

(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2010-21287

(P2010-21287A)

(43) 公開日 平成22年1月28日(2010.1.28)

(51) Int.Cl.
H01L 33/32 (2010.01)F I
H01L 33/00テーマコード (参考)
5 F04 I

審査請求 有 請求項の数 20 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2008-179435 (P2008-179435)
(22) 出願日 平成20年7月9日(2008.7.9)(71) 出願人 000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(74) 代理人 100088155
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 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

最終頁に続く

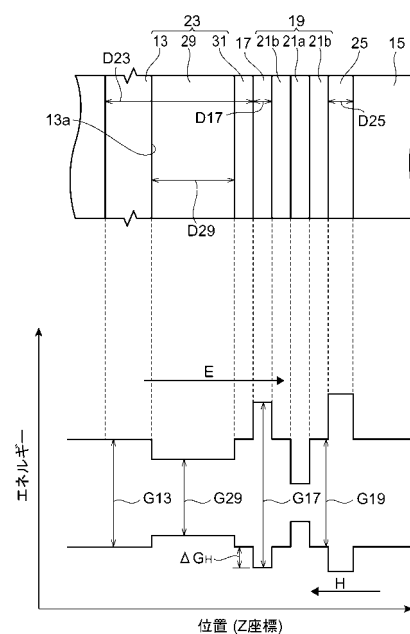
(54) 【発明の名称】 III族窒化物系半導体発光素子、及びエピタキシャルウエハ

(57) 【要約】

【課題】活性層からの正孔のオーバーフローを低減して量子効率を向上できるIII族窒化物系半導体発光素子を提供する。

【解決手段】活性層19は、p型GaN系半導体領域15と正孔ブロック層17との間に位置するので、正孔Hはp型GaN系半導体領域15から活性層19に供給される。正孔ブロック層17の厚さD17がGaN系半導体層13の厚さD13よりも薄い。正孔ブロック層17のバンドギャップG17がGaN系半導体領域23のバンドギャップの最大値よりも大きいので、正孔ブロック層17は、活性層19をオーバーフローしようとする正孔に対して障壁 G_H として作用する。故に、正孔ブロック層17は、活性層19をオーバーフローしてGaN系半導体領域23に到達する正孔の量を低減する。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定の平面に沿って延びる主面を有する n 型の窒化ガリウム系半導体領域と、
p 型窒化ガリウム系半導体領域と、
第 1 の窒化ガリウム系半導体からなる正孔ブロック層と、
前記 p 型窒化ガリウム系半導体領域と前記正孔ブロック層との間に設けられ、窒化ガリウム系半導体からなる活性層と

を備え、

前記正孔ブロック層及び前記活性層は、前記窒化ガリウム系半導体領域の前記主面と前記 p 型窒化ガリウム系半導体領域との間に配置されており、

前記窒化ガリウム系半導体領域の c 軸は前記所定の平面の法線に対して傾斜しており、
前記正孔ブロック層のバンドギャップは前記窒化ガリウム系半導体領域のバンドギャップよりも大きく、

前記正孔ブロック層のバンドギャップは前記活性層におけるバンドギャップの最大値よりも大きく、

前記正孔ブロック層の厚さは前記窒化ガリウム系半導体領域の厚さよりも薄い、ことを特徴とする III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 2】

前記窒化ガリウム系半導体領域の c 軸と前記所定の平面の法線との成す傾斜角は、10 度以上であり、80 度以下である、ことを特徴とする請求項 1 に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 3】

前記正孔ブロック層の厚さは 5 nm 以上である、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 III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 4】

前記正孔ブロック層の厚さは 50 nm 以下である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 5】

前記正孔ブロック層に n 型ドーパントが添加されている、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 III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 6】

前記正孔ブロック層の前記第 1 の窒化ガリウム系半導体層は、III 族元素としてガリウム、インジウム及びアルミニウムを含む、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 7】

前記正孔ブロック層の前記第 1 の窒化ガリウム系半導体は、III 族としてインジウムを含み、

前記正孔ブロック層のインジウム組成は 0 より大きく 0.3 以下である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 6 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 8】

前記正孔ブロック層は AlGaIn 層を含む、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 9】

前記正孔ブロック層の前記第 1 の窒化ガリウム系半導体は、III 族としてアルミニウムを含み、

前記正孔ブロック層のアルミニウム組成は 0 より大きく 0.5 以下である、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 III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 10】

前記活性層と前記 p 型窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、第 2 の窒化ガリウム系半導体からなる電子ブロック層を更に備え、前記正孔ブロック層の厚さは前記電子ブ

10

20

30

40

50

ロック層の厚さより薄い、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 III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 11】

当該 III 族窒化物系半導体発光素子は発光ダイオードである、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 10 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 12】

窒化ガリウム系半導体からなる主面を有する基板を更に備え、
前記主面は半極性を示し、
前記窒化ガリウム系半導体領域は前記基板と前記正孔ブロック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 11 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。 10

【請求項 13】

前記基板は GaN からなる、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 12 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 14】

前記活性層は、井戸層及び障壁層を含む量子井戸構造を有し、
前記井戸層の数は 4 以下である、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 13 に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 15】

前記井戸層は、III 族として In を含む窒化ガリウム系半導体からなる、ことを特徴とする請求項 14 に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。 20

【請求項 16】

前記井戸層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなり、前記井戸層のインジウム組成 X は 0.15 以上である、ことを特徴とする請求項 14 または請求項 15 に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 17】

前記正孔ブロック層と前記窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、III 族元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体層を更に備え、
前記窒化ガリウム系半導体層のバンドギャップは前記正孔ブロック層のバンドギャップよりも小さく、
前記窒化ガリウム系半導体層のバンドギャップは前記窒化ガリウム系半導体領域のバンドギャップより小さい、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 16 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。 30

【請求項 18】

前記活性層は、450 nm 以上の波長領域にピーク波長を有するように設けられている、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 16 のいずれか一項に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 19】

III 族窒化物系半導体発光素子のためのエピタキシャルウエハであって、
所定の平面に沿って延びる主面を有しており、基板の主面上に設けられた n 型導電性の窒化ガリウム系半導体領域と、
前記窒化ガリウム系半導体領域の前記主面上に設けられ、第 1 の窒化ガリウム系半導体からなる正孔ブロック層と、
前記正孔ブロック層上に設けられた活性層と、
前記活性層上に設けられ、第 2 の窒化ガリウム系半導体からなる電子ブロック層と、
前記電子ブロック層上に設けられた p 型導電性窒化ガリウム系半導体領域とを備え、 40

前記活性層は前記正孔ブロック層と前記電子ブロック層との間に設けられ、
前記窒化ガリウム系半導体領域の c 軸は前記所定の平面の法線に対して傾斜しており、
前記正孔ブロック層のバンドギャップは前記窒化ガリウム系半導体領域のバンドギャップより大きい、ことを特徴とする請求項 19 に記載された III 族窒化物系半導体発光素子。 50

ブよりも大きく、

前記正孔ブロック層のバンドギャップは前記活性層におけるバンドギャップの最大値よりも大きく

前記正孔ブロック層の厚さは前記窒化ガリウム系半導体領域の厚さよりも薄い、ことを特徴とするエピタキシャルウエハ。

【請求項 20】

前記基板は GaN からなり、

前記基板の GaN の c 軸と前記基板の前記主面の法線との成す傾斜角は、10 度以上であり、80 度以下である、ことを特徴とする請求項 19 に記載されたエピタキシャルウエハ。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は III 族窒化物系半導体発光素子及びエピタキシャルウエハに関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、ダブルヘテロ構造の青色発光素子が記載されている。サファイア基板、SiC 基板や ZnO 基板といった異種基板上に、GaN からなる低温バッファ層が設けられている。このバッファ層上には、n 型 GaN 層（第一のクラッド層）、Zn ドープの InGaIn 層（発光層）、Mg ドープの p 型 GaN 層（第二のクラッド層）が順に成長される。

20

【特許文献 1】特開平 6 - 260683 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

特許文献 1 の青色発光素子は、c 面サファイア基板上に成長された InGaIn 発光層を含む。また、青色発光素子といった III 族窒化物系半導体発光素子は、c 面 GaN 基板上に作製されることができる。最近、極性の c 面とは異なる半極性や非極性の GaN 基板を用いて、III 族窒化物系半導体発光素子が作製されている。発明者らの実験によれば、半極性面上に成長された窒化ガリウム系半導体における正孔の振る舞いは、極性面上に成長された窒化ガリウム系半導体における正孔の振る舞いと異なっている。発明者らの具体的な検討によれば、半極性面上の窒化ガリウム系半導体における正孔の拡散長が、c 面上の窒化ガリウム系半導体における正孔の拡散長よりも大きい。これ故に、半極性基板上に作製された発光素子では、活性層に注入された正孔がこの活性層からオーバーフローしている。したがって、発光の量子効率が悪い。

30

【0004】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものであり、活性層からの正孔のオーバーフローを低減して量子効率を向上できる III 族窒化物系半導体発光素子を提供することを目的とし、またこの III 族窒化物系半導体発光素子のためのエピタキシャルウエハを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一側面に係る III 族窒化物系半導体発光素子は、(a) 所定の平面に沿って延びる主面を有する n 型の窒化ガリウム系半導体領域と、(b) p 型窒化ガリウム系半導体領域と、(c) 第 1 の窒化ガリウム系半導体からなる正孔ブロック層と、(d) 前記 p 型窒化ガリウム系半導体領域と前記正孔ブロック層との間に設けられ、窒化ガリウム系半導体からなる活性層とを備える。前記正孔ブロック層及び前記活性層は、前記窒化ガリウム系半導体領域の前記主面と前記 p 型窒化ガリウム系半導体領域との間に配置されており、前記窒化ガリウム系半導体領域の c 軸は前記所定の平面の法線に対して傾斜しており、前記正孔ブロック層のバンドギャップは前記活性層におけるバンドギャップの最大値よりも

50

大きく、前記正孔ブロック層の厚さは前記窒化ガリウム系半導体領域の厚さよりも薄い。

【0006】

このIII族窒化物系半導体発光素子によれば、活性層は、p型窒化ガリウム系半導体領域と正孔ブロック層との間に設けられているので、p型窒化ガリウム系半導体領域は活性層に正孔を供給する。正孔ブロック層のバンドギャップが窒化ガリウム系半導体領域のバンドギャップよりも大きいので、正孔ブロック層は、活性層内の正孔に対して障壁として作用する。故に、正孔ブロック層は、活性層内をオーバーフローして窒化ガリウム系半導体領域に到達する正孔の量を低減できる。また、正孔ブロック層の厚さが窒化ガリウム系半導体領域の厚さよりも薄いので、正孔ブロック層は、窒化ガリウム系半導体領域から活性層に供給される電子に対して大きな抵抗を示さない。

10

【0007】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子では、前記窒化ガリウム系半導体領域のc軸と前記所定の平面の法線との成す傾斜角は、10度以上であり、80度以下であることができる。

【0008】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子では、前記正孔ブロック層の厚さは5nm以上であることが好ましい。このIII族窒化物系半導体発光素子によれば、正孔のトンネリングが生じない。

【0009】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子では、前記正孔ブロック層の厚さは50nm以下であることが好ましい。このIII族窒化物系半導体発光素子によれば、n型の窒化ガリウム系半導体領域から活性層へ供給される電子に対して、正孔ブロック層が大きな抵抗を示すことがない。

20

【0010】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子では、前記正孔ブロック層には、n型ドーパントが添加されていることが好ましい。このIII族窒化物系半導体発光素子によれば、n型ドーパントの添加により正孔ブロック層の抵抗が低減される。

【0011】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子では、前記正孔ブロック層の前記第1の窒化ガリウム系半導体は、III族元素としてガリウム、インジウム及びアルミニウムを含むことが好ましい。このIII族窒化物系半導体発光素子によれば、四元混晶を用いることにより、正孔ブロック層は正孔に対する障壁だけでなく、所望の格子定数を提供できる。

30

【0012】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子では、前記正孔ブロック層の前記第1の窒化ガリウム系半導体は、III族としてインジウムを含み、前記正孔ブロック層のインジウム組成は0より大きく0.3以下であることができる。

【0013】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子では、前記正孔ブロック層はAlGaIn層を含むことができる。正孔ブロック層の材料として、InAlGaInだけでなく、AlGaInも用いることができる。AlGaInによれば、大きなバンドギャップを有する正孔ブロック層を提供できる。

40

【0014】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子では、前記正孔ブロック層の前記第1の窒化ガリウム系半導体は、III族としてアルミニウムを含むことができる前記正孔ブロック層のアルミニウム組成は0以上であり0.5以下であることが好ましい。

【0015】

本発明に係るIII族窒化物系半導体発光素子は、前記活性層と前記p型窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、第2の窒化ガリウム系半導体からなる電子ブロック層を更に備えることができる。前記正孔ブロック層の厚さは前記電子ブロック層の厚さよりも薄い。

50

【 0 0 1 6 】

本発明に係るⅢ族窒化物系半導体発光素子では、当該Ⅲ族窒化物系半導体発光素子は発光ダイオードであることができる。発光ダイオードは、半導体レーザと異なって、光学的なクラッド層を含まないので、正孔ブロック層が正孔のオーバーフローの低減に有効である。

【 0 0 1 7 】

本発明に係るⅢ族窒化物系半導体発光素子は、窒化ガリウム系半導体からなる主面を有する基板を更に備えることができる。前記主面が半極性を示す。前記窒化ガリウム系半導体領域は前記基板と前記正孔ブロック層との間に設けられている。このⅢ族窒化物系半導体発光素子は、半極性GaN主面上に作製されると共に、半極性に特有の正孔の振る舞いの影響をⅢ族窒化物系半導体発光素子において低減できる。

10

【 0 0 1 8 】

本発明に係るⅢ族窒化物系半導体発光素子では、前記基板はGaNからなることができる。このⅢ族窒化物系半導体発光素子は、大口径の半極性GaNウエハを用いて作製可能であると共に、半極性に特有の正孔の振る舞いの影響をⅢ族窒化物系半導体発光素子において低減できる。

【 0 0 1 9 】

本発明に係るⅢ族窒化物系半導体発光素子は、前記活性層は井戸層及び障壁層を含む量子井戸構造を有し、前記井戸層の数は4以下であることが好ましい。このⅢ族窒化物系半導体発光素子によれば、井戸層の数を増やすことは、逆に井戸層の結晶品質を低下させる可能性がある。一方、井戸層の数が少ないとき、正孔のオーバーフローの影響を受けやすい。

20

【 0 0 2 0 】

本発明に係るⅢ族窒化物系半導体発光素子は、前記井戸層は、Ⅲ族としてInを含む窒化ガリウム系半導体からなることが好ましい。このⅢ族窒化物系半導体発光素子によれば、幅広い波長範囲の発光を提供できる。

【 0 0 2 1 】

本発明に係るⅢ族窒化物系半導体発光素子では、前記井戸層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなり、前記井戸層のインジウム組成 x は0.15以上であることが好ましい。このⅢ族窒化物系半導体発光素子によれば、長波長の発光を実現できる。4元混晶を用いた正孔ブロック層と組み合わせることによって、高インジウム組成でありながら良好な結晶品質の井戸層を実現できる。

30

【 0 0 2 2 】

本発明に係るⅢ族窒化物系半導体発光素子は、前記正孔ブロック層と前記窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられ、Ⅲ族元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体層を更に備えることができる。前記窒化ガリウム系半導体層のバンドギャップは前記正孔ブロック層のバンドギャップよりも小さく、前記窒化ガリウム系半導体層のバンドギャップは前記窒化ガリウム系半導体領域のバンドギャップより小さい。このⅢ族窒化物系半導体発光素子によれば、高インジウム組成の井戸層を含む活性層へ印加される応力を低減できる。

40

【 0 0 2 3 】

本発明に係るⅢ族窒化物系半導体発光素子は、前記活性層は、450nm以上の波長領域にピーク波長を有するように設けられている。また、前記活性層は、650nm以下の波長領域にピーク波長を有するように設けられている。

【 0 0 2 4 】

本発明の別の側面に係る発明は、Ⅲ族窒化物系半導体発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)所定の平面に沿って延びる主面を有しており、基板の主面上に設けられたn型導電性の窒化ガリウム系半導体領域と、(b)前記窒化ガリウム系半導体領域の前記主面上に設けられ、第1の窒化ガリウム系半導体からなる正孔ブロック層と、(c)前記正孔ブロック層上に設けられた活性層と、(d)

50

前記活性層上に設けられ、第2の窒化ガリウム系半導体からなる電子ブロック層と、(e)前記電子ブロック層上に設けられたp型窒化ガリウム系半導体領域とを備える。前記活性層は前記正孔ブロック層と前記電子ブロック層との間に設けられており、前記窒化ガリウム系半導体領域のc軸は前記所定の平面の法線に対して傾斜しており、前記正孔ブロック層のバンドギャップは前記窒化ガリウム系半導体領域のバンドギャップよりも大きく、前記正孔ブロック層のバンドギャップは前記活性層におけるバンドギャップの最大値よりも大きく、前記正孔ブロック層の厚さは前記窒化ガリウム系半導体領域の厚さよりも薄い。

【0025】

このエピタキシャルウエハによれば、活性層は、p型窒化ガリウム系半導体領域と正孔ブロック層との間に設けられているので、p型窒化ガリウム系半導体領域は活性層に正孔を供給する。正孔ブロック層のバンドギャップが窒化ガリウム系半導体領域のバンドギャップよりも大きいので、正孔ブロック層は、活性層内の正孔に対して障壁を提供する。故に、正孔ブロック層は、活性層をオーバーフローして窒化ガリウム系半導体領域に到達する正孔の量を低減する。また、正孔ブロック層の厚さが窒化ガリウム系半導体領域の厚さよりも薄いので、正孔ブロック層は、窒化ガリウム系半導体領域から活性層に供給される電子に対して大きな抵抗を示さない。

10

【0026】

本発明に係るエピタキシャルウエハでは、前記基板はGaNからなり、前記基板のGaNのc軸と前記基板の前記主面の法線との成す傾斜角は、10度以上であり、80度以下であることが好ましい。

20

【0027】

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】

【0028】

以上説明したように、本発明の一側面によれば、活性層からの正孔のオーバーフローを低減して量子効率を向上できるIII族窒化物系半導体発光素子が提供される。また、本発明の別の側面によれば、III族窒化物系半導体発光素子のためのエピタキシャルウエハが提供される。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

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II族窒化物系半導体発光素子、及びエピタキシャルウエハ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。

【0030】

図1は、本実施の形態に係るIII族窒化物系半導体発光素子の構造を概略的に示す図面である。図1を参照すると、III族窒化物系半導体発光素子(以下、「発光素子」と記す)11のために直交座標系Sが示されている。図2は、発光素子11のバンドダイアグラムを示す図面である。発光素子11は、例えば発光ダイオードであることができる。発光素子11は、六方晶系のn型窒化ガリウム系半導体層(以下、「GaN系半導体層」と記す)13と、六方晶系のp型窒化ガリウム系半導体領域(以下、「GaN系半導体領域」と記す)15と、正孔ブロック層17と、活性層19とを備える。n型窒化ガリウム系半導体層13は、所定の平面に沿って延びる主面13aを有する。正孔ブロック層17は、窒化ガリウム系半導体からなり、例えばInAlGaN、AlGaN等からなることができる。活性層19は、窒化ガリウム系半導体からなり、またp型GaN系半導体領域15と正孔ブロック層17との間に設けられている。正孔ブロック層17及び活性層19は、n型GaN系半導体層13の主面13aとp型GaN系半導体領域15との間に配置されている。活性層19は、一又は複数の半導体層を含み、正孔ブロック層17上に設けられ

40

50

ている。窒化ガリウム系半導体領域（以下、「GaN系半導体領域」と記す）23はn導電性を有しており、六方晶系結晶からなる。また、GaN系半導体領域23は一又は複数の半導体層を含むことができる。例えば、n型GaN系半導体層13はGaN系半導体領域23に含まれる。GaN系半導体領域23は活性層19に電子を供給すると共に、p型GaN系半導体領域15は活性層19に正孔を供給する。n型GaN系半導体層13（同様に、GaN系半導体領域23）のc軸は所定の平面の法線に対して傾斜しており、正孔ブロック層17のバンドギャップG17は活性層19におけるバンドギャップの最大値G19よりも大きい。正孔ブロック層17の厚さD17はGaN系半導体領域23の厚さD23よりも薄い。p型GaN系半導体領域15は、例えばコンタクト層を含むことができる。

10

【0031】

この発光素子11によれば、活性層19は、p型GaN系半導体領域15と正孔ブロック層17との間に設けられているので、正孔Hはp型GaN系半導体領域15から活性層19に供給される。正孔ブロック層17のバンドギャップG17がGaN系半導体領域23のバンドギャップの最大値よりも大きいので、正孔ブロック層17は、活性層19をオーバーフローしようとする正孔に対して障壁 G_H として作用する。故に、正孔ブロック層17は、活性層19をオーバーフローしてGaN系半導体領域23に到達する正孔の量を低減する。また、正孔ブロック層17の厚さD17がGaN系半導体領域23の厚さD23よりも薄いので、正孔ブロック層17は、GaN系半導体領域23から活性層19に供給される電子Eに対して大きな抵抗を示さない。

20

【0032】

図1を参照すると、発光素子11では、GaN系半導体層13のc軸ベクトル V_c と所定の平面（又はGaN系半導体領域23の主面）の法線 V_n との成す傾斜角は10度以上であることができる。この傾斜角によれば、c面やa面及びm面上よりもキャリア、特に正孔の拡散長が大きく、電流注入した際に、活性層からn型GaN領域へと正孔がオーバーフローしやすい。また、傾斜角は80度以下であることができる。この傾斜角によれば、c面やa面及びm面上よりもキャリア、特に正孔の拡散長が大きく、電流注入した際に、活性層からn型GaN領域へと正孔がオーバーフローしやすい。

【0033】

発光素子11では、正孔のトンネリングを防止するために、正孔ブロック層17の厚さD17は5nm以上であることが好ましい。また、正孔ブロック層17の厚さD17は50nm以下であることが好ましい。この正孔ブロック層17によれば、GaN系半導体領域23から活性層19へ供給される電子Eに対して、正孔ブロック層17が大きな抵抗を示すことがなく、また、格子不整合に起因して生成され活性層に加えられる応力を低減できる。正孔ブロック層17は、アンドープであることができるが、n型ドーパントが正孔ブロック層17に添加されていることが好ましい。n型ドーパントの添加により正孔ブロック層17の抵抗が低減される。n型ドーパントとしては、例えばシリコン(Si)、炭素(C)等を用いることができる。

30

【0034】

発光素子11は、電子ブロック層25を更に備えることができる。GaN系半導体領域23、正孔ブロック層17、活性層19、電子ブロック層25及びp型GaN系半導体領域15は所定の軸Axに沿って配置されている。電子ブロック層25は、活性層19とp型GaN系半導体領域15との間に設けられている。また、電子ブロック層25は、窒化ガリウム系半導体からなり、例えばAlGaN、InAlGaN等からなることができる。例えば、正孔ブロック層17の厚さD17を電子ブロック層25の厚さD25より薄くすることができる。活性層19は正孔ブロック層17と電子ブロック層25との間に設けられている。電子ブロック層25の厚さD25はp型導電性GaN系半導体領域15の厚さよりも薄い。p型GaN系半導体領域15は、電子ブロック層25上に設けられている。電子ブロック層25の厚さは、例えば5nm以上であることができ、30nm以下であることができる。

40

50

【 0 0 3 5 】

活性層 19 は量子井戸構造 21 を有し、量子井戸構造 21 は、交互に配列された井戸層 21 a 及び障壁層 21 b を含む。量子井戸構造 21 では、井戸層 21 a の数は 1 以上であり、井戸層 21 a の数は 4 以下であることが好ましい。井戸層 21 a の数を増やすことは、逆に井戸層 21 a の結晶品質を低下させる可能性がある。この傾向は、特に、半極性面上に形成される井戸層に見られる。また、井戸数が多い活性層では、必然的に空乏層の厚みが増え、p 型領域と n 型領域が遠ざかって、キャリアオーバーフローの影響が低減される傾向になる。一方、井戸層 21 a の数が少ないとき、活性層 19 の厚さが大きくない。故に、発光特性は、正孔のオーバーフローの影響を受けやすい。したがって、上記の範囲が好適である。井戸層 21 a の厚さは、例えば 2 nm 以上であることができ、10 nm 以下であることができる。また障壁層 21 b の厚さは、例えば 10 nm 以上であることができ、30 nm 以下であることができる。活性層 19 の総厚は、100 nm 以下であることができる。

10

【 0 0 3 6 】

井戸層 21 a は、幅広い波長範囲の発光を提供するために、III 族として In を含む窒化ガリウム系半導体からなることが好ましい。具体的には、井戸層 21 a は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなり、井戸層 21 a のインジウム組成 X は 0.15 以上であることが好ましい。この組成範囲によれば、この発光素子 11 において、長波長の発光を実現できる。4 元混晶を用いた正孔ブロック層を用いることによって、高インジウム組成でありながら良好な結晶品質の InGa_N 井戸層を実現できる。また、井戸層 21 a のインジウム組成 X は 0.40 以下であることが好ましい。障壁層 21 b としては、Ga_N、InGa_N、AlGa_N 等の材料からなることができる。

20

【 0 0 3 7 】

活性層 19 は、450 nm 以上 650 nm 以下の波長領域にフォトルミネッセンス (PL) スペクトル、エレクトロルミネッセンス (EL) スペクトルのピーク波長を有するように設けられている。

【 0 0 3 8 】

発光素子 11 は、基板 27 を更に備えることができる。基板 27 は、窒化ガリウム系半導体からなり、また半極性を示す主面 27 a 及び裏面 27 b を有する。主面 27 a は、窒化ガリウム系半導体の c 軸に対して傾斜している。傾斜角は 10 度以上であり、また 80 度以下であることができる。

30

【 0 0 3 9 】

GaN 系半導体領域 23 は基板 27 と正孔ブロック層 17 との間に設けられている。GaN 系半導体領域 23 は、互いに対向する一対の面を有しており、GaN 系半導体領域 23 の一方の面は基板 27 の主面 27 a に接触しており、また他方の面は正孔ブロック層 17 に接触している。この発光素子 11 は、半極性主面 27 a 上へのエピタキシャル成長により作製されると共に、半極性特有の正孔の振る舞いの影響を発光素子 11 において低減できる。基板は Ga_N、InGa_N からなることができる。基板が Ga_N からなるとき、この発光素子 11 は、大口径の半極性 Ga_N ウエハを用いて作製可能である。

40

【 0 0 4 0 】

基板主面が c 面から m 面方向に傾斜するとき、井戸層と障壁層の格子定数の違いから、井戸層にかかる歪みによって生じるピエゾ電界が小さい。また、基板主面が c 面から a 面方向に傾斜するとき、井戸層と障壁層の格子定数の違いから、井戸層にかかる歪みによって生じるピエゾ電界が小さい。

【 0 0 4 1 】

発光素子 11 は、III 族元素としてインジウムを含む窒化ガリウム系半導体層 (以下、「Ga_N 系半導体層」と記す) 29 を更に備えることができる。Ga_N 系半導体層 29 は、正孔ブロック層 17 と Ga_N 系半導体層 13 との間に設けられている。Ga_N 系半導体層 29 は、例えば InGa_N であることができる。Ga_N 系半導体層 29 のバンドギャッ

50

ブ G 2 9 は正孔ブロック層 1 7 のバンドギャップ G 1 7 よりも小さい。G a N 系半導体層 2 9 のバンドギャップ G 2 9 は G a N 系半導体層 1 3 のバンドギャップ G 1 3 より小さい。この G a N 系半導体層 2 9 によれば、高インジウム組成の井戸層を作製する際に、活性層 1 9 への歪みを低減できる。

【 0 0 4 2 】

発光素子 1 1 は、G a N 系半導体層 2 9 と正孔ブロック層 1 7 との間に設けられた窒化ガリウム系半導体層（以下、「G a N 系半導体層」と記す）3 1 を更に備えることができる。G a N 系半導体層 3 1 は例えば G a N 等からなることができる。この G a N 系半導体層 3 1 によれば、G a N 系半導体層 2 9 と正孔ブロック層 1 7 との格子定数差を緩和できる。G a N 系半導体層 3 1 の厚さは、G a N 系半導体層 2 9 の及び n 型 G a N 系半導体層 1 3 の厚さより薄い。

10

【 0 0 4 3 】

図 2 を参照すると、正孔ブロック層 1 7 のバンドギャップ G 1 7 は、正孔ブロック層 1 7 と基板 2 7 との間に設けられ G a N 系半導体領域 2 3 に含まれる半導体層のバンドギャップの最大値よりも大きい。

【 0 0 4 4 】

正孔ブロック層 1 7 は、III 族元素としてガリウム、インジウム及びアルミニウムを含む窒化ガリウム系半導体からなることが好ましい。三元混晶ではなく例えば四元混晶を用いることにより、正孔ブロック層 1 7 は正孔に対する障壁だけでなく、活性層への応力を低減できる格子定数を提供できる。例えば、正孔ブロック層 1 7 が四元混晶からなるとき、活性層 1 9 への応力を低減できる。

20

【 0 0 4 5 】

I n A l G a N からなる正孔ブロック層 1 7 は、III 族元素としてアルミニウムを含む。正孔ブロック層 1 7 が、構成元素としてアルミニウムを含むとき、G a N よりもバンドギャップを大きくでき、正孔に対する障壁となり得る。正孔ブロック層 1 7 のアルミニウム組成が 0 . 5 以下であるとき、正孔の障壁の効果は十分でありながら、隣接する層との格子定数差が大きくなりすぎず、クラック等が入らない。

【 0 0 4 6 】

I n A l G a N からなる正孔ブロック層 1 7 は III 族としてインジウムを含み、正孔ブロック層 1 7 のインジウム組成は 0 より大きく 0 . 3 以下であることができる。正孔ブロック層 1 7 がインジウム元素を含むとき、I n を含まない場合と同じバンドギャップの正孔ブロック層を作製したときに、正孔ブロック層の格子定数を大きくすることができ、障壁層や井戸層との格子定数差を小さくすることができ、全体の歪みを緩和できる。正孔ブロック層 1 7 のインジウム組成が 0 . 3 以下であるとき、同じバンドギャップの大きさの正孔ブロック層を作製する際に、A l 組成を極端に高める必要がなく、成長がしやすい。

30

【 0 0 4 7 】

正孔ブロック層 1 7 は A l G a N 層を含むことができる。正孔ブロック層 1 7 の材料として、I n A l G a N だけでなく、A l G a N も用いることができる。A l G a N によれば、大きなバンドギャップを有する正孔ブロック層 1 7 を提供できる。

【 0 0 4 8 】

A l G a N からなる正孔ブロック層 1 7 は III 族としてアルミニウムを含むことができる。正孔ブロック層 1 7 が構成元素としてアルミニウムを含むとき、G a N よりもバンドギャップを大きくでき、正孔に対する障壁となり得る。正孔ブロック層 1 7 のアルミニウム組成が 0 . 5 以下であるとき、正孔の障壁の効果は十分でありながら、隣接する層との格子定数差が大きくなりすぎず、クラック等が入らない。

40

【 0 0 4 9 】

発光素子 1 1 、例えば発光ダイオードでは、発光素子 1 1 の上面から光 L が出射される。発光ダイオードは、半導体レーザと異なって、光学的なクラッド層を含まないので、正孔ブロック層が正孔のオーバーフローの低減に有効である。

【 0 0 5 0 】

50

図 3 及び図 4 は、III 族窒化物系半導体発光素子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 5 は、図 3 及び図 4 に示された作製方法の主要な工程における生産物を示す図面である。

【0051】

有機金属気相成長法により青色発光ダイオード構造を作製した。原料にはトリメチルガリウム (TMG)、トリメチルアルミニウム (TMA)、トリメチルインジウム (TMI)、アンモニア (NH_3) を用いた。ドーパントガスとして、シラン (SiH_4) 及びビスシクロペンタジエニルマグネシウム (Cp_2Mg) を用いた。

【0052】

まず、工程フロー 100 を参照しながら、エピタキシャルウエハを作製する。工程 S 101 では、図 5 (a) に示されるように、六方晶系半極性窒化ガリウムウエハを準備した。窒化ガリウムウエハの主面は c 面から m 面方向及び a 面方向に $10 \sim 80$ 度の角度で傾斜している。窒化ガリウムウエハのサイズは、例えば 2 インチ以上である。反応炉内に GaN ウエハ 41 を設置した後に、工程 S 102 では、摂氏 1100 度の温度及び成長炉内圧力 27 kPa で、 NH_3 と H_2 を流しながら、10 分間の熱処理を行った。

【0053】

工程 S 103 では、図 5 (b) に示されるように、n 型の窒化ガリウム系半導体領域 43 をエピタキシャルに成長した。具体的には、工程 S 103 - 1 において、摂氏 1150 度の温度で、Si ドープした GaN 層 43a を成長した。この GaN 層 43a の厚さは例えば $2 \mu\text{m}$ であった。その後、摂氏 780 度に基板温度を下げた後に、工程 S 103 - 2 において、TMG、TMI、 SiH_4 を成長炉に供給して、Si ドープした $\text{In}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 緩衝層 43b をエピタキシャルに成長した。 $\text{In}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 緩衝層 43b の厚さは、 100 nm であった。必要な場合には、基板温度を摂氏 870 度に上昇した後に、工程 S 103 - 3 において、Si ドープした GaN 層 43c をエピタキシャルに成長した。この GaN 層 43c の厚さは例えば 10 nm であった。

【0054】

工程 S 104 では、基板温度を摂氏 870 度に上昇した後に、図 5 (c) に示されるように、正孔ブロック層 45 をエピタキシャルに成長した。正孔ブロック層 45 は Si ドープした $\text{Al}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$ 層であり、その厚さは 10 nm であった。

【0055】

工程 S 105 では、図 5 (d) に示されるように、活性層 47 をエピタキシャルに成長した。具体的には、工程 S 105 - 1 において、摂氏 870 度の基板温度で、厚さ 10 nm の GaN 障壁層 47a を成長した。工程 S 105 - 2 において、摂氏 700 度まで基板温度を下げた後に、厚さ 4 nm の $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ 井戸層 47b を成長した。その後、摂氏 870 度まで基板温度を上げた後に、工程 S 105 - 3 において、摂氏 870 度の基板温度で、厚さ 15 nm の GaN 障壁層 47c を成長した。必要な場合には、工程 S 105 - 4 において、井戸層の成長及び障壁層の成長を繰り返す。

【0056】

工程 S 106 では、TMG と TMI の供給を停止すると共にアンモニアを供給したながら基板温度を摂氏 1100 度に上昇した。この後に、TMG、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg を成長炉に導入して、図 5 (e) に示されるように、厚さ 20 nm の Mg ドープ p 型 $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ 層 49 をエピタキシャルに成長した。この後、工程 S 107 において、TMA の供給を停止して、図 5 (f) に示されるように、厚さ 50 nm の p 型 GaN 層 51 をエピタキシャルに成長した。基板温度を室温まで降温した後に、エピタキシャルウエハ EPI を成長炉から取り出した。n 層側の正孔ブロック層の働きを実証するために、正孔ブロック層である n 型 AlGaIn 層を作製しない LED 構造を作製した。

【0057】

工程 S 108 において、p 型窒化ガリウム系半導体領域上にアノード電極 53a を形成して p 型コンタクト層 51 に電氣的な接続を成すと共に基板の裏面を研削した後に該裏面にカソード電極 53b を形成して、図 6 に示されるような基板生産物 SP を作製した。こ

10

20

30

40

50

これらの電極は蒸着により作製された。

【0058】

基板生産物SPに電流注入による発光測定を行った。図7は、エレクトロルミネッセンススペクトルを示す図面である。図7(a)を参照すると、LED構造へ電流10mA、20mA、30mA、40mA、60mA、100mA、140mA、180mAに対応する特性線C1～C8が示されており、図7(b)を参照すると、LED構造へ電流10mA、20mA、30mA、40mA、60mA、100mA、140mA、180mAに対応する特性線P1～P8が示されている。図7を参照すると、正孔ブロック層なしのLED構造では、図7(a)に示されるように、下地緩衝層からの発光が強く観測され、これはn側への正孔のオーバーフローが顕著であることを示している。これに対して、n型AlGaIn層からなる正孔ブロック層を有するLED構造では、下地緩衝層からの発光は観測されず、井戸層からの発光が強い。これはn側のブロック層により井戸層からn側領域への正孔オーバーフローが抑制され、井戸層に効率的に正孔が閉じ込めされたことを示している。

10

【0059】

AlGaIn層は格子定数が小さく、格子定数の大きいInGaIn活性層との格子定数差は大きい。活性層と基板との間にAlGaIn層を設けられることで、活性層に印加される応力が大きくなり。これは、発光効率の低下を引き起こす可能性がある。これを避けるために、正孔ブロック層として4元混晶InAlGaInを用いることが好適である。正孔ブロック層として十分に大きなバンドギャップを実現できる一方で、井戸層と正孔ブロック層との格子定数差を小さくする組成を実現できる。これによって、正孔ブロックの効果を得られると共に、井戸層の歪みを低減できる。4元混晶InAlGaInを用いることは、特にInGaIn井戸層のIn組成の高い、たとえば500nm以上の長波長領域の光を出射する発光ダイオード構造に好適である。

20

【0060】

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は権利を請求する。

30

【産業上の利用可能性】

【0061】

本実施例では、オフ基板上に発光ダイオード構造を成長する際に、n層側にも正孔ブロック層となるn型AlGaIn層またはn型InAlGaIn層を成長している。オフ基板上のエピタキシャル膜は大きな正孔拡散長を示すので、極性面上に成長されたに発光ダイオード構造では観測されない、正孔オーバーフローが発生する。

【0062】

オフ基板上でn側に正孔ブロック層を設けることによって、電流注入の際の井戸層からn層側への正孔オーバーフローが抑制され、井戸層へキャリアが効率的に注入され、内部量子効率が向上し、発光強度が向上する

40

【図面の簡単な説明】

【0063】

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

【図2】図2は、図1に示されたIII族窒化物系半導体発光素子のバンドダイアグラムを示す図面である。

【図3】図3は、III族窒化物系半導体発光素子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、III族窒化物系半導体発光素子を作製する方法における主要な工程を示す図面である。

50

【図 5】図 5 は、図 3 及び図 4 に示された作製方法の主要な工程における生産物を示す図面である。

【図 6】図 6 は、基板生産物の構造を示す図面である。

【図 7】図 7 は、エレクトロルミネッセンススペクトルを示す図面である。

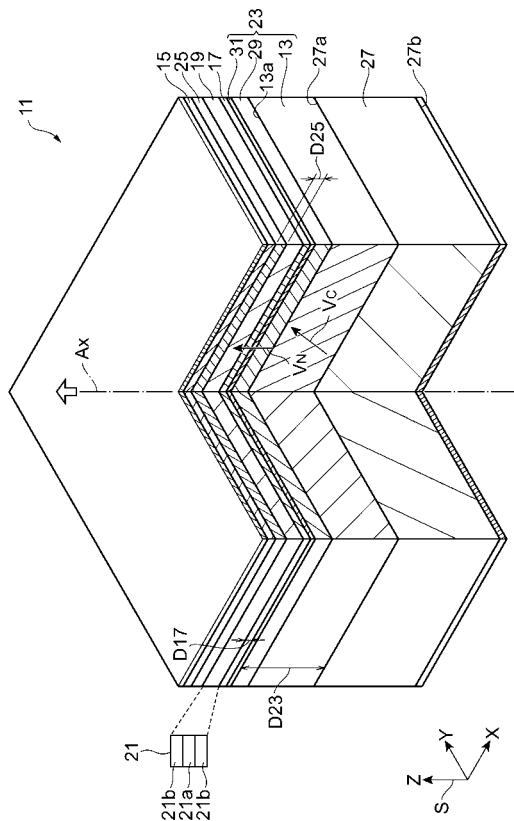
【符号の説明】

【0064】

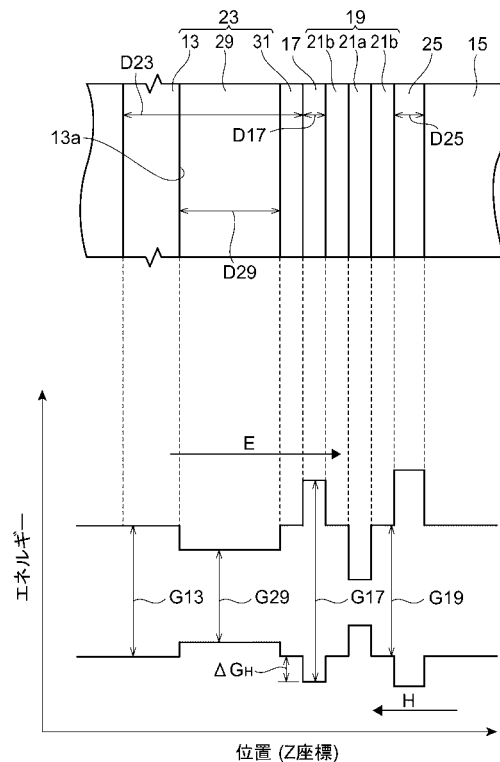
11 ... III 族窒化物系半導体発光素子（発光素子）、13 ... n 型窒化ガリウム系半導体層（n 型 GaN 系半導体層）、15 ... p 型窒化ガリウム系半導体領域（p 型 GaN 系半導体領域）、17 ... 正孔ブロック層、19 ... 活性層、21 ... 量子井戸構造、21a ... 井戸層、21b ... 障壁層、23 ... 窒化ガリウム系半導体領域（GaN 系半導体領域）、25 ... 電子ブロック層、27 ... 基板、29 ... 窒化ガリウム系半導体層（GaN 系半導体領域）、31 ... 窒化ガリウム系半導体層（GaN 系半導体領域）、41 ... GaN ウエハ、43a ... Si ドープ GaN 層、43b ... Si ドープ In_{0.04}Ga_{0.96}N 緩衝層、43c ... Si ドープ GaN 層、45 ... 正孔ブロック層、47 ... 活性層、47a ... GaN 障壁層、47b ... In_{0.25}Ga_{0.75}N 井戸層、47c ... GaN 障壁層、49 ... Mg ドープ p 型 AlGaIn 層、51 ... p 型 GaN 層

10

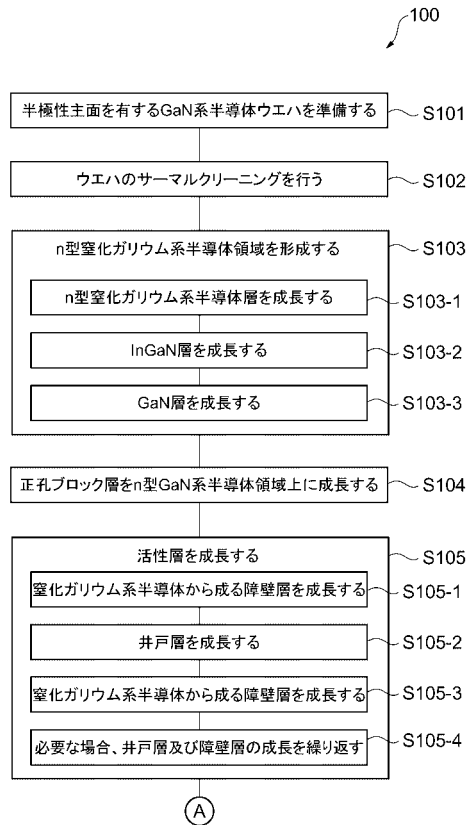
【図 1】



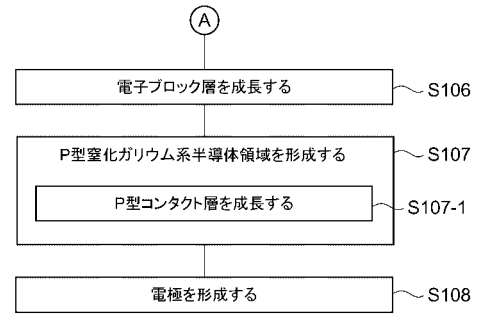
【図 2】



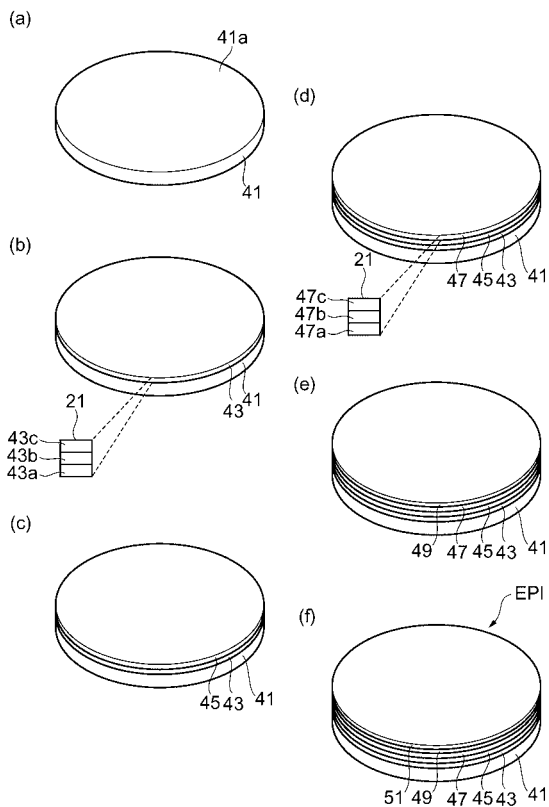
【図 3】



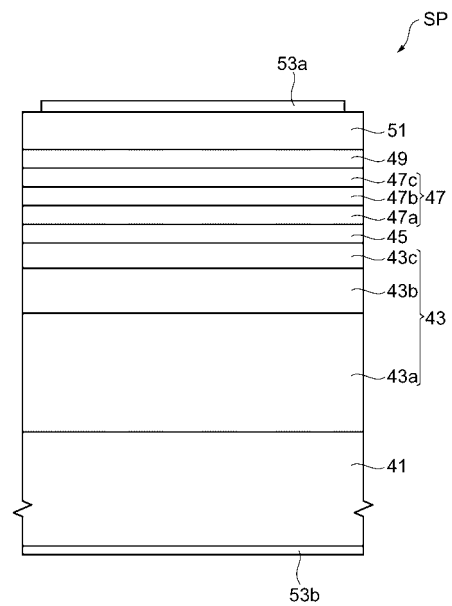
【図 4】



【図 5】

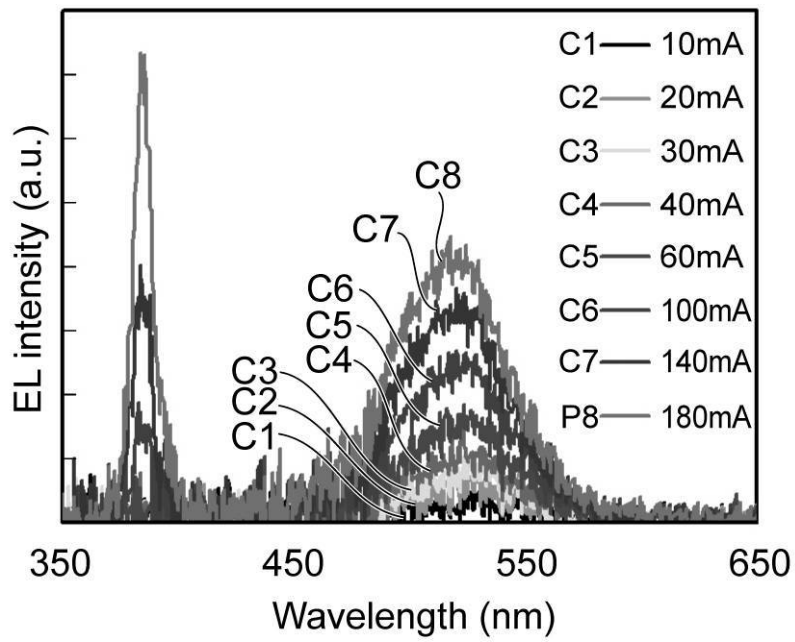


【図 6】

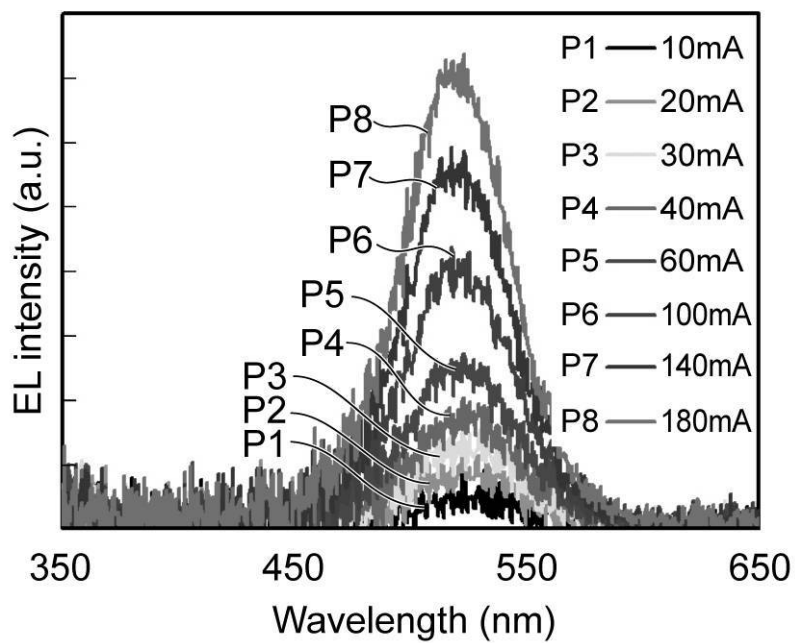


【 図 7 】

(a)



(b)



フロントページの続き

- (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 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
- Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA40