

(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2010-67953

(P2010-67953A)

(43) 公開日 平成22年3月25日(2010.3.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6	5 F 0 4 1
HO 1 L 33/06 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 1 2	5 F 1 7 3
HO 1 L 33/16 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 6 0	
HO 1 S 5/343 (2006.01)	HO 1 S 5/343 6 1 0	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2009-154152 (P2009-154152)	(71) 出願人	000002130
(22) 出願日	平成21年6月29日 (2009. 6. 29)		住友電気工業株式会社
(62) 分割の表示	特願2008-233806 (P2008-233806) の分割	(74) 代理人	100088155
原出願日	平成20年9月11日 (2008. 9. 11)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(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	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

最終頁に続く

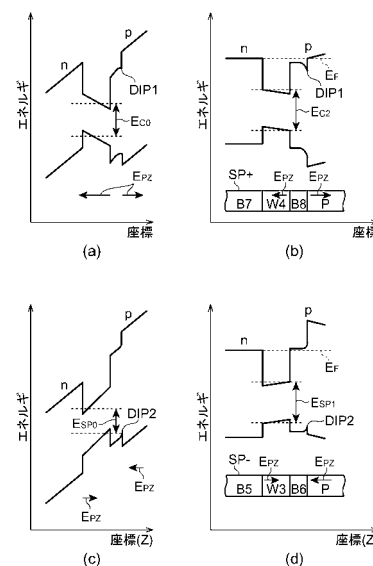
(54) 【発明の名称】 窒化物系半導体光素子、窒化物系半導体光素子のためのエピタキシャルウエハ、及び半導体発光素子を製造する方法

(57) 【要約】

【課題】 歪みを内包する六方晶系III族窒化物からなる発光層を含みこの発光層からの電子の溢れを低減できる窒化物系半導体光素子を提供する。

【解決手段】 窒化物系半導体光素子LE1では、歪みを内包した井戸層21は、c軸方向に延びる基準軸に直交する面に対して傾斜角 α で傾斜した基準平面SR1に沿って延びる。傾斜角 α は59度より大きく80度未満の範囲及び150度より大きく180度未満の範囲である。負のpiezo電界を有する発光層SP-に隣接して、障壁層のバンドギャップより大きなバンドギャップを有する窒化ガリウム系半導体層Pが示されている。井戸層W3におけるpiezo電界の向きはn層からp層へ方向であり、窒化ガリウム系半導体層Pにおけるpiezo電界の向きはp層からn層へ方向である。このため、発光層SP-と窒化ガリウム系半導体層Pとの界面には、伝導帯ではなく価電子帯にディップが形成される。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

窒化物系半導体光素子であって、
第 1 の窒化ガリウム系半導体領域と、
歪みを内包する六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる井戸層と窒化ガリウム系半導体
からなる障壁層とを含む発光層と、

第 2 の窒化ガリウム系半導体領域と
を備え、

前記発光層は、前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域と前記第 2 の窒化ガリウム系半導
体領域との間に設けられ、

前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域は一又は複数の n 型窒化ガリウム系半導体層を含
み、

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域は、前記障壁層のバンドギャップよりも大きな窒
化ガリウム系半導体層と、一又は複数の p 型窒化ガリウム系半導体層とを含み、

前記井戸層及び前記障壁層の各々は、c 軸方向に延びる基準軸に直交する面から 59 度
以上 80 度未満の範囲及び 150 度より大きく 180 度未満の範囲の傾斜角で傾斜した基
準平面に沿って延びており、

前記発光層におけるピエゾ電界は、前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域から前記第 1
の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と逆向きの成分を有しており、

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、前記発光層に
隣接しており、

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、電子ブロック
層及びクラッド層のいずれか一方である、ことを特徴とする窒化物系半導体光素子。

【請求項 2】

前記井戸層は InGa_N であり、

前記障壁層は GaN または InGa_N である、ことを特徴とする請求項 1 に記載された
窒化物系半導体光素子。

【請求項 3】

前記傾斜角は、62 度以上 80 度未満の範囲にある、ことを特徴とする請求項 1 または
請求項 2 に記載された窒化物系半導体光素子。

【請求項 4】

前記傾斜角は、150 度より大きく 170 度以下の範囲にある、ことを特徴とする請求
項 1 または請求項 2 に記載された窒化物系半導体光素子。

【請求項 5】

六方晶系半導体 In_SAl_TGa_{1-S-T}N (0 ≤ S ≤ 1、0 ≤ T ≤ 1、0 ≤ S + T
≤ 1) からなる基板を更に備え、

前記基板の前記主面は、該六方晶系半導体の c 軸に直交する平面から 59 度以上 80 度
未満の範囲及び 150 度より大きく 180 度未満の範囲の傾斜角で傾斜した平面に沿って
延びており、

前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層、及び前記第 2 の窒化ガリウム系半
導体領域は、前記基板の前記主面上において所定の軸の方向に配列されている、ことを特
徴とする請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか一項に記載された窒化物系半導体光素子。

【請求項 6】

前記基板は、c 軸方向に伸びる貫通転位の密度が第 1 の貫通転位密度より大きい複数の
第 1 の領域と、c 軸方向に伸びる貫通転位の密度が第 1 の貫通転位密度より小さい複数の
第 2 の領域とを含み、

前記第 1 および第 2 の領域は交互に配置されており、

前記基板の前記主面には前記第 1 および第 2 の領域が現れている、ことを特徴とする請
求項 5 に記載された窒化物系半導体光素子。

【請求項 7】

前記第 2 の領域の前記貫通転位の密度は $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 未満である、ことを特徴とする請求項 6 に記載された窒化物系半導体光素子。

【請求項 8】

前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層及び前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域は、前記基板の前記主面上に搭載された半導体積層を構成し、

前記基板は導電性を有し、

当該六方晶系窒化物系半導体光素子は、

前記半導体積層に設けられた第 1 の電極と、

前記基板の裏面に設けられた第 2 の電極と

を備える、ことを特徴とする請求項 5 ～請求項 7 のいずれか一項に記載された窒化物系半導体光素子。

10

【請求項 9】

前記発光層は、第 1 及び第 2 の光ガイド層と量子井戸構造の活性層とを含み、

前記量子井戸構造は前記井戸層及び前記障壁層を含み、

前記活性層は、前記第 1 の光ガイド層と前記第 2 の光ガイド層との間に設けられている、ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 8 のいずれか一項に記載された窒化物系半導体光素子。

【請求項 10】

前記基準平面は a 軸の方向に傾斜している、ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 9 のいずれか一項に記載された窒化物系半導体光素子。

20

【請求項 11】

前記基準平面は m 軸の方向に傾斜している、ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 9 のいずれか一項に記載された窒化物系半導体光素子。

【請求項 12】

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、少なくとも Al を含む p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < x + y \leq 1$) からなる、ことを特徴とする請求項 1 ～請求項 11 のいずれか一項に記載された窒化物系半導体光素子。

【請求項 13】

窒化物系半導体光素子のためのエピタキシャルウエハであって、

30

第 1 の窒化ガリウム系半導体領域と、

歪みを内包する六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる井戸層と窒化ガリウム系半導体からなる障壁層とを含む発光層と、

第 2 の窒化ガリウム系半導体領域と、

六方晶系半導体 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$ 、 $0 \leq s + t \leq 1$) からなるウエハと

を備え、

前記発光層は、前記ウエハ上において前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域と前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、

前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域は一又は複数の n 型窒化ガリウム系半導体層を含み、

40

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域は、前記障壁層のバンドギャップよりも大きな窒化ガリウム系半導体層と、一又は複数の p 型窒化ガリウム系半導体層とを含み、

前記井戸層及び前記障壁層の各々は、c 軸方向に延びる基準軸に直交する面から 59 度以上 80 度未満の範囲及び 150 度より大きく 180 度未満の範囲の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びており、

前記発光層におけるピエゾ電界は前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域から前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と逆向きの成分を有しており、

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、前記発光層に隣接しており、

50

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、電子ブロック層及びクラッド層のいずれか一方であり、

前記障壁層は GaN または InGa_xN_{1-x} である、ことを特徴とするエピタキシャルウエハ。

【請求項 14】

前記ウエハの前記主面は、該六方晶系半導体の c 軸に直交する平面から 59 度以上 80 度未満の範囲及び 150 度より大きく 170 度以下の範囲の傾斜角で傾斜した平面に沿って延びている、ことを特徴とする請求項 13 に記載されたエピタキシャルウエハ。

【請求項 15】

前記ウエハのエッジの 2 点間の距離の最大値は 45 mm 以上である、ことを特徴とする請求項 13 または請求項 14 に記載されたエピタキシャルウエハ。

【請求項 16】

前記ウエハは導電性 GaN からなる、ことを特徴とする請求項 13～請求項 15 のいずれか一項に記載されたエピタキシャルウエハ。

【請求項 17】

前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層、及び前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域は、前記ウエハの前記主面上において所定の軸の方向に配列されており、

前記基準軸は前記所定の軸と異なる方向に向いている、ことを特徴とする請求項 13～請求項 16 のいずれか一項に記載されたエピタキシャルウエハ。

【請求項 18】

前記傾斜角は、62 度以上 80 度未満の範囲にある、ことを特徴とする請求項 13～請求項 17 のいずれか一項に記載されたエピタキシャルウエハ。

【請求項 19】

前記傾斜角は 150 度より大きく 170 度以下の範囲にある、ことを特徴とする請求項 13～請求項 18 のいずれか一項に記載されたエピタキシャルウエハ。

【請求項 20】

歪みを内包する六方晶系 III 族窒化物からなる発光層を含む半導体発光素子を製造する方法であって、

前記発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もるために発光層の面方位を選択する工程と、

前記発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もるための量子井戸構造を前記選択された面方位で形成すると共に p 型及び n 型窒化ガリウム半導体を成長して、基板生産物を準備する工程と、

前記基板生産物にバイアスを印加しながら、フォトルミネッセンスのバイアス依存性を測定する工程と、

前記測定されたバイアス依存性から、前記発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もる工程と、

前記選択された面方位で前記発光層を成長可能な主面を有するウエハを準備する工程と、

前記半導体発光素子のための半導体積層を前記ウエハの前記主面上に形成する工程とを備え、

前記半導体積層は、第 1 の窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層及び第 2 の窒化ガリウム系半導体領域を含み、

前記発光層は窒化ガリウム系半導体からなる井戸層と窒化ガリウム系半導体からなる障壁層とを含み、

前記発光層は、前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域と前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、

前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域は一又は複数の n 型窒化ガリウム系半導体層を含み、

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域は、前記障壁層のバンドギャップよりも大きな窒

10

20

30

40

50

化ガリウム系半導体層と、一又は複数の p 型窒化ガリウム系半導体層とを含み、

前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、前記発光層に隣接しており、

前記井戸層及び前記障壁層の各々は、c 軸、a 軸及び m 軸方向に延びる基準軸に直交する面から傾斜した基準平面に沿って延びており、

前記piezo電界の向きは、前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域から前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向を基準にして規定される、ことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物系半導体光素子、窒化物系半導体光素子のためのエピタキシャルウエハ、及び半導体発光素子を製造する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、半導体光素子が記載されている。半導体光素子では、[0001] 方向と約 40 度、90 度、140 度の角度を成す方向では、歪層内のpiezo電界が全く発生しない。そこで、角度 30 度－50 度、80 度－100 度、及び 130 度－150 度の範囲に、面方位を選択している。このために、歪み量子井戸構造内にpiezo電界が殆ど発生しない基板の面上に、エピタキシャル成長を行っている。

【0003】

特許文献 2 には、半導体発光素子が記載されている。半導体発光素子は、非極性面上に作製されている。非極性面は、{11-20} 面、{11-20} 面から -5 度以上 +5 度の範囲で傾いた面等、或いは {1-100} 面、{1-100} 面から -5 度以上 +5 度の範囲で傾いた面である。

【0004】

非特許文献 1 には、ウルツ鉱構造の InGa_{1-x}N/GaN ヘテロ構造におけるpiezo効果の結晶方位依存性の理論的研究が記載されている。(0001) から 39 度及び 90 度のオフ角において結晶方位に沿って成長された歪み層には、縦成分のpiezo電界が誘起されない。また、非特許文献 2 には、ウルツ鉱構造の InGa_{1-x}N/GaN 量子井戸の電気的な特性に関する結晶方位効果が記載されている。オフ角を増加すると、InGa_{1-x}N/GaN 量子井戸構造の内部電界は、55 度のオフ角あたりで符号を変える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開平 09-263511 号公報

【特許文献 2】特開平 10-135576 号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】Jpn. J. Appl. Phys., vol.39 (2000) pp. 413-416. Part 1. No. 2A, Feb.

【非特許文献 2】J. Appl. Phys., Vol. 91, No. 12, 15 June 2002, pp. 9904-416.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

窒化ガリウム系半導体の (0001) 面上に成長された InGa_{1-x}N 井戸層には、非常に大きなpiezo電界が発生する。このpiezo電界は、活性層内で電子と正孔の波動関数を空間的に分離させる。このため、発光素子の発光効率が低下する。また、この発光素子では、印加電流の増加に伴い、注入キャリアが、活性層内のpiezo電界をスクリーニングする。このスクリーニングにより、印加電流の増加に伴い、発光波長のブルーシフトが生ずる。

。

10

20

30

40

50

【0008】

特許文献2では、大きなブルーシフトを回避するために、(0001)面と90°をなす角である、{11-20}面、{1-100}面上に活性層を形成している。

【0009】

特許文献1では、大きなブルーシフトを回避するために、活性層の内部電界がゼロになる角度である40度、140度のオフ角を用いる。非特許文献1では、内部電界がゼロになるオフ角を理論的な計算により見積もっている。

【0010】

しかしながら、{11-20}面及び{10-10}面からなる主面、つまり、非極性の主面のウェハを作製するためには、(0001)面方向に厚く成長したインゴットから、上記面方位の主面を得るように切り出して結晶片を作製する。この切り出しは、インゴットを縦方向に行われるので、切り出された結晶片の幅はたかだか10mm程度である。

【0011】

特許文献1及び2では、ピエゾ電界をゼロまたはゼロに近づける面方位を利用している。特許文献1及び2の発明とは異なって、発明者らの検討によれば、有限な大きさのピエゾ電界を利用することによって、半導体発光素子の特性を向上できる。

【0012】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものであり、歪みを内包する六方晶系III族窒化物からなる発光層を含みこの発光層からの電子のオーバーフローを低減できる窒化物系半導体光素子を提供することを目的とし、またこの窒化物系半導体光素子のためのエピタキシャルウェハを提供することを目的とする。さらに、本発明は、歪みを内包する六方晶系III族窒化物からなる発光層を含む半導体発光素子を製造する方法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】

【0013】

本発明の一側面に係る窒化物系半導体光素子は、(a)第1の窒化ガリウム系半導体領域と、(b)歪みを内包する六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる井戸層と窒化ガリウム系半導体からなる障壁層とを含む発光層と、(c)第2の窒化ガリウム系半導体領域とを備え、前記発光層は、前記第1の窒化ガリウム系半導体領域と前記第2の窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、前記第1の窒化ガリウム系半導体領域は一又は複数のn型窒化ガリウム系半導体層を含み、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域は、前記障壁層のバンドギャップよりも大きな窒化ガリウム系半導体層と、一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層とを含み、前記井戸層及び前記障壁層の各々は、c軸方向に延びる基準軸に直交する面から59度以上80度未満の範囲及び150度より大きく180度未満の範囲の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びており、前記発光層におけるピエゾ電界は、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域から前記第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と逆向きの成分を有しており、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、前記発光層に隣接しており、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、電子ブロック層及びクラッド層のいずれか一方である。

【0014】

この窒化物系半導体光素子によれば、井戸層及び障壁層が上記の角度範囲の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びるので、発光層におけるピエゾ電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域から第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と逆向きの成分を有する。一方、この窒化ガリウム系半導体層におけるピエゾ電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域から第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と同じ向きの成分を有する。第2の窒化ガリウム系半導体領域の窒化ガリウム系半導体層は発光層に隣接しているので、この窒化ガリウム系半導体層と発光層との界面では、伝導帯ではなく価電子帯にディップが生じる。したがって、ディップが伝導帯ではなく価電子帯に生じるので、電子のオーバーフローを低減できる。

【0015】

本発明に係る窒化物系半導体光素子では、前記井戸層は InGaN であり、前記障壁層は GaN または InGaN であることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、 InN の a 軸及び c 軸方向の格子定数は GaN の a 軸及び c 軸方向の格子定数より大きいので、 InGaN 井戸層は障壁層から応力を受けて、歪みを内包することになる。

【0016】

本発明に係る窒化物系半導体光素子は、前記傾斜角は、 62 度以上 80 度未満の範囲にあることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、ブルーシフトを小さくできる。或いは、本発明に係る窒化物系半導体光素子では、前記傾斜角は、 150 度より大きく 170 度以下の範囲にあることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、ブルーシフトを小さくできる。

10

【0017】

本発明に係る窒化物系半導体光素子は、六方晶系半導体 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $0 \leq S + T \leq 1$) からなる基板を更に備えることができる。前記基板の前記主面は、該六方晶系半導体の c 軸に直交する平面から 59 度より大きく 80 度未満の範囲及び 150 度より大きく 180 度未満の範囲の傾斜角で傾斜した平面に沿って延びており、前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層、及び前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域は、前記基板の前記主面上において所定の軸の方向に配列されている。

【0018】

この窒化物系半導体光素子によれば、この基板を用いることによって、発光層におけるピエゾ電界が第 2 の窒化ガリウム系半導体領域から第 1 の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と逆向きの成分を有する。

20

【0019】

本発明に係る窒化物系半導体光素子では、前記基板は、 c 軸方向に伸びる貫通転位の密度が第 1 の貫通転位密度より大きい複数の第 1 の領域と、 c 軸方向に伸びる貫通転位の密度が第 1 の貫通転位密度より小さい複数の第 2 の領域とを含み、前記第 1 および第 2 の領域は交互に配置されており、前記基板の前記主面には前記第 1 および第 2 の領域が現れている。

【0020】

この窒化物系半導体光素子によれば、発光層が第 2 の領域上に設けられるので、貫通転位密度が発光特性に与える影響を低減できる。

30

【0021】

本発明に係る窒化物系半導体光素子は、前記第 2 の領域の前記貫通転位の密度は $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 未満であることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、良好な発光特性の発光層が提供される。

【0022】

本発明に係る窒化物系半導体光素子では、前記第 1 の窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層及び前記第 2 の窒化ガリウム系半導体領域は、前記基板の前記主面上に搭載された半導体積層を構成し、前記基板は導電性を有する。当該六方晶系窒化物系半導体光素子は、前記半導体積層に設けられた第 1 の電極と、前記基板の裏面に設けられた第 2 の電極とを備えることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、エピタキシャル積層の上面にアノード及びカソードの両電極を配置しない。

40

【0023】

本発明に係る窒化物系半導体光素子では、前記発光層は、第 1 及び第 2 の光ガイド層と量子井戸構造の活性層とを含み、前記量子井戸構造は前記井戸層及び前記障壁層を含み、前記活性層は、前記第 1 の光ガイド層と前記第 2 の光ガイド層との間に設けられていることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、半導体レーザが提供される。

【0024】

本発明に係る窒化物系半導体光素子は、前記基準平面は a 軸の方向に傾斜していることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、傾斜が a 軸の方向なので、 m 面劈開が可

50

能である。

【0025】

本発明に係る窒化物系半導体光素子は、前記基準平面はm軸の方向に傾斜していることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、傾斜がm軸の方向であるので、a面劈開が可能である。

【0026】

本発明に係る窒化物系半導体光素子は、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、少なくともAlを含むp型 $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ($0 < X \leq 1$ 、 $0 \leq Y \leq 1$ 、 $0 < X + Y \leq 1$) からなることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、キャリアを効率よく発光層内に閉じ込めることができる。

10

【0027】

本発明の別の側面に係る発明は、窒化物系半導体光素子のためのエピタキシャルウエハである。このエピタキシャルウエハは、(a)第1の窒化ガリウム系半導体領域と、(b)歪みを内包する六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる井戸層と窒化ガリウム系半導体からなる障壁層とを含む発光層と、(c)第2の窒化ガリウム系半導体領域と、(d)六方晶系半導体 $In_sAl_tGa_{1-s-t}N$ ($0 \leq S \leq 1$ 、 $0 \leq T \leq 1$ 、 $0 \leq S + T \leq 1$) からなるウエハとを備え、前記発光層は、前記ウエハ上において前記第1の窒化ガリウム系半導体領域と前記第2の窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、前記第1の窒化ガリウム系半導体領域は一又は複数のn型窒化ガリウム系半導体層を含み、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域は、前記障壁層のバンドギャップよりも大きな窒化ガリウム系半導体層と、一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層とを含み、前記井戸層及び前記障壁層の各々は、c軸方向に延びる基準軸に直交する面から59度以上80度未満の範囲及び150度より大きく180度未満の範囲の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びており、前記発光層におけるピエゾ電界は、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域から前記第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と逆向きの成分を有しており、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、前記発光層に隣接しており、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、電子ブロック層及びクラッド層のいずれか一方であり、前記障壁層はGaNまたはInGaNである。

20

【0028】

このエピタキシャルウエハによれば、井戸層及び障壁層が上記の角度範囲の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びるので、発光層におけるピエゾ電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域から第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と逆向きの成分を有する。一方、この窒化ガリウム系半導体層におけるピエゾ電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域から第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と同じ向きの成分を有する。第2の窒化ガリウム系半導体領域の窒化ガリウム系半導体層は発光層に隣接しているので、この窒化ガリウム系半導体層と発光層との界面では、伝導帯ではなく価電子帯にディップが生じる。したがって、ディップが伝導帯ではなく価電子帯に生じるので、電子の溢れを低減できる。

30

【0029】

本発明に係るエピタキシャルウエハでは、前記ウエハの前記主面は、該六方晶系半導体のc軸に直交する平面から59度以上80度未満の範囲及び150度より大きく170度以下の範囲の傾斜角で傾斜した平面に沿って延びていることができる。このエピタキシャルウエハによれば、ウエハ主面の傾斜角を適切に選択することによって、上記の角度範囲の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びるように井戸層及び障壁層が設けられる。

40

【0030】

本発明に係るエピタキシャルウエハでは、前記ウエハのエッジの2点間の距離の最大値は45mm以上であることができる。このエピタキシャルウエハによれば、a面やm面の主面と異なり、大口径のウエハが提供される。また、本発明に係るエピタキシャルウエハでは、前記ウエハは導電性GaNからなることができる。

【0031】

50

本発明に係る方法では、前記第1の窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層、及び前記第2の窒化ガリウム系半導体領域は、前記ウエハの前記主面上において所定の軸の方向に配列されており、前記基準軸は前記所定の軸と異なる方向に向いている。この方法によれば、積層の方向は所定の軸の方向であり、エピタキシャル成長は基準軸の方向に行われる。

【0032】

本発明に係るエピタキシャルウエハでは、前記傾斜角は62度以上80度未満の範囲にあることができる。このエピタキシャルウエハによれば、小さいブルーシフトの窒化物系半導体光素子のためのエピタキシャルウエハが提供される。或いは、本発明に係るエピタキシャルウエハでは、前記傾斜角は150度より大きく170度未満の範囲にあることができる。このエピタキシャルウエハによれば、同じく小さいブルーシフトの窒化物系半導体素子のためのエピタキシャルウエハが提供される。

【0033】

本発明の更なる別の側面は、歪みを内包する六方晶系III族窒化物からなる発光層を含む半導体発光素子を製造する方法である。この方法は、(a)前記発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もるために発光層の面方位を選択する工程と、(b)前記発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もるための量子井戸構造を前記選択された面方位で形成すると共にp型及びn型窒化ガリウム半導体を成長して、基板生産物を準備する工程と、(c)前記基板生産物にバイアスを印加しながら、フォトルミネッセンスのバイアス依存性を測定する工程と、(d)前記測定されたバイアス依存性から、前記発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もる工程と、(e)前記選択された面方位で前記発光層を成長可能な主面を有するウエハを準備する工程と、(f)前記半導体発光素子のための半導体積層を、前記ウエハの前記主面上に形成する工程とを備える。前記半導体積層は、第1の窒化ガリウム系半導体領域、前記発光層及び第2の窒化ガリウム系半導体領域を含み、前記発光層は窒化ガリウム系半導体からなる井戸層と窒化ガリウム系半導体からなる障壁層とを含み、前記発光層は、前記第1の窒化ガリウム系半導体領域と前記第2の窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、前記第1の窒化ガリウム系半導体領域は一又は複数のn型窒化ガリウム系半導体層を含み、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域は、前記障壁層のバンドギャップよりも大きな窒化ガリウム系半導体層と、一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層とを含み、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域の前記窒化ガリウム系半導体層は、前記発光層に隣接しており、前記井戸層及び前記障壁層の各々は、c軸、a軸及びm軸方向に延びる基準軸に直交する面から傾斜した基準平面に沿って延びており、前記ピエゾ電界の向きは、前記第2の窒化ガリウム系半導体領域から前記第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向を基準にして規定される。

【0034】

この方法によれば、バイアスを印加しながらフォトルミネッセンス(PL)スペクトルのバイアス依存性を測定するので、エレクトロルミネッセンス(EL)スペクトルにより発光が生じる印加電圧よりも小さい正及び負の電圧範囲におけるPLスペクトルを測定可能である。PLスペクトルのバイアス依存性を用いて、発光層内の内部電界の大きさ及び向きを見積もることができる。これに基づき、所望のピエゾ電界の向き等を有する発光素子を作製できる。

【0035】

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】

【0036】

以上説明したように、本発明の一側面によれば、歪みを内包する六方晶系III族窒化物からなる発光層を含みこの発光層からの電子のオーバーフローを低減できる窒化物系半導体光素子が提供される。また、本発明の別の側面によれば、この窒化物系半導体光素子のためのエピタキシャルウエハが提供される。さらに、本発明の更なる別の側面によれば、

歪みを内包する六方晶系III族窒化物からなる発光層を含む半導体発光素子を製造する方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】図1は、本実施の形態に係る窒化物系半導体光素子の構造を概略的に示す図面である。

【図2】図2は、歪みを内包する発光層におけるピエゾ電界の向きを説明する図面である。

【図3】図3は、歪みを内包する発光層におけるピエゾ電界の向きを説明する図面である。

【図4】図4は、本実施の形態に係る窒化物系半導体光素子の構造を概略的に示す図面である。

【図5】図5は、本実施の形態に係る窒化物系半導体光素子を製造する方法及びエピタキシャルウエハを製造する方法における主要な工程を示す図面である。

【図6】図6は、本実施の形態に係る窒化物系半導体光素子を製造する方法及びエピタキシャルウエハを製造する方法における主要な工程を示す図面である。

【図7】図7は、本実施の形態に係る窒化物系半導体光素子を製造する方法及びエピタキシャルウエハを製造する方法における主要な工程を示す図面である。

【図8】図8は、実施の形態において使用可能なGaN基板の一構造を示す図面である。

【図9】図9は、井戸層のピエゾ電界の向き及び大きさの見積もり手順を示す工程フローを示す図面である。

【図10】図10は、バイアス依存性のPL測定を説明する図面である。

【図11】図11は、実施例において作製された半導体発光素子のELスペクトルの測定結果を示す図面である。

【図12】図12は、積分強度の温度依存性を示すグラフである。

【図13】図13は、温度300Kにおいて測定されたエレクトロルミネッセンス(EL)スペクトルを示すグラフである。

【図14】図14は、温度10Kにおいて測定されたELスペクトルを示すグラフである。

【図15】図15は、実施例において作製された半導体レーザの構造を示す図面である。

【発明を実施するための形態】

【0038】

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、本発明の窒化物系半導体光素子、窒化物系半導体光素子のためのエピタキシャルウエハ、及び半導体発光素子を製造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。

【0039】

図1は、本実施の形態に係る窒化物系半導体光素子の構造を概略的に示す図面である。窒化物系半導体光素子としては、例えば半導体レーザ、発光ダイオード等がある。図1を参照すると、座標系Sが示されている。基板11の主面11a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。引き続く説明では、例えば<0001>軸に対して逆向きの結晶軸は、<000-1>で表される。

【0040】

窒化物系半導体光素子LE1は、発光ダイオードに好適な構造を有する。窒化物系半導体光素子LE1は、第1の窒化ガリウム系半導体領域13と、発光領域15と、第2の窒化ガリウム系半導体領域17を備える。発光層15は、活性層19を含み、活性層19は、交互に配列された井戸層21及び障壁層23とを含む。発光層15は、第1の窒化ガリウム系半導体領域13と第2の窒化ガリウム系半導体領域17との間に設けられている。第1の窒化ガリウム系半導体領域13は一又は複数のn型窒化ガリウム系半導体層(本実

10

20

30

40

50

施例では、窒化ガリウム系半導体層 25、27、29)を含むことができる。第2の窒化ガリウム系半導体領域17は、障壁層のバンドギャップよりも大きな窒化ガリウム系半導体層31と、一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層(本実施例では、窒化ガリウム系半導体層33、35)とを含む。

【0041】

窒化物系半導体光素子LE1では、井戸層21は、c軸方向に延びる基準軸(ベクトルVC1で示される)に直交する面に対して傾斜角 α で傾斜した基準平面SR1に沿って延びている。傾斜角 α は59度以上80度未満の範囲であることができる。また、傾斜角 α は150度より大きく180度未満の範囲であることができる。井戸層21は歪みを内包しており、井戸層21におけるpiezo電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域17から第1の窒化ガリウム系半導体領域13へ向かう方向と逆向きの成分を有する。第2の窒化ガリウム系半導体領域17の窒化ガリウム系半導体層31は発光層15に隣接している。井戸層21は六方晶系の窒化ガリウム系半導体からなり、井戸層21は例えばInGaNといった、インジウムを含む窒化ガリウム系半導体からなることができる。障壁層23は窒化ガリウム系半導体からなり、障壁層23は、例えば、GaN、InGaN、AlGaN、AlGaInN等であることができる。

【0042】

この窒化物系半導体光素子LE1によれば、井戸層21及び障壁層23が上記の角度範囲の傾斜角 α で傾斜した基準平面SR1に沿って延びるので、井戸層21におけるpiezo電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域17から第1の窒化ガリウム系半導体領域13へ向かう方向と逆向きの成分(Z軸の正の方向)を有する。一方、第2の窒化ガリウム系半導体領域17の窒化ガリウム系半導体層31におけるpiezo電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域17から第1の窒化ガリウム系半導体領域13へ向かう方向と同じ向き(Z軸の負の方向)の成分を有する。窒化ガリウム系半導体層31は発光層15に隣接しているので、この窒化ガリウム系半導体層31と発光層15との界面でJ1では、伝導帯ではなく価電子帯にディップが生じる。したがって、ディップが伝導帯ではなく価電子帯に生じるので、電子のオーバフローを低減できる。

【0043】

第2の窒化ガリウム系半導体領域17内の窒化ガリウム系半導体層31は、電子ブロック層及びクラッド層のいずれか一方である。電子ブロック層は活性層からの電子をブロックし、クラッド層はキャリアの閉じ込め及び光の閉じ込めを行う。第2の窒化ガリウム系半導体領域17の窒化ガリウム系半導体層31は例えばp型AlGaNからなることができる。

【0044】

InNのa軸及びc軸方向の格子定数はGaNのa軸及びc軸方向の格子定数より大きいので、井戸層21がInGaNからなるとき、InGaN井戸層は障壁層から応力(圧縮歪み)を受けて、歪みを内包することになる。

【0045】

傾斜角 α は、62度以上80度未満の範囲にあることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、ブルーシフトを小さくできる。また、傾斜角 α は、150度より大きく170度以下の範囲にあることができる。この窒化物系半導体光素子によれば、ブルーシフトを小さくできる。

【0046】

図2は、歪みを内包する発光層におけるpiezo電界の向きを説明する図面である。図2(a)~図2(c)は、極性面(c面)上に形成された発光層におけるpiezo電界を説明する図面である。図2(d)~図2(e)は、非極性面(a面、m面)上に形成された発光層におけるpiezo電界を説明する図面である。図2(f)~図2(g)は、半極性面上に形成された発光層におけるpiezo電界を説明する図面である。

【0047】

図2(a)を参照すると、発光層Pは、極性面(c面)上に形成された障壁層B1、B

10

20

30

40

50

2 及び井戸層 W 1 を含む。井戸層 W 1 は障壁層 B 1、B 2 に挟まれている。井戸層 W 1 におけるピエゾ電界 E_{pz} の向きは、p 層から n 層へ方向を向いている。井戸層では、伝導帯のバンド底及び価電子のバンド底が n 層から p 層へ方向に下がっている。記号 E_{c0} は、伝導帯のバンド底と価電子のバンド底との間のエネルギー差を示している。図 2 (b) を参照すると、発光層 P に小さな順方向電圧が印加されている。この発光層 P では、伝導帯のバンド底及び価電子のバンド底の傾斜が電圧印加により大きくなっている。記号 E_{c1} は、伝導帯のバンド底と価電子のバンド底との間のエネルギー差を示しており、エネルギー差 E_{c0} は、エネルギー差 E_{c1} よりも大きい。図 2 (c) を参照すると、発光層 P に大きな順方向電圧が印加されている。この発光層 P では、伝導帯のバンド底及び価電子のバンド底の傾斜が、スクリーニングにより小さくなっている。記号 E_{c2} は、伝導帯のバンド底と価電子のバンド底との間のエネルギー差を示しており、エネルギー差 E_{c2} は、エネルギー差 E_{c0} よりも大きい。印加電圧により引き起こされるエネルギー差の変化が、ブルーシフトの原因である。

【0048】

図 2 (d) を参照すると、発光層 NP は、非極性面 (a 面、m 面) 上に形成された障壁層 B 3、B 4 及び井戸層 W 2 を含む。井戸層 W 2 は障壁層 B 3、B 4 に挟まれている。井戸層 W 2 が非極性面上に形成されているので、ピエゾ電界 E_{pz} はゼロである。井戸層 W 2 では、伝導帯のバンド底及び価電子のバンド底が p 層から n 層へ方向に下がっている。記号 E_{np0} は、伝導帯のバンド底と価電子のバンド底との間のエネルギー差を示している。図 2 (e) を参照すると、発光層 NP に順方向電圧が印加されている。この発光層 NP では、伝導帯のバンド底及び価電子のバンド底の傾斜が電圧印加によりほとんどなくなっている。記号 E_{np1} は、伝導帯のバンド底と価電子のバンド底との間のエネルギー差を示しており、エネルギー差 E_{np0} はエネルギー差 E_{np1} よりも小さい。発光層 NP にはピエゾ電界がゼロであるので、井戸層のキャリア量が増加しても、スクリーニングが生じることもない。故に、印加電圧により引き起こされるエネルギー差の変化が無いので、ブルーシフトが観測されない。

【0049】

図 2 (f) を参照すると、発光層 SP- は、特定のオフ角で傾斜した半極性面上に形成された障壁層 B 5、B 6 及び井戸層 W 3 を含む。井戸層 W 3 は障壁層 B 5、B 6 に挟まれている。井戸層 W 3 が半極性面上に形成されているので、ピエゾ電界 E_{pz} は極性面上における値よりも小さい。井戸層 W 3 では、伝導帯のバンド底及び価電子のバンド底が p 層から n 層へ方向に下がっている。記号 E_{sp0} は、伝導帯のバンド底と価電子のバンド底との間のエネルギー差を示している。図 2 (g) を参照すると、発光層 SP- に順方向電圧が印加されている。この発光層 SP- では、伝導帯のバンド底及び価電子のバンド底の傾斜が電圧印加により小さくなっている。記号 E_{sp1} は、伝導帯のバンド底と価電子のバンド底との間のエネルギー差を示しており、エネルギー差 E_{sp0} はエネルギー差 E_{sp1} よりも大きい。発光層 SP- のピエゾ電界が p 層から n 層へ方向と逆方向の成分を有するので、スクリーニングが生じることもない。故に、印加電圧により引き起こされるエネルギー差の変化が小さいので、ブルーシフトが非常に小さい。

【0050】

本実施の形態に係る傾斜角の面方位を有する井戸層 (発光層 SP-) は、図 2 (f) 及び図 2 (g) に示されるように振る舞う。一方、本実施の形態に係る傾斜角の面方位と異なる半極性面上の井戸層 (発光層 SP+) は、図 2 (a) ~ 図 2 (c) に示されるように振る舞う。

【0051】

次いで、半極性面上に形成された発光層について更に説明する。図 3 は、歪みを内包する発光層におけるピエゾ電界の向きを説明する図面である。図 3 (a) 及び図 3 (b) は正のピエゾ電界を有する発光層 SP+ を示している。発光層 SP+ は、障壁層 B 7、B 8 及び井戸層 W 4 を含む。井戸層 W 4 は障壁層 B 7、B 8 に挟まれている。発光層 SP+ に隣接して、障壁層のバンドギャップより大きなバンドギャップを有する窒化ガリウム系半

10

20

30

40

50

導体層 P が示されている。窒化ガリウム系半導体層 P は、例えば p 型電子ブロック層または p 型クラッド層であることができる。井戸層 W 4 におけるピエゾ電界の向きは p 層から n 層へ方向であり、窒化ガリウム系半導体層 P におけるピエゾ電界の向きは n 層から p 層へ方向である。このため、発光層 S P + と窒化ガリウム系半導体層 P との界面には、伝導帯にディップ D I P 1 が形成される。故に、ディップ D I P 1 により、窒化ガリウム系半導体層 P の電子障壁が低くなる。ディップ D I P 1 の大きさは、例えば 0.2 eV 程度である。

【0052】

一方、図 3 (c) 及び図 3 (d) は負のピエゾ電界を有する発光層 S P - を示している。発光層 S P - に隣接して、障壁層のバンドギャップより大きなバンドギャップを有する窒化ガリウム系半導体層 P が示されている。井戸層 W 3 におけるピエゾ電界の向きは n 層から p 層へ方向であり、窒化ガリウム系半導体層 P におけるピエゾ電界の向きは p 層から n 層へ方向である。このため、発光層 S P - と窒化ガリウム系半導体層 P との界面には、伝導帯ではなく価電子帯にディップが形成される。故に、発光層からの電子に対する障壁が伝導帯のディップ D I P 2 により低くなることなく、窒化ガリウム系半導体層 P は、発光層からの電子を十分に阻止できる。ディップ D I P 2 の大きさは例えば 0.1 eV 程度である。

【0053】

再び、図 1 を参照しながら、半導体発光素子 L E 1 を説明する。第 1 の窒化ガリウム系半導体領域 13 内の n 型窒化ガリウム系半導体層 25 は、Si ドープ n 型 Al Ga N バッファ層であり、その厚さは例えば 50 nm である。n 型窒化ガリウム系半導体層 27 は、Si ドープ n 型 Ga N 層であり、その厚さは例えば 2000 nm である。n 型窒化ガリウム系半導体層 29 は、Si ドープ n 型 In Ga N 緩衝層であり、インジウム組成は例えば 0.02 である。n 型窒化ガリウム系半導体層 29 の厚さは例えば 100 nm である。

【0054】

また、第 2 の窒化ガリウム系半導体領域 17 の p 型窒化ガリウム系半導体層 31 は、例えば Mg ドープ p 型 Al Ga N 層であり、アルミニウム組成は例えば 0.07 である。p 型窒化ガリウム系半導体層 31 の厚さは例えば 20 nm である。p 型窒化ガリウム系半導体層 33 は、Mg ドープ p 型 Ga N 層であり、その厚さは例えば 25 nm である。p 型窒化ガリウム系半導体層 35 は、Mg ドープ p⁺ 型 Ga N コンタクト層であり、その厚さは例えば 25 nm である。

【0055】

活性層 19 上には、アンドープ Ga N 層 37 を成長する。Ga N 層 37 の厚さは例えば 15 nm である。

【0056】

半導体積層 (13、15、17) 上に電極を形成する。第 1 の電極 (例えば、アノード電極) 41a がコンタクト層 35 上に形成されると共に、第 2 の電極 (例えば、カソード電極) 41b が基板裏面 11b 上に形成される。これらの電極を介して活性層 19 にキャリアが注入されると、光 L が生成される。活性層 19 のピエゾ電界は小さいので、ブルーシフトが小さい。また、発光層 19 と窒化ガリウム系半導体 31 との界面において伝導帯にディップが形成されないため、発光素子 L E 1 は、電子の閉じ込め性に優れる。

【0057】

窒化物系半導体光素子 L E 1 は基板 11 を更に備えることができる。基板 11 は、六方晶系半導体 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1$ 、 $0 \leq t \leq 1$ 、 $0 \leq s+t \leq 1$) からなる。六方晶系半導体としては、例えば Ga N、In Ga N、Al Ga N 等であることができる。基板 11 の主面 11a は、該六方晶系半導体の c 軸 (例えばベクトル VC2 で示される) に直交する平面から 59 度以上 80 度未満の範囲及び 150 度より大きく 180 度未満の範囲の傾斜角 β で傾斜した平面に沿って延びている。傾斜角 β は、発光層 15 の歪みによる結晶軸のわずかな傾斜を除けば、傾斜角 α に実質的に等しい。また、ベクトル VC2 は、発光層 15 の歪みによる結晶軸のわずかな傾斜を除けば、ベクトル VC1

10

20

30

40

50

に実質的に等しい。

【0058】

第1の窒化ガリウム系半導体領域13、発光層15、及び第2の窒化ガリウム系半導体領域17は、基板11の主面11a上において所定の軸Axの方向（例えばZ軸の方向）に配列されている。所定の軸Axの方向は、基板11のc軸の方向と異なる。

【0059】

この基板11を用いることによって、井戸層21におけるピエゾ電界が第2の窒化ガリウム系半導体領域17から第1の窒化ガリウム系半導体領域13へ向かう方向と逆向きの成分を有するように、発光層15内の井戸層の面方位を向きづけることができる。

【0060】

図4は、本実施の形態に係る窒化物系半導体光素子の構造を概略的に示す図面である。窒化物系半導体光素子LD1としては、例えば半導体レーザ等がある。図4を参照すると、座標系S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。Y軸はm軸の方向に向いている。

【0061】

窒化物系半導体光素子LD1は、半導体レーザに好適な構造を有する。窒化物系半導体光素子LD1は、第1の窒化ガリウム系半導体領域13と、発光領域15と、第2の窒化ガリウム系半導体領域17を備える。発光層15は、活性層19を含み、活性層19は、交互に配列された井戸層21及び障壁層23とを含む量子井戸構造を有する。発光層15は、第1の窒化ガリウム系半導体領域13と第2の窒化ガリウム系半導体領域17との間に設けられている。第1の窒化ガリウム系半導体領域13は一又は複数のn型窒化ガリウム系半導体層（本実施例では、窒化ガリウム系半導体層55、57）を含むことができる。第2の窒化ガリウム系半導体領域17は、障壁層のバンドギャップよりも大きな窒化ガリウム系半導体層31と、一又は複数のp型窒化ガリウム系半導体層（本実施例では、窒化ガリウム系半導体層51、53）とを含む。

【0062】

窒化物系半導体光素子LD1では、井戸層21は、c軸方向に延びる基準軸（ベクトルVC1で示される）に直交する面に対して傾斜角 α で傾斜した基準平面SR1に沿って延びている。傾斜角 α は59度以上80度未満の範囲であることができる。また、傾斜角 α は150度より大きく180度未満の範囲であることができる。井戸層21は歪みを内包しており、井戸層21におけるピエゾ電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域17から第1の窒化ガリウム系半導体領域13へ向かう方向と逆向きの成分を有する。第2の窒化ガリウム系半導体領域17の窒化ガリウム系半導体層31は発光層15に隣接している。

【0063】

この窒化物系半導体光素子LD1によれば、井戸層21及び障壁層23が上記の角度範囲の傾斜角 α で傾斜した基準平面SR1に沿って延びるので、井戸層21におけるピエゾ電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域17から第1の窒化ガリウム系半導体領域13へ向かう方向と逆向きの成分（Z軸の正の方向）を有する。一方、この窒化ガリウム系半導体層31におけるピエゾ電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域17から第1の窒化ガリウム系半導体領域13へ向かう方向と同じ向き（Z軸の負の方向）の成分を有する。第2の窒化ガリウム系半導体領域17の窒化ガリウム系半導体層31は発光層15に隣接しているので、この窒化ガリウム系半導体層31と発光層15との界面でJ2では、伝導帯ではなく価電子帯にディップが生じる。したがって、ディップが伝導帯ではなく価電子帯に生じるので、電子の溢れを低減できる。

【0064】

半導体発光素子LD1では、第1の窒化ガリウム系半導体領域13内のn型窒化ガリウム系半導体層55は、例えばSiドープn型AlGa_xNクラッド層であり、その厚さは例えば2300nmである。そのAl組成は例えば0.04である。n型窒化ガリウム系半導体層55は例えばSiドープn型Ga_xN層であり、その厚さは例えば50nmである。発光層15は、第1及び第2の光ガイド層59a、59bを含むことができる。活性層1

10

20

30

40

50

9は光ガイド層59a、59bの間に設けられている。光ガイド層59a、59bは、例えばアンドープInGa_Nからなることができ、インジウム組成は例えば0.06である。光ガイド層59a、59bの厚さは、例えば100nmである。

【0065】

また、第2の窒化ガリウム系半導体領域17のp型窒化ガリウム系半導体層31は、例えばMgドープp型AlGa_N層であり、アルミニウム組成は例えば0.18である。p型窒化ガリウム系半導体層31の厚さは例えば20nmである。p型窒化ガリウム系半導体層51は、Mgドープp型AlGa_Nクラッド層であり、アルミニウム組成は例えば0.06である。Mgドープp型窒化ガリウム系半導体層51の厚さは例えば400nmである。p型窒化ガリウム系半導体層53はMgドープp⁺型Ga_Nコンタクト層であり、その厚さは例えば50nmである。

【0066】

活性層19上には、アンドープGa_N層61を成長する。Ga_N層61の厚さは例えば50nmである。半導体積層(13、15、17)上に、ストライプ窓を有する絶縁膜63を形成する。絶縁膜63及び半導体積層(13、15、17)上に電極を形成する。第1の電極(例えば、アノード電極)65がコンタクト層53上に形成されると共に、第2の電極(例えば、カソード電極)67が基板裏面13b上に形成される。これらの電極を介するキャリアの注入に応答して活性層19はレーザ光を生成する。活性層19のピエゾ電界は小さいので、ブルーシフトが小さい。また、発光層19と窒化ガリウム系半導体31との界面において伝導帯にディップが形成されないので、発光素子LD1は、電子の閉じ込め性に優れる。

【0067】

窒化物系半導体光素子LE1、LD1では、基準平面SR1はa軸の方向に傾斜していることができる。傾斜がa軸の方向なので、m面劈開が可能である。また、基準平面SR1はm軸の方向に傾斜していることができる。傾斜がm軸の方向であれば、a面劈開が可能である。

【0068】

図5～図7は、本実施の形態に係る窒化物系半導体光素子を製造する方法及びエピタキシャルウエハを製造する方法における主要な工程を示す図面である。図5(a)に示されるように、工程S101では、窒化物系半導体光素及びエピタキシャルウエハを製造するための基板71を準備する。基板71は、例えば六方晶系半導体In_SAl_TGa_{1-S-T}N(0≤S≤1、0≤T≤1、0≤S+T≤1)からなることができる。基板71は主面71a及び裏面71bを有する。図5(a)を参照すると、基板71の六方晶系半導体のc軸方向を示すベクトルVC及び主面71aの法線ベクトルVNが記載されており、ベクトルVC2は{0001}面の向きを示している。この基板71によれば、成長用の主面が傾斜角(オフ角)βを有する半極性を提供できる。基板71の主面71aの傾斜角は、該六方晶系半導体の{0001}面を基準にして、59度より大きく80度未満の範囲及び150度より大きく180度未満の範囲である。主面71aの傾斜角が59度以上80度未満であるとき、または、150度より大きく、180度未満であるとき、基板71の主面上に形成された窒化物系半導体光素子内の井戸層におけるピエゾ電界が第2の窒化ガリウム系半導体領域から第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と逆向きの成分を有し、第2の窒化ガリウム系半導体領域の窒化ガリウム系半導体層におけるピエゾ電界は第2の窒化ガリウム系半導体領域から第1の窒化ガリウム系半導体領域へ向かう方向と同じ向きの成分を有するので、電子の閉じ込め性に優れる窒化物系半導体光素子を製造可能である。

【0069】

基板71のエッジ上に2点間の距離の最大値Diaは45mm以上であることができる。このような基板は例えばウエハと呼ばれている。基板71の裏面11bは、基板71と実質的に平行であることができる。また、基板71はGa_Nからなるとき、良好な結晶品質のエピタキシャル成長が可能である。

10

20

30

40

50

【0070】

引き続き工程では、井戸層に負のピエゾ電界を発生させるように選択されたオフ角を有する基板71の主面71a上に、半導体結晶がエピタキシャルに成長される。上記の傾斜角の主面71aの基板71は、活性層内に井戸層がc面から上記の角度範囲内で傾斜するように、エピタキシャル半導体領域を形成することを可能にする。

【0071】

また、基板71の主面71aの傾斜の方向に関しては、主面71aが基板71の六方晶系半導体のa軸方向に傾斜するとき、基板71上に作製されたエピタキシャル基板は、m面における劈開が可能になる。また、基板71の主面71aが基板71の六方晶系半導体のm軸方向に傾斜するとき、基板71上に作製されたエピタキシャル基板は、a面における劈開が可能になる。また、主面71aが基板71の六方晶系半導体のa軸方向に傾斜するときのm軸方向のオフ角は-3度以上+3度以下の範囲にあることが好ましい。また、主面71aが基板71の六方晶系半導体のm軸方向に傾斜するときのa軸方向のオフ角は-3度以上+3度以下の範囲にあることが好ましい。この範囲であれば、窒化物系半導体光素子LD1におけるレーザキャビティの端面傾斜による反射率低下が小さいため、発振しきい値を小さくすることが出来る。

【0072】

基板71を成長炉10に配置する。図5(b)に示されるように、工程S102では、成膜に先立って、成長炉10にガスG0を供給しながら基板71に熱処理を行って、改質された主面71cを形成する。この熱処理は、アンモニア及び水素を含むガスの雰囲気中で行われることができる。熱処理温度T0は、例えば摂氏800度以上1200度以下であることができる。熱処理時間は、例えば10分程度である。この工程によれば、主面71aの傾斜によって、半極性の主面にはc面主面とは異なる表面構造が形成される。成膜に先立つ熱処理を基板71の主面71aに施すことによって、c面主面では得られない半導体主面に改質が生じる。窒化ガリウム系半導体からなるエピタキシャル成長膜が、基板71の改質された主面71c上に堆積される。

【0073】

図5(c)に示されるように、工程S103では、熱処理の後に、第1導電型窒化ガリウム系半導体領域73を基板71の表面71c上にエピタキシャルに成長する。この成長のために有機金属気相成長法が用いられる。成長用の原料ガスとしては、ガリウム源、インジウム源、アルミニウム源及び窒素源が使用される。ガリウム源、インジウム源及び窒素源は、それぞれ、例えばTMG、TMI、TMA及びNH₃である。この成長のために、原料ガスG1を成長炉10に供給する。窒化ガリウム系半導体領域73の主面73aは、窒化ガリウム系半導体のc面から59度以上80度未満、または150度より大きく180度未満の範囲の角度で傾斜している。第1導電型窒化ガリウム系半導体領域73aは、一又は複数の窒化ガリウム系半導体層(例えば窒化ガリウム系半導体層25、27、29)を含むことができる。例えば、窒化ガリウム系半導体層25、27、29は、それぞれ、n型AlGaIn層、n型GaIn層およびn型InGaIn層であることができる。窒化ガリウム系半導体層25、27、29は、基板71の主面71c上に順にエピタキシャルに成長される。n型AlGaIn層25は例えば基板71の全表面を覆う中間層であり、例えば摂氏1100度で成長される。n型AlGaIn層25の例えば厚さは50nmである。n型AlGaIn層25上にn型GaIn層27を摂氏950度で成長される。n型GaIn層27は例えばn型キャリアを供給するための層であり、n型GaIn層27の厚さは2000nmである。n型GaIn層27上にn型InGaIn層29を摂氏840度で成長される。n型InGaIn層29は例えば活性層のための緩衝層であり、n型InGaIn層29の厚さは100nmである。

【0074】

次の工程では、図6～図7に示されるように、窒化物系半導体発光素子の活性層75を作製する。活性層75は、370nm以上650nm以下の波長領域にピーク波長を有する発光スペクトルを生成するように設けられる。

10

20

30

40

50

【0075】

工程S104では、図6(a)に示されるように、窒化ガリウム系半導体からなり活性層75の量子井戸構造のための障壁層77を形成する。成長炉10に原料ガスG2を供給して、障壁層77は緩衝層上に成長温度 T_B で成長される。この障壁層77は $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ （インジウム組成 Y ： $0 \leq Y \leq 0.05$ 、 Y は歪み組成）からなる。障壁層77の成長は、例えば摂氏700度以上摂氏1000度以下の温度範囲内の成長温度 T_B で行われる。本実施例では、ガリウム源及び窒素源を含む原料ガスG2を成長炉10に供給してアンドープGaNを成長温度 T_B で成長する。GaN障壁層の厚さは例えば15nmである。障壁層77は、主面73a上に成長されるので、障壁層77の表面は、主面73aの表面構造を引き継ぐ。

10

【0076】

障壁層77の成長終了後に、ガリウム原料の供給を停止して窒化ガリウム系半導体の堆積を停止させる。障壁層77を成長した後に、井戸層を成長する前に成長温度 T_B から成長温度 T_W に成長炉の温度を変更する。この変更期間中に、例えばアンモニアといった窒素源ガスを成長炉10に供給する。

【0077】

工程S105では、図5(b)に示されるように、成長炉10の温度を井戸層成長温度 T_W に保ちながら、障壁層77上に量子井戸構造のための井戸層79を成長する。井戸層79は $\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ （インジウム組成 X ： $0 < X < 1$ 、 X は歪み組成）といった、インジウムを含む窒化ガリウム系半導体からなる。井戸層79は、障壁層77のバンドギャップエネルギーより小さいバンドギャップエネルギーを有する。井戸層79の成長温度 T_W は成長温度 T_B より低い。本実施例では、ガリウム源、インジウム源及び窒素源を含む原料ガスG3を成長炉10に供給してアンドープ InGaN を成長する。井戸層79の膜厚は、1nm以上10nm以下であることができる。また、 $\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ 井戸層79のインジウム組成 X は、0.05より大きいことができる。井戸層79の $\text{In}_X\text{Ga}_{1-X}\text{N}$ は0.5より小さいことができる。この範囲のインジウム組成の InGaN の成長が可能となり、波長370nm以上650nm以下の発光素子を得ることができる。井戸層79の成長は、例えば摂氏600度以上摂氏900度以下の温度範囲内の成長温度 T_W で行われる。 InGaN 井戸層の厚さは例えば3nmである。井戸層79の主面は、障壁層77の主面上にエピタキシャルに成長されるので、井戸層79の表面は、障壁層77の表面構造を引き継ぐ。また、障壁層77の主面の傾斜角に応じて、窒化ガリウム系半導体のc面から所定の範囲の角度で傾斜する。

20

30

【0078】

井戸層79の成長が完了する後に、障壁層を成長する前に成長温度 T_W から成長温度 T_B に成長炉10の温度を変更する。この変更期間中に、例えばアンモニアといった窒素源ガスを成長炉10に供給する。成長炉10の昇温が完了した後に、図5(c)に示されるように、工程S106では、成長炉10の温度を成長温度 T_B に保ち、原料ガスG4を成長炉10に供給しながら、窒化ガリウム系半導体からなる障壁層81を成長する。本実施例では、障壁層81は例えばGaNからなり、障壁層81の厚さは例えば15nmである。障壁層81の主面は、井戸層79の主面上にエピタキシャルに成長されるので、障壁層81の表面は、井戸層79の表面構造を引き継ぐ。

40

【0079】

工程S107で同様に繰り返し成長を行って、図7(a)に示されるように量子井戸構造の活性層75を成長する。活性層75は3つの井戸層79と4つの障壁層77、81を含む。この後に、工程S108では、原料ガスG5を供給して必要な半導体層を成長して発光層83を形成する。活性層75と第2導電型窒化ガリウム系半導体領域85との間にある発光層83内の半導体層のバンドギャップは、第2導電型窒化ガリウム系半導体領域85内にあり発光層83に隣接する窒化ガリウム系半導体層のバンドギャップより小さい。

【0080】

50

図7(c)に示されるように、工程S109では、発光層83上に、原料ガスG6を供給して第2導電型窒化ガリウム系半導体領域85をエピタキシャルに成長する。この成長は、成長炉10を用いて行われる。第2導電型窒化ガリウム系半導体領域84は、例えば電子ブロック層31、第1のp型コンタクト層33及び第2のp型コンタクト層35を含むことができる。電子ブロック層31は例えばAlGaInからなることができる。p型コンタクト層33、35はp型GaInからなることができる。第2のp型コンタクト層35のドーパント濃度 N_{37} は第1のp型コンタクト層33のドーパント濃度 N_{35} よりも大きい。本実施例では、電子ブロック層31、p型コンタクト層33、35の成長温度は、例えば摂氏1100度である。第2導電型窒化ガリウム系半導体領域31の形成の後に、図7(c)に示されるエピタキシャルウエハEが完成する。必要な場合には、半導体レーザの光ガイドのために一对の光ガイド層を成長することができる。一对の光ガイド層は活性層を挟む。これらの光ガイド層は、例えばInGaInまたはGaInからなることができる。

10

【0081】

エピタキシャルウエハEにおいて、第1導電型窒化ガリウム系半導体領域73、発光層83、及び第2導電型窒化ガリウム系半導体層85は、基板71の主面71aの法線軸の方向に配列されていることができる。該六方晶系半導体のc軸の方向は基板71の主面71aの法線軸の方向と異なる。エピタキシャル成長の成長方向はc軸方向である一方で、この成長方向は半導体層73、83、85の積層方向と異なる。

【0082】

次の工程では、エピタキシャルウエハE上に電極を形成する。第1の電極（例えば、アノード電極）がコンタクト層35上に形成されると共に、第2の電極（例えば、カソード電極）が基板裏面71b上に形成される。

20

【0083】

電極の形成の後に、劈開を行って共振器面として作製することができる。劈開によって形成された端面を共振器面とする半導体レーザの作製が可能となる。なお、基板71の主面71aの傾斜の方向が窒化ガリウム系半導体のa軸の方向であれば、m面を劈開面として使用できる。また、基板71の主面71aの傾斜の方向が窒化ガリウム系半導体のm軸の方向であれば、a面を劈開面として使用できる。

【0084】

図8は、実施の形態において使用可能なGaIn基板の一構造を示す図面である。基板11は、c軸方向に伸びる貫通転位密度が第1の貫通転位密度より大きい複数の第1の領域12aと、c軸方向に伸びる貫通転位密度が第1の貫通転位密度より小さい複数の第2の領域12bとを含むことができる。基板11の主面11aには第1および第2の領域12a、12bが現れている。基板11の主面11aにおいて、第1および第2の領域12a、12bの幅は、例えば500マイクロメートル、5000マイクロメートルである。第1および第2の領域12a、12bは所定の方法に交互に配置されている。基板が窒化ガリウムからなるとき、所定の方法は該窒化ガリウムのa軸の方向であることができる。

30

【0085】

第1の領域12aは高転位密度の欠陥集中領域の半導体部であり、第2の領域12bは低転位密度の欠陥低減領域の半導体部である。基板11の低転位密度の領域に窒化物系半導体発光素子を作製することによって、発光素子の発光効率、信頼性を向上させることができる。第2の領域12bの貫通転位密度は $1 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-2}$ 未満であると、実用に十分な信頼性をもつ半導体レーザが得られる。

40

【0086】

（実施例1）

いくつかのオフ角を有する主面の窒化ガリウム系半導体ウエハを準備して、発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もる方法を行った。図9は、井戸層のピエゾ電界の向き及び大きさの見積もり手順を示す工程フローを示す図面である。

【0087】

50

引き続き説明では、GaNウエハを用いる。工程S201では、発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もるために発光層の面方位を選択する。

【0088】

工程S202では、発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もるための量子井戸構造を、選択された面方位で形成すると共にp型及びn型窒化ガリウム半導体を成長して、エピタキシャルウエハを作製した。これらのウエハ上に、該成長の後にカソード電極及びアノード電極を形成して基板生産物を作製した。

【0089】

例えば、GaNのc面（デバイス名：C）、m軸方向に75度オフ面（デバイス名：M75__1、M75__2）、a軸方向に58度オフ面（デバイス名：A58__1、A58__2、A58__3）のGaNウエハ上に、図1に示される構造の発光素子を成長した。m軸方向に75度オフ面は（20-21）面である。a軸方向に58度オフ面は（11-22）面である。

作製された基板生産物の構造例ウエハ：n型GaN単結晶

SiドープAl_{0.12}Ga_{0.88}N：50nm、

SiドープGaN層：2000nm、

SiドープIn_{0.02}Ga_{0.98}N層：100nm、

アンドープIn_{0.20}Ga_{0.80}N井戸層：3nm

アンドープGaN障壁層：15nm、

MgドープAl_{0.16}Ga_{0.84}N層：20nm、

MgドープGaN層：25nm、

高MgドープGaN層：25nm。

【0090】

工程S203で、作製したデバイスにバイアスを印加しながらPLスペクトルを測定可能なPL測定装置を準備した。図10（a）は、PL測定装置の一構造例を示す図面である。PL測定装置は、デバイスDEVに励起光を照射する励起光源93、デバイスDEVからのフォトルミネッセンスを検出するPL検出器95、デバイスDEVに可変バイアスを印加する装置97を含む。

【0091】

工程S204では、基板生産物にバイアスを印加しながら、フォトルミネッセンスのバイアス依存性を測定した。バイアス依存性を測定結果は、例えば図10（b）に示されるグラフ上の特性線になる。ある程度の大きさの順方向のバイアス電圧が印加されると、デバイスDEVは、エレクトロルミネッセンスを発する。エレクトロルミネッセンスは、小さい順バイアス及び逆バイアスの電圧では生じない。

【0092】

ある範囲のオフ角を有する半極性面及びGaNウエハのc面上に作製されるデバイスは、発光層に正のピエゾ電界が生じる。このデバイスの特性は、図9（b）の特性線PLB（+）によって表される。PL発光のピーク波長は、EL発光電圧まではバイアスが増加するにつれて長波長にシフトする。EL発光電圧を超えると、バイアスが増加するにつれて短波長にシフトする。

【0093】

GaNウエハの非極性面上に作製されるデバイスは、発光層のピエゾ電界はゼロである。このデバイスの特性は、図10（b）の特性線PLB（NP）によって表される。PL発光のピーク波長は、ゼロバイアス電圧までは、わずかであるがバイアスが増加するにつれて短波長にシフトする。正のバイアスでは、ピーク波長のシフトはほとんど生じない。

【0094】

本実施の形態に係る特定のオフ角範囲を有する半極性面上に作製されるデバイスは、発光層に負のピエゾ電界が生じる。このデバイスの特性は、図10（b）の特性線PLB（-）によって表される。PL発光のピーク波長は、EL発光電圧までは、バイアスが増加するにつれて僅かに短波長にシフトする。

10

20

30

40

50

【0095】

工程205では、測定されたバイアス依存性から、発光層におけるピエゾ電界の向きを見積もる。発光層におけるピエゾ電界の向きは、図10(b)に基づいて判定される。

【0096】

工程206では、選択されや面方位で発光層を作製可能な主面を有するウエハを準備する。工程207では、このウエハ主面上に、半導体発光素子のための半導体積層を形成する。半導体積層は、図1及び図4に示されるように、第1の窒化ガリウム系半導体領域13、発光層15及び第2の窒化ガリウム系半導体領域17を含むことができる。発光層15は井戸層及び障壁層とを含む。井戸層及び障壁層の各々は、c軸、a軸及びm軸方向に延びる基準軸に直交する面から傾斜した基準平面に沿って延びている。発光層15は、第1の窒化ガリウム系半導体領域13と第2の窒化ガリウム系半導体領域17との間にある。ピエゾ電界の向きは、第2の窒化ガリウム系半導体領域17から第1の窒化ガリウム系半導体領域13へ向かう方向を基準にして規定される。バイアスを印加しながらPLスペクトルのバイアス依存性を測定するので、エレクトロルミネッセンスにより発光が生じる印加電圧よりも小さい正及び負の電圧範囲におけるフォトルミネッセンスを測定可能である。フォトルミネッセンスのバイアス依存性を用いて、発光層内の内部電界の大きさ及び向きを見積もることができる。

【0097】

図11は、実施例において作製された半導体発光素子のELスペクトルの測定結果を示す。図11を参照すると、GaN c面（デバイス名：C）の120mAまでのブルーシフト量は30nm程度であり、m軸方向に75度オフ面（デバイス名：M75_1、M75_2）のブルーシフト量は4～7nm程度である。a軸方向に58度オフ面（デバイス名：A58_1、A58_2、A58_3）のブルーシフト量は7～16nm程度である。

【0098】

c面上のデバイスは非常に大きなブルーシフトを示すのに対し、m方向75度オフ面上やa方向58度オフ面上のブルーシフト量は小さい。m方向75度オフ面上では、特にブルーシフトを小さくできる。したがって発光ダイオードの色調が電流によって変化しないことや、レーザダイオードの発振波長を長波化する上で有利である。

【0099】

c面、m軸方向75度オフ面、a軸方向58度オフ面を準備し、上記同様の発光ダイオード(LED)を作製した。LEDに通電しながらLEDの温度を変化させ、ELスペクトルを測定した。

【0100】

図12に示されるように、積分強度の温度依存性では、c面上LED（特性線：c）においては温度150K以下で急激に減少する。一方、m軸方向75度オフ面上のLED（特性線：m75）とa軸方向58度オフ面上のLED（特性線：a50）では、低温における積分強度の低下は見られない。ELスペクトルを比較すると、図13に示されるように、温度300Kでは3種類（図13における3つの特性線をm75(300)、a58(300)、c(300)として参照する）とも発光層での発光のみのシングルピークを示す。これに対し、図14に示されるように、温度10Kでも3種類（図14における3つの特性線をm75(10)、a58(10)、c(10)として参照する）が示されており、c面上LEDのみ380nm付近に別のピークが現れる。このピークは、発光層からオーバーフローした電子がp型層でホールと再結合して発光が生ずることを示している。すなわち、c面上LEDでは低温でアクセプタの活性化率が下がるので、発光層とp型層の界面における伝導体のディップがより深くなり、電子のオーバーフローが顕著となっている。m軸方向75度オフ面上LEDとa軸方向58度オフ面上のLEDでは、このような現象は観測されず、電子のオーバーフローが少ない。

【0101】

（実施例2）

図15に示す構造を有する半導体レーザLD0を作製した。m軸方向に75度オフしたG

10

20

30

40

50

a N ウエハ 9 0 を準備した。G a N ウエハ 9 0 を成長炉に配置した後に、アンモニア及び水素の雰囲気中で熱処理を行った。熱処理温度は摂氏 1 1 0 0 度であり、熱処理時間は約 1 0 分であった。

【0102】

熱処理の後に、TMG (98.7 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMA (8.2 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (6 s l m)、SiH₄ を成長炉に供給して、クラッド層のための n 型 Al Ga N 層 9 1 を G a N ウエハ 9 0 上に摂氏 1 1 5 0 度で成長した。n 型 Al Ga N 層 9 1 の厚さは 2 3 0 0 nm であった。n 型 Al Ga N 層 9 1 の成長速度は 4 6. 0 nm / 分 であった。n 型 Al Ga N 層 9 1 の Al 組成は 0. 0 4 であった。

【0103】

10

次いで、TMG (98.7 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (5 s l m)、SiH₄ を成長炉に供給して、n 型 Al Ga N 層 9 1 上に n 型 Ga N 層 9 2 を摂氏 1 1 5 0 度で成長した。n 型 Ga N 層 9 2 の厚さは 5 0 nm であった。n 型 Ga N 層 9 2 の成長速度は 5 8. 0 nm / 分 であった。

【0104】

TMG (24.4 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMI (4.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (6 s l m) を成長炉に供給して、光ガイド層のためのアンドープ In Ga N 層 9 3 a を n 型 Ga N 層 9 4 上に摂氏 8 4 0 度で成長した。n 型 In Ga N 層 9 3 a の厚さは 6 5 nm であった。n 型 In Ga N 層 9 3 a の成長速度は 6. 7 nm / 分 であった。アンドープ In Ga N 層 9 3 a の In 組成は 0. 0 5 であった。

20

【0105】

次いで活性層 9 4 を形成した。TMG (15.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMI (29.0 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (8 s l m) を成長炉に供給して、アンドープ In Ga N 井戸層を摂氏 7 4 5 度で成長した。In Ga N 層の厚さは 3 nm であった。In Ga N 層の成長速度は 3. 1 nm / 分 であった。

【0106】

次いで、成長炉の温度を摂氏 7 4 5 度に維持しながら、TMG (15.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMI (0.3 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (8 s l m) を成長炉に供給して、アンドープ Ga N 層を In Ga N 層上に摂氏 7 4 5 度で成長した。Ga N 層の厚さは 1 nm であった。Ga N 層の成長速度は 3. 1 nm / 分 であった。アンドープ Ga N 層を成長した後に、成長炉の温度を摂氏 7 4 5 度から摂氏 8 7 0 度に変更した。TMG (24.4 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMI (1.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (6 s l m) を成長炉に供給して、障壁層のためのアンドープ In Ga N 層をアンドープ In Ga N 井戸層上に摂氏 8 7 0 度で成長した。In Ga N 層の厚さは 1 5 nm であった。In Ga N 層の成長速度は 6. 7 nm / 分 であった。アンドープ In Ga N 層の In 組成は 0. 0 2 であった。

30

【0107】

次いで、成長炉の温度を摂氏 8 7 0 度から摂氏 7 4 5 度に変更した。この後に、TMG (15.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMI (29.0 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (8 s l m) を成長炉に供給して、アンドープ In Ga N 井戸層を In Ga N 層上に摂氏 7 4 5 度で成長した。In Ga N 層の厚さは 3 nm であった。In Ga N 層の成長速度は 3. 1 nm / 分 であった。アンドープ In Ga N 層の In 組成は 0. 2 5 であった。

40

【0108】

井戸層、保護層及び障壁層の成長を 2 回繰り返し 3 回目は保護層まで形成した。この後に、TMG (13.0 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMI (4.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (6 s l m) を成長炉に供給して、光ガイド層のためのアンドープ In Ga N 層 9 3 b を活性層 9 4 上に摂氏 8 4 0 度で成長した。In Ga N 層 9 3 b の厚さは 6 5 nm であった。In Ga N 層 9 3 b の成長速度は 6. 7 nm / 分 であった。次いで、TMG (98.7 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、NH₃ (5 s l m) を成長炉に供給して、アンドープ Ga N 層 9 6 を In Ga N 層 9 3 b 上に摂氏 1 1 0 0 度で成長した。Ga N 層 9 6 の厚さは 5 0 nm であった。Ga N 層 9 6 の成長速度は 5 8. 0 nm / 分 であった。アンドープ In Ga N 層 9 3 b の In

50

組成は0.05であった。

【0109】

次いで、TMG (16.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMA (2.8 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、 NH_3 (6 s l m)、 Cp_2Mg を成長炉に供給して、p型AlGaIn層97をGaIn層96上に摂氏1100度で成長した。AlGaIn層97の厚さは20 nmであった。AlGaIn層97の成長速度は4.9 nm/分であった。p型AlGaIn層97のAl組成は0.15であった。

【0110】

TMG (36.6 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、TMA (3.0 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、 NH_3 (6 s l m)、 Cp_2Mg を成長炉に供給して、p型AlGaIn層98をp型AlGaIn層97上に摂氏1100度で成長した。AlGaIn層98の厚さは400 nmであった。Alの組成は0.06であった。AlGaIn層98の成長速度は13.0 nm/分であった。また、TMG (34.1 $\mu\text{mol}/\text{分}$)、 NH_3 (5 s l m)、 Cp_2Mg を成長炉に供給して、p型GaIn層99をp型AlGaIn層98上に摂氏1100度で成長した。GaIn層99の厚さは50 nmであった。p型GaIn層99の成長速度は18.0 nm/分であった。これらの工程によってエピタキシャルウエハが作製された。このエピタキシャルウエハ上にアノード及びカソードを形成した。図に示される半導体ダイオードが得られた。アノード電極は、10マイクロメートル幅のストライプ窓を有する絶縁膜を介してp型GaIn層に電氣的に接続される。アノード電極はNi/Auからなり、カソードはTi/Al/Ti/Auからなる。a面において劈開して、600マイクロメートル長のレーザバーを作製した。発振波長は520 nmであり、しきい値電流は900 mAであった。

【0111】

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。

【符号の説明】

【0112】

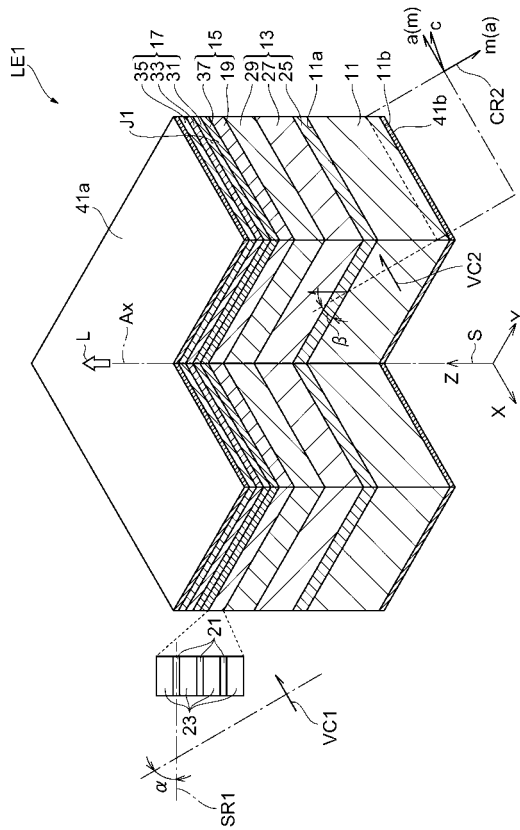
LE1、LD1…窒化物系半導体光素子、13…第1の窒化ガリウム系半導体領域、15…発光領域、17…第2の窒化ガリウム系半導体領域、19…活性層、21…井戸層、23…障壁層、25、27、29…窒化ガリウム系半導体層、31…窒化ガリウム系半導体層、33、35…窒化ガリウム系半導体層、 α 、 β …傾斜角、SR1…基準平面、B1、B2、B3、B4、B5、B6…障壁層、W1、W2、W3…井戸層、P、NP、SP+、SP-…発光層、37…アンドープGaIn層 (N_2 -GaIn層)、39…アンドープGaIn層、41a、41b…電極、VC1、VC2…c軸方向のベクトル、51、53…窒化ガリウム系半導体層、55、57…窒化ガリウム系半導体層、59a、59b…光ガイド層、61…アンドープGaIn層、63…絶縁膜、65、67…電極

10

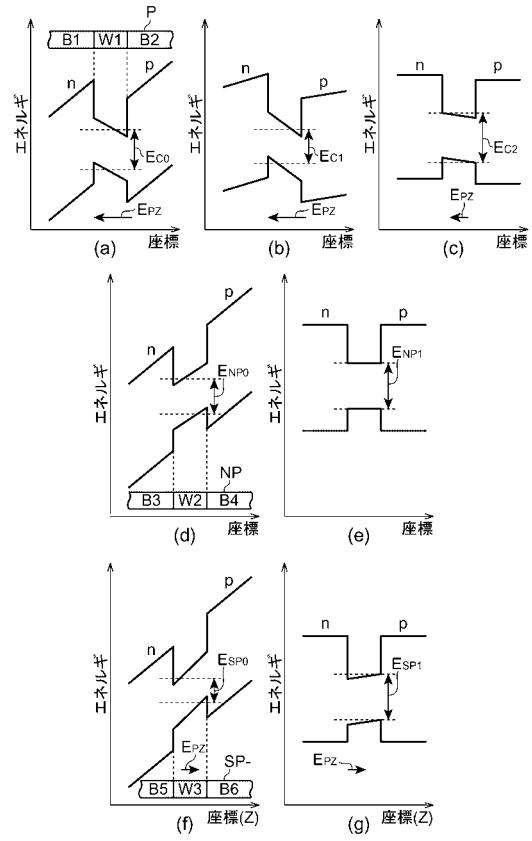
20

30

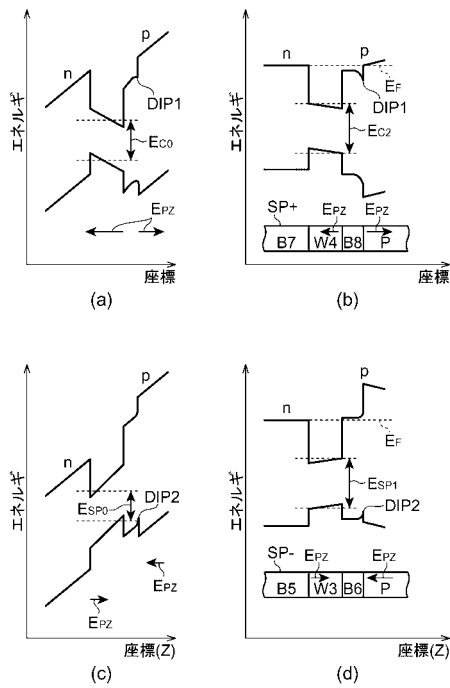
【図 1】



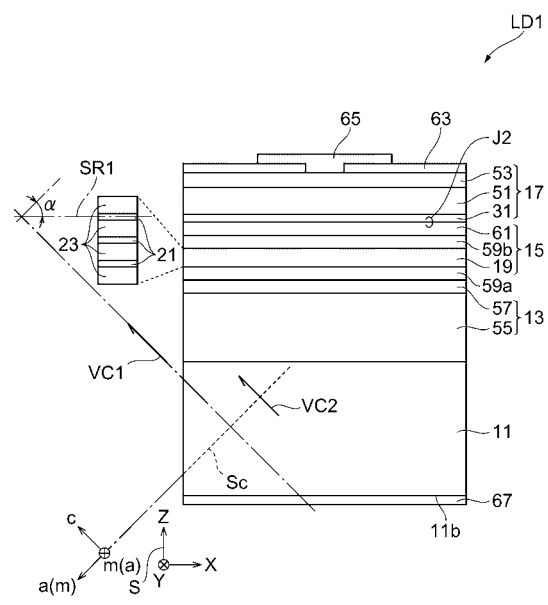
【図 2】



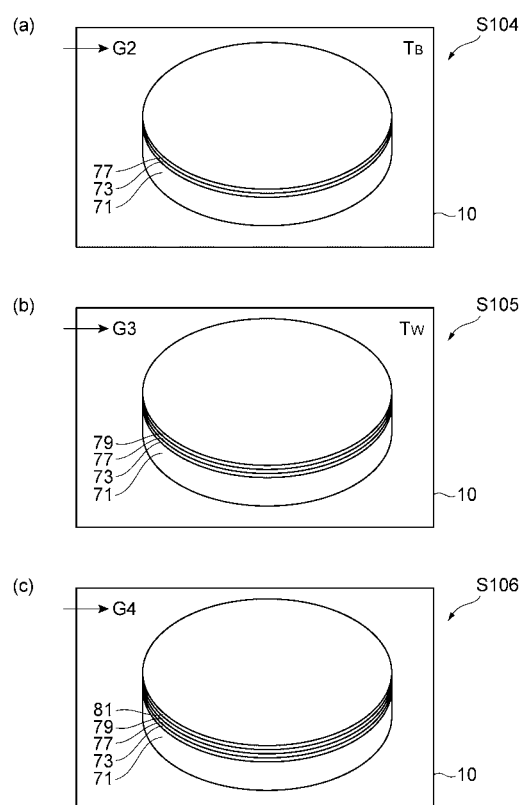
【図 3】



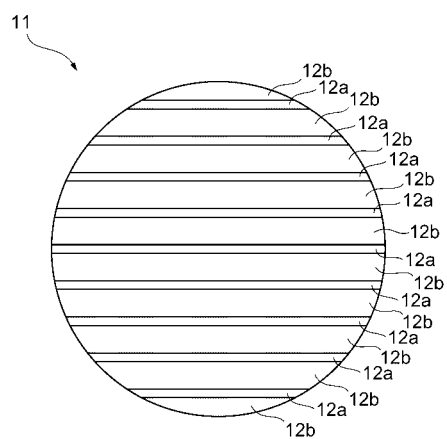
【図 4】



【 図 6 】



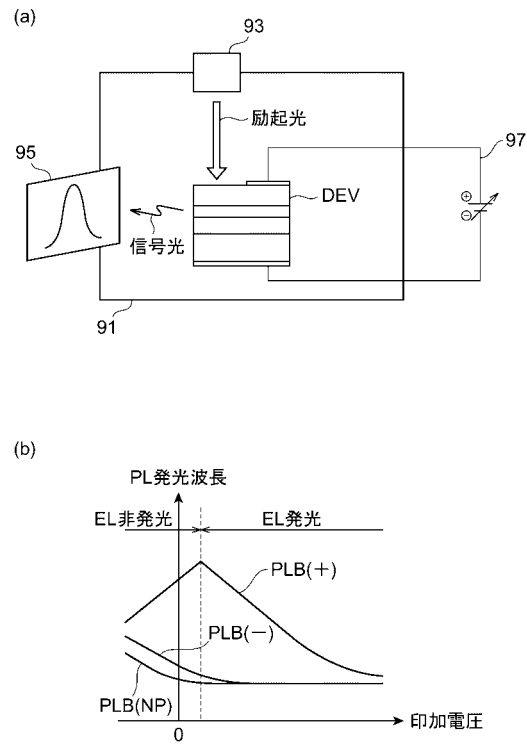
【图 8】



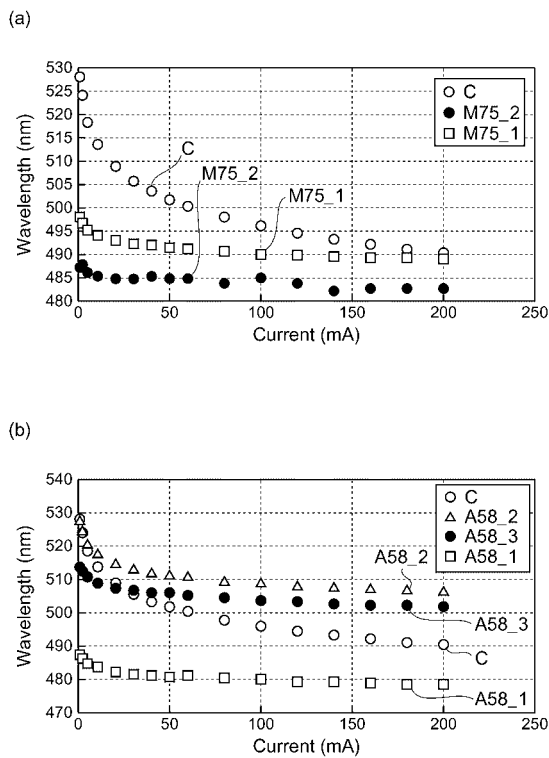
【図 9】



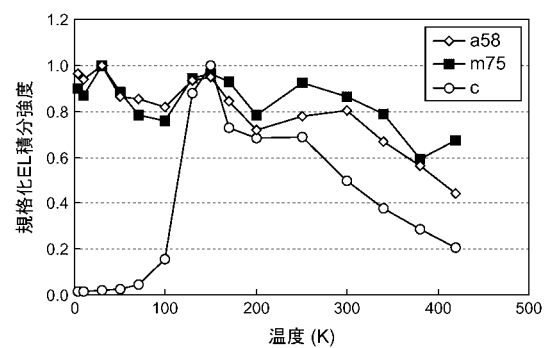
【図 10】



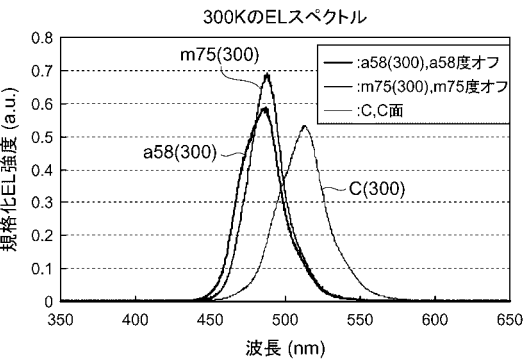
【図 11】



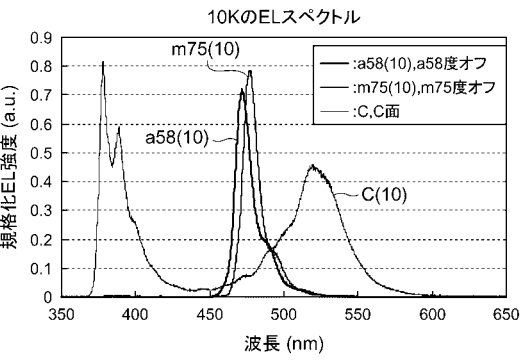
【図 12】



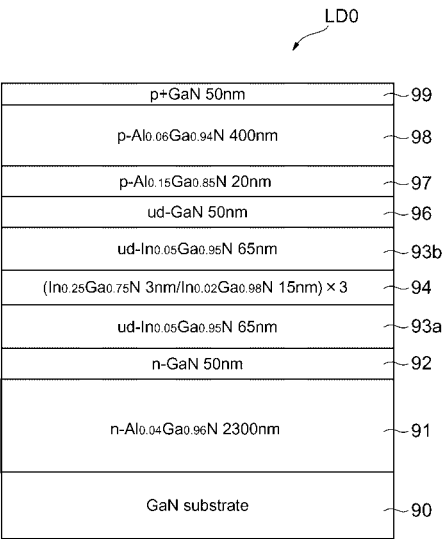
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



フロントページの続き

- (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 秋田 勝史
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 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 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 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
- Fターム(参考) 5F041 AA03 CA04 CA05 CA23 CA40 CA65 CB36
5F173 AH22 AP06 AP24 AR25