

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第7部門第2区分
 【発行日】令和5年9月5日(2023.9.5)

【国際公開番号】WO2022/059125
 【出願番号】特願2022-550255(P2022-550255)

【国際特許分類】

H 0 1 L 3 3 / 1 8 (2 0 1 0 . 0 1)

H 0 1 L 3 3 / 3 2 (2 0 1 0 . 0 1)

H 0 1 L 3 3 / 2 0 (2 0 1 0 . 0 1)

10

【F I】

H 0 1 L 3 3 / 1 8

H 0 1 L 3 3 / 3 2

H 0 1 L 3 3 / 2 0

【手続補正書】

【提出日】令和5年8月23日(2023.8.23)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項1

20

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項1】

ウルツ鋹構造のAlGa_N系半導体からなるn型層、活性層、及びp型層が上下方向に積層された発光素子構造部を備えてなるピーク発光波長が250nm~310nmの範囲内にある窒化物半導体紫外線発光素子であって、

前記n型層がn型AlGa_N系半導体で構成され、

前記n型層と前記p型層の間に配置された前記活性層が、AlGa_N系半導体で構成された1層以上の井戸層を含む量子井戸構造を有し、

前記p型層がp型AlGa_N系半導体で構成され、

30

前記n型層と前記活性層と前記p型層内の各半導体層が、(0001)面に平行な多段状のテラスが形成された表面を有するエピタキシャル成長層であり、

前記n型層が、前記n型層内で一様に分散して存在する局所的にAlNモル分率の低い層状領域を有し、

前記n型層の上面と直交する第1平面上での前記層状領域の各延伸方向が、前記n型層の前記上面と前記第1平面との交線に対して傾斜している部分を有し、

前記p型層が、前記p型層内の最下層として、前記1層以上の井戸層の最上層の上面側に形成された電子ブロック層を有し、更に、前記p型層内の最上層として、p型Ga_N系半導体で構成されたコンタクト層を有し、

前記活性層内の各半導体層と前記電子ブロック層が、前記多段状のテラスの隣接するテラス間を連結する(0001)面に対して傾斜した傾斜領域と、前記傾斜領域以外のテラス領域をそれぞれ有し、

40

前記電子ブロック層の前記テラス領域のAlNモル分率が8.5%以上9.0%以下であり、前記電子ブロック層の前記傾斜領域内に、AlNモル分率が局所的に前記電子ブロック層の前記テラス領域のAlNモル分率より低い第1Ga_N富化領域が存在し、

前記井戸層の前記傾斜領域内に、AlNモル分率が局所的に前記井戸層の前記テラス領域のAlNモル分率より低い第2Ga_N富化領域が存在することを特徴とする窒化物半導体紫外線発光素子。

【手続補正2】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

50

【補正対象項目名】請求項 2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 2】

前記第 1 Ga 富化領域内に、AlGa_{1-x}N 組成比が整数比の Al₅Ga₁N₆ となっている第 1 準安定 p 型領域が存在することを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体紫外線発光素子。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 4】

前記第 1 Ga 富化領域内に、AlGa_{1-x}N 組成比が整数比の Al₅Ga₁N₆ である p 型の準安定 AlGa_{1-x}N で構成された第 1 準安定 p 型領域が存在し、

前記第 3 Ga 富化領域内に、AlGa_{1-x}N 組成比が整数比の Al₂Ga₁N₃、Al₇Ga₅N₁₂、または、Al₁Ga₁N₂ であって、且つ、AlN モル分率が前記第 1 準安定 p 型領域の AlN モル分率未満である p 型の準安定 AlGa_{1-x}N で構成された第 2 準安定 p 型領域が存在することを特徴とする請求項 3 に記載の窒化物半導体紫外線発光素子。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項 5

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 5】

前記井戸層の前記第 2 Ga 富化領域内に、AlGa_{1-x}N 組成比が整数比の Al₁Ga₁N₂、Al₅Ga₇N₁₂、Al₁Ga₂N₃、または、Al₁Ga₃N₄ である準安定 AlGa_{1-x}N で構成された準安定井戸領域が存在することを特徴とする請求項 2 または 4 に記載の窒化物半導体紫外線発光素子。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】請求項 8

【補正方法】変更

【補正の内容】

【請求項 8】

サファイア基板を含む下地部を、さらに備え、

前記サファイア基板は、(0001) 面に対して所定の角度だけ傾斜した主面を有し、当該主面の上方に前記発光素子構造部が形成されており、

前記サファイア基板の前記主面から前記 p 型層の前記コンタクト層までの各半導体層が、(0001) 面に平行な多段状のテラスが形成された表面を有するエピタキシャル成長層であることを特徴とする請求項 1 ~ 7 の何れか 1 項に記載の窒化物半導体紫外線発光素子

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0011

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0011】

【非特許文献 1】Y. Nagasawa, et al., "Comparison of Al_xGa_{1-x}N multiple quantum wells designed for 265 and 285nm deep-ultraviolet LEDs grown o

10

20

30

40

50

n AlN templates having macrosteps", Applied Physics Express 12, 064009 (2019)

【非特許文献2】K. Kojima, et al., "Carrier localization structure combined with current micropaths in AlGa_n quantum wells grown on an AlN template with macrosteps", Applied Physics letter 114, 011102 (2019)

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正の内容】

10

【0024】

更に、電子ブロック層及び井戸層等の活性層及びp型層内の各半導体層におけるテラス領域のAlNモル分率とは、各テラス面で生じるGaの質量移動に起因するテラス面内でのAlNモル分率の変動を均した平均的なAlNモル分率を意味する。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正の内容】

20

【0031】

本明細書では、AlGa_n組成比が整数比のAl₅Ga₁N₆、Al₂Ga₁N₃、Al₇Ga₅N₁₂、Al₅Ga₇N₁₂、Al₁Ga₂N₃、Al₁Ga₅N₆のAlNモル分率をそれぞれ百分率で表記する場合、近似的に、83.3%、66.7%、58.3%、41.7%、33.3%、16.7%と示す。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

【補正の内容】

30

【0066】

上記好適な実施態様により、バリア層においても、電子ブロック層の第1Ga富化領域、井戸層の第2Ga富化領域、及び、p型クラッド層の第3Ga富化領域と同様に、第4Ga富化領域においてキャリアの局在化が生じ得る。従って、井戸層において発光の集中している傾斜領域の第2Ga富化領域に向けて、p型層及びn型層からキャリア（正孔及び電子）をそれぞれ供給する際に、バリア層の第4Ga富化領域を経由して、効率的に行うことができる。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0067

【補正方法】変更

【補正の内容】

40

【0067】

ここで、井戸層が2層以上の多重量子井戸構造では、最もp型層側の井戸層において発光強度が大きいため、当該井戸層のn型層側のバリア層において、第4Ga富化領域が形成されていることで、上述のキャリアの井戸層への供給をより効率的に行うことができる。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0069

【補正方法】変更

50

【補正の内容】

【0069】

上記好適な実施態様により、オフ角を有するサファイア基板を用いて、サファイア基板の主面から p型層のコンタクト層 までの各層の表面に多段状のテラスが表出するようにエピタキシャル成長を行うことができ、上記特徴の窒化物半導体紫外線発光素子を実現できる。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0101

【補正方法】変更

10

【補正の内容】

【0101】

また、井戸層220のテラス領域TAのAlNモル分率は、一例として、第2Ga富化領域220aにAlNモル分率が50%の準安定井戸領域を形成する場合は、50.1%~54%の範囲内に調整され、第2Ga富化領域220aにAlNモル分率が41.7%の準安定井戸領域を形成する場合は、41.8%~45%の範囲内に調整され、第2Ga富化領域220aにAlNモル分率が33.3%の準安定井戸領域を形成する場合は、33.4%~37%の範囲内に調整され、第2Ga富化領域220aにAlNモル分率が25%の準安定井戸領域を形成する場合は、25.1%~29%の範囲内に調整されているのが好ましい。井戸層220における準安定井戸領域とテラス領域TAのAlNモル分率差は、傾斜領域IAとテラス領域TAのAlNモル分率差に起因するダブル発光ピークの発生を抑制するため、4%以下に設定されている。尚、井戸層220のテラス領域のAlNモル分率は、上記4通りの好ましい範囲内から外れていても、井戸層220の傾斜領域IA内に、局所的にAlNモル分率の低い第2Ga富化領域220aが形成される限りにおいて、概ね25%~54%の範囲内において、ピーク発光長の目標値に応じた任意の値を取り得る。

20

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0106

【補正方法】変更

30

【補正の内容】

【0106】

好ましい一実施態様として、井戸層220の第2Ga富化領域220a内に、ピーク発光波長の目標値に応じて、AlGa₁N₂、Al₅Ga₇N₁₂、Al₁Ga₂N₃、または、Al₁Ga₃N₄の準安定井戸領域が支配的に存在しているのと同様に、電子ブロック層23の第1Ga富化領域23a内に、AlNモル分率が準安定井戸領域のAlNモル分率より20%以上高い、AlGa₁N₆(AlNモル分率:6分の5=83.3%)、Al₃Ga₁N₄(AlNモル分率:4分の3=75%)、または、Al₂Ga₁N₃(AlNモル分率:3分の2=66.7%)となっている p型の準安定AlGa₁Nで構成された第1準安定p型領域が支配的に存在している。

40

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0112

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0112】

p電極26は、例えばNi/Au等の多層金属膜で構成され、p型コンタクト層24の上面に形成される。n電極27は、例えばTi/Al/Ti/Au等の多層金属膜で構成され、n型クラッド層21の第2領域R2内の露出面上の一部の領域に形成される。尚、

50

p電極26及びn電極27は、上述の多層金属膜に限定されるものではなく、各電極を構成する金属、積層数、積層順などの電極構造は適宜変更してもよい。図10に、p電極26とn電極27の発光素子1の上側から見た形状の一例を示す。図10において、p電極26とn電極27の間に存在する線BLは、第1領域R1と第2領域R2の境界線を示しており、活性層22、電子ブロック層23、及び、p型コンタクト層24の外周側壁面と一致する。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0117

【補正方法】変更

10

【補正の内容】

【0117】

<発光素子の製造方法>

次に、図4に例示した発光素子1の製造方法の一例について説明する。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0137

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0137】

20

尚、電子ブロック層23の成長温度T3を活性層22の成長温度T2から上げる場合、当該成長温度の遷移過程において、その下方に位置する井戸層220内でGaNの分解が生じて、当該GaNの分解に起因して発光素子1の特性が悪化する可能性がある。従って、当該GaNの分解を抑制するために、最上層の井戸層220と電子ブロック層23の間に、バリア層221より薄膜（例えば、3nm以下、好ましくは、2nm以下）でバリア層221及び電子ブロック層23よりAlNモル分率の高いAlGaN層またはAlN層を形成するのが好ましい。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0139

【補正方法】変更

30

【補正の内容】

【0139】

n型クラッド層21、活性層22（井戸層220、バリア層221）、電子ブロック層23、及び、p型コンタクト層24の成長温度T1～T4の上記式（1A）及び（2）を満足する一例を以下に示す。

$T1 = T2 = 1080$ 、 $T3 = 1150$ 、 $T4 = 980$

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0141

【補正方法】変更

40

【補正の内容】

【0141】

上記要領で、n型クラッド層21の上面の全面に、活性層22（井戸層220、バリア層221）、電子ブロック層23、及び、p型コンタクト層24等が形成されると、次に、反応性イオンエッチング等の周知のエッチング法により、窒化物半導体層21～24の第2領域R2を、n型クラッド層21の上面が露出するまで選択的にエッチングして、n型クラッド層21の上面の第2領域R2部分を露出させる。そして、電子ビーム蒸着法などの周知の成膜法により、エッチングされていない第1領域R1内のp型コンタクト層24上にp電極26を形成するとともに、エッチングされた第2領域R2内のn型クラッド層

50

2 1 上に n 電極 2 7 を形成する。尚、 p 電極 2 6 及び n 電極 2 7 の一方または両方の形成後に、 R T A (瞬間熱アニール) 等の周知の熱処理方法により熱処理を行ってもよい。

【 手続補正 1 9 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 1 4 3

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 1 4 3 】

上記要領で作製された発光素子 1 の A l G a N 系半導体層 2 1 ~ 2 4 の断面構造は、第 2 領域 R 2 のエッチング及び p 電極 2 6 と n 電極 2 7 の形成前の試料を作製し、該資料の上面に垂直 (または略垂直) な断面を有する試料片を収束イオンビーム (F I B) で加工し、該試料片の H A A D F - S T E M 像により観察することができる。

10

【 手続補正 2 0 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 1 5 3

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 1 5 3 】

更に、 p 型クラッド層 2 5 のテラス領域 T A の A l N モル分率は、上記範囲内において、第 3 G a 富化領域 2 5 a の A l N モル分率より、 1 % 以上、好ましくは 2 % 以上、より好ましくは 4 % 以上、高くなるように設定される。第 3 G a 富化領域 2 5 a におけるキャリアの局在化の効果を十分に確保するために、 p 型クラッド層 2 5 の第 3 G a 富化領域 2 5 a とテラス領域 T A の A l N モル分率差を 4 ~ 5 % 以上とするのが好ましいが、 1 ~ 2 % 程度でも、キャリアの局在化の効果は期待し得る。

20

【 手続補正 2 1 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 1 5 4

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 1 5 4 】

好ましい一実施態様として、電子ブロック層 2 3 の第 1 G a 富化領域 2 3 a 内に、 A l N モル分率が準安定井戸領域の A l N モル分率より 2 0 % 以上高い、 A l G a N 組成比が整数比の A l₅Ga₁N₆ (A l N モル分率 : 6 分の 5 = 8 3 . 3 %)、 A l₃Ga₁N₄ (A l N モル分率 : 4 分の 3 = 7 5 %)、または、 A l₂Ga₁N₃ (A l N モル分率 : 3 分の 2 = 6 6 . 7 %) となっている p 型の準安定 A l G a N で構成された第 1 準安定 p 型領域が支配的に存在しているのと同様に、 p 型クラッド層 2 5 の第 3 G a 富化領域 2 5 a 内に、 A l G a N 組成比が整数比の A l₂Ga₁N₃ (A l N モル分率 : 3 分の 2 = 6 6 . 7 %)、 A l₇Ga₅N₁₂ (A l N モル分率 : 1 2 分の 7 = 5 8 . 3 %)、または、 A l₁Ga₁N₂ (A l N モル分率 : 2 分の 1 = 5 0 %) であって、且つ、 A l N モル分率が電子ブロック層 2 3 の第 1 準安定 p 型領域の A l N モル分率未満である p 型の準安定 A l G a N で構成された第 2 準安定 p 型領域が支配的に存在する。

30

40

【 手続補正 2 2 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 1 5 7

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 1 5 7 】

p 型クラッド層 2 5 のテラス領域 T A の A l N モル分率 X p 1 (= X p a) と第 2 準安定 p 型領域の A l N モル分率 X p 2 の関係を以下に整理する。

X p 2 = 6 6 . 7 % : 6 9 % X p 1 7 4 %

50

X p 2 = 5 8 . 3 % : 6 0 % X p 1 6 6 %

X p 2 = 5 0 % : 5 2 % X p 1 5 7 %

【手続補正23】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0171

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0171】

(5) 上記第1及び第2実施形態では、第1領域R1及びp電極26の平面視形状は、一例として、 形状のものを採用たが、該平面視形状は、 形状に限定されるもので10はない。また、第1領域R1が複数存在して、夫々が、1つの第2領域R2に囲まれている平面視形状であってもよい。

20

30

40

50