III族窒化物半導体層は、前記電極から前記III族窒化物半導体層への方向に、前記主面の法線軸に沿って配列されている。

10

【0015】

このIII族窒化物半導体素子によれば、電極と第1のp型III族窒化物半導体層との接触による金属-半導体界面において界面障壁が形成され、この界面障壁は、III族窒化物半導体素子の接触抵抗として現れる。第2のp型III族窒化物半導体層が歪みを内包するように第1のp型III族窒化物半導体層と第3のp型III族窒化物半導体層との間に第2のp型III族窒化物半導体層を挟んでp型III族窒化物半導体積層を構成する。このp型III族窒化物半導体積層において、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みが、p型III族窒化物半導体積層のバンド構造を変化させる。このバンド構造の変化は、p型III族窒化物半導体層の下地の主面が50度以上80度未満の範囲の角度で傾斜するとき、金属-半導体界面において界面障壁によるバリアハイトを下げるよう働く。これ故に、III族窒化物半導体素子の接触抵抗の低減に有効である。

20

【0016】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第2のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度は、前記第1のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度を基準に-20%以上+20%以下の範囲にあり、前記第3のp型III族窒化物半導体層は、前記第1のp型III族窒化物半導体層及び前記第2のp型III族窒化物半導体層より低いアクセプタ濃度を有することができる。

30

【0017】

このIII族窒化物半導体素子によれば、第3のp型III族窒化物半導体層が第1のp型III族窒化物半導体層及び第2のp型III族窒化物半導体層より低いアクセプタ濃度を有するので、第3のp型III族窒化物半導体層上に成長される第1のp型III族窒化物半導体層及び第2のp型III族窒化物半導体層の結晶品質の低下を避けることができる。また、第2のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度が第1のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度を基準に-20%以上+20%以下の範囲にあるので、第2のp型III族窒化物半導体層におけるバリアの影響を低減できる。

40

【0018】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のIII族窒化物半導体層の構成元素の種類は、前記第2のIII族窒化物半導体層の構成元素の種類と異なり、前記第2のIII族窒化物半導体層の構成元素の種類は、前記第3のIII族窒化物半導体層の構成元素の種類と異なり、前記第2のIII族窒化物半導体層のIII族窒化物半導体は、インジウム(I<sub>n</sub>)及びアルミニウム(A<sub>1</sub>)の少なくともいずれか一方を構成元素として備えることができる。

【0019】

このIII族窒化物半導体素子によれば、第2のIII族窒化物半導体層のIII族窒化物半導

50

体がインジウム (In) 及びアルミニウム (Al) の少なくともいずれか一方を構成元素として有するとき、第2のIII族窒化物半導体層が歪みを内包すること容易にする。

【0020】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第2のp型III族窒化物半導体層は、2nm以上の厚さを有し、10nm以下の厚さを有することができる。

【0021】

このIII族窒化物半導体素子によれば、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みは、第1のp型III族窒化物半導体層と電極との金属・半導体界面の界面障壁を下げるよう作用する一方で、第2のp型III族窒化物半導体層内のバンド障壁を形成する。上記の厚さ範囲によれば、第2のp型III族窒化物半導体層内のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。

10

【0022】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記アクセプタは、Mg及びZnの少なくともいずれか一方を含むことができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、p導電性のためのドーパントとして、Mg及びZnの少なくともいずれか一方を用いることができる。

【0023】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記III族窒化物半導体層の前記主面は、前記III族窒化物半導体の前記c面と63度以上80度未満の範囲の角度で傾斜することができる。

20

【0024】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第3のp型III族窒化物半導体層の材料は前記第1のp型III族窒化物半導体層の材料と同じであることができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、第1のp型III族窒化物半導体層の材料及び第3のp型III族窒化物半導体層の材料が互いに同じとき、第2のIII族窒化物半導体層が歪みを内包することを容易にする。

【0025】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型III族窒化物半導体層はGaNを備えることができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、第1のp型III族窒化物半導体層の材料及び第3のp型III族窒化物半導体層の材料が共にGaNからなるとき、第2のIII族窒化物半導体層が歪みを内包することを容易にする。

30

【0026】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第2のp型III族窒化物半導体層はAlGaNを備えることができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、第2のp型III族窒化物半導体層はAlGaNを備えるとき、第2のp型III族窒化物半導体層は引っ張り歪みを内包する。

【0027】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第2のp型III族窒化物半導体層のAlGaNは2%以上のAl組成を有し、10%以下のAl組成を有することができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、AlGaNのAl組成が上記の範囲であるとき、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属・半導体界面の界面障壁低減の作用を得る一方で、AlGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。

40

【0028】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第2のp型III族窒化物半導体層はInGaNを備えることができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、第2のp型III族窒化物半導体層はInGaNを備えるとき、第2のp型III族窒化物半導体層は圧縮歪みを内包する。

【0029】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第2のp型III族窒化物半導体層のInGaNは2%以上のIn組成を有し、10%以下のIn組成を有することができる。

50

このIII族窒化物半導体素子によれば、InGaNのIn組成が上記の範囲であるとき、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属・半導体界面の界面障壁低減の作用を得る一方で、InGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。

【0030】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型III族窒化物半導体層は50nm以下の厚さを有することができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、第1のp型III族窒化物半導体層の厚さが上記の範囲であるとき、第1のp型III族窒化物半導体層と第2のp型III族窒化物半導体層とのヘテロ接合におけるピエゾ分極の作用を金属・半導体界面に顕在化させることができる。

【0031】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上であり、前記第2のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、第1のp型III族窒化物半導体層が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上のアクセプタ濃度を有するとき、高いアクセプタ濃度の作用により金属・半導体界面の障壁を低減できる。

【0032】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第3のp型III族窒化物半導体層のアクセプタ不純物濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、第3のp型III族窒化物半導体層が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のアクセプタ濃度を有するとき、第3のp型III族窒化物半導体層が大きな比抵抗を有することを避けることができる。また、第1のp型III族窒化物半導体層が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満のアクセプタ濃度を有するとき、高いアクセプタ濃度の作用による結晶品質の低下を避けることができる。

【0033】

本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子は、発光素子のための活性層を更に備えることができる。前記III族窒化物半導体層はn型半導体層を含み、前記活性層は前記III族窒化物半導体層の前記主面と前記p型III族窒化物半導体領域との間に設けられることがある。このIII族窒化物半導体素子によれば、III族窒化物半導体発光素子において金属・半導体界面の障壁を低減できる。

【0034】

或いは、本実施形態に係るIII族窒化物半導体素子は電子デバイス素子を含むことができる。このIII族窒化物半導体素子によれば、III族窒化物半導体を用いる電子デバイス素子において金属・半導体界面の障壁を低減できる。

【0035】

本発明の実施形態に係るp型コンタクト構造は、(a)III族窒化物半導体からなり、該III族窒化物半導体のc面と50度以上80度以下の範囲の角度で傾斜した主面を有するIII族窒化物半導体層と、(b)前記III族窒化物半導体層の前記主面上に設けられたp型III族窒化物半導体領域と、(c)前記p型III族窒化物半導体領域上に設けられた電極とを備える。前記p型III族窒化物半導体領域は、第1のp型III族窒化物半導体層と、第2のp型III族窒化物半導体層と、第3のp型III族窒化物半導体層を含み、前記第1のp型III族窒化物半導体層、前記第2のp型III族窒化物半導体層及び前記第3のp型III族窒化物半導体層は、前記電極から前記III族窒化物半導体層への方向に、前記主面の法線軸に沿って配列されており、前記電極は前記第1のp型III族窒化物半導体層に接触を成し、前記第1のp型III族窒化物半導体層は前記第2のp型III族窒化物半導体層に第1ヘテロ接合を成すと共に、前記第2のp型III族窒化物半導体層は前記第3のp型III族窒化物半導体層に第2ヘテロ接合を成して、前記第2のp型III族窒化物半導体層は歪みを内包する。

【0036】

このp型コンタクト構造によれば、電極と第1のp型III族窒化物半導体層との接触に

10

20

30

40

50

よる金属 - 半導体界面において界面障壁が形成され、この界面障壁は、III族窒化物半導体素子の接触抵抗として現れる。第1のp型III族窒化物半導体層は第2のp型III族窒化物半導体層に第1ヘテロ接合を成す。この歪みを内包する第2のp型III族窒化物半導体層は、第1ヘテロ接合を介して第1のp型III族窒化物半導体層のバンドを変化させる。このバンド変化は、p型III族窒化物半導体層の下地の正面が50度以上80度未満の範囲の角度で傾斜するとき、金属 - 半導体界面において界面障壁によるバリアハイトを下げるよう働く。これ故に、III族窒化物半導体素子の接触抵抗の低減に有効である。

#### 【0037】

本発明の実施形態はIII族窒化物半導体素子を作製する方法に係る。この方法は、(a) III族窒化物半導体からなる正面を有する複数の基板を準備する工程と、(b) 第1のp型III族窒化物半導体層と、第1のIII族構成元素及び第2のIII族構成元素を備える第2のp型III族窒化物半導体層と、第3のp型III族窒化物半導体層とを備えるp型窒化物半導体積層を含む複数のエピタキシャル基板を形成する工程と、(c) 前記複数のエピタキシャル基板の前記p型窒化物半導体積層の表面に接触を成す電極を形成して、複数の基板生産物を形成する工程と、(d) 前記複数の基板生産物における前記p型窒化物半導体積層の前記表面と前記電極との接触抵抗を測定する工程と、(e) 前記複数の基板生産物における前記第1のIII族構成元素と前記第2のIII族構成元素との比率と前記複数の基板生産物における前記接触抵抗との関係を得る工程と、(f) 前記関係に基づき、前記第2のp型III族窒化物半導体層のための前記第1のIII族構成元素及び前記第2のIII族構成元素の組成を決定する工程と、(g) 前記III族窒化物半導体素子を作製するために、第3III族窒化物層、前記決定された組成を有する第2III族窒化物層、及び第1III族窒化物層を順に成長する工程と、(h) 前記III族窒化物半導体素子を作製するために、前記第1III族窒化物層の表面に接触を成す電極を形成する工程とを備えることができる。前記複数のエピタキシャル基板を形成する前記工程では、前記基板の各々における前記正面に、前記第3のp型III族窒化物半導体層と、前記第2のp型III族窒化物半導体層と、前記第1のp型III族窒化物半導体層とを順に成長しており、前記第2のp型III族窒化物半導体層は、前記第1のp型III族窒化物半導体層及び前記第3のp型III族窒化物半導体層に挟まれて歪みを内包しており、前記複数のエピタキシャル基板を形成する前記工程では、前記エピタキシャル基板毎に前記第1のIII族構成元素と前記第2のIII族構成元素との比率が異なるように、前記エピタキシャル基板の前記第2のp型III族窒化物半導体層を成長する。

10

20

30

40

#### 【0038】

このIII族窒化物半導体素子を作製する方法(以下「作製方法」と記す)によれば、エピタキシャル基板を形成する際に、エピタキシャル基板毎に第1のIII族構成元素と第2のIII族構成元素との元素比率が異なるように、エピタキシャル基板の第2のp型III族窒化物半導体層を成長すると共に、これらの第2のp型III族窒化物半導体層を含む複数の基板生産物におけるp型窒化物半導体表面と電極との接触抵抗を測定する。基板生産物毎の元素比率と基板生産物毎の接触抵抗との関係に基づき、第2のp型III族窒化物半導体層のための第1のIII族構成元素及び第2のIII族構成元素の組成を決定する。この後に、III族窒化物半導体素子を作製するために、第3のp型III族窒化物半導体層と実質的に同一の組成を有する第3III族窒化物層、決定された構成元素組成を用いる第2III族窒化物層、及び第1のp型III族窒化物半導体層と実質的に同一の組成を有する第1III族窒化物層を順に成長する。そして、III族窒化物半導体素子を作製するために、第1III族窒化物層の表面に接触を成す電極を形成する。これ故に、ピエゾ分極の作用により順方向電圧を低減可能なIII族窒化物半導体素子を作製できる。

#### 【0039】

本実施形態に係る製造方法では、前記第1のIII族構成元素はインジウムであることができる。また、本発明に係る製造方法では、前記第2のIII族構成元素はアルミニウムであることができる。

#### 【0040】

50

本実施形態に係る製造方法では、前記第1Ⅲ族窒化物層は窒化ガリウム系半導体を備え、前記第2Ⅲ族窒化物層は窒化ガリウム系半導体を備え、前記第3Ⅲ族窒化物層は窒化ガリウム系半導体を備えることができる。

【0041】

引き続いて添付図面を参照しながら、本発明のⅢ族窒化物半導体素子、p型コンタクト構造、Ⅲ族窒化物半導体素子を作製する方法に係る実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。実施の形態の説明では、Ⅲ族窒化物半導体素子の一例としてⅢ族窒化物半導体レーザ素子を説明するが、Ⅲ族窒化物半導体素子にはⅢ族窒化物発光ダイオード素子、Ⅲ族窒化物電子デバイス素子が含まれる。また、Ⅲ族窒化物半導体素子を作製する方法として、Ⅲ族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法を説明する。Ⅲ族窒化物半導体レーザ素子には、p型コンタクト構造が適用されている。Ⅲ族窒化物半導体レーザ素子を作製する方法には、p型コンタクト構造を作製する方法が適用される。

10

【0042】

図1は、本実施の形態に係るⅢ族窒化物半導体素子の構造を概略的に示す図面である。図1の(a)部を参照すると、本実施の形態では、Ⅲ族窒化物半導体素子としてⅢ族窒化物半導体レーザ素子11を説明する。Ⅲ族窒化物半導体レーザ素子11は、リッジ構造を有するけれども、本発明の実施の形態は、リッジ構造に限定されるものではなく、例えば利得導波路構造にも適用可能である。Ⅲ族窒化物半導体レーザ素子11は、レーザ構造体13及び電極15を備える。レーザ構造体13は、支持基体17及び半導体領域19を含む。支持基体17は、六方晶系Ⅲ族窒化物半導体からなることができ、また半極性主面17a及び裏面17bを有する。半導体領域19は、支持基体17の半極性主面17a上に設けられている。電極15は、レーザ構造体13の半導体領域19上に設けられる。半導体領域19は、第1のクラッド層21と、第2のクラッド層23と、活性層25とを含む。第1のクラッド層21は、第1導電型の窒化ガリウム系半導体からなり、例えばn型AlGaN、n型InAlGaN等からなる。第2のクラッド層23は、第2導電型の窒化ガリウム系半導体からなり、例えばp型AlGaN、p型InAlGaN等からなる。活性層25は、第1のクラッド層21と第2のクラッド層23との間に設けられる。活性層25は窒化ガリウム系半導体層を含み、この窒化ガリウム系半導体層は例えば井戸層25aである。活性層25は窒化ガリウム系半導体からなる障壁層25bを含み、井戸層25a及び障壁層25bは交互に配列されている。井戸層25aは、例えばInGaN等からなり、障壁層25bは例えばGaN、InGaN等からなる。活性層25は、例えば波長360nm以上600nm以下の光を発生するように設けられた発光領域を含むことができる。第1のクラッド層21、第2のクラッド層23及び活性層25は、半極性主面17aの法線軸NXに沿って配列されている。レーザ構造体13は、光共振器のための端面として、第1の割断面27及び第2の割断面29を含む。支持基体17の六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のc軸は、半極性主面17aの法線軸NXに対して、ゼロより大きな角度ALPHAで傾斜する。

20

30

【0043】

レーザダイオード構造では、共振器端面の作製の実現性を考慮して以下の形態が可能である。レーザダイオード構造の一例では、支持基体17の六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のc軸は第1の割断面27から第2の割断面29への方向に延在する導波路軸の方向に傾斜していることができる。或いは、レーザダイオード構造の別の例では、支持基体17の六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のc軸は第1の割断面27から第2の割断面29への方向に延在する導波路軸の方向に交差する方向(例えば直交)に傾斜していることができる。

40

【0044】

なお、発光ダイオード構造では、半導体チップの作製の実現性を考慮して以下の形態が可能である。発光ダイオード構造の一例では、支持基体17の六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のc軸は六方晶系Ⅲ族窒化物半導体のm軸の方向に延在する導波路軸の方向に傾斜していることができる。或いは、発光ダイオード構造の別例では、支持基体17の六方晶系

50

III族窒化物半導体のc軸は六方晶系III族窒化物半導体のa軸の方向に傾斜することができる。

【0045】

III族窒化物半導体レーザ素子11は、絶縁膜31を更に備える。絶縁膜31はレーザ構造体13の半導体領域19の表面19a(半導体領域表面)を覆っており、半導体領域19は絶縁膜31と支持基体17との間に位置する。例えば、レーザ構造体13の第1の割断面27及び第2の割断面29は、六方晶系III族窒化物半導体のm軸(又はa軸)及び法線軸NXによって規定されるm-n面(a-n面)に交差する。支持基体17は六方晶系III族窒化物半導体からなる。絶縁膜31は開口31a(絶縁膜開口)を有し、開口31aは半導体領域19の表面19aと上記のm-n面(a-n面)との交差線LIXの方向に延在し、例えばストライプ形状を成す。電極15は、開口31aを介して半導体領域19の表面19a(例えば第2導電型のコンタクト層33)に接触を成しており、上記の交差線LIXの方向に延在する。III族窒化物半導体レーザ素子11では、レーザ導波路は、第1のクラッド層21、第2のクラッド層23及び活性層25を含み、また上記の交差線LIXの方向に延在する。

10

【0046】

本実施例では、図1の(b)部を参照すると、コンタクト層33はp型III族窒化物半導体積層51を備える。p型III族窒化物半導体積層51は、下地としてのIII族窒化物半導体層(本実施例では第2のクラッド層23)上に接して設けられる。下地としてのIII族窒化物半導体層の六方晶系III族窒化物半導体のc軸は、III族窒化物半導体層の半極性正面の法線軸(本実施例では法線軸NXに同一)に対して角度ALPHAで傾斜する。本実施例では、III族窒化物半導体層(本実施例では第2のクラッド層23)の正面は、該III族窒化物半導体のc面と50度以上80度以下の範囲の角度で傾斜する。p型III族窒化物半導体積層51は、第2のクラッド層23の正面23a上に設けられて、第2のクラッド層23の厚さは150nm以上である。p型III族窒化物半導体積層51では、第2のp型III族窒化物半導体層55が歪みを内包するように第1のp型III族窒化物半導体層53と第3のp型III族窒化物半導体層57との間に第2のp型III族窒化物半導体層55を挟む。電極16がp型III族窒化物半導体積層51上に設けられ、p型III族窒化物半導体積層51の正面51aに接触を成す。p型III族窒化物半導体積層51においては、電極16が第1のp型III族窒化物半導体層53に接触を成す。第1のp型III族窒化物半導体層53、第2のp型III族窒化物半導体層55及び第3のp型III族窒化物半導体層57は、電極16から第2のクラッド層23への方向に、正面23aの法線軸に沿って配列されている。

20

【0047】

このIII族窒化物半導体レーザ素子11によれば、電極16と第1のp型III族窒化物半導体層53との接触による金属-半導体界面J0において界面障壁が形成され、この界面障壁は、III族窒化物半導体レーザ素子11の接触抵抗として現れる。第2のp型III族窒化物半導体層55が歪みを内包するように第1のp型III族窒化物半導体層53と第3のp型III族窒化物半導体層57との間に第2のp型III族窒化物半導体層55を挟んでp型III族窒化物半導体積層51を構成する。このp型III族窒化物半導体積層51において、図1の(c)部及び図1の(d)部を参照すると、第2のp型III族窒化物半導体層55の歪みがp型III族窒化物半導体積層51のバンド構造を変化させる。図1の(c)部及び図1の(d)部の縦軸はポテンシャルを示し、横軸はZ軸上の座標を示す。このバンド構造の変化は、p型III族窒化物半導体積層51の下地の正面23aが50度以上80度未満の範囲の角度で傾斜するとき、金属-半導体界面において界面障壁によるバリアハイトを下げるよう働く。これ故に、III族窒化物半導体レーザ素子11の接触抵抗の低減に有効である。ピエゾ電界が負であるときに、接触抵抗の改善効果が大きい。

30

40

【0048】

例示的なp型コンタクト構造を説明する。

層の名称、

材料、

ドーパント濃度Na。

50

第1のp型III族窒化物半導体層53: GaN、Na = 4E + 20。

第2のp型III族窒化物半導体層55: Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N、Na = 4E + 20。

第3のp型III族窒化物半導体層57: GaN、Na = 4E + 19。

電極16: Pd。

このようなコンタクト構造の厚さは例えば20nm以上であり、例えば200nm以下である。このp型コンタクト構造は、下地としてIII族窒化物半導体層の主面上に接合を成しており、その主面は該III族窒化物半導体層のc面と50度以上80度以下の範囲の角度で傾斜する。第1のp型III族窒化物半導体層53の厚さは10nmであり、第2のp型III族窒化物半導体層55の厚さは3nmであり、第3のp型III族窒化物半導体層57の厚さは100nmである。

10

#### 【0049】

図2は、第2のp型III族窒化物半導体層55が引っ張り歪みを内包するp型コンタクト構造のポテンシャルダイアグラムを示す図面である。図2では、面方位(20-21)面上のp型コンタクト構造の計算例が示される。第2のp型III族窒化物半導体層55に働くピエゾ電界の向きは第1のp型III族窒化物半導体層53から第3のp型III族窒化物半導体層57に向く方向である。図2では、Al組成Xの0、0.01、0.04、0.16について、それぞれ、計算されたポテンシャルラインB00、B01、B04、B16を示す。

#### 【0050】

図2の(a)部は、ポテンシャルダイアグラムの全体を概括するように計算値を示す一方で、図2の(b)部は、2つのヘテロ接合の付近における正孔のポテンシャルラインB00、B01、B04、B16を、これらの違いが表されるように図2の(a)部の縦軸を縦軸の0eV~-0.2eVの範囲に拡大して示す。図2の(b)部を参照すると、AlGaN層を2つの窒化ガリウム系半導体層で挟む構造では、AlGaN層内のピエゾ電界により、矢印部分A1、A2のバンドが引き下げられる。この引き下げにより、金属-半導体接合界面に生じるポテンシャル障壁が薄くなっている。キャリアが界面障壁をトンネルしやすくなる。これは、接触抵抗の低下に有用である。

20

#### 【0051】

Al組成10%(X=0.1)を越えるAlGaNでは、大きなバンド引下げの作用(つまり、金属と半導体との物理的な接触における特性)を得ることができる一方で、AlGaN層自体のポテンシャルが障壁となる可能性がある。これ故に、素子の全体としての特性である接触抵抗を増加させる可能性がある。また、AlGaN層の厚さが大きいときは、AlGaN層をキャリアがトンネルにより通過しにくくなる。これ故に、素子の全体としての特性である接触抵抗を増加させる可能性がある。

30

#### 【0052】

例示的なp型コンタクト構造を説明する。

層の名称、 材料、 ドーパント濃度Na。

第1のp型III族窒化物半導体層53: GaN、Na = 4E + 20。

第2のp型III族窒化物半導体層55: In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N、Na = 4E + 20。

第3のp型III族窒化物半導体層57: GaN、Na = 4E + 19。

40

電極16: Pd。

このようなコンタクト構造の厚さは例えば20nm以上であり、例えば200nm以下である。このp型コンタクト構造は、下地としてIII族窒化物半導体層の主面上に接合を成しており、その主面は該III族窒化物半導体層のc面と50度以上80度以下の範囲の角度で傾斜する。第1のp型III族窒化物半導体層53の厚さは10nmであり、第2のp型III族窒化物半導体層55の厚さは3nmであり、第3のp型III族窒化物半導体層57の厚さは100nmである。

#### 【0053】

図3は、第2のp型III族窒化物半導体層55が圧縮歪みを内包するp型コンタクト構造のポテンシャルダイアグラムを示す図面である。図3では、面方位(20-21)面上

50

の p 型コンタクト構造の計算例が示される。第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層 5 5 に働くピエゾ電界の向きは第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層 5 7 から第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層 5 3 に向く方向である。図 3 では、面方位 (20 - 21) 面及び (0001) 面上の In 組成 Y の 5 % の InGaN 層について、それぞれ、計算されたポテンシャルライン M 75, C を示す。

#### 【0054】

図 3 を参照すると、InGaN 層を 2 つの窒化ガリウム系半導体層で挟む構造では、(20 - 21) 面上の InGaN 層内のピエゾ電界により、矢印部分 A 3 のバンドが引き下げられる。この引き下げにより、金属 - 半導体接合界面に生じるポテンシャル障壁が薄くなつて、キャリアが界面障壁をトンネルしやすくなる。これは、接触抵抗の低下に有用である。

10

#### 【0055】

In 組成 10 % (Y = 0.1) を越える InGaN では、電極側の GaN 層と InGaN 層との界面における大きなバンド引下げの作用 (つまり、金属と半導体との物理的な接触における特性) を得ることができる一方で、他方の GaN 層と InGaN 層の接合におけるバンド構造が障壁となる。この障壁は、素子の全体としての特性である接触抵抗を増加させる可能性がある。また、InGaN 層の厚さが大きいときは、InGaN 層のポテンシャルがキャリアの流れを妨げる可能性がある。これ故に、素子の全体としての特性である接触抵抗を増加させる可能性がある。

20

#### 【0056】

III 族窒化物半導体素子の p 型コンタクト構造は、その下地となる III 族窒化物半導体層 (例えば第 2 のクラッド層 23) の III 族窒化物半導体の c 面と 50 度以上 80 度以下の範囲の角度で傾斜した主面 (例えば主面 23a) に接して設けられた p 型 III 族窒化物半導体領域 (51) と、この p 型 III 族窒化物半導体領域上に設けられた電極 (16) とを備える。p 型 III 族窒化物半導体領域 (51) は、第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層 (53) と、第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層 (55) と、第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層 (57) を含む。第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層 (53)、第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層 (55) 及び第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層 (57) は、電極 (16) から III 族窒化物半導体層 (23) への方向に、主面 (例えば主面 23a) の法線軸に沿つて配列されている。電極 (16) は第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層 (53) に金属 - 半導体界面 J 0 で接触を成し、第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層 (53) は第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層 (55) に第 1 ヘテロ接合 HJ 1 を成すと共に、第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層 (55) は第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層 (57) に第 2 ヘテロ接合 HJ 2 を成して、第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層 (55) は歪みを内包する。本実施例では、第 3 の p 型 III 族窒化物半導体層 (57) は下地層の表面 (例えば主面 23a) に接合 J 1 を成す。第 1 ヘテロ接合 HJ 1 は、下地層の表面 (例えば主面 23a)、又は半極性主面 (基板主面) 17a に対して角度 ALPHA のための角度範囲内の角度で傾斜する基準面に沿つて延在している。第 2 ヘテロ接合 HJ 2 は、下地層の表面 (例えば主面 23a)、又は半極性主面 17a に対して角度 ALPHA のための角度範囲内の角度で傾斜する基準面に沿つて延在している。金属 - 半導体界面 J 0 は、下地層の表面 (例えば主面 23a)、又は半極性主面 17a に対して角度 ALPHA のための角度範囲内の角度で傾斜する基準面に沿つて延在している。

30

#### 【0057】

この p 型コンタクト構造によれば、電極 (16) と第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層 (53) との接触による金属 - 半導体界面において界面障壁が形成され、この界面障壁は、III 族窒化物半導体素子の接触抵抗として現れる。第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層 (53) は第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層 (55) に第 1 ヘテロ接合 HJ 1 を成す。この歪みを内包する第 2 の p 型 III 族窒化物半導体層 (55) は、第 1 ヘテロ接合 HJ 1 を介して第 1 の p 型 III 族窒化物半導体層 (53) のバンドを変化させる。このバンド変化は、p 型 III 族窒化物半導体領域 (51) の下地の主面 (主面 23a) が 50 度以上 80 度未満

40

50

の範囲の角度で傾斜するとき、金属 - 半導体界面において界面障壁によるバリアハイトを下げるよう働く。これ故に、III族窒化物半導体素子の接触抵抗の低減に有効である。

【0058】

上記の計算結果、並びに追加の実験及び検討に基づき、III族窒化物半導体レーザ素子11は以下のような構造を備えることができる。

【0059】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、第2のp型III族窒化物半導体層55のアクセプタ濃度は第1のp型III族窒化物半導体層53のアクセプタ濃度を基準に-20%以上+20%以下の範囲にあることが好ましい。第3のp型III族窒化物半導体層57は、第1のp型III族窒化物半導体層53及び第2のp型III族窒化物半導体層55より低いアクセプタ濃度を有することができる。この構造によれば、第3のp型III族窒化物半導体層57が第1のp型III族窒化物半導体層53及び第2のp型III族窒化物半導体層55より低いアクセプタ濃度を有するので、第3のp型III族窒化物半導体層57上に成長される第1のp型III族窒化物半導体層53及び第2のp型III族窒化物半導体層55の結晶品質の低下を避けることができる。また、第2のp型III族窒化物半導体層55のアクセプタ濃度が第1のp型III族窒化物半導体層53のアクセプタ濃度を基準に-20%以上+20%以下の範囲にあるので、第2のp型III族窒化物半導体層55におけるバリアの影響を低減できる。

【0060】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、第1のp型III族窒化物半導体層53の構成元素の種類は第2のp型III族窒化物半導体層55の構成元素の種類と異なる。第2のp型III族窒化物半導体層55の構成元素の種類は第2のp型III族窒化物半導体層55の構成元素の種類と異なる。第2のp型III族窒化物半導体層55のIII族窒化物半導体は、インジウム(Indium)及びアルミニウム(Aluminum)の少なくともいずれか一方を構成元素として備えることができる。この構造では、第2のp型III族窒化物半導体層55のIII族窒化物半導体がインジウム(Indium)及びアルミニウム(Aluminum)の少なくともいずれか一方の構成元素を有するとき、第2のp型III族窒化物半導体層55が歪みの内包すること容易にする。

【0061】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、第2のp型III族窒化物半導体層55は、2nm以上の厚さを有し、10nm以下の厚さを有することができる。第2のp型III族窒化物半導体層55の歪みは、第1のp型III族窒化物半導体層53と電極16との金属 - 半導体界面J0の界面障壁を下げるよう作用する一方で、第2のp型III族窒化物半導体層55内のバンド障壁を形成する。上記の厚さ範囲によれば、第2のp型III族窒化物半導体層55内のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。

【0062】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、p導電性のためのドーパントとして、Mg及びZnの少なくともいずれか一方を用いることができる。

【0063】

III族窒化物半導体レーザ素子では、下地としてのIII族窒化物半導体層(例えば第2のクラッド層23)において、成長面としての主面23aはIII族窒化物半導体層のIII族窒化物半導体のc面と63度以上80度未満の範囲の角度で傾斜することができる。この角度範囲にあるとき、第2のp型III族窒化物半導体層55の歪みによる金属 - 半導体界面J0の界面障壁押し下げ効果をさらに強めることができる。また、半極性主面17aは、そのIII族窒化物半導体のc面と63度以上80度未満の範囲の角度で傾斜することができる。

【0064】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、第3のp型III族窒化物半導体層57の材料は第1のp型III族窒化物半導体層53の材料と同じであることができる。第1のp型III族窒化物半導体層53及び第3のp型III族窒化物半導体層57が同じ材料からなるとき、

10

20

30

40

50

第2のp型III族窒化物半導体層55が歪みの内包すること容易にする。より具体的な構造では、第1のp型III族窒化物半導体層53及び第3のp型III族窒化物半導体層57はGaNを備えるとき、第2のp型III族窒化物半導体層55が歪みの内包することを容易にする。

【0065】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、第2のp型III族窒化物半導体層55はAlGaNを備えるとき、第2のp型III族窒化物半導体層は引っ張り歪みを内包する。例えば、III族窒化物半導体レーザ素子11では、第2のp型III族窒化物半導体層55のAlGaNは2%以上のAl組成を有し、10%以下のAl組成を有することができる。AlGaNのAl組成が上記の範囲であるとき、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属-半導体界面の界面障壁低減の作用を得る一方で、AlGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。AlGaNのAl組成が2%以上であるとき、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属-半導体界面の界面障壁低減の作用を有意に得ることができる。AlGaNのAl組成が10%以下であるとき、AlGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。さらに、第2のp型III族窒化物半導体層55においては、そのAlGaN層の厚さは2nm以上であることができ、そのAlGaN層の厚さは10nm以下であることができる。AlGaNの厚さが上記の範囲であるとき、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属-半導体界面の界面障壁低減の作用を得る一方で、AlGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。そのAlGaN層の厚さの下限は第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属-半導体界面の界面障壁低減の作用を有意に得ることに基づく。AlGaNの厚さの上限は、AlGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減することに基づく。

10

20

30

40

【0066】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、第2のp型III族窒化物半導体層55はInGaNを備えるとき、第2のp型III族窒化物半導体層55は圧縮歪みを内包する。例えば、III族窒化物半導体レーザ素子11では、第2のp型III族窒化物半導体層55のInGaNは2%以上のIn組成を有し、10%以下のIn組成を有することができる。InGaNのIn組成が上記の範囲であるとき、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属-半導体界面の界面障壁低減の作用を得る一方で、InGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。InGaNのIn組成が2%以上であるとき、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属-半導体界面の界面障壁低減の作用を有意に得ることができます。InGaNのIn組成が10%以下であるとき、InGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。さらに、第2のp型III族窒化物半導体層55においては、そのInGaN層の厚さは2nm以上であることができ、そのInGaN層の厚さは10nm以下であることができる。InGaNの厚さが上記の範囲であるとき、第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属-半導体界面の界面障壁低減の作用を得る一方で、InGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できる。そのInGaN層の厚さの下限は第2のp型III族窒化物半導体層の歪みによる金属-半導体界面の界面障壁低減の作用を有意に得ることに基づく。InGaNの厚さの上限は、InGaN自身のバンド障壁の影響の顕在化を低減できることに基づく。第2のp型III族窒化物半導体層55の厚さは第1のp型III族窒化物半導体層53の厚さより薄いことができる。

【0067】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、第1のp型III族窒化物半導体層53は50nm以下の厚さを有することができる。第1のp型III族窒化物半導体層53の厚さが上記の範囲であるとき、第1のp型III族窒化物半導体層53と第2のp型III族窒化物半導体層55とのヘテロ接合HJ1におけるピエゾ分極の作用を金属-半導体界面に顕在化させることができる。第1のp型III族窒化物半導体層53は2nm以上の厚さを有することができる。

【0068】

第1のp型III族窒化物半導体層53のアクセプタ濃度は第3のp型III族窒化物半導体

50

層のアクセプタ濃度より大きいことが好ましい。III族窒化物半導体レーザ素子11では、第1のp型III族窒化物半導体層53のアクセプタ濃度は例えば $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることができる。第1のp型III族窒化物半導体層が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上のアクセプタ濃度を有するとき、高いアクセプタ濃度の作用により金属-半導体界面の障壁を低減できる。第2のp型III族窒化物半導体層55のアクセプタ濃度は例えば $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることができる。第2のp型III族窒化物半導体層が $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上のアクセプタ濃度を有するとき、高いアクセプタ濃度の作用により第2のp型III族窒化物半導体層55のポテンシャル障壁を低減できる。

## 【0069】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、第3のp型III族窒化物半導体層57のアクセプタ不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上のアクセプタ濃度を有するとき、第3のp型III族窒化物半導体層57が大きな比抵抗を有することを避けることができる。また、第3のp型III族窒化物半導体層57が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満のアクセプタ濃度を有するとき、高いアクセプタ濃度の作用による結晶品質の低下を避けることができる。

## 【0070】

既に説明したように、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体素子が、発光素子のための活性層を更に備えるとき、III族窒化物半導体発光素子において金属-半導体界面の障壁を低減できる。

## 【0071】

p型コンタクト構造の具体例を示す。

第1半導体層53、第2半導体層55、第3半導体層55。

p型GaN、p型AlGaN、p型GaN。

p型GaN、p型InGaN、p型GaN。

p型GaN、p型InAlGaN、p型GaN。

p型GaN、p型InAlN、p型GaN。

## 【0072】

或いは、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体素子は電子デバイス素子を含むことができる。III族窒化物半導体を用いる電子デバイス素子において金属-半導体界面の障壁を低減できる。電子デバイス素子は、例えばHEMT素子、バイポーラトランジスタ素子等を包含する。

## 【0073】

具体的には、電子デバイス素子は以下の構造を有する。

電子デバイスがp-n接合ダイオードであるとき、そのp型III族窒化物半導体層には、アノード電極が接合を成す。

電子デバイスがHEMT素子であるとき、そのp型III族窒化物半導体層にはNi/Au電極が接合を成す。

電子デバイスがバイポーラトランジスタ素子であるとき、そのp型III族窒化物半導体層にはNi/Au電極が接合を成す。

## 【0074】

再び、図1を参照すると、半導体領域19は、第1領域19b、第2領域19c及び第3領域19dを含み、第1～第3領域19b～19dは、導波路軸（導波路ベクトルLGVで表される軸）の方向に延在する。この導波路軸は、第1の端面（例えば第1の割断面27）から第2の端面（例えば第2の割断面29）への方向を示すに沿って延在する。第3領域19dは第1領域19bと第2領域19cとの間に設けられる。絶縁膜31の開口31aは半導体領域19の第3領域19d上に位置する。第3領域19dは半導体領域19のリッジ構造を含むことができる。

## 【0075】

電極15は、電極16及びパッド電極18を含む。電極16（例えばオーミック電極）は、絶縁膜31の開口31aを介して半導体領域19の第3領域19dにオーミック接触を成す。パッド電極18は第1、第2及び第3電極部18b、18c、18dを含み、第

10

20

30

40

50

1～第3電極部18b～18dは、半導体領域19の第1～第3領域19b～19d上にそれぞれ設けられている。電極16（例えばオーミック電極）は例えばPdを含むことができる。Pd電極は、酸化性に富む半極性面においても電気的接触を提供できる。パッド電極18は例えばTi/Pt/Auからなることができる。

## 【0076】

III族窒化物半導体レーザ素子11は、図1に示されるように、第1の割断面27及び第2の割断面29それぞれに設けられた誘電体多層膜43、44を更に備える。第1の割断面27、第2の割断面29にも端面コートを適用できる。端面コートにより反射率を調整できる。

## 【0077】

誘電体多層膜43は、支持基体17の一端面及び半導体領域19の一端面上に設けられ、これらの端面は例えば第1の割断面27を構成する。誘電体多層膜43のための堆積物は、電極15（パッド電極18）の一端面上にも設けられる。また、誘電体多層膜44は、支持基体17の他端面及び半導体領域19の他端面上に設けられ、これらの端面は例えば第2の割断面29を構成する。誘電体多層膜44のための堆積物は、電極15（パッド電極18）の他端面上に設けられる。このIII族窒化物半導体レーザ素子11によれば、電極15は電極16及びパッド電極18を含む。この電極16（オーミック電極）は絶縁膜31の開口31aを介して半導体領域19の第3領域19dに接触を成す。電極16の厚さは例えば20nm～100nm程度であり、パッド電極18の厚さは例えば0.2μm～1μm程度である。電極15からの電流は、導波路軸に沿った半導体領域部分（例えば第3領域19d）にリッジ構造を介して案内される。

10

20

## 【0078】

活性層25は、波長500nm以上の光を発生するように設けられた量子井戸構造を含むことができる。半極性面の利用により、波長500nm以上550nm以下の光の発生に好適である。このIII族窒化物半導体レーザ素子11によれば、500nm以上の発振波長を得るために、活性層25のInGaN層は0.2以上のインジウム組成を有することが必要となる。

## 【0079】

図1を参照すると、直交座標系S及び結晶座標系CRが描かれている。法線軸NXは、直交座標系SのZ軸の方向に向く。半極性主面17aは、直交座標系SのX軸及びY軸により規定される所定の平面に平行に延在する。また、図1には、代表的なc面Scが描かれている。支持基体17の六方晶系III族窒化物半導体のc軸は、六方晶系III族窒化物半導体のm軸の方向に法線軸NXに対してゼロより大きい角度ALPHAで傾斜している。

30

## 【0080】

III族窒化物半導体レーザ素子11では、六方晶系III族窒化物半導体のc軸が六方晶系III族窒化物半導体のm軸の方向に傾斜することができる。第1の割断面27及び第2の割断面29は、本実施例のように、六方晶系III族窒化物半導体のm軸及び法線軸NXによって規定されるm-n面に交差する場合は、III族窒化物半導体レーザ素子11のレーザ共振器は第1の割断面27及び第2の割断面29を含み、第1の割断面27及び第2の割断面29の一方から他方に、レーザ導波路が延在している。レーザ構造体13は第1の面13a及び第2の面13bを含み、第1の面13aは第2の面13bの反対側である。第1の割断面27及び第2の割断面29は、第1の面13aの縁（エッジ13c）から第2の面13bの縁（エッジ13d）まで延在する。第1の割断面27及び第2の割断面29は、c面、m面又はa面といったこれまでのへき開面とは異なる。

40

## 【0081】

このIII族窒化物半導体レーザ素子11によれば、レーザ共振器を構成する第1の割断面27及び第2の割断面29がm-n面に交差するとき、m-n面と半極性面（例えば、基板の半極性主面17a）との交差線の方向に延在するレーザ導波路を設けることができる。これ故に、III族窒化物半導体レーザ素子11は、低しきい値電流を可能にするレーザ共振器を有することになる。或いは、六方晶系III族窒化物半導体のc軸が六方晶系III

50

族窒化物半導体の  $a$  軸の方向に傾斜することができる。この形態では、上記の説明において「 $m$  軸」を「 $a$  軸」に読み替えることにより当業者はその形態を理解することができる。

### 【0082】

III族窒化物半導体レーザ素子11は、 $n$  側光ガイド層35及び $p$  側光ガイド層37を含む。 $n$  側光ガイド層35は、第1の部分35a及び第2の部分35bを含み、 $n$  側光ガイド層35は例えばGaN、InGaN等からなる。 $p$  側光ガイド層37は、第1の部分37a及び第2の部分37bを含み、 $p$  側光ガイド層37は例えばGaN、InGaN等からなる。支持基体17の裏面17b(支持基体裏面)には別の電極41が設けられ、電極41は例えば支持基体17の裏面17bを覆っている。一実施例では、電流プロック層39が、例えば第1の部分37aと第2の部分37bとの間に設けられていてもよい。

10

### 【0083】

#### (実施例1)

図4を参照すると、実施例1のためのレーザダイオードの構造を示す。図4における表記を説明する: 最左欄から最右欄に向けて順に、半導体層の材料名、半導体層の厚さ、ドーパント名、ドーパント濃度が記載されている。ドーパント濃度「3.0E+20」は $3.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ を示す。このレーザダイオードのエピタキシャル層構造は、GaN基板の主面上に形成される。この主面は、既に説明した角度ALPHA(オフ角)の角度範囲にある。エピタキシャル層構造の半導体は、主面の法線軸の方向に積層されていく。この実施例では、{20-21}面(法線軸と $m$ 軸との角度75度)、{11-22}面(法線軸と $a$ 軸との角度58度)、{10-11}面(法線軸と $m$ 軸との角度62度)の面方位の主面を有するGaN基板を準備する。エピタキシャル成長は、例えば有機金属気相成長法を用いることができる。

20

### 【0084】

GaN基板の表面にサーマルクリーニングを行った後に、厚さ $1.1 \mu\text{m}$ のGaN層を成長する。次いで、このGaN層上に、 $n$  側クラッド層として、厚さ $1.0 \mu\text{m}$ の $n$ 型 $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 層を成長する。この $\text{AlGaN}$ 層上に、光ガイド層として、厚さ $500 \text{ nm}$ の $n$ 型GaN層、及び厚さ $80 \text{ nm}$ の $n$ 型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層を順に成長する。この $n$ 型InGaN層上に、活性層を成長する。活性層は、厚さ $3 \text{ nm}$ のアンドープ $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ 層の井戸層、厚さ $3 \text{ nm}$ のアンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層の障壁層を含む。活性層上に、光ガイド層として、厚さ $50 \text{ nm}$ のアンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層を成長する。このInGaN層上に、 $p$  側クラッド層として、厚さ $400 \text{ nm}$ の $p$ 型 $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 層を成長する。この $p$  側クラッド層上に、 $p$ 型III族窒化物半導体積層を成長する。 $p$ 型III族窒化物半導体積層のために、厚さ $40 \text{ nm}$ の $p$ 型GaN層、厚さ $3 \text{ nm}$ の $\text{In}_{0.1}\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層、及び厚さ $10 \text{ nm}$ の $p$ 型GaN層を順に連続して成長する。 $\text{In}_{0.1}\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層は、実験水準として、3元InGaN、3元AlGaN、四元InAlGaNを成長する。

30

### 【0085】

図5は、実施例1のための実験条件の一覧を示す図面である。

40

実験条件名、第2の $p$ 型III族窒化物半導体層55の材料及び組成。

実験条件1: GaN。

実験条件2: InGaN、In組成0.01。

実験条件3: InGaN、In組成0.04。

実験条件4: InGaN、In組成0.10。

実験条件5: AlGaN、Al組成0.01。

実験条件6: AlGaN、Al組成0.04。

実験条件7: AlGaN、Al組成0.10。

実験条件8: InAlGaN、In組成0.04、Al組成0.04。

### 【0086】

50

これらのエピタキシャル成長により、8種のエピタキシャル基板が形成される。これらのエピタキシャル基板上に、TLM法で接触抵抗  $c$  ( $\text{cm}^2$ ) を測定するためのテストエレメントグループ (TEG) 用パターンを  $Pd$  電極を用いて形成する。また、リッジ構造のレーザダイオードを形成するためのプロセスを適用して、リッジ幅  $2 \mu\text{m}$  のリッジ構造を作製する。アノード電極のために  $Pd$  蒸着し、カソード電極のために基板裏面に  $A1$  を蒸着する。

共振器長  $500 \mu\text{m}$  のレーザバーを作製した後に、端面コートを行う。その反射率は前面 50 % であり、背面 95 % である。

#### 【0087】

このように作製された8種類のレーザダイオードは、しきい値電流  $I_{th} 50 \text{mA}$  で、波長  $525 \text{nm}$  でレーザ発振する。また、これらのレーザダイオードにおいて、印加電流  $50 \text{mA}$  での順方向電圧として規定される「 $V_f$ 」を測定する。

#### 【0088】

図5は、測定結果を示す。

実験条件名、接触抵抗  $c$  ( $\text{cm}^2$ ) 、順方向電圧  $V_f$  (V)。

実験条件1 :  $5 \times 10^{-4}$  、 4.5。

実験条件2 :  $1 \times 10^{-4}$  、 4.2。

実験条件3 :  $1 \times 10^{-4}$  、 4.2。

実験条件4 :  $1 \times 10^{-4}$  、 4.8。

実験条件5 :  $1 \times 10^{-4}$  、 4.2。

実験条件6 :  $1 \times 10^{-4}$  、 4.2。

実験条件7 :  $1 \times 10^{-4}$  、 4.8。

実験条件8 :  $1 \times 10^{-4}$  、 4.2。

実験条件2～8における接触抵抗  $c$  は、実験条件1に比べて小さい。したがって、第2のp型III族窒化物半導体層55が歪みを内包するとき、ピエゾ電界の作用により、金属-半導体界面における障壁が実効的に薄くなる。したがって、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有する窒化物半導体素子が提供される。また、本実施の形態によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有するp型コンタクト構造が提供される。

#### 【0089】

また、実験条件2～3、5～6及び8における順方向電圧  $V_f$  は、実験条件1、4、7に比べて小さい。これは、第2のp型III族窒化物半導体層55のピエゾ電界は、第1のp型III族窒化物半導体層53内のバンドの引き下げ作用を発揮して金属-半導体界面における障壁を薄くする一方で第2のp型III族窒化物半導体層55自身が障壁として作用することを示す。

#### 【0090】

このように、素子特性としては、第2のp型III族窒化物半導体層55のピエゾ電界によるバンド引き下げ作用だけでなく、第2のp型III族窒化物半導体層55自身による障壁も考慮することが好ましい。順方向電圧  $V_f$  が、キャリアのトンネル確率は厚みと、ヘテロ界面におけるバンド不連続（即ち、 $A1$ 組成及び/又は $In$ 組成）との両方に依存する。これ故に、この視点に関する発明者らの検討によれば、第2のp型III族窒化物半導体層55における組成（ $A1$ 組成、又は $In$ 組成）及び層厚の積、つまり「厚み×組成」により、良好な素子特性の範囲を規定することができる。

この $A1GaN$ について以下の条件式で良好な素子特性の範囲を規定する。

$A1$ 組成を $x$  [%]、厚みを $a$  [nm]として、 $1 < x \times a < 25$ 。

この $InGaN$ について以下の条件式で良好な素子特性の範囲を規定する。

$In$ 組成を $y$  [%]、厚みを $b$  [nm]として、 $1 < y \times b < 25$ 。

この $InAlGaN$ について以下の条件式で良好な素子特性の範囲を規定する。

$A1$ 組成を $x$  [%]、 $In$ 組成を $y$  [%]、厚みを $c$  [nm]として、 $1 < |x/5 - y| \times c < 25$ 。

10

20

30

40

50

## 【0091】

図6は、層厚を横軸に示しそしてIII構成元素を縦軸に示して、良好な素子特性の範囲を規定する。図6の(a)部を参照すると、第2のp型III族窒化物半導体層55がAlGaNを備えるとき、このAlGaNについて、以下の条件式で良好な素子特性の範囲を規定する。

(層55の厚さ)を変数X1で表す。(層55のAl組成)変数Y1で表す。

X1 > 0。

Y1 > 0。

Y1 > -X1 + 0.02。

Y1 < -X1 + 0.10。

10

図6の(b)部を参照すると、第2のp型III族窒化物半導体層55がInGaNを備えるとき、このInGaNについて、以下の条件式で良好な素子特性の範囲を規定する。

(層55の厚さ)を変数X2で表す。(層55のIn組成)変数Y2で表す。

X2 > 0。

Y2 > 0。

Y2 > -X2 + 0.02。

Y2 < -X2 + 0.10。

20

## 【0092】

p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触を含むp型コンタクトにおける接触抵抗を低減可能な構造を有する窒化物半導体素子が提供される。また、本実施の形態によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触を含むp型コンタクトにおける接触抵抗を低減可能な構造を有するp型コンタクト構造が提供される。

## 【0093】

実験条件2、3、5、6、8のレーザダイオードに対して、出力一定(APC)通電寿命試験を行う。この寿命試験により、通電に伴うVf上昇の程度が軽減され、動作電流Io30%の上昇までに、順方向電圧Vfが10%程度の上昇にとどまる。一方、実験条件1のレーザダイオードに対する寿命試験では、順方向電圧Vfが50%程度の上昇を示した。

## 【0094】

図7は、本実施の形態に係るIII族窒化物半導体素子を作製する方法(以下「作製方法」と記す)における主要な工程を示す図面である。工程フロー100を参照しながら、III族窒化物半導体素子を作製する方法を説明する。引き続く説明において、理解を容易にするために、可能な場合には、図1を参照しながら説明された実施の形態における参照符号を使用する。

30

## 【0095】

工程S101において、III族窒化物半導体からなる主面を有する複数の基板を準備する。例えば、実施例1において説明したように、GaN基板を準備することができる。基板の準備において、基板主面の面方位は、複数の基板において同一であることが好ましく、実質的に同一である。基板主面の面方位に対応する角度は、既に説明した角度範囲に限定されること無く、より広い角度範囲内から選択することができる。好ましくは、基板主面の面方位はc面(極性面)とピエゾ電界の向きが逆である半極性面の角度範囲にあることが良い。

40

## 【0096】

工程S102において、複数のエピタキシャル基板を形成する。複数のエピタキシャル基板の各々は、p型窒化物半導体積層を含み、p型窒化物半導体積層の形成のために、第1のp型III族窒化物半導体層と、第1のIII族構成元素及び第2のIII族構成元素を備える第2のp型III族窒化物半導体層と、第3のp型III族窒化物半導体層とを例えれば有機金属気相成長法で成長することができる。第1III族窒化物層は窒化ガリウム系半導体を備え、第2III族窒化物層は窒化ガリウム系半導体を備え、第3III族窒化物層は窒化ガリウム系半導体を備えることができる。第1のp型III族窒化物半導体層、第2のp型III族窒

50

化物半導体層及び第3のp型III族窒化物半導体層の組み合わせは、例えばGaN / InGaN / GaN、GaN / AlGaN / GaN、又はGaN / InAlGaN / GaNを包含する。複数のエピタキシャル基板を形成する際には、基板の各々における主面上に、第3のp型III族窒化物半導体層と、第2のp型III族窒化物半導体層と、第1のp型III族窒化物半導体層とを順に成長する。複数のエピタキシャル基板の少なくとも1枚において、第2のp型III族窒化物半導体層は、第1のp型III族窒化物半導体層及び第3のp型III族窒化物半導体層に挟まれて歪みを内包している。このために、複数のエピタキシャル基板を形成する際には、エピタキシャル基板毎に第1のIII族構成元素と第2のIII族構成元素との比率が異なるように、エピタキシャル基板の第2のp型III族窒化物半導体層を成長して、異なる歪みを第2のp型III族窒化物半導体層に提供する。例えば、第1のIII族構成元素はインジウムであることができ、第1のIII族構成元素はインジウムであるときは、第2のIII族構成元素はガリウムであることができる。或いは、第2のIII族構成元素はアルミニウムであることができ、第2のIII族構成元素はアルミニウムであるときは、第1のIII族構成元素はガリウムであることができる。加えて、四元のIII族窒化物においては、第3のIII族構成元素は、第1のIII族構成元素及び第2のIII族構成元素と異なり、III族構成元素（ガリウム、インジウム、アルミニウム）のいずれかである。

10

## 【0097】

工程S103において、複数の基板生産物を形成する。複数の基板生産物を形成するために、エピタキシャル基板毎のp型窒化物半導体積層の表面に接触を成す電極を形成する。電極は、例えばパラジウムを蒸着することにより形成される。

20

## 【0098】

工程S104において、p型窒化物半導体積層の表面と電極との接触抵抗を基板生産物毎に測定する。この測定は例えばTLM法で行われる。

## 【0099】

工程S105において、基板生産物毎の測定により、基板生産物毎の構成元素比率（第1のIII族構成元素と第2のIII族構成元素との比率）と基板生産物毎の接触抵抗との関係を得ることができる。

30

## 【0100】

工程S106において、上記の関係に基づき、III族窒化物半導体素子（例えば、III族窒化物半導体レーザ素子11）を作製するために、第2のp型III族窒化物半導体層のための第1のIII族構成元素及び第2のIII族構成元素の組成を決定する。

30

## 【0101】

工程S107において、III族窒化物半導体素子を作製するために、エピタキシャル成長を行って複数のIII族窒化物層（例えば第1のp型III族窒化物半導体層53、第2のp型III族窒化物半導体層55、第3のp型III族窒化物半導体層57）を形成する。下地層の主面に接触させて、第3III族窒化物層（例えば第3のp型III族窒化物半導体層57）をアクセプタをドーピングしながら成長する。第3III族窒化物層の主面に接触させて、決定された組成を有する第2III族窒化物層（例えば第2のp型III族窒化物半導体層55）にアクセプタをドーピングしながら成長する。第2III族窒化物層の主面に接触させて、第1III族窒化物層（例えば第1のp型III族窒化物半導体層53）をアクセプタをドーピングしながら成長する。

40

## 【0102】

工程S108において、III族窒化物半導体素子を作製するために、第1III族窒化物層の主面上に電極16を形成する。この電極16は、第1III族窒化物層の表面に接触を成す。

## 【0103】

この作製方法によれば、エピタキシャル基板を形成する際に、エピタキシャル基板毎に第1のIII族構成元素と第2のIII族構成元素とのIII族元素比率が異なるように、エピタキシャル基板の第2のp型III族窒化物半導体層を成長すると共に、これらの第2のp型III族窒化物半導体層を含む複数の基板生産物におけるp型窒化物半導体表面と電極と

50

の接触抵抗を測定する。基板生産物毎のIII族元素比率と基板生産物毎の接触抵抗との関係から、ピエゾ電界の作用により接触抵抗を低減できるように、第2のp型III族窒化物半導体層のための第1のIII族構成元素及び第2のIII族構成元素の組成を決定できる。この後に、III族窒化物半導体素子を作製するために、第3のp型III族窒化物半導体層と実質的に同一の組成を有する第3III族窒化物層、決定された構成元素組成を用いる第2III族窒化物層、及び第1のp型III族窒化物半導体層と実質的に同一の組成を有する第1III族窒化物層を順に成長する。そして、III族窒化物半導体素子を作製するために、第1III族窒化物層の表面に接触を成す電極を形成する。これ故に、ピエゾ分極の作用により順方向電圧を低減可能なIII族窒化物半導体素子を作製できる。

【0104】

10

この実施の形態によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を作製可能な窒化物半導体発光素子を作製する方法が提供される。

【0105】

本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。

【産業上の利用可能性】

【0106】

本実施の形態によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有する窒化物半導体素子が提供される。また、本実施の形態によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を有するp型コンタクト構造が提供される。さらに、本実施の形態によれば、p型窒化物半導体領域と電極との物理的な接触の特性を改善可能な構造を作製可能な窒化物半導体発光素子を作製する方法が提供される。

20

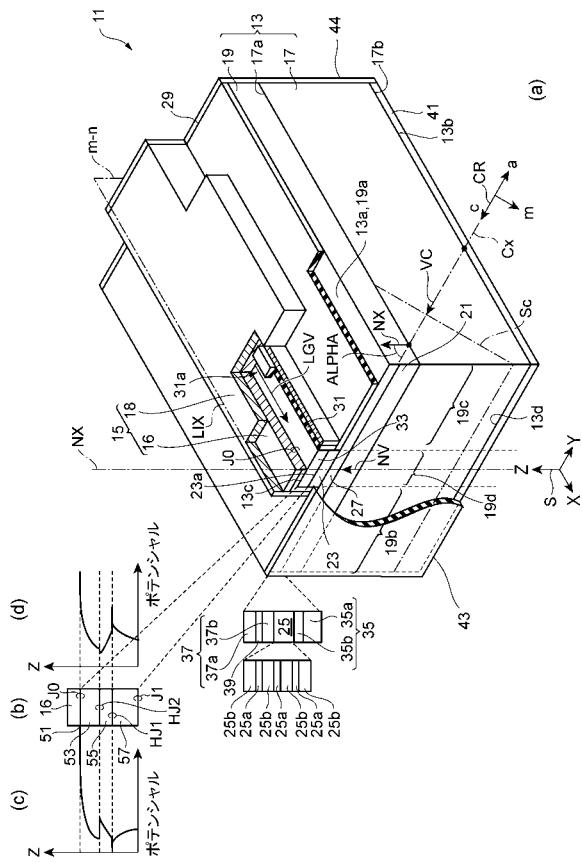
【符号の説明】

【0107】

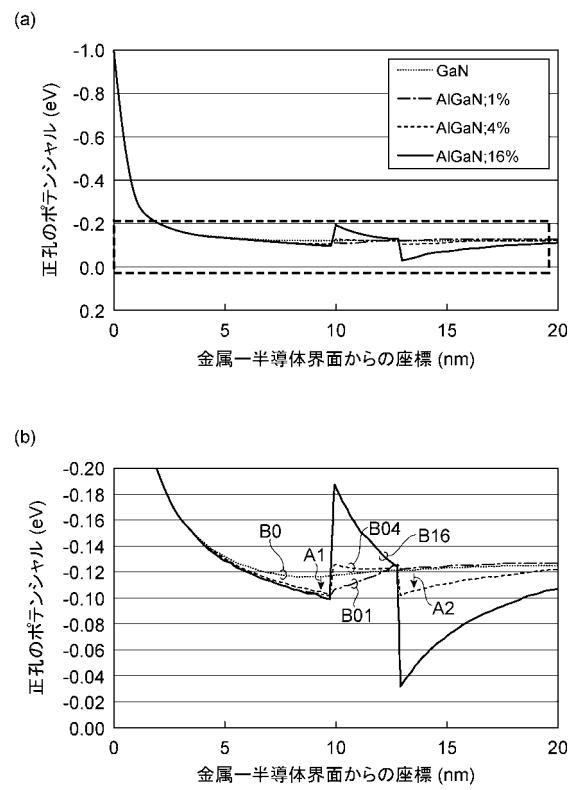
1 1 ... III族窒化物半導体レーザ素子、1 3 ... レーザ構造体、1 3 a ... 第1の面、1 3 b ... 第2の面、1 3 c、1 3 d ... エッジ、1 5、1 6 ... 電極、1 7 ... 支持基体、1 7 a ... 半極性正面、1 7 b ... 裏面、1 9 ... 半導体領域、1 9 a ... 表面、2 1 ... 第1のクラッド層、2 3 ... 第2のクラッド層、2 5 ... 活性層、2 5 a ... 井戸層、2 5 b ... 障壁層、2 7 ... 第1の割断面、2 9 ... 第2の割断面、A L P H A ... 角度、S c ... c面、N X ... 法線軸、3 1 ... 絶縁膜、3 1 a ... 開口、3 5 ... n側光ガイド層、3 7 ... p側光ガイド層、3 9 ... 電流プロック層、4 1 ... 電極、4 3、4 4 ... 誘電体多層膜、5 3 ... 第1のp型III族窒化物半導体層、5 5 ... 第2のp型III族窒化物半導体層、5 7 ... 第3のp型III族窒化物半導体層。

30

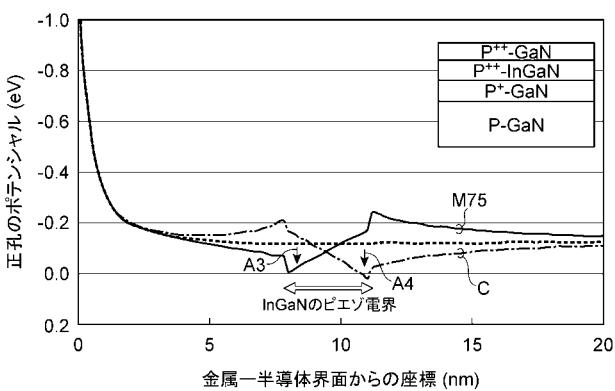
【図1】



【図2】



【図3】



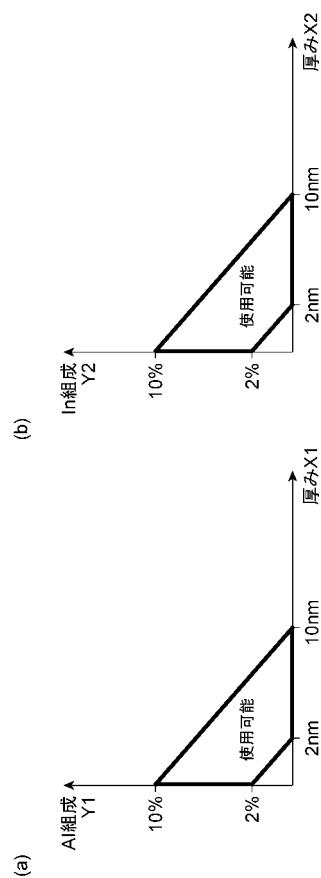
【図4】

p+GaN	10 nm	Mg: 3.0E+20
p+In <sub>x</sub> Al <sub>y</sub> Ga <sub>(1-x-y)</sub> N	3 nm	Mg: 3.0E+20
p-GaN	40 nm	Mg: 3.0E+19
p-Al <sub>0.06</sub> Ga <sub>0.94</sub> N	400 nm	Mg: 5.0E+18
un-In <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.95</sub> N	50 nm	
un-InGaN	3 nm	
un-In <sub>0.25</sub> Ga <sub>0.75</sub> N	3 nm	
n-In <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.95</sub> N	80 nm	Si: 5.0E+17
n-GaN	500 nm	Si: 2.0E+18
n-Al <sub>0.06</sub> Ga <sub>0.94</sub> N	1.0 μm	Si: 2.0E+18
n-GaN	1.1 μm	Si: 2.0E+18
GaN Substrate		

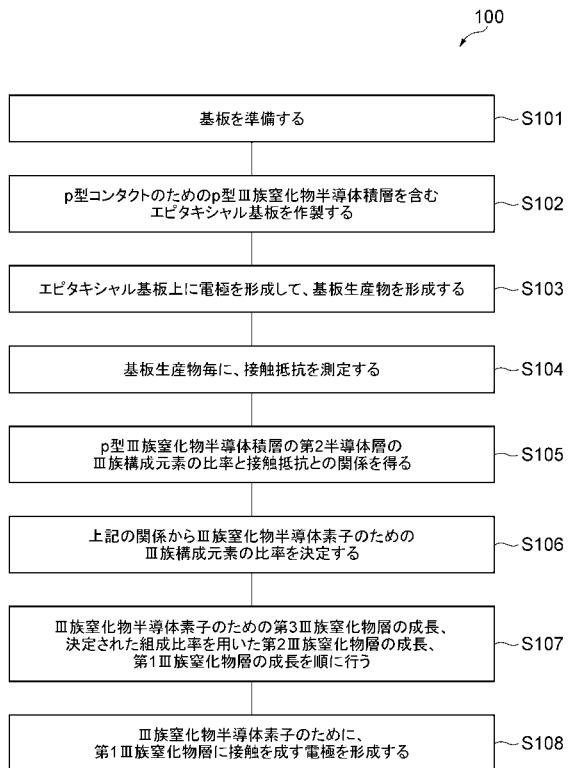
【図5】

No.	x	y	$\rho_c$ [ $\Omega\text{cm}^2$ ]	$V_f$ [V]
1	0	0	5e-4	4.5
2	0.01	0	1e-4	4.2
3	0.04	0	1e-4	4.2
4	0.10	0	1e-3	4.8
5	0	0.01	1e-4	4.2
6	0	0.04	1e-4	4.2
7	0	0.10	1e-3	4.8
8	0.04	0.04	1e-4	4.2

【図6】



【図7】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
H 01 L 27/098 (2006.01)	H 01 L 29/80	H
H 01 L 29/808 (2006.01)	H 01 L 29/201	
H 01 L 21/338 (2006.01)		
H 01 L 29/778 (2006.01)		
H 01 L 29/812 (2006.01)		
H 01 L 29/201 (2006.01)		

(72)発明者 塩谷 陽平

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 京野 孝史

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 上野 昌紀

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 中村 孝夫

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 松浦 尚

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 濱口 達史

東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内

(72)発明者 古嶋 裕司

福岡県福岡市早良区百道浜二丁目3番2号 ソニー株式会社内

F ターム(参考) 5F102 GB01 GC01 GD04 GL04 GM04 GQ01

5F141 AA22 CA04 CA05 CA40

5F173 AA08 AF64 AH22 AP24 AR62

5F241 AA22 CA04 CA05 CA40