

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5842324号  
(P5842324)

(45) 発行日 平成28年1月13日 (2016. 1. 13)

(24) 登録日 平成27年11月27日 (2015. 11. 27)

(51) Int. Cl.	F I
<b>HO 1 S 5/323 (2006. 01)</b>	HO 1 S 5/323 6 1 0
<b>HO 1 L 33/32 (2010. 01)</b>	HO 1 L 33/00 1 8 6
<b>HO 1 L 33/16 (2010. 01)</b>	HO 1 L 33/00 1 6 0
<b>HO 1 L 21/205 (2006. 01)</b>	HO 1 L 21/205

請求項の数 32 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2010-248932 (P2010-248932)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成22年11月5日 (2010. 11. 5)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2012-104515 (P2012-104515A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成24年5月31日 (2012. 5. 31)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成25年10月25日 (2013. 10. 25)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良
		(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
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体素子、III族窒化物半導体素子を作製する方法、及びエピタキシャル基板

(57) 【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、

第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板と、

第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含み前記主面の上に設けられたIII族窒化物半導体領域と、

前記III族窒化物半導体領域に接触を成す電極と、  
を備え、

前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜し、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度  $N_{ox}$  は  $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$  以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度  $N_{pd}$  と前記酸素濃度  $N_{ox}$  との比 ( $N_{ox} / N_{pd}$ ) が  $1/10$  以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の前記p型ドーパント濃度  $N_{pd}$  は、 $1 \times 10^{-18} \text{ cm}^{-3}$  以上  $5 \times 10^{-19} \text{ cm}^{-3}$  以下であり、

前記III族窒化物半導体領域は、前記電極に接触を成すp型コンタクト層を含み、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、前記基板と前記p型コンタクト層との間に設けられ、

前記p型コンタクト層は、不純物として酸素を含み、前記p型コンタクト層の酸素濃度

10

20

は、前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度  $N_{oxg}$  より大きい、III 族窒化物半導体素子。

【請求項 2】

前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、III 族構成元素としてインジウムを含まない、請求項 1 に記載された III 族窒化物半導体素子。

【請求項 3】

前記主面の上に設けられた n 型窒化ガリウム系半導体層と、  
発光層のための窒化ガリウム系半導体層と、  
を更に備え、

前記発光層は、前記 p 型窒化ガリウム系半導体層と前記 n 型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、

当該 III 族窒化物半導体素子は発光素子である、請求項 1 又は請求項 2 に記載された III 族窒化物半導体素子。

【請求項 4】

前記発光層の発光波長は  $440\text{ nm}$  以上、 $600\text{ nm}$  以下である、請求項 3 に記載された III 族窒化物半導体素子。

【請求項 5】

前記発光層の発光波長は  $490\text{ nm}$  以上、 $600\text{ nm}$  以下である、請求項 3 又は請求項 4 に記載された III 族窒化物半導体素子。

【請求項 6】

前記 III 族窒化物半導体領域は、p 型 III 族窒化物半導体領域を含み、  
前記 p 型 III 族窒化物半導体領域は前記 p 型コンタクト層と前記発光層との間に設けられ、

前記 p 型 III 族窒化物半導体領域は前記 p 型コンタクト層と第 1 の接合を成すと共に前記発光層と第 2 の接合を成し、

前記 p 型 III 族窒化物半導体領域の酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下であり、

前記 p 型 III 族窒化物半導体領域の p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  と前記酸素濃度  $N_{oxg}$  との比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下である、請求項 3 ~ 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 型窒化ガリウム系半導体層は、 $GaN$ 、 $InGaN$ 、 $AlGaN$  または  $InAlGaN$  からなる、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 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、 $GaN$  又は  $AlGaN$  からなる、請求項 1 ~ 請求項 7 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】

前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下である、請求項 1 ~ 請求項 8 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 10】

前記 III 族窒化物半導体領域は、前記主面の上に設けられた第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下であり、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、III 族構成元素としてインジウムを含み、  
前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層の p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  と前記酸素濃度  $N_{oxg}$  との比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下である、請求項 1 ~ 請求項 9 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】

III 族窒化物半導体素子を作製する方法であって、

III 族窒化物半導体素子を作製する方法であって、

第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板を準備する工程と、

第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含むIII族窒化物半導体領域を前記主面の上に成長する工程と、

前記III族窒化物半導体領域に接触を成す電極を形成する工程と、  
を備え、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の成長では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第1の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、

前記第1の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、

10

前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜し、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度 $N_{ox}$ は $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_p$ と前記酸素濃度 $N_{ox}$ との比( $N_{ox} / N_p$ )が $1/10$ 以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の前記p型ドーパント濃度 $N_p$ は、 $1 \times 10^{-18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{-19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記III族窒化物半導体領域は、前記電極に接触を成すp型コンタクト層を含み、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、前記基板と前記p型コンタクト層との間に設けられ、

20

前記p型コンタクト層は、不純物として酸素を含み、前記p型コンタクト層の酸素濃度は、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度 $N_{ox}$ より大きい、III族窒化物半導体素子を作製する方法。

【請求項12】

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含まない、請求項11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13】

n型窒化ガリウム系半導体層を前記主面の上に成長する工程と、

活性層のための窒化ガリウム系半導体層を前記主面の上に成長する工程と、  
を更に備え、

30

前記活性層は、前記p型窒化ガリウム系半導体層と前記n型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、

当該III族窒化物半導体素子は発光素子である、請求項11又は請求項12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14】

前記活性層の発光波長は440nm以上、600nm以下である、請求項13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15】

前記活性層の発光波長は490nm以上、600nm以下である、請求項13又は請求項14に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

40

【請求項16】

前記III族窒化物半導体領域は、p型III族窒化物半導体積層を含み、

前記p型III族窒化物半導体積層は前記p型コンタクト層と前記活性層との間に設けられ、

前記p型III族窒化物半導体積層は前記p型コンタクト層と第1の接合を成すと共に前記活性層と第2の接合を成し、

前記p型III族窒化物半導体積層における一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層の各成長では、当該p型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第2の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、

50

前記第2の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、

前記p型III族窒化物半導体積層の酸素濃度 $N_{oxg}$ は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記p型III族窒化物半導体積層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1 / 10$ 以下である、請求項13～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を作製する方法。

【請求項17】

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、 $GaN$ 、 $InGaN$ 、 $AlGaN$ または $InAlGaN$ からなる、請求項11～請求項16のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

【請求項18】

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、 $GaN$ 又は $AlGaN$ からなる、請求項11～請求項17のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

【請求項19】

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である、請求項11～請求項18のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

【請求項20】

前記III族窒化物半導体領域は、第2のp型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、

前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含み、

前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の成長では、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第2の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、

前記第2の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、

前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1 / 10$ 以下である、請求項11～請求項19のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

【請求項21】

前記基板及び前記III族窒化物半導体領域は、III族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板を構成し、

前記エピタキシャル基板の表面粗さは、算術平均新粗さで $1 \text{ nm}$ 以下である、請求項11～請求項20のいずれか一項に記載されたIII族窒化物半導体素子を作製する方法。

【請求項22】

III族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板であって、

第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板と、

第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含み前記主面の上に設けられたIII族窒化物半導体領域と、  
を備え、

前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から $50$ 度以上 $130$ 度未満の範囲の角度で傾斜し、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度 $N_{oxg}$ は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1 / 10$ 以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の前記p型ドーパント濃度 $N_{pd}$ は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、

前記III族窒化物半導体領域は、p型コンタクト層を含み、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、前記基板と前記p型コンタクト層との間に設けられ、

前記 p 型コンタクト層は、不純物として酸素を含み、前記 p 型コンタクト層の酸素濃度は、前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度  $N_{oxg}$  より大きい、エピタキシャル基板。

【請求項 2 3】

前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、III 族構成元素としてインジウムを含まない、請求項 2 2 に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 2 4】

前記主面の上に設けられた n 型窒化ガリウム系半導体層と、  
発光層のための窒化ガリウム系半導体層と、  
を更に備え、

前記発光層は、前記 p 型窒化ガリウム系半導体層と前記 n 型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、

当該 III 族窒化物半導体素子は発光素子である、請求項 2 2 又は請求項 2 3 に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 2 5】

前記発光層の発光波長は 440 nm 以上、600 nm 以下である、請求項 2 4 に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 2 6】

前記発光層の発光波長は 490 nm 以上、600 nm 以下である、請求項 2 4 又は請求項 2 5 に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 2 7】

前記 III 族窒化物半導体領域の全体は p 型導電性を有し、

前記 III 族窒化物半導体領域の酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下であり、

前記 III 族窒化物半導体領域の p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  と前記酸素濃度  $N_{oxg}$  との比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下である、請求項 2 4 ~ 請求項 2 6 のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 2 8】

前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、GaN、InGa<sub>N</sub>、AlGa<sub>N</sub> または InAlGa<sub>N</sub> からなる、請求項 2 3 ~ 請求項 2 7 のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 2 9】

前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、GaN 又は AlGa<sub>N</sub> からなる、請求項 2 2 ~ 請求項 2 8 のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 3 0】

前記第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下である、請求項 2 2 ~ 請求項 2 9 のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 3 1】

前記 III 族窒化物半導体領域は、前記主面の上に設けられた第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下であり、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層は、III 族構成元素としてインジウムを含み、

前記第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層の p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  と前記酸素濃度  $N_{oxg}$  との比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下である、請求項 2 2 ~ 請求項 3 0 のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。

【請求項 3 2】

前記エピタキシャル基板の表面粗さは、算術平均新粗さで 1 nm 以下である、請求項 2 2 ~ 請求項 3 1 のいずれか一項に記載されたエピタキシャル基板。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 1 】

本発明は、III族窒化物半導体素子、III族窒化物半導体素子を作製する方法、及びエピタキシャル基板に関する。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

特許文献1には、青色発光デバイスのためのInGaN層の成長方法が記載されている。InGaN成長時における成長温度と成長速度とを規定している。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 3 】

【 特許文献1 】 特開平6 - 209122号公報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 4 】

特許文献1における成長においては、サファイア基板を成長炉のサセプタ上に配置した後に、アンモニアと、TMGと、キャリアガスとして水素とを摂氏510度の基板温度において流して、GaNバッファ層を成長する。この期間中に、コニカル石英チューブ7からは水素及び窒素を流し続け、サセプタをゆっくりと回転させる。このGaNバッファ層の表面はc面からなる。GaNバッファ層の成長後に、摂氏1020度の基板温度で、同じく水素をキャリアガスとしてTMGを流して、約2μm厚のGaN層を成長する。このGaN層成長の後に、摂氏805度の基板温度で、キャリアガスを窒素に切り替え、TMG、TMI、アンモニア、およびシランを流して、SiドープInGaNを成長する。このInGaN成長の期間中に、コニカル石英チューブから供給するガスは窒素のみである。

## 【 0 0 0 5 】

特許文献1によれば、c面上へのGaNの成長には水素及び窒素を流す一方で、InGaNの成長では窒素を流す。

## 【 0 0 0 6 】

発明者らの検討によれば、極性面ではない非極性面へのIII族窒化物の成長では、成長炉に供給されていない酸素が、半極性表面の結晶状態の違いに起因して、上記のようなc面GaN表面に比べて不純物として取り込まれやすい。Inを含まない窒化ガリウム系半導体、例えばGaNやAlGaNは、水素を供給しながら成長される。高い還元性を示す水素の雰囲気においては、成長炉内の在留物、例えば治具や付着物から酸素が脱離される。この酸素は、酸素を取り込みやすい非極性面へのエピタキシャル成長では、結果としてエピタキシャル膜に取り込まれる。酸素は、p型窒化物半導体層では補償不純物となる。これ故に、Inを含まない窒化ガリウム系半導体のエピタキシャル成長は、水素を含む雰囲気で行うけれども、これは、エピタキシャル層の抵抗を増大させ、半導体素子の電気特性を悪化させている。

## 【 0 0 0 7 】

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、低減された酸素濃度のp型窒化ガリウム系半導体層を有するIII族窒化物半導体素子を提供することを目的とし、また、本発明の別の側面は、酸素不純物の取り込み量を低減できる、III族窒化物半導体素子を作製する方法を提供することを目的とし、さらに、本発明の更なる別の側面は、該III族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板を提供することを目的とする。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 8 】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子は、(a)第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板と、(b)第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含み前記主面上に設けられたIII族窒化物半導体領域とを備える。前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以

10

20

30

40

50

上130度未満の範囲の角度で傾斜し、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1 / 10$ 以下である。

【0009】

このIII族窒化物半導体素子によれば、第1のp型窒化ガリウム系半導体層が基板の主面上に設けられ、この主面は基板の第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。この角度範囲では、第1のp型窒化ガリウム系半導体層における酸素濃度を $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下にできるので、第1のp型窒化ガリウム系半導体層に含まれる酸素により第1のp型窒化ガリウム系半導体層におけるp型ドーパントが補償されることを低減できる。また、比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1 / 10$ 以下であるので、p型ドーパント濃度 $N_{pd}$ を低めることができる。

10

【0010】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層はIII族構成元素としてインジウムを含まないことが好適である。このIII族窒化物半導体素子によれば、III族構成元素としてインジウムを含まない窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、またp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ を低めることができる。

【0011】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子は、前記主面上に設けられたn型窒化ガリウム系半導体層と、発光層のための窒化ガリウム系半導体層とを更に備えることができる。前記発光層は、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層と前記n型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、当該III族窒化物半導体素子は発光素子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、発光素子においてp型窒化ガリウム系半導体層の電気的特性を向上できる。

20

【0012】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記発光層の発光波長は440nm以上、600nm以下であることができる。

【0013】

このIII族窒化物半導体素子によれば、上記の発光波長範囲の光を発生する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。

30

【0014】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子は、前記発光層の発光波長は490nm以上、600nm以下であることができる。

【0015】

このIII族窒化物半導体素子によれば、長波長における発光を提供する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。

【0016】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子は、前記III族窒化物半導体領域に接触を成す電極を更に備えることができる。前記III族窒化物半導体領域は、前記電極に接触を成すコンタクト層と、p型III族窒化物半導体積層とを含み、前記p型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層と前記発光層との間に設けられ、前記p型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層に接触と第1の接合を成すと共に前記発光層と第2の接合を成し、前記p型III族窒化物半導体積層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記p型III族窒化物半導体積層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1 / 10$ 以下であることが好適である。

40

【0017】

このIII族窒化物半導体素子によれば、電極から発光層に至る電流経路において、p型III族窒化物半導体積層における酸素濃度が低減されると共に比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1 / 10$ 以下にまで低減される。この電流経路を構成するp型III族窒化物半導体の電気的

50

特性を向上できる。

【0018】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、Ga<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>N、AlGa<sub>2</sub>NまたはInAlGa<sub>2</sub>Nからなることができる。

【0019】

このIII族窒化物半導体素子によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGa<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>N、AlGa<sub>2</sub>NまたはInAlGa<sub>2</sub>Nにおいて、酸素濃度が低減されると共に比( $N_{ox}/N_{pd}$ )が1/10以下にまで低減される。

【0020】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、Ga<sub>2</sub>N又はAlGa<sub>2</sub>Nからなることができる。

【0021】

このIII族窒化物半導体素子によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGa<sub>2</sub>N又はAlGa<sub>2</sub>Nにおいて、酸素濃度が低減されると共に比( $N_{ox}/N_{pd}$ )が1/10以下にまで低減される。

【0022】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。

【0023】

このIII族窒化物半導体素子によれば、特に長波長における発光の発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された第1のp型窒化ガリウム系半導体層では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。

【0024】

本発明の一側面に係るIII族窒化物半導体素子では、前記III族窒化物半導体領域は、前記主面上に設けられた第2のp型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{ox}$ との比( $N_{ox}/N_{pd}$ )が1/10以下であることができる。

【0025】

このIII族窒化物半導体素子によれば、III族構成元素としてインジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層においても、酸素濃度を低減できるとともに濃度比( $N_{ox}/N_{pd}$ )を1/10以下にまで低減できる。したがって、このp型III族窒化物半導体の電気的特性を向上できる。

【0026】

本発明の別の側面は、III族窒化物半導体素子を作製する方法である。この方法は、(a)第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板を準備する工程と、(b)第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含むIII族窒化物半導体領域を前記主面上に成長する工程とを備える。前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の成長では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第1の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、前記第1の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜し、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{ox}$ との比( $N_{ox}/N_{pd}$ )が1/10以下である。

【0027】

この作製方法によれば、第1のp型窒化ガリウム系半導体層が、基板の主面上に成長さ

10

20

30

40

50



れ、この主面は基板の第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。この成長は、第1のp型窒化ガリウム系半導体層のための原料ガスと第1の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、この雰囲気ガスとして窒素が用いられる。これ故に、第1のp型窒化ガリウム系半導体層における酸素濃度を $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下にできる。第1のp型窒化ガリウム系半導体層に含まれる酸素により、第1のp型窒化ガリウム系半導体層におけるp型ドーパントが補償されることを低減できる。また、濃度比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1/10$ 以下であるので、p型ドーパント濃度 $N_{pd}$ を低めることができる。

【0028】

本発明の別の側面に係る作製方法では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、II族構成元素としてインジウムを含まないことができる。この作製方法によれば、III族構成元素としてインジウムを含まない窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、また上記の濃度比を低めることができる。

【0029】

本発明の別の側面に係る作製方法は、n型窒化ガリウム系半導体層を前記主面上に成長する工程と、活性層のための窒化ガリウム系半導体層を前記主面上に成長する工程とを更に備えることができる。前記活性層は、前記p型窒化ガリウム系半導体層と前記n型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、当該III族窒化物半導体素子は発光素子である。この作製方法によれば、発光素子においてp型窒化ガリウム系半導体層の電気的特性を向上できる。

【0030】

本発明の別の側面に係る作製方法では、前記活性層の発光波長は440nm以上、600nm以下であることができる。この作製方法によれば、上記の発光波長範囲の光を発生する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。

【0031】

本発明の別の側面に係る作製方法では、前記活性層の発光波長は490nm以上、600nm以下であることができる。この作製方法によれば、長波長における発光を提供する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の特性を向上できる。

【0032】

本発明の別の側面に係る作製方法は、前記III族窒化物半導体領域に接触を成す電極を形成する工程を更に備えることができる。前記III族窒化物半導体領域は、前記電極に接触を成すコンタクト層と、p型III族窒化物半導体積層とを含み、前記p型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層と前記発光層との間に設けられ、前記p型III族窒化物半導体積層は前記コンタクト層に接触と第1の接合を成すと共に前記発光層と第2の接合を成し、前記p型III族窒化物半導体積層内の一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層の各々の成長では、当該p型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第2の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、前記第2の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、前記p型III族窒化物半導体積層の酸素濃度は $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記p型III族窒化物半導体積層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1/10$ 以下であることができる。

【0033】

この作製方法によれば、電極から発光層に至る電流経路において、p型III族窒化物半導体積層の酸素濃度が低減されると共に比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1/10$ 以下にまで低減される。この電流経路を構成するp型III族窒化物半導体の電気的特性を向上できる。

【0034】

本発明の別の側面に係る作製方法では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、GaN、InGaN、AlGaNまたはInAlGaNからなることができる。この作製方法によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGaN、InGaN、AlGaNまたはInAlGaNにおいて、酸素濃度が低減されると共に比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1/10$ 以下にまで低減される。

## 【0035】

本発明の別の側面に係る作製方法では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、GaN又はAlGaNからなることができる。この作製方法によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGaN又はAlGaNにおいて、酸素濃度が低減されると共に比( $N_{oxg}/N_{pd}$ )が1/10以下にまで低減される。

## 【0036】

本発明の別の側面に係る作製方法では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好適である。この作製方法によれば、特に長波長における発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された第1のp型窒化ガリウム系半導体層では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。

10

## 【0037】

本発明の別の側面に係る作製方法では、前記III族窒化物半導体領域の表面粗さは、算術平均新粗さで1nm以下であることができる。この作製方法によれば、窒素雰囲気における成長による、低酸素濃度を実現する成膜では、算術平均粗さを低減できる。

## 【0038】

本発明の別の側面に係る作製方法では、前記III族窒化物半導体領域は、第2のp型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の成長では、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のIII族構成元素及びV族構成元素のための原料ガスと第2の雰囲気ガスとが成長炉に供給され、前記第2の雰囲気ガスとして窒素が用いられ、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg}/N_{pd}$ )が1/10以下であることができる。

20

## 【0039】

この作製方法によれば、III族構成元素としてインジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層においても、酸素濃度を低減できる共に濃度比( $N_{oxg}/N_{pd}$ )を1/10以下にまで低減できる。したがって、このp型III族窒化物半導体の電気的特性を向上できる。

30

## 【0040】

本発明の更なる別の側面は、III族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板に係る。このエピタキシャル基板は、(a)第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面を含み導電性を有する基板と、(b)第1のp型窒化ガリウム系半導体層を含み前記主面上に設けられたIII族窒化物半導体領域とを備える。前記基板の前記主面は、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜し、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg}/N_{pd}$ )が1/10以下である。

## 【0041】

このエピタキシャル基板によれば、第1のp型窒化ガリウム系半導体層が、基板の主面上に設けられ、この主面は基板の第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸に直交する面から50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。この角度範囲では、第1のp型窒化ガリウム系半導体層における酸素濃度は $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるので、第1のp型窒化ガリウム系半導体層に含まれる酸素により第1のp型窒化ガリウム系半導体層におけるp型ドーパントが補償されることを低減できる。また、濃度比( $N_{oxg}/N_{pd}$ )が1/10以下であるので、p型ドーパント濃度 $N_{pd}$ を低めることができる。

40

## 【0042】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記第1のp型窒化ガリウム

50

系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含まない。

【0043】

このエピタキシャル基板によれば、III族構成元素としてインジウムを含まない窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、また濃度比を低めることができる。

【0044】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板は、前記主面上に設けられたn型窒化ガリウム系半導体層と、発光層のための窒化ガリウム系半導体層とを更に備えることができる。前記発光層は、前記p型窒化ガリウム系半導体層と前記n型窒化ガリウム系半導体層との間に設けられ、当該III族窒化物半導体素子は発光素子であることができる。このエピタキシャル基板によれば、発光素子においてp型窒化ガリウム系半導体層の電気的

10

【0045】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記発光層の発光波長は440nm以上、600nm以下であることができる。このエピタキシャル基板によれば、上記の発光波長範囲の光を発生する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の電気的

【0046】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記発光層の発光波長は490nm以上、600nm以下であることができる。このエピタキシャル基板によれば、長波長における発光を提供する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の電気的

20

【0047】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記III族窒化物半導体領域の全体はp型導電性を有し、前記III族窒化物半導体領域の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記III族窒化物半導体領域のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比 $(N_{oxg} / N_{pd})$ が $1 / 10$ 以下であることができる。

【0048】

このエピタキシャル基板によれば、高ドーパント濃度であるp型半導体領域を除いてIII族窒化物半導体領域の全体において、酸素濃度が低減されると共に比 $(N_{oxg} / N_{pd})$ が $1 / 10$ 以下にまで低減される。この電流経路を構成するp型III族窒化物半導体

30

【0049】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、Ga<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>N、AlGa<sub>2</sub>NまたはInAlGa<sub>2</sub>Nからなることができる。このエピタキシャル基板によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGa<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>N、AlGa<sub>2</sub>NまたはInAlGa<sub>2</sub>Nにおいて、酸素濃度が低減されると共に比 $(N_{oxg} / N_{pd})$ が $1 / 10$ 以下にまで低減される。

【0050】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層は、Ga<sub>2</sub>N又はAlGa<sub>2</sub>Nからなることができる。このエピタキシャル基板によれば、極性面でないIII族窒化物半導体表面上に成長されるGa<sub>2</sub>N又はAlGa<sub>2</sub>Nにおいて、酸素濃度が低減されると共に比 $(N_{oxg} / N_{pd})$ が $1 / 10$ 以下にまで低減される。

40

【0051】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記第1のp型窒化ガリウム系半導体層の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。このエピタキシャル基板によれば、特に長波長における発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された第1のp型窒化ガリウム系半導体層では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。

50

## 【0052】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記III族窒化物半導体領域は、前記主面上に設けられた第2のp型窒化ガリウム系半導体層を更に含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層は、III族構成元素としてインジウムを含み、前記第2のp型窒化ガリウム系半導体層のp型ドーパント濃度 $N_{pd}$ と前記酸素濃度 $N_{oxg}$ との比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )が $1 / 10$ 以下であることができる。

## 【0053】

このエピタキシャル基板によれば、III族構成元素としてインジウムを含むp型窒化ガリウム系半導体層においても、酸素濃度を低減できる共に濃度比( $N_{oxg} / N_{pd}$ )を $1 / 10$ 以下にまで低減できる。したがって、このp型III族窒化物半導体の特性を向上できる。

10

## 【0054】

本発明の更なる別の側面に係るエピタキシャル基板では、前記エピタキシャル基板の表面粗さは、算術平均新粗さで $1 \text{ nm}$ 以下であることができる。このエピタキシャル基板によれば、低酸素濃度を実現する成膜条件は、エピタキシャル基板の表面における算術平均粗さを低減することが可能である。

## 【0055】

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。

20

## 【発明の効果】

## 【0056】

以上説明したように、本発明の一側面によれば、低減された酸素濃度のp型窒化ガリウム系半導体層を有するIII族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、酸素不純物の取り込み量を低減できる、III族窒化物半導体素子を作製する方法が提供される。さらに、本発明の更なる別の側面によれば、III族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板が提供される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0057】

【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及びIII族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板の構造を概略的に示す図面である。

30

【図2】図2は、本実施の形態に係る、III族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図3】図3は、本実施の形態に係る、III族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

【図4】図4は、本実施の形態に係る、III族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程における生産物を模式的に示す図面である。

【図5】図5は、本実施の形態に係る、III族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程における生産物を模式的に示す図面である。

【図6】図6は、実施例1のレーザダイオードの素子構造、並びにこの素子のためのエピタキシャル構成層の雰囲気ガス、p型ドーパント濃度、酸素濃度及びO/Mg比を示す図面である。

40

【図7】図7は、実施例2のレーザダイオードの素子構造、並びにこの素子のためのエピタキシャル構成層の雰囲気ガス、p型ドーパント濃度、酸素濃度及びO/Mg比を示す図面である。

【図8】図8は、実施例3のレーザダイオードの素子構造、並びにこの素子のためのエピタキシャル構成層の雰囲気ガス、p型ドーパント濃度、酸素濃度及びO/Mg比率を示す図面である。

【図9】図9は、実施例4のレーザダイオードの素子構造、並びにこの素子のためのエピタキシャル構成層の雰囲気ガス、p型ドーパント濃度、酸素濃度及びO/Mg比を示す図

50

面である。

【図10】図10は、実施例5のレーザダイオードの素子構造、及びエピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスを示す図面である。

【発明を実施するための形態】

【0058】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続いて、添付図面を参照しながら、III族窒化物半導体素子、エピタキシャル基板、III族窒化物半導体素子を作製する方法、及びエピタキシャル基板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。

10

【0059】

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及びIII族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板の構造を概略的に示す図面である。引き続く説明では、III族窒化物半導体素子11としては、例えば発光ダイオード、レーザダイオード等の発光素子を説明するけれども、本実施の形態はp型III族窒化物半導体を含むIII族窒化物半導体素子に適用可能である。

【0060】

図1では、図1の(a)部にIII族窒化物半導体素子11が示され、図1の(b)部にIII族窒化物半導体素子11のためのエピタキシャル基板EPが示される。エピタキシャル基板EPはIII族窒化物半導体素子11と同様のエピタキシャル層構造を有する。引き続く説明では、III族窒化物半導体素子11を構成する半導体層を説明する。エピタキシャル基板EPは、これらの半導体層に対応する半導体層(半導体膜)を含み、対応する半導体層には、III族窒化物半導体素子11のために説明が適用される。

20

【0061】

図1を参照すると、座標系S及び結晶座標系CRが示されている。基板13の主面13aは、Z軸の方向を向いており、またX方向及びY方向に延びている。X軸はa軸の方向に向いている。

【0062】

図1の(a)部に示されるように、III族窒化物半導体素子11は、基板13と、n型III族窒化物半導体エピタキシャル領域(以下、「n型III族窒化物半導体領域」と記す)15と、発光層17と、p型III族窒化物半導体エピタキシャル領域(以下、「p型III族窒化物半導体領域」と記す)19とを備える。基板13は、第1の窒化ガリウム系半導体からなる主面13aを有し、また導電性を示す。基板13の主面13aは、該第1の窒化ガリウム系半導体のc軸に沿って延びる基準軸Cxに直交する面Scから50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。n型III族窒化物半導体領域15は、一又は複数のn型窒化ガリウム系半導体層を含み、主面13a上に設けられることができる。n型III族窒化物半導体領域15は、例えばn型バッファ層、n型クラッド層、n型光ガイド層を含むことができる。p型III族窒化物半導体領域19は、一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層を含むことができる。p型III族窒化物半導体領域19は、例えば第1のp型窒化ガリウム系半導体層21を含み、主面13a上に設けられる。第1のp型窒化ガリウム系半導体層21の酸素濃度は $5 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。第1のp型窒化ガリウム系半導体層21のp型ドーパント濃度Npdと酸素濃度Noxgとの濃度比(Noxg/Npd)が1/10以下である。また、本実施例では、III族窒化物半導体領域19は、第2のp型窒化ガリウム系半導体層23を含むことができる。p型III族窒化物半導体領域19は、例えばp型電子ブロック層、p型光ガイド層、p型クラッド層、p型コンタクト層を含むことができる。

30

40

【0063】

このIII族窒化物半導体素子11によれば、第1のp型窒化ガリウム系半導体層21が、基板13の主面13a上に設けられる。この主面13aは、基準軸Cxに直交する面Scを基準にして50度以上130度未満の範囲の角度で傾斜する。第1のp型窒化ガリウ

50

ム系半導体層 2 1 における酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下であるので、第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 1 に含まれる酸素により第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 1 における p 型ドーパントが補償されることを低減できる。また、濃度比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下であるので、p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  を低めることができる。

【0064】

第 1 及び第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 1、2 3 は、GaN、InGaN、AlGaN または InAlGaN からなることができる。本実施例では、極性面でない III 族窒化物半導体表面上に成長される GaN、InGaN、AlGaN または InAlGaN において、酸素濃度が低減されると共に濃度比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下にまで低減される。

10

【0065】

第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 1 は III 族構成元素としてインジウムを含まないことが好適である。これにより、III 族構成元素としてインジウムを含まない窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、また p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  を低めることができる。更に好適な実施例では、第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 1 は、GaN 又は AlGaN 等からなることができる。極性面でない III 族窒化物半導体表面上に成長される GaN 又は AlGaN において、酸素濃度が低減されると共に濃度比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下にまで低減される。

【0066】

一方、第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 3 は III 族構成元素としてインジウムを含むことが好適である。これにより、III 族構成元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体において、酸素濃度を低減でき、また p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  を低めることができる。第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 3 の酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下であることができる。第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 3 は、III 族構成元素としてインジウムを含み、また例えば InGaN 又は InAlGaN 等からなることができる。第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 3 において、p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  と酸素濃度  $N_{oxg}$  との濃度比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下であることができる。III 族構成元素としてインジウムを含む p 型窒化ガリウム系半導体層 2 3 においても、酸素濃度を低減できる共に濃度比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) を  $1 / 10$  以下にまで低減できる。したがって、この p 型 III 族窒化物半導体の特性を向上できる。

20

30

【0067】

第 1 及び第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 1、2 3 では、p 型ドーパントとしてマグネシウム (Mg)、亜鉛 (Zn) 等を用いることができる、p 型ドーパント濃度は例えば  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上であることがよく、これ以下のドーピング濃度であると抵抗が増加し、電気特性が悪化するからである。また、p 型ドーパント濃度は例えば  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以下であることがよく、これ以上のドーピング濃度であると結晶性が悪化し、電気特性が悪化するからである。これらの層 2 1、2 3 における p 型ドーパント濃度を p 型コンタクト層 2 5 における p 型ドーパント濃度より小さくすることができる。

【0068】

p 型 III 族窒化物半導体積層 2 6 は、本実施例では、第 1 及び第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層 2 1、2 3 の 2 層からなる。p 型 III 族窒化物半導体積層 2 6 は、コンタクト層 2 5 と第 1 の接合 J 1 を成すと共に発光層 1 7 と第 2 の接合 J 2 を成す。上記の説明から理解されるように、p 型 III 族窒化物半導体積層 2 6 の全体に亘って酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下であることが好ましい。III 族窒化物半導体積層 2 6 の p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  と該酸素濃度  $N_{oxg}$  との濃度比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下であることができる。高ドーパント濃度である p 型半導体領域 2 5 を除いて III 族窒化物半導体領域 2 6 の全体において、酸素濃度が低減されると共に比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1 / 10$  以下にまで低減される。アノードからの電流経路を構成する p 型 III 族窒化物半導体の電気的特性を向上できる。

40

【0069】

50

第1のp型窒化ガリウム系半導体層21の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。特に長波長における発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された第1のp型窒化ガリウム系半導体層21では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。特に長波長における発光素子の作製では、p層半導体の成長温度を低くすることが求められ、これ故に炭素不純物の濃度が増える。発明者らの知見によれば、窒素雰囲気中で成長された第2のp型窒化ガリウム系半導体層23では、酸素濃度だけでなく炭素濃度も低減可能である。また、第2のp型窒化ガリウム系半導体層23の炭素濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることができる。

【0070】

10

基板13は、第1の窒化ガリウム系半導体からなり、例えばGa<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>N、AlGa<sub>2</sub>N等であることができる。Ga<sub>2</sub>Nは、二元化合物である窒化ガリウム系半導体であるので、良好な結晶品質と安定した基板主面とを提供できる。また、第1の窒化ガリウム系半導体は、例えばAlN等からなることができる。

【0071】

基板13のc面は、図1に示された平面Scに沿って延びている。平面Sc上では、六方晶系窒化ガリウム系半導体の結晶軸を示すための座標系CR(c軸、a軸、m軸)が示されている。基板13の主面13aは、基準軸Cxに直交する面を基準にして該第1の窒化ガリウム系半導体のm軸又はa軸の方向に傾斜角θで傾斜している。傾斜角θは、基板13の主面13aの法線ベクトルVNと基準軸Cxを示すc軸部ベクトルVCとの成す角度によって規定される。主面13a上において、活性層17は、n型窒化ガリウム系半導体領域15とp型窒化ガリウム系半導体領域19との間に設けられ、n型窒化ガリウム系半導体領域15、活性層17及びp型窒化ガリウム系半導体領域19は、法線軸Axの方向に配列される。

20

【0072】

好適な実施例では、傾斜角θの範囲は、半極性の特徴を示す面方位の第1の角度範囲と、無極性に近い特徴を示す面方位の第2の角度範囲とに分けることができる。第1の角度範囲は、例えば50度以上、80度以下であり、また100度以上、130度未満である。第1の角度範囲では、特にIn組成が高いInGa<sub>2</sub>Nの結晶性を高められるという利点があり、また第2の角度範囲では特にIn組成が高いInGa<sub>2</sub>Nのピエゾ電界を抑制できるという利点がある。

30

【0073】

発光層17は、活性層27を含み、必要な場合にはn側光ガイド層29及びp側光ガイド層31を含むことができる。活性層27は、少なくとも一つの半導体エピタキシャル層33を含む。半導体エピタキシャル層33は、窒化ガリウム系半導体エピタキシャル領域15上に設けられている。半導体エピタキシャル層33は、例えばAlGa<sub>2</sub>N、Ga<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>N、InAlGa<sub>2</sub>N等からなり、またインジウムを含む第2の窒化ガリウム系半導体からなることができる。活性層27は、別の半導体エピタキシャル層35を含むことができる。別の半導体エピタキシャル層35は、例えばAlGa<sub>2</sub>N、Ga<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>N、InAlGa<sub>2</sub>N等からなり、またインジウムを含む第3の窒化ガリウム系半導体からなることができる。別の半導体エピタキシャル層35は、半導体エピタキシャル層33のバンドギャップより大きいバンドギャップを有する。一実施例では、半導体エピタキシャル層33は井戸層として働き、半導体エピタキシャル層35は障壁層として働く。活性層27は、単一又は多重の量子井戸構造を有することができる。

40

【0074】

発光層17(活性層27)の発光波長は例えば440nm以上、600nm以下であることができる。上記の発光波長範囲の光を発生する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の電気的特性を向上できる。また、発光層17(活性層27)の発光波長は490nm以上、600nm以下であることができる。これにより、長波長における発光を提供する発光素子において、p型窒化ガリウム系半導体の特性を向上できる。

50

## 【0075】

本実施の形態における一実施例を示す。

半導体層15：n型InAlGaNクラッド層。

半導体層21：p型GaN電子ブロック層。

半導体層23：p型InAlGaNクラッド層。

半導体層25：p型GaNコンタクト層。

半導体層29：n側アンドープInGaN光ガイド層。

半導体層31：p側アンドープInGaN光ガイド層。

必要な場合には、n型III族窒化物半導体領域15は、n側光ガイド層29及びn型光ガイド層を含むことができ、またp型III族窒化物半導体領域19は、p側光ガイド層31及びp型光ガイド層を含むことができる。

10

## 【0076】

III族窒化物半導体素子11のエピタキシャル基板EPは、これらの半導体層に対応する半導体層（半導体膜）を含み、対応する半導体層には、III族窒化物半導体素子11のために説明が当てはまる。このエピタキシャル基板EPの表面粗さは、算術平均新粗さで1nm以下である。III族窒化物半導体素子11は、コンタクト層25上に設けられた第1の電極37（例えば、アノード）を含むことができ、第1の電極37は、コンタクト層25を覆う絶縁膜39の開口39aを介してp型III族窒化物半導体領域19（コンタクト層25）に接触JCを成す。電極としては、例えばNi/Auを用いられる。III族窒化物半導体素子11は、基板13の裏面13b上に設けられた第2の電極41（例えば、カソード）を含むことができ、第2の電極41は、例えばTi/Alから成る。

20

## 【0077】

図2及び図3は、本実施の形態に係る、III族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程を示す図面である。図4及び図5は、本実施の形態に係る、III族窒化物半導体素子及びエピタキシャル基板を作製する方法における主要な工程における生産物を模式的に示す図面である。

## 【0078】

図2及び図3に示される工程フローに従って、有機金属気相成長法により、発光素子の構造のエピタキシャル基板及びIII族窒化物半導体光素子を基板上に作製した。エピタキシャル成長のための原料として、トリメチルガリウム（TMG）、トリメチルインジウム（TMI）、トリメチルアルミニウム（TMA）、アンモニア（NH<sub>3</sub>）、シラン（SiH<sub>4</sub>）、ビスクロペンタジエニルマグネシウム（Cp<sub>2</sub>Mg）を用いた。

30

## 【0079】

工程S101では、窒化ガリウム系半導体からなる主面を有する基板（図4の（a）部に示される基板51）を準備する。この基板51の主面の法線軸は、窒化ガリウム系半導体のc軸に対して50度から130度未満の角度範囲内の傾斜角を有する。本実施例では、基板51は、六方晶系GaNにおけるm軸方向にc面から75度の角度で傾斜した主面を有しており、この傾斜面は{20-21}面として示される。主面は鏡面研磨されている。

## 【0080】

基板51上に以下の条件でエピタキシャル成長を行う。まず、工程S102では、基板51を成長炉10内に設置する。成長炉10内には、例えば石英フローチャネル等の石英製の治具が配置されている。必要な場合には、摂氏1050度の温度及び27kPaの炉内圧力において、NH<sub>3</sub>とH<sub>2</sub>を含む熱処理ガスを成長炉10に供給しながら10分間熱処理を行う。この熱処理により、表面改質が生じる。

40

## 【0081】

この熱処理の後に、工程S103では、基板51上にIII族窒化物半導体層を成長してエピタキシャル基板を形成する。まず、工程S104では、III族構成元素及びV族構成元素のための原料、及びn型ドーパントを含む原料ガス並びに雰囲気ガスを成長炉10に供給して、III族窒化物半導体領域53をエピタキシャルに成長する。III族窒化物半導体

50



領域 5 3 の主面 5 3 a の傾斜角は、基板 5 1 の主面 5 1 a の傾斜角に対応している。III 族窒化物半導体領域 5 3 は、一又は複数の III 族窒化物半導体層を含むことができる。雰囲気ガスは、キャリアガス、サブフローガスを含む。雰囲気ガスは、例えば窒素及び / 又は水素を含むことができる。本実施例では、例えば、以下の窒化ガリウム系半導体領域が成長される。摂氏 9 5 0 度において、TMG、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub> 及び窒素及び / 又は水素を成長炉 1 0 に供給して、Si ドープ GaN 層 5 5 a を成長する。次いで、摂氏 8 7 0 度の基板温度で、TMG、TMI、TMA、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub> 及び窒素を成長炉 1 0 に供給して、Si ドープ InAlGa<sub>2</sub>N 層 5 5 b を成長する。この後に、摂氏 1 0 5 0 度において、TMG、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub> 及び窒素及び / 又は水素を成長炉 1 0 に供給して、Si ドープ GaN 層 5 5 c を成長する。還元性を有する水素雰囲気では成長炉内の治具や治具の付着物から酸素が脱離されやすくなる。

10

#### 【 0 0 8 2 】

工程 S 1 0 5 では、発光層 5 7 を成長する。この工程では、まず、工程 S 1 0 6 では、摂氏 8 7 0 度の基板温度で、TMG、TMI、NH<sub>3</sub> 及び窒素を成長炉に供給して、InGa<sub>2</sub>N 光ガイド層 5 9 a を成長する。光ガイド層 5 9 a の一部又は全部は、アンドープ又は n 型導電性であることができる。

#### 【 0 0 8 3 】

次いで、活性層 5 9 b を成長する。活性層 5 9 b の成長では、工程 S 1 0 7 で、TMG、TMI、NH<sub>3</sub> 及び雰囲気ガスの窒素を成長炉に供給して、アンドープ InGa<sub>2</sub>N 障壁層 6 1 a を成長する。InGa<sub>2</sub>N 層 6 1 a の厚さは 1 5 nm である。この成長後に、成長を中断して、障壁層の成長温度から井戸層の成長温度に基板温度を変更する。変更後に、工程 S 1 0 8 では、TMG、TMI、NH<sub>3</sub> 及び雰囲気ガスの窒素を成長炉 1 0 に供給して、アンドープ InGa<sub>2</sub>N 井戸層 6 1 b を成長する。InGa<sub>2</sub>N 井戸層 6 1 b の厚さは 3 nm である。必要な場合には、障壁層の成長、温度変更、井戸層の成長を繰り返すことができ、本実施例では、量子井戸構造は 3 層の井戸層を含む。工程 S 1 0 9 では、摂氏 8 7 0 度の基板温度で、TMG、TMI、NH<sub>3</sub> 及び雰囲気ガスの窒素を成長炉 1 0 に供給して、InGa<sub>2</sub>N 光ガイド層 5 9 c を成長する。光ガイド層 5 9 c の一部又は全部は、アンドープ又は p 型導電性であることができる。発光層 5 7 及び活性層 5 9 b の主面の傾斜角は、基板 5 1 の主面 5 1 a の傾斜角に対応している。

20

#### 【 0 0 8 4 】

工程 S 1 1 0 では、III 族原料、V 族原料、及び p 型ドーパントを含む原料ガス並びに雰囲気ガスを成長炉 1 0 に供給して、III 族窒化物半導体領域 6 3 をエピタキシャルに成長する。III 族窒化物半導体領域 6 3 の主面 6 3 a の傾斜角は、基板 5 1 の主面 5 1 a の傾斜角に対応している。III 族窒化物半導体領域 6 3 は、一又は複数の III 族窒化物半導体層を含むことができる。本実施例では、以下の窒化ガリウム系半導体領域が成長される。

30

#### 【 0 0 8 5 】

例えば、発光層 5 7 の成長後に、TMG の供給を停止して、基板温度を上昇する。TMG、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mg 及び雰囲気ガスを成長炉に供給して、摂氏 8 4 0 度の基板温度で p 型 GaN 電子ブロック層 6 5 a を成長する。この成長において、雰囲気ガスの窒素が供給されることが好ましい。次いで、TMG、TMI、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mg 及び窒素を成長炉 1 0 に供給して、摂氏 8 4 0 度の基板温度で Mg ドープ InGa<sub>2</sub>N 光ガイド層 6 5 b を成長する。この後に、摂氏 8 4 0 度において、TMG、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mg 及び雰囲気ガスを成長炉 1 0 に供給して、Mg ドープ GaN 光ガイド層 6 5 c を成長する。この成長において、雰囲気ガスとして窒素が供給されることが好ましい。そして、摂氏 8 7 0 度の基板温度で、TMG、TMI、TMA、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mg 及び窒素を成長炉 1 0 に供給して、Mg ドープ InAlGa<sub>2</sub>N クラッド層 6 5 d を成長する。次いで、摂氏 8 7 0 度において、TMG、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mg 及び雰囲気ガスを成長炉 1 0 に供給して、高濃度 Mg ドープ GaN コンタクト層 6 5 e を成長する。この成長において、雰囲気ガスとして窒素が供給されることが好ましい。これらの工程の後に、エピタキシャル基板 E P 1 が形成される。

40

50

## 【0086】

工程S111では、エピタキシャル基板EP1上に電極を形成する。電極の形成は以下のように行われる。例えば、p型GaNコンタクト層65e上に電極(Ni/Au)を形成すると共に、エピタキシャル基板EP1の裏面に、電極(Ti/Al)を形成する。電極の形成に先立って、エピタキシャル基板EP1を加工してリッジ構造を形成することができる。

## 【0087】

工程S110におけるp型III族窒化物半導体領域63のエピタキシャル成長に際して、図5に示されるように、以下のように行うことができる。

## 【0088】

一実施例では、III族窒化物半導体領域63は、III族構成元素としてインジウムを含む一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層(「p型窒化ガリウム系半導体層63A」と称す)、及び/又はIII族構成元素としてインジウムを含まない一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層(「p型窒化ガリウム系半導体層63B」と称す)を含むことができる。図5の(a)部に示されるように、工程S112では、p型窒化ガリウム系半導体層63Aの全てを窒素雰囲気中で形成する。各成長によって、p型窒化ガリウム系半導体層63Aの酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、p型窒化ガリウム系半導体層63Aのp型ドーパント濃度Npdと酸素濃度Noxgとの比(Noxg/Npd)が1/10以下である。また、図5の(b)部に示されるように、工程S113では、p型窒化ガリウム系半導体層63Bうちの一部の層63Cを窒素雰囲気中で形成する工程を行う。この成長によって、p型窒化ガリウム系半導体層63Cの酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、p型窒化ガリウム系半導体層63Cのp型ドーパント濃度Npdと酸素濃度Noxgとの比(Noxg/Npd)が1/10以下である。また、図5の(c)部に示されるように、p型窒化ガリウム系半導体層63Bうちの残りの層63Dを水素雰囲気中で形成する工程を行う。III族窒化物半導体領域63の成長では、層63A、63C、63Dの成長の順序を組み替えることができる。

## 【0089】

別の実施例では、III族窒化物半導体領域65は、III族構成元素としてインジウムを含む一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層(「p型窒化ガリウム系半導体層65A」と称す)と、III族構成元素としてインジウムを含まない一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層(「p型窒化ガリウム系半導体層65B」と称す)とを含むことができる。図5の(d)部に示されるように、工程S114では、p型窒化ガリウム系半導体層65Aの全てを窒素雰囲気中で形成する。この成長によって、p型窒化ガリウム系半導体層65Aの酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、p型窒化ガリウム系半導体層65Aのp型ドーパント濃度Npdと酸素濃度Noxgとの比(Noxg/Npd)が1/10以下である。また、図5の(e)部に示されるように、工程S115では、p型窒化ガリウム系半導体層65Bを窒素雰囲気中で形成する。この成長によって、p型窒化ガリウム系半導体層65Bの酸素濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であり、p型窒化ガリウム系半導体層65Bのp型ドーパント濃度Npdと酸素濃度Noxgとの比(Noxg/Npd)が1/10以下である。III族窒化物半導体領域65の成長では、層65A、65Bの成長の順序を組み替えることができる。

## 【0090】

更なる別の実施例では、III族窒化物半導体領域67は、III族構成元素としてインジウムを含む一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層(「p型窒化ガリウム系半導体層67A」と称す)と、III族構成元素としてインジウムを含まない一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層(「p型窒化ガリウム系半導体層67B」と称す)と、p型コンタクト層67Cとを含むことができる。図5の(f)部に示されるように、工程S116では、p型窒化ガリウム系半導体層67Aの全てを窒素雰囲気中で形成すると共に、p型窒化ガリウム系半導体層67Bの全てを窒素雰囲気中で形成する。窒素雰囲気中におけるp型窒化ガリウム系半導体層67A、67Bの成長によって、これらの層67A、67Bの酸素濃度は

10

20

30

40

50

$5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下であり、これらの層 67A、67B の p 型ドーパント濃度  $N_{pd}$  と酸素濃度  $N_{oxg}$  との比 ( $N_{oxg} / N_{pd}$ ) が  $1/10$  以下である。工程 S117 では、p 型窒化ガリウム系半導体コンタクト層 67C を形成する。また、このコンタクト層 67C も窒素雰囲気中で形成することができ、この成長ではコンタクト層 67C の酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下である。

#### 【0091】

成長炉の石英チューブには、III 族構成元素及び V 族構成元素のための原料ガス及び雰囲気ガスが供給される。III 族構成元素としてインジウムを含まない p 型窒化ガリウム系半導体層の成長では、雰囲気ガスの割合 (雰囲気ガス / (雰囲気ガス + 原料ガス)) が 60% 以上であることができる。ここで、百分率は体積パーセントである。引き続き本実施の形態における実施例を説明する。

#### 【0092】

##### (実施例 1)

図 6 の (a) 部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図 6 の (b) 部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。{20-21} 面 GaN 基板を準備する。この GaN 基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。p 型窒化ガリウム系半導体層の成長において、インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして水素のみを供給して形成された水素雰囲気中で成長する。また、インジウム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。エピタキシャル積層上には、幅  $10 \mu\text{m}$  のストライプ窓を有する絶縁膜 (シリコン酸化膜) を形成する。アノード電極として Pd 電極を蒸着により形成する。この後に、パッド電極を蒸着により形成する。このように作製された基板生産物を、 $600 \mu\text{m}$  間隔で分離して、レーザバーを作製する。レーザバーの共振器端面に、誘電体多層膜からなる反射膜を成膜する。誘電体多層膜は、 $\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2$  からなる。前端面の反射率は 80% であり、後端面の反射率は 95% である。波長  $520 \text{ nm}$  でしきい値電流  $4 \text{ kA/cm}^2$  で発振し、動作電圧は 8.5 ボルトである。

#### 【0093】

図 6 の (b) 部を参照すると、マグネシウム濃度、酸素濃度、及びこれらの  $O/Mg$  比率 (酸素濃度 / マグネシウム濃度) が示されている。図 6 の (b) 部において、例えば「 $3e20$ 」は  $3 \times 10^{20}$  を表す。

#### 【0094】

インジウム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層、例えば p 型  $\text{InGaIn}$ 、p 型  $\text{InAlGaIn}$  の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されており、その酸素濃度は  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下である。また、 $O/Mg$  比率は 0.1 以下である。その成膜条件は V/III 比が 5000 から 10000 程度である。一方で、雰囲気ガスとして水素のみを供給して形成された p 型窒化ガリウム系半導体層 (インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層) の成長では、酸素濃度が高い。

#### 【0095】

##### (実施例 2)

図 7 の (a) 部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図 7 の (b) 部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。{20-21} 面 GaN 基板を準備する。この GaN 基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。p 型窒化ガリウム系半導体層の成長において、インジウム (In) を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素又は水素を供給して形成された雰囲気中で成長する。また、インジウム (In) を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された雰囲気中で成長する。実施例 1 と同様に、エピタキシャル積層上には、絶縁膜、アノード電極等を作製して基板生産物を作製する。この基板生産物を  $600 \mu\text{m}$  間隔で分離して、レーザバーを作製する。実施例 1 と同様に、誘電体多層膜からなる反射膜をレーザバーの共振器端面に成膜する。波長  $520 \text{ nm}$  でしき

10

20

30

40

50

い値電流  $4 \text{ kA} / \text{cm}^2$  で発振し、動作電圧は  $8.0$  ボルトである。

【0096】

図7の(b)部を参照すると、マグネシウム濃度、酸素濃度、及びこれらのO/Mg比率(酸素濃度/マグネシウム濃度)が示されている。

【0097】

インジウム(In)を含む窒化ガリウム系半導体層、例えばp型InGa<sub>N</sub>、p型InAlGa<sub>N</sub>の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されており、O/Mg比率は $0.1$ 以下である。その成膜条件はV/III比が $5000$ から $10000$ 程度である。

【0098】

インジウム(In)を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えばp型Ga<sub>N</sub>光ガイド層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成される一方で、残りのインジウム(In)を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えばp+型Ga<sub>N</sub>コンタクト層及びp型Ga<sub>N</sub>電子ブロック層の成長は、水素雰囲気中で成長される。雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成されたp型Ga<sub>N</sub>層の成長では、酸素濃度が低く、O/Mg比率は $0.1$ 以下である。しかしながら、雰囲気ガスとして水素のみを供給して形成されたp型Ga<sub>N</sub>電子ブロック層、p+Ga<sub>N</sub>コンタクト層の成長では、酸素濃度が高い。

【0099】

(実施例3)

図8の(a)部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図8の(b)部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。{20-21}面Ga<sub>N</sub>基板を準備する。このGa<sub>N</sub>基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。p型窒化ガリウム系半導体層の成長において、インジウム(In)を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素又は水素を供給して形成された雰囲気中で成長する。また、インジウム(In)を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。実施例1と同様に、エピタキシャル積層上には、絶縁膜、アノード電極等を作製して基板生産物を作製する。この基板生産物を $600 \mu\text{m}$ 間隔で分離して、レーザバーを作製する。実施例1と同様に、誘電体多層膜からなる反射膜をレーザバーの共振器端面に成膜する。波長 $520 \text{ nm}$ でしきい値電流  $4 \text{ kA} / \text{cm}^2$  で発振し、動作電圧は  $7.5$  ボルトである。

【0100】

図8の(b)部を参照すると、マグネシウム濃度、酸素濃度、及びこれらのO/Mg比率(酸素濃度/マグネシウム濃度)が示されている。インジウム(In)を含む窒化ガリウム系半導体層、例えばp型InGa<sub>N</sub>、p型InAlGa<sub>N</sub>の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されており、O/Mg比率は $0.1$ 以下である。インジウム(In)を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えばp型Ga<sub>N</sub>光ガイド層及びp型Ga<sub>N</sub>電子ブロック層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成される一方で、残りのインジウム(In)を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えばp+型Ga<sub>N</sub>コンタクト層の成長は、水素雰囲気中で成長される。雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成されたp型Ga<sub>N</sub>光ガイド層及びp型Ga<sub>N</sub>電子ブロック層の成長では、酸素濃度が低く、O/Mg比率は $0.1$ 以下である。その成膜条件はV/III比が $5000$ から $10000$ 程度である。しかしながら、雰囲気ガスとして水素のみを供給して形成されたp+Ga<sub>N</sub>コンタクト層の成長では、酸素濃度が高い。

【0101】

(実施例4)

図9の(a)部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図9の(b)部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。{20-21}面Ga<sub>N</sub>基板を準備する。このGa<sub>N</sub>基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。p型窒化ガリウム系半導体層の成長において、インジウム(In)を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中

10

20

30

40

50

で成長する。また、インジウム（ $\text{In}$ ）を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。実施例 1 と同様に、エピタキシャル積層上には、絶縁膜、アノード電極等を作製して基板生産物を作製する。この基板生産物を  $600\text{ }\mu\text{m}$  間隔で分離して、レーザバーを作製する。実施例 1 と同様に、誘電体多層膜からなる反射膜をレーザバーの共振器端面に成膜する。波長  $520\text{ nm}$  でしきい値電流  $4\text{ kA/cm}^2$  で発振し、動作電圧は  $7.0$  ボルトである。

#### 【0102】

図 9 の（b）部を参照すると、マグネシウム濃度、酸素濃度、及びこれらの  $\text{O/Mg}$  比率（酸素濃度 / マグネシウム濃度）が示されている。インジウム（ $\text{In}$ ）を含む窒化ガリウム系半導体層、例えば  $\text{p}$  型  $\text{InGaN}$ 、 $\text{p}$  型  $\text{InAlGaIn}$  の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長されており、 $\text{O/Mg}$  比率は  $0.1$  以下である。その成膜条件は  $\text{V/III}$  比が  $5000$  から  $10000$  程度である。インジウム（ $\text{In}$ ）を含まない窒化ガリウム系半導体層、例えば  $\text{p}$  型  $\text{GaInN}$  光ガイド層、 $\text{p}$  型  $\text{GaInN}$  電子ブロック層及び  $\text{p} + \text{GaInN}$  コンタクト層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成され、全て  $\text{p}$  型窒化ガリウム系半導体層の成長が、窒素雰囲気中で成長される。雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された  $\text{p}$  型  $\text{GaInN}$  光ガイド層、 $\text{p}$  型  $\text{GaInN}$  電子ブロック層及び  $\text{p} + \text{GaInN}$  コンタクト層の成長では、酸素濃度が低く、 $\text{O/Mg}$  比率は  $0.1$  以下である。

#### 【0103】

（実施例 5）

図 10 の（a）部に示される素子構造のレーザダイオードを作製する。図 10 の（b）部には、エピタキシャル構造の構成層の雰囲気ガスが示される。 $\{20-21\}$  面  $\text{GaInN}$  基板を準備する。この  $\text{GaInN}$  基板上に、有機金属気相成長法で、エピタキシャル積層を形成する。インジウム（ $\text{In}$ ）を含まない窒化ガリウム系半導体層の成長、また、インジウム（ $\text{In}$ ）を含む窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長する。エピタキシャル基板の表面粗さは、算術平均新粗さで  $1\text{ nm}$  以下である。実施例 1 と同様に、エピタキシャル積層上には、絶縁膜、アノード電極等を作製して基板生産物を作製する。この基板生産物を  $600\text{ }\mu\text{m}$  間隔で分離して、レーザバーを作製する。レーザバーの共振器端面に、実施例 1 と同様に、誘電体多層膜からなる反射膜を成膜する。波長  $520\text{ nm}$  でしきい値電流  $4\text{ kA/cm}^2$  で発振し、動作電圧は  $6.5$  ボルトである。

#### 【0104】

$\text{p}$  型及び  $\text{n}$  型窒化ガリウム系半導体層の成長は、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成される。雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒化ガリウム系半導体層の成長では酸素濃度が低く、 $\text{O/Mg}$  比率は  $0.1$  以下である。

#### 【0105】

駆動電圧の低減の他にも以下のような技術的寄与が得られる。例えば、キャリアガスの切替回数が減り、成長中に生成されるパーティクルといったゴミが減る。また、界面の不純物が低減される。窒素キャリアガスを用いるので、エピタキシャル表面が平坦化され、表面モフォロジーが改善される。これによりチップ歩留及び素子信頼性が向上される。さらには、 $\text{p}$  型半導体層の成長温度を低めることができ、 $\text{p}$  型半導体層の成長中における井戸層の劣化が低減される。

#### 【0106】

実施例 1 ～ 5 の結果から理解されるように、インジウム（ $\text{In}$ ）を含むか含まないかに関わらず  $\text{p}$  型窒化ガリウム系半導体層のうち、雰囲気ガスとして窒素のみを供給して形成された窒素雰囲気中で成長された  $\text{p}$  型窒化ガリウム系半導体層の成長は、 $\text{O/Mg}$  比率は  $0.1$  以下である。

#### 【0107】

発明者らは、高純度な原料の選定、エピタキシャル成長前の基板洗浄、治具の洗浄等の酸素濃度低減のための様々な方策を試みたけれども、いずれも十分な効果がない。

## 【 0 1 0 8 】

発明者らの検討によれば、極性面である c 面と半極性面を比較すると、半極性面は、c 面に比べておよそ 1 桁程度高い酸素取り込みを示す。このため、c 面上への成長では酸素不純物の取り込みは、エピタキシャル成長膜の品質に大きく影響しない。しかしながら、半極性面への成長では、特に p 型半導体層の電気特性を悪化させる原因となる。

## 【 0 1 0 9 】

ところが、上記のような改善のための実験を進める中で、I n を含む窒化ガリウム系半導体層は窒素雰囲気で成長され、この窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度は、その他の水素雰囲気で成長する I n を含まない層に比べて酸素濃度が低いことを発見している。そこで、I n を含まない窒化ガリウム系半導体層を窒素雰囲気で成長するとき、この窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度を低減できる。これにより、半導体素子の内部抵抗を下げるることができる。実験によれば、窒素雰囲気で成長する窒化ガリウム系半導体層の酸素濃度を低減でき、低抵抗な半導体素子を作製できる。

## 【 0 1 1 0 】

発明者らの検討によれば、酸素の供給源としては、成長炉に供給される原料等のガス中の不純物と、それ以外の治具等が供給源であると考えられる。原料中の不純物が酸素の供給源となっており、「原料中の酸素濃度」と「結晶中への酸素取り込み係数」が因子として考えられる。発明者らの実験によると、原料ガスの純度を落とした成膜では、水素雰囲気、窒素雰囲気のいずれでもエピタキシャル半導体結晶中の酸素濃度が増加する。この結果から、「結晶中への酸素取り込み係数」は雰囲気ガスによらないものと考えられる。

## 【 0 1 1 1 】

一方、酸素源が原料以外にあるとき、因子は、炉内の治具、デポ、洗浄剤残渣等の「酸素源」、「酸素源からの酸素脱離係数」、「結晶中への酸素取り込み係数」が考えられる。上記の通り、「結晶中への酸素取り込み係数」は雰囲気ガスによらない。よって残りの「酸素源からの酸素脱離係数」が雰囲気ガスによって変わる。水素は、還元性のガスであり、デポ等の望まれない堆積物から酸素を脱離させる。この酸素がエピタキシャル結晶中に取り込まれるものと考えられる。これ故に、雰囲気ガス（キャリアガス及びサブフローガス）として窒素に用いることが好適である。

## 【 0 1 1 2 】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。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。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更権利を請求する。

## 【 産業上の利用可能性 】

## 【 0 1 1 3 】

本実施の形態によれば、低減された酸素濃度の p 型窒化ガリウム系半導体層を有する I I I 族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、酸素不純物の取り込み量を低減できる、I I I 族窒化物半導体素子を作製する方法が提供される。さらに、本実施の形態によれば、I I I 族窒化物半導体素子のためのエピタキシャル基板が提供される。

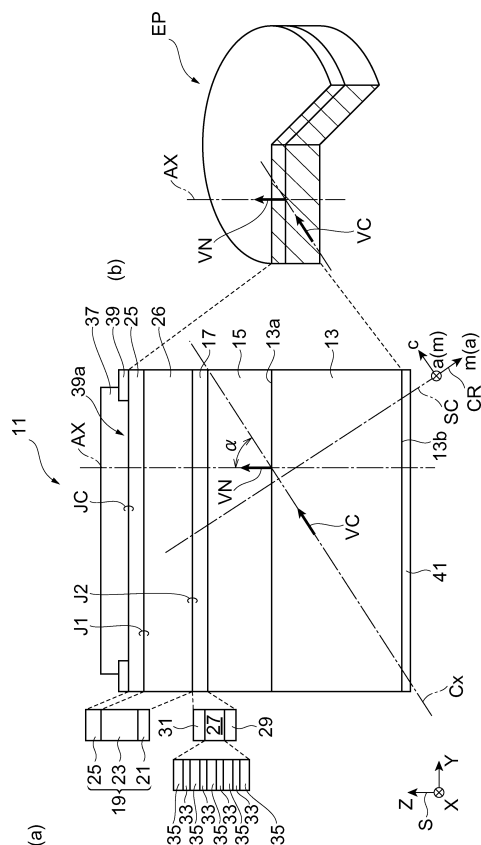
## 【 符号の説明 】

## 【 0 1 1 4 】

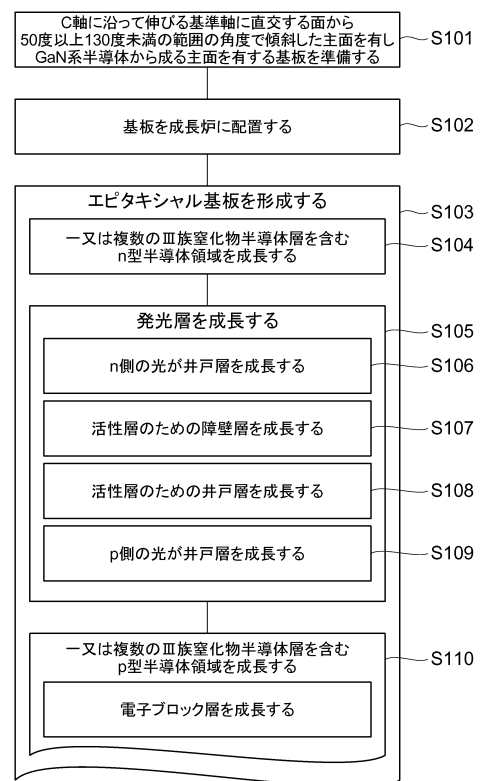
E P ...エピタキシャル基板、1 0 ...成長炉、1 1 ...I I I 族窒化物半導体素子、1 3 ...基板、1 5 ...n 型 I I I 族窒化物半導体領域、1 7 ...発光層、1 9 ...p 型 I I I 族窒化物半導体領域、C x ...基準軸、2 1 ...第 1 の p 型窒化ガリウム系半導体層、2 3 ...第 2 の p 型窒化ガリウム系半導体層、2 5 ...p 型コンタクト層、2 6 ...p 型 I I I 族窒化物半導体積層、J 1、J 2 ...接合、2 7 ...活性層、2 9 ...n 側光ガイド層、3 1 ...p 側光ガイド層、3 3 ...半導体エピタキシャル層、3 5 ...半導体エピタキシャル層、3 7 ...第 1 の電極、3 9 ...絶縁膜、J C ...接触、4 1 ...第 2 の電極、5 1 ...基板、5 3 ...I I I 族窒化物半導体領域、5 5 a

... Si ドープ GaN 層、55b... Si ドープ InAlGa<sub>N</sub> 層、55c... Si ドープ Ga<sub>N</sub> 層、59a... InGa<sub>N</sub> 光ガイド層、59b... 活性層、59c... InGa<sub>N</sub> 光ガイド層、61a... アンダー InGa<sub>N</sub> 障壁層、61b... アンダー InGa<sub>N</sub> 井戸層、65a... p 型 Ga<sub>N</sub> 電子ブロック層、65b... Mg ドープ InGa<sub>N</sub> 光ガイド層、65c... Mg ドープ Ga<sub>N</sub> 光ガイド層、65d... Mg ドープ InAlGa<sub>N</sub> クラッド層、65e... 高濃度 Mg ドープ Ga<sub>N</sub> コンタクト層、EP1... エピタキシャル基板。

【圖 1】



【圖 2】







【 図 7 】

(b)

Layer	Tc	H2/N2	Mg濃度	O濃度	O/Mg
p-GaN	900℃	H2	3e20	5e18	0.017
p-InAlGaN	870℃	N2	7e18	5e17	0.071
p-GaN	840℃	N2	3e18	2e17	0.067
p-InGaN	840℃	N2	3e18	2e17	0.067
p-GaN	900℃	H2	9e18	5e18	0.556
ud-InGaN	840℃	N2			
ud-InGaN	720℃	N2			
n-InGaN	840℃	N2			
n-GaN	1050℃	H2			
n-InAlGaN	870℃	N2			
n-GaN	950℃	H2			
熱処理	1050℃	H2			

(a)

p-GaN0.050um
p-In0.03Al0.14GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In0.03GaN0.050um
p-GaN20nm
ud-In0.025GaN0.075um
ud-In0.30GaN3nm
n-In0.025GaN0.115um
n-GaN0.250um
n-In0.03Al0.14GaN1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

【 図 8 】

(b)

Layer	Tc	H2/N2	Mg濃度	O濃度	O/Mg
p-GaN	900℃	H2	3e20	5e18	0.017
p-InAlGaN	870℃	N2	7e18	5e17	0.071
p-GaN	840℃	N2	3e18	1e17	0.033
p-InGaN	840℃	N2	3e18	1e17	0.033
p-GaN	840℃	N2	9e18	1e17	0.011
ud-InGaN	840℃	N2			
ud-InGaN	720℃	N2			
n-InGaN	840℃	N2			
n-GaN	1050℃	H2			
n-InAlGaN	870℃	N2			
n-GaN	950℃	H2			
熱処理	1050℃	H2			

(a)

p-GaN0.050um
p-In0.03Al0.14GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In0.025GaN0.050um
p-GaN20nm
ud-In0.025GaN0.075um
ud-In0.30GaN3nm
n-In0.025GaN0.115um
n-GaN0.250um
n-In0.03Al0.14GaN1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

【 図 9 】

(b)

Layer	Tc	H2/N2	Mg濃度	O濃度	O/Mg
p-GaN	870℃	N2	3e20	3e17	0.010
p-InAlGaN	870℃	N2	7e18	5e17	0.071
p-GaN	840℃	N2	3e18	1e17	0.067
p-InGaN	840℃	N2	3e18	1e17	0.067
p-GaN	840℃	N2	9e18	1e17	0.022
ud-InGaN	840℃	N2			
ud-InGaN	720℃	N2			
n-InGaN	840℃	N2			
n-GaN	1050℃	H2			
n-InAlGaN	870℃	N2			
n-GaN	950℃	H2			
熱処理	1050℃	H2			

(a)

p-GaN0.050um
p-In0.03Al0.14GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In0.025GaN0.050um
p-GaN20nm
ud-In0.025GaN0.075um
ud-In0.30GaN3nm
n-In0.025GaN0.115um
n-GaN0.250um
n-In0.03Al0.14GaN1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

【 図 1 0 】

(b)

Layer	Tc	H2/N2
p-GaN	870℃	N2
p-InAlGaN	870℃	N2
p-GaN	840℃	N2
p-InGaN	840℃	N2
p-GaN	840℃	N2
ud-InGaN	840℃	N2
ud-InGaN	720℃	N2
n-InGaN	840℃	N2
n-GaN	840℃	N2
n-InAlGaN	870℃	N2
n-GaN	950℃	N2
熱処理	1050℃	H2

(a)

p-GaN0.050um
p-In0.03Al0.14GaN0.40um
p-GaN0.250um
p-In0.025GaN0.050um
p-GaN20nm
ud-In0.025GaN0.075um
ud-In0.30GaN3nm
n-In0.025GaN0.115um
n-GaN0.250um
n-In0.03Al0.14GaN1.2um
n-GaN1.1um
GaN substrate

---

フロントページの続き

- (72)発明者 住友 隆道  
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 善積 祐介  
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 西塚 幸司  
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

審査官 高棕 健司

- (56)参考文献 特開2010-192865(JP,A)  
特開2004-363622(JP,A)  
特開2010-212651(JP,A)  
国際公開第2008/153130(WO,A1)  
国際公開第2010/090262(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50  
H01L 21/31, 21/365, 21/469, 21/86,  
33/00 - 33/64