

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 12 月 15 日(15.12.2016)



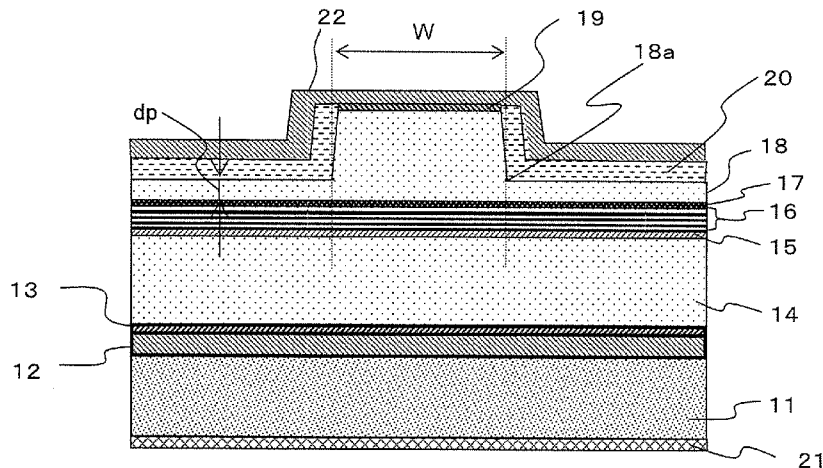
(10) 国際公開番号

WO 2016/199363 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 5/343 (2006.01) H01S 5/22 (2006.01)
H01S 5/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/002523
- (22) 国際出願日: 2016 年 5 月 25 日(25.05.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-116141 2015 年 6 月 8 日(08.06.2015) JP
- (71) 出願人: パナソニック IP マネジメント株式会社 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見 2 丁目 1 番 6 1 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 高山 徹(TAKAYAMA, Toru).
- (74) 代理人: 鎌田 健司, 外(KAMATA, Kenji et al.); 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見 2 丁目 1 番 6 1 号 パナソニック IP マネジメント株式会社内 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: LIGHT EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 発光素子



(57) Abstract: Disclosed is a light emitting element that is provided with: a GaN substrate (11); a first distortion correction layer (12), which is formed on the GaN substrate (11), and is formed of n-type $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$); and a first low refractive index layer (13), which is formed on the first distortion correction layer (12), and is formed of n-type $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$, said first low refractive index layer having relationships of $(a/0.98) + (b/0.8) \geq 1$, $(a/1.02) + (b/0.85) \leq 1$, and $(a/1.03) + (b/0.68) \geq 1$. The light emitting element is also provided with: a first cladding layer (14), which is formed on the first low refractive index layer (13), and is formed of n-type $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0.03 \leq z \leq 0.06$), said first cladding layer having a higher refractive index than the first low refractive index layer (13); and an active layer (16) formed on the first cladding layer (14).

(57) 要約: 本開示の発光素子は、GaN基板(11)と、GaN基板(11)上に形成された、n型の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$)よりなる第1歪補正層(12)と、第1歪補正層(12)の上に形成された、n型の $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ からなり、かつ $(a/0.98) + (b/0.8) \geq 1$ 、 $(a/1.02) + (b/0.85) \leq 1$ および $(a/1.03) + (b/0.68) \geq 1$ の関係を有する第1低屈折率層(13)と、を備えている。そして、さらに、第1低屈折率層(13)の上に形成された、n型の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0.03 \leq z \leq 0.06$)からなり、かつ第1低屈折率層(13)よりも屈折率の高い第1クラッド層(14)と、第1クラッド層(14)の上に形成された活性層(16)と、を備えている。

WO 2016/199363 A1

明 細 書

発明の名称：発光素子

技術分野

[0001] 本開示は、高出力の光源に関し、特に窒化物半導体よりなる発光素子に関する。

背景技術

[0002] 従来、大画面の画像を効率的に得るための一形態として、映像信号に応じた画像を形成する小型の液晶パネル等の空間光変調素子を、ランプなどの光源からの光で照明し、投射レンズによってその光学像をスクリーン上に拡大投射する投射型画像表示装置としてプロジェクタが広く用いられている。このようなプロジェクタなどの投射型画像表示装置においては、可視光の波長帯域で高い発光効率を得られる超高圧水銀ランプで光源を構成することが一般的である。

[0003] これに対して、昨今、プロジェクタの光源に高圧水銀ランプではなく、半導体素子であるLED (Light Emitting Diode) が用いられている。LEDプロジェクタは消費電力が低く、静音性が高く、ランプ寿命が長いといった特徴があり、本体サイズも小型になる。

[0004] しかしながら、LEDは発光層である活性層における自然放出光を利用しているために輝度が十分とはいえない。このため、光源にワット級（すなわち1W以上）の大出力が可能な半導体レーザにより蛍光体を励起し、可視域の光に対して十分な輝度を得ることが可能なレーザプロジェクタが注目されている。

[0005] 一般式が $In_{1-x-y}Ga_xAl_yN$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) で表される窒化物系材料を用いた半導体レーザ（窒化物系半導体レーザ）は、可視光から紫外光まで発光可能であり、上記レーザプロジェクタの光源として好適である。

[0006] 例えば、窒化物系半導体レーザで青色、緑色光の光源を形成し、AlGa

Ⅱ n P系材料を用いたレーザを赤色光源とすれば、小型低消費電力のレーザプロジェクタを実現することができる。

[0007] ここで、プロジェクタ光源に使用される半導体レーザには、ワット級の大出力動作のみならず、50℃以上の高温動作時においても10000時間以上の長期動作が要望されている。

[0008] これに対し、例えば、図11に示す特許文献1にかかる従来の発明において発振波長430nm帯の窒化物系青色レーザに関する技術（第1の従来技術）が開示されている。

[0009] この従来の発明においては、Ga N基板101上に、Al_{0.05}Ga_{0.95}Nバッファ層102、n型コンタクト層103、クラック防止層104、n型クラッド層105、n型光ガイド層106、n側第1窒化物半導体層131b、多重量子井戸活性層107、p型電子閉じ込め層108、p側第1窒化物半導体層131a、p型光ガイド層109、p型クラッド層110、およびp型コンタクト層111よりなる積層構造にリッジストライプを形成することにより発振波長448nmにおいてレーザ発振を得ている。n型コンタクト層103は、SiドープAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる。クラック防止層104は、In_{0.06}Ga_{0.94}Nからなり厚さ0.15μmである。n型クラッド層105は、厚さ2.5nmのアンダープAl_{0.05}Ga_{0.95}Nと厚さ2.5nmのSiドープGa Nとからなる組み合わせを200回繰り返した超格子である。n型光ガイド層106は、アンダープのGa Nからなり、厚さ0.1μmである。n側第1窒化物半導体層131bは、厚さ50nmのSiドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる。多重量子井戸活性層107は、厚さ13nmのアンダープのIn_{0.05}Ga_{0.95}Nの障壁層が3層とアンダープのIn_{0.32}Ga_{0.68}Nよりなる厚さ2.5nmの井戸層が2層とからなる。p型電子閉じ込め層108は、厚さ10nmのMgドープAl_{0.3}Ga_{0.7}N層からなる。p側第1窒化物半導体層131aは、厚さ50nmのMgドープIn_{0.05}Ga_{0.95}N層からなる。p型光ガイド層109は、厚さ0.15μmのアンダープのGa Nからなる。p型クラッド層110は、厚さ2.5

n m のアンドープ $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ と厚さ 2.5 nm の Mg ドープ GaN とからなる組み合わせを 90 回繰り返した厚さ 0.45 μm の超格子である。p 型コンタクト層 111 は、厚さ 15 nm の Mg ドープの p 型 GaN 層からなる。

[0010] 図 11 に示す従来構造においては、n 型クラッド層 105 と p 型クラッド層 110 により、多重量子井戸活性層への垂直方向（本願において、基板の法線方向を垂直方向と呼ぶ。また、レーザ共振器端面に平行で基板の法線方向に垂直な方向を水平方向と呼ぶ。）の光閉じ込めを行い、p 型クラッド層 110 に形成したリッジにより水平方向の光閉じ込めを行い、レーザ発振を可能としている。

[0011] また、従来の発明においては、p 型電子閉じ込め層 108 と p 型クラッド層 110 との間に備えた、厚さ 50 nm の Mg ドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層よりなる第 1 窒化物半導体層 131a と厚さ 0.15 μm のアンドープの GaN よりなる p 型光ガイド層 109 とにより、光分布の活性層への垂直方向の光閉じ込め率を増大している。

[0012] また、p 型電子閉じ込め層 108 により、活性層に注入した電子が p 型クラッド層へ漏れるキャリアオーバーフローを低減している。

[0013] この構造において、量子井戸活性層に厚さ 2.5 nm、In 組成 0.32 の InGaN ウェル層を 2 層用いることで、温度特性の向上とレーザ発振しきい電流値の低減を図った波長 448 nm の青色レーザを実現している。

[0014] なお、以下 3 元混晶である $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) を AlGaIn 、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$) を InGaIn 、4 元混晶である $\text{In}_y\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$) を InAlGaIn と表記することがある。

先行技術文献

特許文献

[0015] 特許文献1：特開 2002-270971 号公報

特許文献2：特開 2006-165453 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0016] プロジェクタ光源に使用される半導体レーザ素子には、ワット級の大出力動作のみならず、50℃以上の高温動作時においても10000時間以上の長期動作が要望されている。従って、波長445nm帯の青色域、及び、波長530nm帯の緑色域において、高温、高出力動作可能な半導体レーザを実現する必要がある。
- [0017] ここで、発振波長が405nmの青紫色域から530nmの青色域へと長波長化するに伴い、活性層に広く用いられるInGaIn層と、クラッド層に広く用いられるAlGaIn層との屈折率差が小さくなる。このため、クラッド層にAlGaIn材料を用いた窒化物系レーザにおいては、波長405nm帯の青紫色レーザに対して長波長の発振波長445nm帯の青色レーザ、さらに長波長の発振波長530nm帯の緑色レーザのように、波長が長い発振波長域の窒化物レーザは、垂直方向の光閉じ込めが小さくなるという課題がある。
- [0018] この課題を解決するためには、クラッド層に用いるAlGaIn層のAl組成を0.1以上に高くすれば良いが、この場合、AlGaIn層と活性層に用いるInGaIn層の熱膨張係数の差が大きくなり、クラックや格子欠陥が発生してしまう。
- [0019] 本開示は、上記課題を解決するためになされたものであり、波長445nm帯のレーザにおいて、クラックの発生を抑制するためにInGaInバッファ層を用いた構造において、 ΔN の低下、光閉じ込め係数の低下を抑制可能なレーザを実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0020] 上記課題を解決するために、本開示の発光素子は、GaIn基板と、GaIn基板上に形成された、第1導電型の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.01 \leq x \leq 0.03$)よりなる第1歪補正層と、第1歪補正層の上に形成された、第1導電型の $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ からなり、かつ $(a/0.98) + (b/0.8) \geq$

1、 $(a/1.02) + (b/0.85) \leq 1$ 、 $(a/1.03) + (b/0.68) \geq 1$ の関係を有する第1低屈折率層と、第1低屈折率層の上に形成された、第1導電型の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0.03 \leq z \leq 0.06$) からなり、かつ第1低屈折率層よりも屈折率の高い第1クラッド層と、第1クラッド層の上に形成された活性層と、を備えている。

[0021] 上記構成において、 $(a/0.98) + (b/0.8) \geq 1$ 、 $(a/1.02) + (b/0.85) \leq 1$ 、 $(a/1.03) + (b/0.68) \geq 1$ の関係を有することにより、第1導電型の $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ からなる第1低屈折率層は、Al組成が0.06の AlGaIn よりも屈折率が低く、かつ、 GaN との格子定数の差を、Al組成が0.1の AlGaIn と GaN との間の格子定数の差よりも小さくすることができる。さらに第1導電型の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ からなる第1クラッド層のAl組成 z の範囲を、 $0.03 \leq z \leq 0.06$ とすることで、第1低屈折率層の屈折率は、第1クラッド層の屈折率よりも低くすることが可能となる。その結果、垂直方向の光分布が、屈折率の低い第1低屈折率層で減衰するため、屈折率の高い第1歪補正層の影響を受けにくくなり、 ΔN の低下を抑制することができる。また、第1低屈折率層により、垂直方向の光分布の GaN 基板方向への拡がりが増加するため、光閉じ込め係数が小さくなるのを防止することができる。

[0022] 本開示の発光素子は、さらに、活性層の上に形成され、第2導電型の $\text{Al}_t\text{Ga}_{1-t}\text{N}$ ($0 \leq t \leq 1$) からなり、かつ GaN 基板より活性層へ向う方向に凸となるリッジ部を有する第2クラッド層と、を備えることが好ましい。

[0023] 本開示の発光素子は、さらに、第1歪補正層のIn組成 x の範囲を、 $0.01 \leq x \leq 0.03$ とすることが好ましい。この好ましい構成によれば、圧縮性の歪がかかる第1歪補正層の上に結晶成長した第1クラッド層、第2クラッド層で生じる引っ張り性の歪を補償できるため、 GaN 基板上に形成したダブルヘテロ構造の全体の平均的な歪の大きさが低減し、クラックの発生を抑制することができる。

[0024] この結果、クラックの発生を抑制しつつ、 ΔN の低下、光閉じ込め係数の

低下を抑制することができる。

[0025] 本開示の発光素子は、さらに、第1歪補正層の層厚が $0.1\ \mu\text{m}$ 以上かつ $0.2\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。この好ましい構成によれば、第1歪補正層で格子欠陥が生じるのを抑制でき、第1クラッド層および第2クラッド層で生じる引っ張り性の応力を補償でき、クラックの発生を抑制することができる。

[0026] 本開示の発光素子は、さらに、第1低屈折率層は、第1導電型の $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0.06 \leq b \leq 0.1$)より形成されていることが好ましい。

[0027] 本開示の発光素子は、さらに、第1低屈折率層の層厚は $10\ \text{nm}$ 以上かつ $100\ \text{nm}$ 以下であることが好ましい。この好ましい構成によれば、第1低屈折率層の層厚を $10\ \text{nm}$ 以上かつ $100\ \text{nm}$ 以下とすることにより、発光素子の動作電圧の増大を防止でき、 ΔN の低下と光閉じ込め係数の低下とを抑制することができる。

[0028] 本開示の発光素子の好ましい構成は、さらに、第1低屈折率層が、平均原子組成が $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ の単一量子井戸構造または多重量子井戸である。

[0029] この好ましい構成とすることで、多重量子井戸低屈折率層を構成する各層の層厚を臨界層厚以下とすることで、第1低屈折率層での格子欠陥の発生を抑制することが可能となる。この結果、素子の長期動作における信頼性が向上する。

[0030] 本開示の発光素子は、さらに、第1クラッド層において、 $z \leq 0.04$ であることが好ましい。

[0031] 本開示の発光素子は、さらに、第1クラッド層において、層厚が $1\ \mu\text{m}$ 以下であり、かつ $0.03 \leq z \leq 0.04$ であることが好ましい。この好ましい構成によれば、層全体の平均歪を圧縮性の歪とすることが可能となる。この場合、活性層に注入されたキャリアのオーバーフローが抑制されるため、発光素子の高温動作特性が向上し、動作電流値が小さくなる。そのため、発光素子の長期動作に関する信頼性が向上する。

- [0032] 本開示の発光素子は、さらに、Ga_{1-s}N基板と、第1歪補正層との間には、Ga_{1-s}N基板より第1導電型のAl_sGa_{1-s}N ($0 < s \leq 0.01$) よりなる第2歪補正層を備えていることが好ましい。この好ましい構成とすること、すなわちAl_sGa_{1-s}Nよりなる第2歪補正層のAl組成を0.01以下とすることにより、第2歪補正層の臨界層厚を300nm以上とすることができ、Ga_{1-s}N基板との格子不整合による格子欠陥の発生を抑制することが可能となる。
- [0033] 本開示の発光素子は、さらに、第2歪補正層と第1歪補正層との間に第1導電型のGa_{1-s}Nよりなる中間層が順次形成されたことが好ましい。この好ましい構成によれば、第2歪補正層の上にGa_{1-s}Nよりなる中間層を備えることにより結晶性を回復させることができる。そしてその上に第1歪補正層を形成することで、第1歪補正層を形成しても、引っ張り性の歪が生じる第2歪補正層と、圧縮性の歪が生じる第1歪補正層とで、歪を補償することができるため、中間層と第1歪補正層との界面での格子欠陥の発生を抑制することが可能となる。この結果、素子の長期動作信頼性の劣化を防止することが可能となる。
- [0034] 本開示の発光素子は、さらに、活性層と、第2クラッド層との間に、第2導電型のAl_hGa_{1-h}N ($0 < h \leq 1$) よりなる電子障壁層を備えることが好ましい。
- [0035] 本開示の発光素子は、さらに、電子障壁層は、圧縮歪を有することが好ましい。
- [0036] 本開示の発光素子は、さらに、第2クラッド層は、圧縮歪を有することが好ましい。
- [0037] 本開示の発光素子は、さらに、活性層は、In_fGa_{1-f}N ($0 < f \leq 1$) よりなるウェル層と、Al_gGa_{1-g}N ($0 \leq g \leq 1$) よりなるバリア層とを少なくとも1層含む量子井戸であることが好ましい。
- [0038] 本開示の発光素子は、さらに、活性層は、ウェル層を少なくとも2層含む、多重量子井戸であることが好ましい。

[0039] 本開示の発光素子は、さらに、活性層は、2重量量子井戸または3重量量子井戸であることが好ましい。

[0040] 本開示の発光素子は、さらに、活性層の特性波長は445nm以上であることが好ましい。

発明の効果

[0041] 本開示の発光素子により、波長445nm帯以上の長波長のレーザにおいて、クラックの発生を抑制するためにInGa_{0.99}Nバッファ層を用いた構造において、 ΔN の低下、光閉じ込め係数の低下を抑制できる。

[0042] この結果、長期信頼性動作に優れ、高温動作時において温度特性に優れた発光波長445nm帯以上の長波長帯のワット級の窒化物系ワット級レーザを実現できる。

図面の簡単な説明

[0043] [図1]図1は、本開示の第1の実施形態にかかる発光素子の層構造を示す断面図である。

[図2]図2は、同発光素子の、Ga_{0.99}N基板11の主面に垂直な方向の光分布を示す図である。

[図3]図3は、同発光素子に関する ΔN の、第1低屈折率層13のAl組成依存性を示すグラフ図である。

[図4A]図4Aは、同発光素子に関し、第1歪補正層12のIn組成が4%の場合における ΔN の第1低屈折率層13の組成および層厚依存性を示す図である。

[図4B]図4Bは、同発光素子に関し、第1歪補正層12のIn組成が3%の場合における ΔN の第1低屈折率層13の組成および層厚依存性を示す図である。

[図5]図5は、同発光素子に関する積層方向の各点の平均歪量の計算結果を比較して示す図である。

[図6]図6は、同発光素子に関し、積層方向の各点の平均歪量の計算結果を比較して示す図である。

[図7]図7は、同発光素子に関し、第1低屈折率層13をInGaAlNとした場合における好ましい原子組成の範囲を示す図である。

[図8]図8は、本開示の第2の実施形態にかかる発光素子の層構造を示す断面図である。

[図9]図9は、同発光素子に関し、積層方向の各点の平均歪量の計算結果を比較して示す図である。

[図10]図10は、同発光素子に関し、積層方向の各点の平均歪量の計算結果を比較して示す図である。

[図11]図11は、第1の従来の発光素子の層構造を示す断面図である。

[図12]図12は、第2の従来の発光素子の層構造を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0044] (本発明の基礎となった知見)

本発明者らは、背景技術の欄において記載した発光素子に関し、以下の問題が生じることを見出した。

[0045] プロジェクタ光源に使用される半導体レーザ素子には、ワット級の大出力動作のみならず、50℃以上の高温動作時においても10000時間以上の長期動作が要望されている。従って、波長445nm帯の青色域及び、波長530nm帯の緑色域において、高温、高出力動作可能な半導体レーザを実現する必要がある。

[0046] ここで、発振波長が405nmの青紫色域から530nmの青色域へと長波長化するに伴い、活性層に広く用いられるInGaIn層と、クラッド層に広く用いられるAlGaIn層との屈折率差が小さくなる。このため、クラッド層にAlGaIn材料を用いた窒化物系レーザにおいては、波長405nm帯の青紫色レーザに対して長波長の発振波長445nm帯の青色レーザ、さらに長波長の発振波長530nm帯の緑色レーザのように、波長が長い発振波長域の窒化物レーザは、垂直方向の光閉じ込めが小さくなるという課題がある。

[0047] この課題を解決するためには、クラッド層に用いるAlGaIn層のAl組

成を0.1以上に高くすれば良いが、この場合、AlGaIn層と活性層に用いるInGaIn層の熱膨張係数の差が大きくなり、クラックや格子欠陥が発生してしまう。さらに、p型AlGaInクラッド層が高抵抗化し、素子の動作電圧が増大してしまう。このため、クラックの発生を抑制するためには、クラッド層にAlGaIn層を用いる場合、Al組成は0.1程度以上に高めることは困難である。また、Al組成が0.05から0.1の間のAlGaIn層をクラッド層に用いたとしても、p型AlGaIn層の抵抗が高くなりやすく、動作電圧の増大を招いてしまう。動作電圧が増大すると素子がレーザ発振した場合における素子の自己発熱が増大し、温度特性が劣化してしまう。

[0048] また、波長405nm帯の青紫色レーザに対して、所望の発振波長を得るためには量子井戸活性層におけるInGaInウェル層のIn組成は0.07程度であったが、発振波長445nm帯の青色レーザにおいてはInGaInウェル層のIn組成は0.15程度以上が必要となる。さらに、発振波長530nm帯の緑色レーザにおいてはInGaInウェル層のIn組成が0.3程度以上である高In組成のInGaIn層が必要となる。InGaIn層において、In組成が高くなると、GaIn基板との格子不整合が大きくなるのみならず、InGaIn層を構成するInNとGaInの安定なIII族-V族原子間距離が異なるために結晶内部に蓄積される内部歪エネルギーが大きくなる。この内部歪エネルギーを低減するために、高In組成のInGaIn層においてはIn組成の高い領域と低い領域に組成が分離する組成分離が生じやすくなる。InGaIn層を成長する温度である800℃付近の温度では、In組成が0.15付近以上の高In組成となると熱力学的に不安定となり、組成分離が生じやすくなる。組成分離が生じると、ウェル層内でバンドギャップエネルギーの面内分布にバラツキが生じ、バンドギャップ波長の小さい部分はIn組成が高く格子欠陥が生じやすいのみならず、レーザ発振光に対し、光吸収中心となり、発振しきい電流値や電流-光出力特性における外部微分効率（以下、スロープ効率）の低下を招くことになる。この結果、動作

電流値が大きくなり、温度特性の劣化をもたらすことになり、実用上重大な支障をきたすことになる。

[0049] そこで、組成分離や格子不整合による格子欠陥の発生を抑制するために、高 In 組成のウェル層の層厚を 3 nm 以下に薄くして InGaN ウェル層の体積を小さくし、その上に成長する障壁層には GaN ないしは、 GaN との格子不整合が小さい In 組成 0.05 程度以下の InGaN 層を 10 nm 程度以上成長し結晶性の回復を行うことが効果的である。このような構成とすれば、薄いウェル層の上下が、 GaN 層ないし、 GaN 層に格子定数が近い InGaN で挟まれる構造となり、 InGaN 層に格子欠陥が生じる臨界層厚を超えることなく、 InGaN ウェル層の組成分離をある程度抑制することが可能となる。これは、障壁層とウェル層との界面で発生するウェル層と障壁層間の格子不整合による歪エネルギーにより高 In 組成層であっても、組成分離を生じない方が熱力学に安定となるためである。この様に、高 In 組成の InGaN ウェル層の層厚は 3 nm 程度以下と薄くする必要がある。

[0050] この場合、ウェル層の厚さが薄いため活性層への光の閉じ込め係数がなおさら低下してしまうことになる。従って、光閉じ込め係数を増大させるためには、前述のように、クラッド層に用いる AlGaIn 層の Al 組成を 0.1 以上に可能な限り高くすれば良いが、この場合、 AlGaIn 層と活性層に用いる InGaIn 層の格子定数の差が大きくなり、クラックや格子欠陥が発生してしまう。

[0051] 以上のように、波長 445 nm 帯から 530 nm 帯の窒化物系レーザにおいては、 InGaIn 活性層と AlGaIn クラッドの屈折率差を大きくすることが困難であり、さらに、ウェル層の層厚は 3 nm 以下の薄い層厚とする必要があるため、垂直方向の光閉じ込め係数が 1% 程度と非常に小さい値になってしまう。光閉じ込め係数が小さいと、活性層における動作キャリア密度が大きくなり、高温高出力動作時において、活性層から p 型クラッド層へのキャリアのオーバーフローが増大し、温度特性の劣化や電流－光出力特性における光出力の熱飽和レベルの低下を招くことになる。

- [0052] 光の閉じ込め係数を増大させるべく AlGaIn クラッド層の Al 組成を高くするとクラックや格子欠陥が生じやすく、素子の長期動作信頼性上、重大な支障をきたすことになる。
- [0053] ここで、本発明では、基板の法線方向を垂直方向、共振器端面の面内において、基板の法線方向と垂直な方向を水平方向と呼ぶことにする。
- [0054] クラックの発生を防止するためには、特許文献2に示す従来の構造（第2の従来技術）では、図12に示すように、 GaInN よりなるフリースタンディングの基板201と、基板上に形成された n 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 0.1$) よりなる第1バッファ層202と、第1バッファ層上に形成された n 型 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y \leq 0.1$) よりなる第2バッファ層203と、第2バッファ層上に n 側クラッド層204、活性層206、 p 側クラッド層209を順次備えた構造としている。この構成により、バッファ層の機能を、再成長界面からの転位の発生を抑制する第1バッファ層202と、クラックの発生を抑制する第2バッファ層203とに分けることで、フリースタンディングの基板201上に高品質の AlGaIn 層を成長させ、電気特性の優れた窒化物半導体素子を得ることができると開示されている。
- [0055] しかしながら、この構造において、第2バッファ層202は屈折率が他の層と比較して相対的に高いため、第2バッファ層202と活性層206間の層厚が薄いと、導波路に閉じ込められる光分布は屈折率の高い第2バッファ層202の影響を受け、第2バッファ層202のある基板側に垂直方向の光分布が偏ってしまう。
- [0056] このようになると、リッジ内外の実効屈折率差 (ΔN) が低下し、光分布の水平方向の閉じ込め機構が弱くなり、電流－光出力特性が非線形となるキックが生じたり、動作電流値が高くなるという課題が生じる。この場合、垂直方向光分布が第2バッファ層202まで広がらないように、第2バッファ層202と活性層間206の n 側クラッド層204の層厚を厚くするか、基板と活性層間の n 側クラッド層の Al 組成を高くして垂直方向の光閉じ込めを強くすれば良いが、このようにすると、 n 側クラッド層204での応力が

大きくなり、クラックが生じやすくなる。あるいは、p側クラッド層209のAl組成をn側クラッド層204のAl組成よりも低く設定し、p側クラッド層209の屈折率を相対的にn側クラッド層204よりも高くして、垂直方向光分布を相対的にp型層寄りとする方法も考えられるが、活性層206における光閉じ込め係数が小さくなり、温度特性が劣化してしまう。

[0057] このため、InGaNバッファ層を用いた従来の波長445nm帯のレーザにおいては、n側クラッド層の層厚が薄くして、n側クラッド層でのクラックの発生を抑制すると、 ΔN の低下、光閉じ込め係数の低下を招き、電流－光出力特性が線形性に優れ、温度特性も優れたレーザを実現することが困難であった。

[0058] 本開示は、上記課題を解決するためになされたものであり、波長445nm帯のレーザにおいて、クラックの発生を抑制するためにInGaNバッファ層を用いた構造において、 ΔN の低下、光閉じ込め係数の低下を抑制可能なレーザを実現することを目的とする。

[0059] 以下、本開示にかかる発明の実施の形態について図面を参照しながら、説明を行う。

[0060] (第1の実施形態)

(1-1 素子構造)

本開示の第1の実施形態に係る発光素子の構造に関する断面図を図1に示す。図1に示す発光素子は、主面をc面((0001)面)とするGaN基板11上に、InGaNよりなり層厚が0.1 μ mであるn型の第1歪補正層12、層厚が0.05 μ mであるn型のAlGaInよりなる第1低屈折率層13、n型のAlGaInよりなる第1クラッド層14、層厚が0.2 μ mであるN型のGaInよりなる光ガイド層15、InGaIn系材料からなる多重量子井戸の活性層16、層厚が20nmであり、Al組成が0.2であるAlGaInよりなるp型の電子障壁層17、p型のAlGaInよりなる第2クラッド層18、層厚が0.1 μ mであるp型のGaInよりなるコンタクト層19、発光光に対して透明なSiO₂よりなる電流ブロック層20、p側電

極 22、及び、n 側電極 21 が形成されてなる。この発光素子は、半導体レーザ装置である。第 2 クラッド層 18 にはリッジ 18a が形成されているが、このリッジ 18a の底部の幅 (W) は $8.0\ \mu\text{m}$ である。また、リッジ 18a は、Ga N 基板 11 より離れるにつれて幅が狭くなっている。なお、p 側電極 22 は、Ni と Pt と Au との積層構造よりなり、N 側電極 21 は、Ti と Al との積層構造よりなる。

[0061] 第 2 クラッド層 18 は、リッジ 18a の上部と活性層 16 までの距離を $0.7\ \mu\text{m}$ とし、リッジ 18a の下端部と活性層 16 との距離を d_p ($0.05\ \mu\text{m}$) としている。なお、n 型のドーパントとしては Si が用いられており、n 型半導体層には 10^{18} cm^{-3} 程度の Si が添加されている。また、p 型のドーパントとしては Mg が用いられ、p 型半導体層には 10^{19} cm^{-3} 程度の Mg が添加されている。

[0062] なお、電子障壁層 17 は、活性層 16 に閉じ込められた電子が第 2 クラッド層 18 へあふれる (キャリアオーバーフロー) のを抑制するために設けられる。

[0063] 本開示の第 1 の実施形態に係る発光素子は、リッジストライプの半導体レーザ装置であり、リッジ 18a は図 1 の紙面に垂直な方向に沿って延び、その長さは $1000\ \mu\text{m}$ である。また、発光素子の前端面 (図示せず) には低反射率 (AR) コートがなされ、後端面 (図示せず) には高反射率 (HR) コートがなされている。前端面及び後端面は、ともにリッジ 18a の延びる方向に垂直であり、前端面と後端面との間で共振器を形成している。

[0064] 本開示の第 1 の実施形態に係る発光素子の発光波長は、 445 nm である。

[0065] (1-2 第 1 クラッド層 14 および第 2 クラッド層 18 の Al 組成の検討)

ここで、第 1 クラッド層 14 及び第 2 クラッド層 18 の Al 組成を大きくすると、活性層 16 と第 1 クラッド層 14 との間の屈折率差、および活性層 16 と第 2 クラッド層 18 との間の屈折率差を大きくすることができ、活性

層 1 6 に垂直な方向に光を強く閉じ込めることが可能となり、発振しきい電流値を小さくすることが可能となる。しかしながら AlGaIn と GaIn との格子定数の差のために、第 1 クラッド層 1 4 および第 2 クラッド層 1 8 の Al 組成を大きくしすぎると格子欠陥が生じ信頼性の低下につながる。さらに、Al 組成を高めると、p 型不純物の活性化率の低下により、第 2 クラッド層 1 8 の抵抗が大きくなり、発光素子の直列抵抗の増大につながる。そのため、第 1 クラッド層 1 4 および第 2 クラッド層 1 8 の Al 組成の上限は 0.1 以下、より好ましくは 0.05 以下ということになる。

[0066] 一方、波長 445 nm 帯以上の長波長帯では、活性層 1 6 と AlGaIn 材料との間の屈折率差が小さくなり、垂直方向の光閉じ込め係数が低下する。このため、第 1 クラッド層 1 4 および第 2 クラッド層 1 8 の Al 組成を可能な限り高めて、垂直方向の光閉じ込め係数を増大させる必要がある。特に波長 445 nm 帯およびそれよりも長波長の領域では、InGaIn 層と AlGaIn 層との屈折率を大きくすることが波長 405 nm 帯よりも難しく、垂直方向光閉じ込め係数を大きくすることが困難である。垂直方向の光閉じ込め係数を大きくするためには、第 1 クラッド層 1 4 および第 2 クラッド層 1 8 の Al 組成を 0.03 以上にしなければならない。

[0067] 従って、第 1 クラッド層 1 4 および第 2 クラッド層 1 8 の Al 組成は 0.03 以上とすることが好ましく、Al 組成の上限として 0.1 以下、より好ましくは 0.05 以下であることが好ましい。

[0068] (1-3 活性層 1 6 のウェル層数の検討)

発光素子の活性層 1 6 として、ウェル（井戸）層が単一または複数である量子井戸構造が用いられる。波長が 445 nm のレーザ発振を得るためには、ウェル層の In 組成を 0.15 程度とする必要がある。しかしながら、In 組成が 0.15 である InGaIn と GaIn と間の格子不整合は約 1.6% であり、ウェル層厚を 3 nm より厚くすると、ウェル層の臨界層厚を大きく上回り格子欠陥が生じてしまう。格子欠陥は、光吸収中心となり、発光素子の発振しきい電流値や動作電流値の増大を招き、信頼性の低下につながるた

め、極力その発生を抑制する必要がある。従って、ウェル層の厚さは3 nm以下とするのが好ましい。

[0069] 一方、ウェル層厚が薄いと、発光素子の垂直方向の光閉じ込め係数が低下する。そこで、ウェル層の層厚を多くする必要がある。ところが、ウェル層の層数が4層以上となると、各ウェル層の動作キャリア密度にばらつきが生じやすくなり、各ウェル層の最大利得を与える利得ピーク波長がばらついてしまう。この結果、発振しきい電流値が増大してしまう。また、ウェル層の間にある障壁層の層数も多くなるため、発光素子の直列抵抗の増大や、ピエゾ効果による障壁層の電位ポテンシャルの傾きの影響が増大し、動作電圧が増大してしまう。この結果、ウェル層数を多くしすぎると、発振しきい電流値が大きくなり、かつ動作電圧が高い発光素子となってしまう。この結果、発光素子の温度特性が劣化してしまう。

[0070] また、ウェル層数が1すなわち単一量子井戸構造では光閉じ込め係数が小さくなり、動作キャリア密度が増大するため、キャリアオーバーフローが増大し、電流－光出力特性において熱飽和する光出力が低下してしまう。従って、ウェル層厚が3 nm以下の薄いウェル層であっても、ウェル層数は2層備えた2重量子井戸 (Double Quantum Well、DQW) 構造、または3層備えた3重量子井戸 (Triple Quantum Well、TQW) 構造とする必要がある。

[0071] 本開示の第1の実施形態の発光素子における活性層16は、厚さ3 nm、In組成0.15のInGa_Nよりなるウェル層を2層備え、バリア層としてGa_Nとした2重量子井戸構造としている。

[0072] (1-4 第1歪補正層12の導入)

波長445 nm帯およびそれよりも長波長の領域では、InGa_N層とAlGa_N層の屈折率を大きくすることが波長405 nm帯よりも難しく、垂直方向光閉じ込め係数を大きくすることが困難である。垂直方向の光閉じ込め係数を大きくするためには、第1クラッド層14および第2クラッド層18のAl組成を0.03以上にしなければならない。この場合、第1クラッド層14のAl組成を0.03以上にしなければならない。この場合、第1クラッド層14のAl組成を0.03以上にしなければならない。

ド層 14 の層厚が $1.5\ \mu\text{m}$ 程度となると、Ga N 基板 11 と第 1 クラッド層 14 との間の格子定数の差により、格子欠陥やクラックが発生しやすくなってしまう。

[0073] この問題を解決するために、本開示の第 1 の実施形態にかかる発光素子においては、Ga N 基板 11 上に In Ga N からなる圧縮性の歪を有する第 1 歪補正層 12 を備えている。この結果、第 1 クラッド層 14 で生じる引っ張り性の歪を補償できるため、Ga N 基板 11 上に結晶成長したエピタキシャル層全体の平均的な歪を小さくすることが可能となり、クラックや格子欠陥の発生を抑制することができる。

[0074] (1-5 ΔN の検討)

しかしながら、第 1 歪補正層 12 の屈折率は、第 1 クラッド層 14 の屈折率よりも大きいため、垂直方向の光分布は、図 2 に示すように、第 1 歪補正層 12 により Ga N 基板 11 側へ広がりやすくなる。この結果、リッジ 18 a 内部の光分布及びリッジ外部の光分布の形状が同じ形状となり、リッジ 18 a 内外の実効屈折率差 (ΔN) が低下してしまう。 ΔN が低下すると、リッジストライプの内外を導波する光分布が、リッジ 18 a の外側の活性層 16 で受ける吸収損失の影響が大きくなり、発振しきい値が増大してしまう。さらに、ストライプ内外を導波可能な高次モードの最高次数が小さくなり、導波光のモード数が減るため、各次数のモード間の干渉の影響が大きくなり、電流-光出力特性が非線形性となるキंकが生じやすくなる。この結果、動作電流値が大きくなり、温度特性が低下する。これを防止するためには、 3×10^{-3} 以上の大きさの ΔN が必要である。なお、図 2 において、縦軸は活性層 16 における光強度を 1 としたときの光強度（任意単位）の対数を示し、横軸は Ga N 基板 11 の表面より少し下側を原点として半導体層の積層方向に沿って測定した各半導体層の位置を表す。図 2 における番号は、各半導体層の存在位置を示している。図 2 の縦軸において $1\text{E}-05$ は、 1×10^{-5} を表す。

[0075] 逆に、 ΔN を大きくすると、リッジ内部の垂直方向の光分布を第 2 クラッ

ド層 18 寄りにする必要がある。この場合、p 型の不純物濃度を通常 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上に大きくしているため、p 型不純物によるフリーキャリアの吸収損失の影響を受け、導波路損失が増大し、電流－光出力特性における単位電流あたりの光出力変化（スロープ効率）が低下し、温度特性が低下する。

[0076] 従って、スロープ効率の低下を伴わずに、線形性の良好な電流－光出力特性を得るためには、 ΔN を 3×10^{-3} から 6×10^{-3} の範囲にする必要がある。

[0077] (1-6 第 1 低屈折率層 13 の Al 組成の検討)

前述のように、第 1 歪補正層 12 の影響により、第 1 クラッド層 14 の層厚が薄くなると ΔN が低下する。 ΔN の低下を抑制するために、本発明の第 1 の実施の形態にかかる発光素子では、第 1 クラッド層 14 よりも屈折率が小さい第 1 低屈折率層 13 を備えている。

[0078] ここで、第 1 低屈折率層 13 の ΔN に及ぼす影響を見積もるために、第 1 低屈折率層 13 に厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の AlGaIn を用いた場合における第 1 低屈折率層 13 の Al 組成に対する ΔN の依存性の計算結果を図 3 に示す。計算では、第 1 クラッド層 14 の層厚を $1 \mu\text{m}$ 、 $1.5 \mu\text{m}$ 、 $2 \mu\text{m}$ とし、第 1 歪補正層 12 の In 組成を 4% としている。

[0079] 図 3 に示すように、第 1 クラッド層 14 の層厚が薄くなるほど ΔN の低下が大きいことがわかる。特に、第 1 クラッド層 14 の層厚が $1 \mu\text{m}$ となっても、 ΔN を 3×10^{-3} 以上とするためには、Al 組成 0.05 以上、つまり、第 1 クラッド層 14 の Al 組成よりも少なくとも 0.015 以上大きい Al 組成を有する AlGaIn 層を用いる必要があることがわかる。さらに、 ΔN を 3.5×10^{-3} 以上とするためには、Al 組成が 0.06 以上、つまり、第 1 クラッド層 14 の Al 組成よりも少なくとも 0.025 以上大きい Al 組成を有する AlGaIn 層を用いる必要があることがわかる。

[0080] 図 4 A、図 4 B に、第 1 歪補正層の In 組成をそれぞれ 4%、3% とした場合における ΔN の第 1 低屈折率層 13 の組成および層厚依存性の計算結果

を示す。図4Bに示すように、第1歪補正層12のIn組成を3%とした場合は、 ΔN は、第1低屈折率層13の組成、層厚にあまり依存しないが、第1歪補正層12のIn組成が4%の場合は、 ΔN は、第1低屈折率層13の組成、層厚に大きく依存することがわかる。従って、 ΔN の第1歪補正層12の影響を受けないようにするためには、第1歪補正層12のIn組成を3%以下とすればよいことがわかる。さらに、第1低屈折率層13のAl組成を0.06から0.1、層厚を10nmから100nmまでの間に設定すれば、 4×10^{-3} 以上の ΔN を実現できることがわかる。本発明の第1の実施形態では、第1歪補正層12のIn組成を0.02、第1低屈折率層13の組成を、第1クラッド層14のAl組成より0.025高い0.06、第1クラッド層14の層厚を0.05 μm として、第1クラッド層14の層厚が1 μm となっても、 ΔN の防止を抑制可能としている。なお、第1低屈折率層13のAl組成が大きいほど第1低屈折率層13の屈折率を小さくすることができるので活性層16に対する光閉じ込め率を大きくすることができて ΔN を大きくすることができるが、反面Ga_{1-b}N基板11との格子定数差が大きくなるので第1低屈折率層13の結晶性を悪化させることになる。そのため、第1低屈折率層13のAl組成は、0.1以下であることが好ましい。

[0081] すなわち、第1低屈折率層は、n型のAl_bGa_{1-b}N ($0.06 \leq b \leq 0.1$)より形成されていることが好ましい。

[0082] また、 ΔN の観点から、第1低屈折率層13の層厚は、10nm以上かつ100nm以下であることが好ましい。

[0083] 以上をまとめると、本開示の第1の実施形態にかかる発光素子の構造パラメータは、表1のようになる。

[0084]

[表1]

層名	導電型	層厚	材料
GaN基板11	n型		GaN
第1歪補正層12	n型	0.1 μm	InGaN
第1低屈折率層13	n型	0.05 μm	AlGaN
第1クラッド層14	n型	1.3 μm	AlGaN
光ガイド層15	n型	0.2 μm	GaN
活性層16			InGaN/GaN
電子障壁層17	p型	20nm	AlGaN
第2クラッド層18	p型	0.7 μm	AlGaN
コンタクト層19	p型	0.1 μm	GaN

[0085] なお、活性層16として、ウェル層を層厚が3nmの $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ とし、バリア層を層厚が3nmのGaNとし、2重量子井戸構造を採用した。

[0086] 第1歪補正層12、第1低屈折率層13、第1クラッド層14および第2クラッド層18のIn組成、Al組成および層厚をパラメータとして検討した。

[0087] (1-7 第1歪補正層12と歪の影響との関係)

次に、第1歪補正層12が、発光素子の各層に及ぼす歪の影響について説明する。

[0088] 図5および図6に、本開示の第1の実施形態にかかる発光素子の、積層方向に沿った各点の平均歪量の計算結果を比較して示す。なお、図5および図6において、活性層16は積層方向に拡大している。

[0089] なお、検討した第1歪補正層12、第1低屈折率層13、第1クラッド層14および第2クラッド層18のパラメータは、表2、表3のようになる。なお、表2および表3に示す各層を除く層のパラメータは、表1に同じである。

[0090] [表2]

	図5(a)	図5(b)	図5(c)	図5(d)
第1歪補正層12の膜厚	—	0.1 μm	—	0.1 μm
第1低屈折率層13のAl組成	—	0.06	—	0.06
第1低屈折率層13の膜厚	—	0.05 μm	—	0.05 μm
第1クラッド層14の膜厚	1 μm	1 μm	1.5 μm	1.5 μm
第1クラッド層14のAl組成	0.035	0.035	0.035	0.035
第2クラッド層18の膜厚	0.7 μm	0.7 μm	0.7 μm	0.7 μm
第2クラッド層18のAl組成	0.035	0.035	0.035	0.035

[0091] [表3]

	図6(a)	図6(b)	図6(c)	図6(d)
第1歪補正層12の膜厚	—	0.1 μm	—	0.1 μm
第1低屈折率層13のAl組成	—	0.085	—	0.085
第1低屈折率層13の膜厚	—	0.05 μm	—	0.05 μm
第1クラッド層14の膜厚	1 μm	1 μm	1.5 μm	1.5 μm
第1クラッド層14のAl組成	0.06	0.06	0.06	0.06
第2クラッド層18の膜厚	0.7 μm	0.7 μm	0.7 μm	0.7 μm
第2クラッド層18のAl組成	0.06	0.06	0.06	0.06

[0092] 本開示の第1の実施形態にかかる発光素子において、第1歪補正層12、第1低屈折率層13が無い場合の構造とし、第1クラッド層14の層厚を1 μm 、Al組成を0.035とし、第2クラッド層18の層厚を0.7 μm 、Al組成を0.035とした場合に、第1歪補正層のIn組成を0.01、0.02、0.03とした場合における積層方向の各点の平均歪量の計算結果を図5の(a)に示す。積層方向のある点における平均歪量 ($E_{equ}(Z)$) とは、GaN基板11上に形成された構造における積層方向のある点Zまでの各層の層厚を考慮した歪の平均値のことであり、(式1)で与えられる。

[0093] [数1]

$$E_{equ}(z) = \frac{\int_0^z e(z') dz'}{z}$$

(式1)

[0094] ここで、 $e(z')$ とは、Z方向(積層方向)の点 z' における歪のことである。図5の(a)に示すように、第1歪補正層12、第1低屈折率層13が無い場合、第1クラッド層14には均一に 8×10^{-4} 程度の引っ張り性の歪がかかり、InGaN系材料の圧縮性の歪のかかる活性層16の領域で平均歪量が補償されて低減し、引っ張り性の歪の生じる第2クラッド層18で再び引っ張り性の歪が増大していることがわかる。この計算結果から、第1歪補正層12、第1低屈折率層13が無い場合、第1クラッド層14に相対的に大きな歪がかかり、第1クラッド層14にクラックや格子欠陥が生じやすいことがわかる。

- [0095] 本開示にかかる発光素子において、第1歪補正層12の層厚を $0.1\mu\text{m}$ とし、第1低屈折率層13の組成を第1クラッド層のA1組成よりも 0.025 高い 0.06 、第1低屈折率層13の層厚を $0.05\mu\text{m}$ 、第1クラッド層14の層厚を $1\mu\text{m}$ とし、第2クラッド層18の層厚を $0.7\mu\text{m}$ とした場合に、第1歪補正層12のIn組成を 0.01 、 0.02 、 0.03 とした場合における積層方向の各点の平均歪量の計算結果を図5の(b)に示す。
- [0096] 図5の(b)に示すように、第1歪補正層12により、第1クラッド層14に生じる平均歪は、図5の(a)に示す発光素子に対し、第1クラッド層14に生じる平均歪が低減されることがわかる。
- [0097] これは、第1歪補正層12の圧縮性の歪により、第1クラッド層14の引っ張り性の歪が補償されて低減するためである。この結果、第1歪補正層12のIn組成を 0.01 から 0.03 に設定することにより、第1クラッド層14に生じる歪を低減することが可能であることがわかる。
- [0098] 図5の(c)、図5の(d)はそれぞれ、図5の(a)、図5の(b)の発光素子に対し、第1クラッド層14の層厚を $1.5\mu\text{m}$ とした場合の計算結果を示す。第1クラッド層14の層厚を $1.5\mu\text{m}$ としても、図5の(b)に示す結果と同様に、第1歪補正層12の圧縮性の歪により、第1クラッド層14の引っ張り性の歪が補償されて低減されることがわかる。
- [0099] 図5の(a)から図5の(d)の結果より、第1クラッド層14の層厚が $1.0\mu\text{m}$ から $1.5\mu\text{m}$ までの範囲で、第1歪補正層12のIn組成を 0.01 から 0.03 までの間に設定することにより、第1クラッド層14に生じる歪を低減することが可能であることがわかる。
- [0100] 本開示にかかる発光素子において、第1歪補正層12、第1低屈折率層13が無い場合の構造とし、第1クラッド層14の層厚を $1\mu\text{m}$ 、A1組成を 0.06 とし、第2クラッド層18の層厚を $0.7\mu\text{m}$ 、A1組成を 0.06 とした場合に、第1歪補正層のIn組成を 0.01 、 0.02 、 0.03 とした場合における積層方向の各点の平均歪量の計算結果を図6の(a)に

示す。

[0101] 図6の(a)に示すように、第1歪補正層12、第1低屈折率層13が無い場合、第1クラッド層14には均一に 1.4×10^{-3} 程度の歪がかかり、InGa_N系材料の圧縮性の歪のかかる活性層16の領域で平均歪量が補償されて低減し、引っ張り性の歪の生じる第2クラッド層18で再び、引っ張り性の歪が増大していることがわかる。この計算結果から、第1歪補正層12、第1低屈折率層13が無い場合、第1クラッド層14に相対的に大きな歪がかかり、第1クラッド層14にクラックや格子欠陥が生じやすいことがわかる。

[0102] 本開示の第1の実施形態にかかる発光素子において、第1歪補正層12の層厚を $0.1 \mu\text{m}$ とし、第1低屈折率層13の組成を第1クラッド層14のAl組成よりも0.025高い0.085、第1低屈折率層13の層厚を $0.05 \mu\text{m}$ 、第1クラッド層14の層厚を $1 \mu\text{m}$ とし、第2クラッド層18の層厚を $0.7 \mu\text{m}$ とした場合に、第1歪補正層12のIn組成を0.01、0.02、0.03とした場合における積層方向の各点の平均歪量の計算結果を図6の(b)に示す。

[0103] 図6の(b)に示すように、第1歪補正層12により、第1クラッド層14に生じる平均歪は、図6の(a)に示す構造に対し、第1クラッド層14に生じる平均歪が低減されることがわかる。

[0104] これは、第1歪補正層12の圧縮性の歪により、第1クラッド層14の引っ張り性の歪が補償されて低減するためである。この結果、第1歪補正層12のIn組成を0.01から0.03までの間に設定することにより、第1クラッド層14に生じる歪を低減することが可能であることがわかる。

[0105] 図6の(c)、図6の(d)にはそれぞれ、図6の(a)、図6の(b)の構造に対し、第1クラッド層14の層厚を $1.5 \mu\text{m}$ とした場合の計算結果を示す。第1クラッド層14の層厚を $1.5 \mu\text{m}$ としても、図6の(b)に示す結果と同様に、第1歪補正層12の圧縮性の歪により、第1クラッド層14の引っ張り性の歪が補償されて低減されることがわかる。

- [0106] 図6の(a)から図6の(d)の結果より、第1クラッド層14の層厚が $1.0\mu\text{m}$ から $1.5\mu\text{m}$ の範囲で、第1歪補正層12のIn組成を0.01から0.03までの間に設定することにより、第1クラッド層14に生じる歪を低減することが可能であることがわかる。
- [0107] 第1歪補正層12の層厚を $0.1\mu\text{m}$ としているが、この層厚を増加すれば、第1クラッド層14で生じる引っ張り性の歪の補償効果が大きく、第1クラッド層14で生じる引っ張り性の歪の低減効果が大きくなる。
- [0108] しかしながら、第1歪補正層12をあまりに厚くすると、第1歪補正層12でGa_{0.99}N基板11との格子定数の差で生じる格子欠陥が発生し、結晶性が低下する。実際に、第1歪補正層12の層厚が $0.3\mu\text{m}$ を超えると、第1歪補正層12において格子欠陥が発生しやすくなる。
- [0109] 一方、第1歪補正層の層厚が $0.1\mu\text{m}$ より小さいと第1クラッド層14および第2クラッド層18で生じる引っ張り性の応力を補償する効果が小さくなる。
- [0110] このため、第1歪補正層12で格子欠陥を生じさせずに、第1クラッド層14で生じる引っ張り性の歪の低減効果を得るためには、第1歪補正層12の層厚を $0.1\mu\text{m}$ 以上かつ $0.3\mu\text{m}$ 以下の間に設定すればよい。
- [0111] (1-8 電子障壁層17および第2クラッド層18にかかる歪の検討)
発光素子が動作するとき、発光素子には熱が発生する。そのとき、活性層16に注入される電子が熱により励起され、電子障壁層17および第2クラッド層18へ電子が流れ出す、いわゆるキャリアオーバーフローという現象が起きやすくなる。
- [0112] ここで、電子障壁層17および第2クラッド層18に圧縮性の歪が付加されると、電子障壁層17および第2クラッド層18のバンドギャップエネルギーが大きくなり、電子障壁層17および第2クラッド層18の電子に対する障壁高さが高くなる。この電子に対する障壁高さが高くなることにより、キャリアオーバーフローを低減することができる。このため、発光素子の高温動作時の発振しきい値や動作電流値が低減し、発光素子の長期動作の信頼

性を向上させることができる。

[0113] 図5の(b)に示すように、第1歪補正層12の層厚が $0.1\mu\text{m}$ 、第1クラッド層14の層厚が $1\mu\text{m}$ の場合、第1歪補正層12の効果により、Ga_{0.9}N基板11上に形成した層全体の平均歪量は、ほぼ0となっている。このとき、電子障壁層17および第2クラッド層18には圧縮性の歪がかかることになる。すなわち、図5の(b)に示す発光素子においては、キャリアオーバーフローを低減でき、結果として発光素子の長期動作の信頼性を向上させることができる。

[0114] なお、第1クラッド層14は層全体に対し引っ張り歪を与えるので、図5の(b)に示す発光素子について第1クラッド層14の層厚を $1\mu\text{m}$ 以下とすることにより層全体の平均歪を圧縮性の歪とすることができ、電子障壁層17および第2クラッド層18に圧縮性の歪を付加することができる。

[0115] 一方、図6の(b)に示すように、第1クラッド層のAl組成が0.06の場合、層全体の平均歪は引っ張り歪となり、電子障壁層17および第2クラッド層18には引っ張り性の歪が付加されている。この場合は、発光素子のキャリアオーバーフローの低減には好ましくない。従って、層全体の平均歪を圧縮性の歪として電子障壁層17および第2クラッド層18に圧縮性の歪を付加するために、第1クラッド層のAl組成を0.04以下とするのが好ましい。

[0116] なお、上述のように、垂直方向の光閉じ込め係数を大きくするためには、第1クラッド層14および第2クラッド層18のAl組成を0.03以上とすることが好ましいので、第1クラッド層のAl組成としては、0.03以上かつ0.04以下であることが好ましいのである。

[0117] (1-9 第1低屈折率層13の材料の検討)

第1低屈折率層13は、AlGa_{0.9}N材料に限らなくとも、Al組成が0.06のAlGa_{0.9}N層よりも小さい屈折率を有するInGaAlNであってよい。

[0118] 図7に $\text{In}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{Ga}_x\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) に関する組成

図を示す。ここで $X = a$ 、 $Y = b$ とすると、図 7 において

[0119] [数2]

$$(a / 1.03) + (b / 0.68) \geq 1$$

(式 2)

で示す領域は、 $\text{In}_{1-a-b}\text{Al}_b\text{Ga}_a\text{N}$ の屈折率が $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ の屈折率よりも小さくなる領域を表す。すなわち、(式 2) の条件を満足すれば、第 1 低屈折率層 13 の屈折率が Al 組成 0.05 の AlGaIn よりも小さくすることができる。この条件を満たす第 1 低屈折率層においては、 ΔN を大きくすることができる。

[0120] また、

[数3]

$$a + (b / 0.83) = 1$$

(式 3)

を満たす $\text{In}_{1-a-b}\text{Al}_b\text{Ga}_a\text{N}$ は、 GaIn と格子整合するので、

[数4]

$$(a / 0.98) + (b / 0.8) \geq 1$$

(式 4)

[数5]

$$(a / 1.02) + (b / 0.85) \leq 1$$

(式 5)

で示す範囲 (図 7 においてハッチングを付した領域) に a 、 b を設定すれば、第 1 低屈折率層 13 と GaIn 基板 11 との格子定数の差は、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ と GaIn 基板 11 との格子定数の差よりも小さくすることができる。そのため、(式 4) (式 5) の条件を満たす第 1 低屈折率層 13 において、格子欠陥の発生が抑制されるのである。

[0121] 例えば、第 1 低屈折率層 13 として $\text{In}_{0.02}\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ を用いることができる。 $\text{In}_{0.02}\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ は、(式 1) を満たし、か

つ（式2）をほぼ満たすので好適である。

[0122] また、第1低屈折率層13として例えば厚さが5nmの $\text{In}_{0.02}\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ を1層以上、厚さが3nmの $\text{In}_{0.04}\text{Al}_{0.24}\text{Ga}_{0.72}\text{N}$ を2層以上交互に形成し、単一量子井戸構造または多重量子井戸構造としてもよい。なお、この単一量子井戸構造または多重量子井戸構造を構成する各層の層厚は、上記に限られないことはいうまでもない。

[0123] 以上をまとめると、本開示の発光素子は、以下のような構成が好ましいのである。

[0124] すなわち、発光素子として、GaN基板11と、このGaN基板11上に形成された、第1導電型（n型）の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 < x \leq 1$ ）よりなる第1歪補正層12と、この第1歪補正層の上に形成された、第1導電型（n型）の $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ からなり、かつ $(a/0.98) + (b/0.8) \geq 1$ 、 $(a/1.02) + (b/0.85) \leq 1$ および $(a/1.03) + (b/0.68) \geq 1$ の関係を有する第1低屈折率層13と、を備えている。そして、この第1低屈折率層13の上に形成された、第1導電型の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ （ $0.03 \leq z \leq 0.06$ ）からなり、かつ第1低屈折率層よりも屈折率の高い第1クラッド層14と、この第1クラッド層の上に形成された活性層16と、を備えている。

[0125] なお、活性層16の上に形成され、第2導電型（p型）の $\text{Al}_t\text{Ga}_{1-t}\text{N}$ （ $0 \leq t \leq 1$ ）からなり、かつGaN基板11より活性層へ向う方向に凸となるリッジ部18aを有する第2クラッド層18を備えていてもよい。

[0126] なお、ここで第1低屈折率層13として、平均の原子組成が上記（式3）～（式5）を満たす $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ 層を有する多層構造であってもよく、 $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ 層を薄くして量子効果を有する層としてもよい。また、第1低屈折率層として、単一量子井戸構造または2重以上の多重量子井戸構造であってもよい。

[0127] （第2の実施形態）
（2-1 素子構造）

本開示の第2の実施形態に係る発光素子は、図8に示すように、図1に示す第1の実施形態に係る発光素子において、Ga_{1-s}N基板11と第1歪補正層12との間に、第2歪補正層32および中間層33を備えた構造としている。この構造において、第2歪補正層32はAl_sGa_{1-s}N材料からなり、Al組成は0.01以下のAl組成を有するAl_sGa_{1-s}N層としている。また、中間層33はGa_{1-s}N層からなる。この中間層33は、第2歪補正層32上に直接第1歪補正層12を積層する場合よりも、第1歪補正層12の基板11側での界面で生じる応力を低減することができる。その結果、第2歪補正層32上に直接第1歪補正層12を形成した場合よりも、第1歪補正層12で生じる格子欠陥の発生を抑制することができる。

[0128] 第2の実施形態に係る発光素子の、第1歪補正層12からコンタクト層19に至るまでの各半導体層、電流ブロック層20、n側電極21およびp側電極22の構成は、第1の実施形態に係る発光素子と同じである。また、リッジストライプ構造についても第1の実施形態に係る発光素子と同じである。

[0129] すなわち、本開示の第2の実施形態に係る発光素子は、第1の実施形態に開示された発光素子に対し、さらに、Ga_{1-s}N基板11と、第1歪補正層12との間に、Ga_{1-s}N基板11側より第1導電型(n型)のAl_sGa_{1-s}N ($0 < s \leq 0.01$) よりなる第2歪補正層32を備え、さらに第2歪補正層32と第1歪補正層12との間に第1導電型(n型)のGa_{1-s}Nよりなる中間層33を有しているのである。

[0130] 本開示の第2の実施形態にかかる発光素子の構造パラメータは、表4のようになる。

[0131]

[表4]

層名	導電型	層厚	材料
GaN基板11	n型		GaN
第2歪補正層32	n型	1 μ m	AlGaIn
中間層33	n型	0.1 μ m	GaN
第1歪補正層12	n型	0.1 μ m	InGaIn
第1低屈折率層13	n型	0.05 μ m	AlGaIn
第1クラッド層14	n型	1.3 μ m	AlGaIn
光ガイド層15	n型	0.2 μ m	GaN
活性層16			InGaIn/GaN
電子障壁層17	p型	20nm	AlGaIn
第2クラッド層18	p型	0.7 μ m	AlGaIn
コンタクト層19	p型	0.1 μ m	GaN

[0132] 図9および図10に、本開示の第2の実施形態にかかる発光素子の、積層方向に沿った各点の平均歪量の計算結果を比較して示す。なお、図9および図10において、活性層16は積層方向に拡大している。なお、検討した第1歪補正層12、第1低屈折率層13、第1クラッド層14および第2クラッド層18のパラメータは、表5、表6のようになる。なお、表5および表6に示す各層を除く層のパラメータは、表4に同じである。

[0133] また、本開示の第2の実施形態に係る発光素子の発光波長は、445nmである。

[0134] [表5]

	図9(a)	図9(b)	図9(c)	図9(d)
第1歪補正層12の膜厚	—	0.1 μ m	—	0.1 μ m
第1低屈折率層13のAl組成	—	0.06	—	0.06
第1低屈折率層13の膜厚	—	0.05 μ m	—	0.05 μ m
第1クラッド層14の膜厚	1 μ m	1 μ m	1.5 μ m	1.5 μ m
第1クラッド層14のAl組成	0.035	0.035	0.035	0.035
第2クラッド層18の膜厚	0.7 μ m	0.7 μ m	0.7 μ m	0.7 μ m
第2クラッド層18のAl組成	0.035	0.035	0.035	0.035

[0135] [表6]

	図10(a)	図10(b)	図10(c)	図10(d)
第1歪補正層12の膜厚	—	0.1 μ m	—	0.1 μ m
第1低屈折率層13のAl組成	—	0.085	—	0.085
第1低屈折率層13の膜厚	—	0.05 μ m	—	0.05 μ m
第1クラッド層14の膜厚	1 μ m	1 μ m	1.5 μ m	1.5 μ m
第1クラッド層14のAl組成	0.06	0.06	0.06	0.06
第2クラッド層18の膜厚	0.7 μ m	0.7 μ m	0.7 μ m	0.7 μ m
第2クラッド層18のAl組成	0.06	0.06	0.06	0.06

[0136] 第2歪補正層32、第1低屈折率層13、第1クラッド層14および第2

クラッド層 18 の In 組成、Al 組成および層厚をパラメータとして検討した。

[0137] (2-2 第 1 歪補正層 12 と歪の影響との関係)

図 9 の (a) に、図 8 に示す本開示の第 2 の実施形態にかかる発光素子において、第 2 歪補正層 32、中間層 33、第 1 歪補正層 12、第 1 低屈折率層 13 が無い場合の構造とし、第 1 クラッド層 14 の層厚を $1\ \mu\text{m}$ 、Al 組成を 0.035 とし、AlGaIn 第 2 クラッド層 18 の層厚を $0.7\ \mu\text{m}$ 、Al 組成を 0.035 とした場合における積層方向の各点の平均歪量の計算結果を示す。

[0138] 図 9 の (a) に示すように、第 2 歪補正層 32、中間層 33、第 1 歪補正層 12、第 1 低屈折率層 13 が無い場合、第 1 クラッド層 14 には均一に 8×10^{-4} 程度の引っ張り性の歪がかかり、InGaIn 系材料の圧縮性の歪のかかる活性層 16 の領域で平均歪量が補償されて低減し、引っ張り性の歪の生じる第 2 クラッド層 18 で再び引っ張り性の歪が増大していることがわかる。この計算結果から、第 1 歪補正層 12、第 1 低屈折率層 13 が無い場合、第 1 クラッド層 14 に相対的に大きな歪がかかり、第 1 クラッド層 14 にクラックや格子欠陥が生じやすいことがわかる。

[0139] 図 9 の (b) に、第 2 の実施形態にかかる構造において、第 2 歪補正層 32 の層厚を $1.0\ \mu\text{m}$ 、Al 組成を 0.01 と 0.005、中間層 33 の層厚を $0.1\ \mu\text{m}$ 、第 1 歪補正層 12 の層厚を $0.1\ \mu\text{m}$ とし、第 1 低屈折率層 13 の組成を第 1 クラッド層 14 の Al 組成よりも 0.025 高い 0.06、第 1 低屈折率層 13 の層厚を $0.05\ \mu\text{m}$ 、第 1 クラッド層 14 の層厚を $1\ \mu\text{m}$ とし、AlGaIn 第 2 クラッド層 18 の層厚を $0.7\ \mu\text{m}$ とした場合に、第 1 歪補正層 12 の In 組成を 0.02 とした場合における積層方向の各点の平均歪量の計算結果を示す。

[0140] 図 9 (b) に示すように、第 2 歪補正層 32 の Al 組成が 0.005、0.01 のいずれの場合においても、第 1 クラッド層 14 に生じる平均歪は、図 5 の (b) に示す発光素子に対し、さらに低減されることがわかる。

- [0141] より具体的に述べると、図9の(b)に示す発光素子において層全体の歪は最大でも 4×10^{-4} であり、図5の(b)に示す発光素子と比べて1/5程度の歪量となっている。特に第1歪補正層12および第1低屈折率層13においては歪がほぼ0となっている。このことから、図9の(b)に示す発光素子について、第1歪補正層12および第1低屈折率層13での格子欠陥の発生を抑制することができることがわかる。
- [0142] また、図9の(b)に示す発光素子において、第1クラッド層14の引っ張り性の歪量は図5の(b)に示す発光素子における第1クラッド層14の引っ張り性の歪量よりも小さい。
- [0143] これらは、弱い引っ張り性の歪を有する第2歪補正層32を用いることにより、第1歪補正層12の圧縮性の歪、第1クラッド層14の引っ張り性の歪の平均歪が低減されるためである。
- [0144] このことから、図9の(b)に示す発光素子について、第1歪補正層12、第1低屈折率層13および第1クラッド層14での格子欠陥の発生を抑制することができることがわかる。
- [0145] 図9の(c)、図9の(d)にはそれぞれ、図9の(a)、図9の(b)の構造に対し、第1クラッド層14の層厚を $1.5 \mu\text{m}$ とした場合の計算結果を示す。第1クラッド層14の層厚を $1.5 \mu\text{m}$ としても、図9の(b)に示す結果と同様に、弱い引っ張り性の歪を有する第2歪補正層32を用いることにより、第1歪補正層12の圧縮性の歪、第1クラッド層14の引っ張り性の歪の平均歪が低減されていることがわかる。
- [0146] 図9の(b)、図9の(d)に示す構造では、第1歪補正層12の層厚を $0.1 \mu\text{m}$ としているが、この層厚が増加すれば、第1クラッド層14で生じる引っ張り性の歪の補償効果が大きくなり、第1クラッド層14で生じる引っ張り性の歪の低減効果が大きくなる。
- [0147] しかしながら、第1歪補正層12の層厚をあまりに厚くすると、第1歪補正層12でGa₂N基板11との格子定数の差で生じる格子欠陥が発生し、結晶性が低下する。このため、第1歪補正層12で格子欠陥を生じさせずに、

第1クラッド層14で生じる引っ張り性の歪の低減効果を得るためには、第1歪補正層12の層厚を0.1 μm から0.3 μm までの範囲に設定すればよい。

[0148] (2-3 電子障壁層17および第2クラッド層18にかかる歪の検討)

図9の(b)に示すように、第1歪補正層12の層厚が0.1 μm 、第1クラッド層14の層厚が1 μm の場合、第1歪補正層12の効果により、GaN基板11上に形成した層全体の平均歪量は、ほぼ0となっている。このとき、電子障壁層17には圧縮性の歪が付加されることになる。すなわち、図9の(b)に示す発光素子においては、キャリアオーバーフローを低減でき、結果として発光素子の長期動作信頼性を向上させることができる。

[0149] なお、第1クラッド層14は層全体に対し引っ張り歪を与えるので、図9の(b)に示す発光素子について第1クラッド層14の層厚を1 μm 以下とすることにより層全体の平均歪を圧縮性の歪とすることができ、電子障壁層17および第2クラッド層18に圧縮性の歪を付加することができる。

[0150] 一方、図10の(b)に示すように、第1クラッド層のA1組成が0.06の場合、層全体の平均歪は引っ張り歪となり、電子障壁層17および第2クラッド層18には引っ張り歪が生じている。この場合は、発光素子のキャリアオーバーフローの低減には好ましくない。従って、層全体の平均歪を圧縮性の歪として電子障壁層17および第2クラッド層18に圧縮性の歪を付加するために、第1クラッド層のA1組成を0.04以下とするのが好ましい。

[0151] (2-4 第1クラッド層14にかかる歪の検討)

図10の(a)に、図8に示す本開示の第2の実施形態にかかる発光素子において、第2歪補正層32、中間層33、第1歪補正層12、第1低屈折率層13が無い場合の構造とし、第1クラッド層14の層厚を1 μm 、A1組成を0.06とし第2クラッド層18の層厚を0.7 μm 、A1組成を0.06とした場合における積層方向の各点の平均歪量の計算結果を示す。

[0152] 図10の(a)に示すように、第2歪補正層32、中間層33、第1歪補

正層 12、第 1 低屈折率層 13 が無い場合、N 型第 1 クラッド層 14 には均一に 1.4×10^{-3} 程度の引っ張り性の歪がかかり、InGaIn 系材料の圧縮性の歪のかかる活性層 16 の領域で平均歪量が補償されて低減し、引っ張り性の歪の生じる第 2 クラッド層 18 で再び引っ張り性の歪が増大していることがわかる。この計算結果から、第 1 歪補正層 12、第 1 低屈折率層 13 が無い場合、第 1 クラッド層 14 に相対的に大きな歪がかかり、第 1 クラッド層 14 にクラックや格子欠陥が生じやすいことがわかる。

[0153] 図 10 の (b) に、本開示の第 2 の実施形態にかかる発光素子において、第 2 歪補正層 32 の層厚を $1.0 \mu\text{m}$ 、Al 組成を 0.01 と 0.005、中間層 33 の層厚を $0.1 \mu\text{m}$ 、第 1 歪補正層 12 の層厚を $0.1 \mu\text{m}$ とし、第 1 低屈折率層 13 の組成を第 1 クラッド層 14 の Al 組成よりも 0.025 高い 0.085、第 1 低屈折率層 13 の層厚を $0.05 \mu\text{m}$ 、第 1 クラッド層 14 の層厚を $1 \mu\text{m}$ とし、AlGaIn 第 2 クラッド層 18 の層厚を $0.7 \mu\text{m}$ とした場合に、第 1 歪補正層の In 組成を 0.01、0.02、0.03 とした場合における積層方向の各点の平均歪量の計算結果を示す。

[0154] 図 10 の (b) に示すように、第 2 歪補正層 32 の Al 組成が 0.005、0.01 のいずれの場合においても、第 1 クラッド層 14 に生じる平均歪は、図 6 の (b) に示す構造に対し、さらに低減されることがわかる。

[0155] これは、弱い引っ張り性の歪を有する第 2 歪補正層 32 を用いることにより、第 1 歪補正層 12 の圧縮性の歪、第 1 クラッド層 14 の引っ張り性の歪の平均歪が低減されるためである。

[0156] 図 10 の (c)、図 10 の (d) にはそれぞれ、図 10 の (a)、図 10 の (b) の構造に対し、第 1 クラッド層 14 の層厚を $1.5 \mu\text{m}$ とした場合の計算結果を示す。第 1 クラッド層 14 の層厚を $1.5 \mu\text{m}$ としても、図 10 の (b) に示す結果と同様に、弱い引っ張り性の歪を有する第 2 歪補正層 32 を用いることにより、第 1 歪補正層 12 の圧縮性の歪、第 1 クラッド層 14 の引っ張り性の歪の平均歪が低減されていることがわかる。

[0157] 図 9 の (a) から図 9 の (d)、図 10 の (a) から図 10 の (d) の結

果より、第1クラッド層と第2クラッド層のAⅠ組成が0.035から0.06の範囲、第1クラッド層14の層厚が1.0 μ mから1.5 μ mの範囲で、第2歪補正層32のAⅠ組成を0.005から0.01に設定することにより、第1クラッド層14に生じる歪を低減することが可能であることがわかる。

[0158] なお、上記第1および第2の実施形態において、活性層16にあるウェル層のⅠn組成や層厚は上記に限定されず、バリア層の組成や層厚も上記に限定されない。発光素子の発光波長に応じ、活性層16にあるウェル層のⅠn組成や層厚、バリア層の組成や層厚を適宜選択することができる。

[0159] 特に、ウェル層のⅠn組成を0.15より大きくすることにより、発光波長を445nmより大きくすることができ、青色や緑色といった発光を得ることができる。例えば、ウェル層にⅠn_{0.3}Ga_{0.7}Nを用いれば、発光波長を530nmとすることができる。

[0160] また、上記第1および第2の実施形態において、第1クラッド層14および第2クラッド層のAⅠ組成を等しくしているが、必ずしもその必要はなく、第1クラッド層14と第2クラッド層のAⅠ組成が異なってもよい。

[0161] また、上記第1および第2の実施形態において、発光素子の層構造を、GaN基板11のc面上に形成しているが、c面上に限らず、c面より傾いた面すなわちGaNのオフ基板の上に発光素子の層構造を形成してもよく、m面、r面またはa面を主面とするGaN基板の上に発光素子の層構造を形成してもよい。

[0162] 上記第1及び第2の実施形態において、半導体レーザ素子に関して議論したが、LED素子に対しても本開示に係る技術は適用可能であり、クラックや格子欠陥の発生が抑制された、青色や青色よりも長波長帯のLED素子を実現することができる。

産業上の利用可能性

[0163] 本開示に係る発明によれば、波長445nm帯以上の発光素子において、1ワット以上の超高出力動作可能な温度特性に優れ、長期信頼性を保証でき

るワット級の光源を実現する。特に、プロジェクタ光源用に用いられるワット級の光源に利用することができる。なお、プロジェクタ光源用に限らず、例えば車載ヘッドランプ用の光源としても利用することができるし、競技場の照明用光源としても利用することができる。

符号の説明

[0164]	1 1	G a N 基板
	1 2	第 1 歪補正層
	1 3	第 1 低屈折率層
	1 4	第 1 クラッド層
	1 5	光ガイド層
	1 6	活性層
	1 7	電子障壁層
	1 8	第 2 クラッド層
	1 9	コンタクト層
	2 0	電流ブロック層
	2 1	n 側電極
	2 2	p 側電極
	3 2	第 2 歪補正層
	3 3	中間層

請求の範囲

- [請求項1] GaN基板と、
 前記GaN基板上に形成された、第1導電型の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$)よりなる第1歪補正層と、
 前記第1歪補正層の上に形成された、第1導電型の $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ からなり、かつ
 $(a/0.98) + (b/0.8) \geq 1$
 $(a/1.02) + (b/0.85) \leq 1$
 $(a/1.03) + (b/0.68) \geq 1$
 の関係を有する第1低屈折率層と、
 前記第1低屈折率層の上に形成された、第1導電型の $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0.03 \leq z \leq 0.06$)からなり、かつ前記第1低屈折率層よりも屈折率の高い第1クラッド層と、
 前記第1クラッド層の上に形成された活性層と、を備えている、
 発光素子。
- [請求項2] さらに、
 前記活性層の上に形成され、第2導電型の $\text{Al}_t\text{Ga}_{1-t}\text{N}$ ($0 \leq t \leq 1$)からなり、かつ前記GaN基板より前記活性層へ向う方向に凸となるリッジ部を有する第2クラッド層と、を備えている、
 請求項1に記載の発光素子。
- [請求項3] 前記第1歪補正層のIn組成xの範囲は、 $0.01 \leq x \leq 0.03$ である、
 請求項1または2に記載の発光素子。
- [請求項4] 前記第1歪補正層の層厚は、 $0.1 \mu\text{m}$ 以上かつ $0.3 \mu\text{m}$ 以下である、
 請求項1から3のいずれか1項に記載の発光素子。
- [請求項5] 前記第1低屈折率層は、第1導電型の $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0.06 \leq b \leq 0.1$)より形成されている、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[請求項6] 前記第 1 低屈折率層の層厚は、 10 nm 以上かつ 100 nm 以下である、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[請求項7] 前記第 1 低屈折率層は、平均原子組成が $\text{In}_{1-a-b}\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ の多重量子井戸である、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[請求項8] 前記第 1 クラッド層において、 $z \leq 0.04$ である、

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[請求項9] 前記第 1 クラッド層において、層厚が $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であり、かつ $0.03 \leq z \leq 0.04$ である、

請求項 8 に記載の発光素子。

[請求項10] さらに、

前記 Ga N 基板と、前記第 1 歪補正層との間に形成された、前記 Ga N 基板より第 1 導電型の $\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s}\text{N}$ ($0 < s \leq 0.01$) よりなる第 2 歪補正層を備える、

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

[請求項11] さらに、

前記第 2 歪補正層と前記第 1 歪補正層との間に形成された、第 1 導電型の Ga N よりなる中間層を備える、

請求項 10 に記載の発光素子。

[請求項12] さらに、

前記活性層と、前記第 2 クラッド層との間に、第 2 導電型の $\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h}\text{N}$ ($0 < h \leq 1$) よりなる電子障壁層を備える、

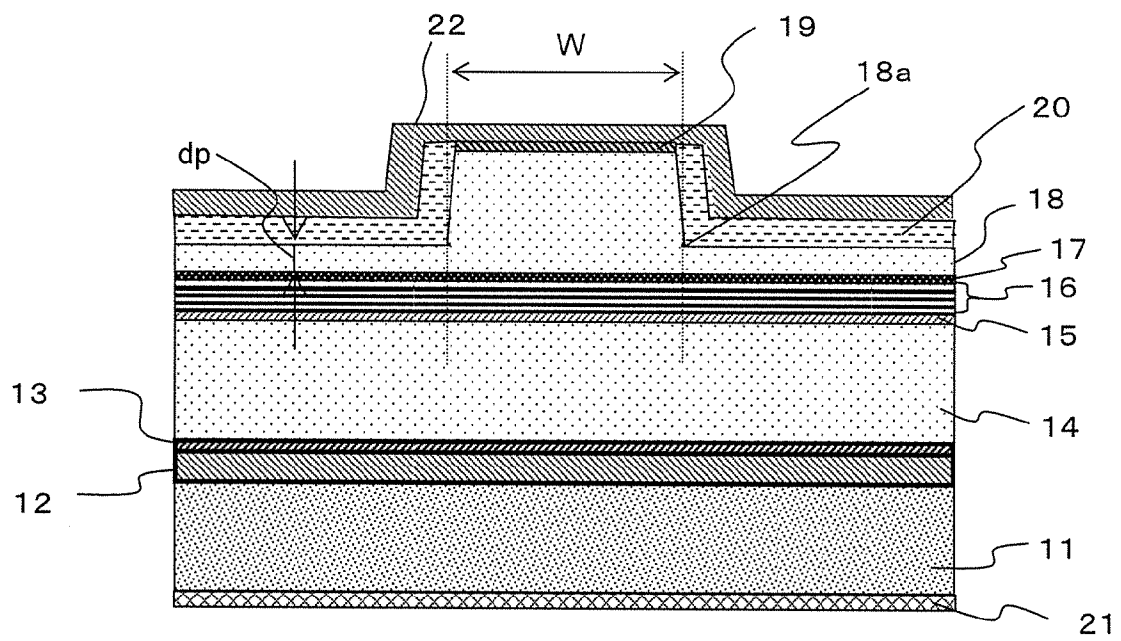
請求項 2 に記載の発光素子。

[請求項13] 前記 Ga N 基板の上面と前記電子障壁層の上面との間に形成された層全体の平均歪は、圧縮性である、

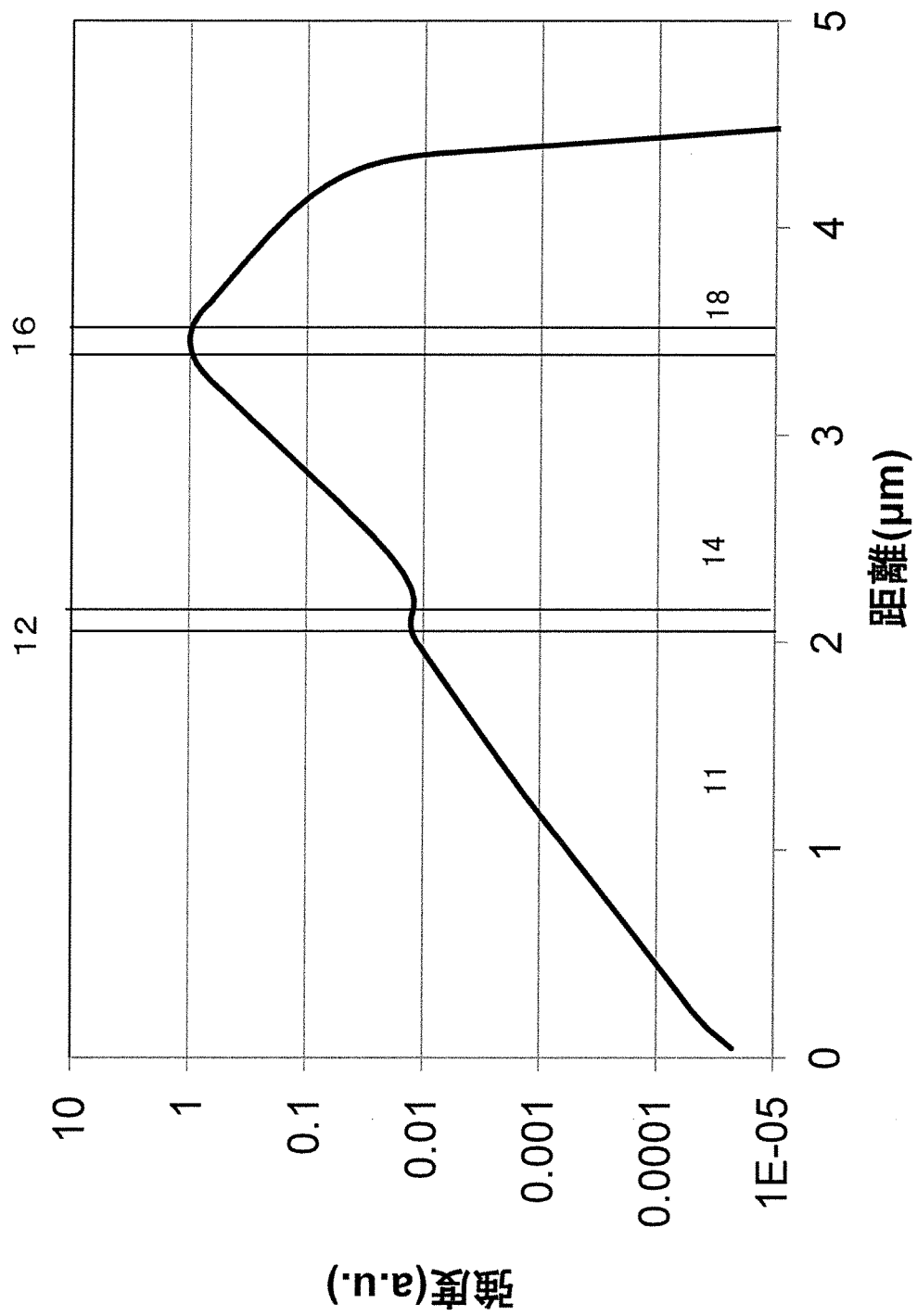
請求項 12 に記載の発光素子。

- [請求項14] 前記Ga_{1-x}N基板の上面と前記第2クラッド層の上面との間に形成された層全体の平均歪は、圧縮性である、
請求項12に記載の発光素子。
- [請求項15] 前記活性層は、 $\text{In}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ ($0 < f \leq 1$) よりなるウェル層と、 $\text{Al}_g\text{Ga}_{1-g}\text{N}$ ($0 \leq g \leq 1$) よりなるバリア層とを少なくとも1層含む量子井戸である、
請求項1から11のいずれか1項に記載の発光素子。
- [請求項16] 前記活性層は、ウェル層を少なくとも2層含む、多重量子井戸である、
請求項15に記載の発光素子。
- [請求項17] 前記活性層は、2重量子井戸または3重量子井戸である、
請求項16に記載の発光素子。
- [請求項18] 前記活性層の特性波長は445nm以上である、
請求項15から17のいずれか1項に記載の発光素子。

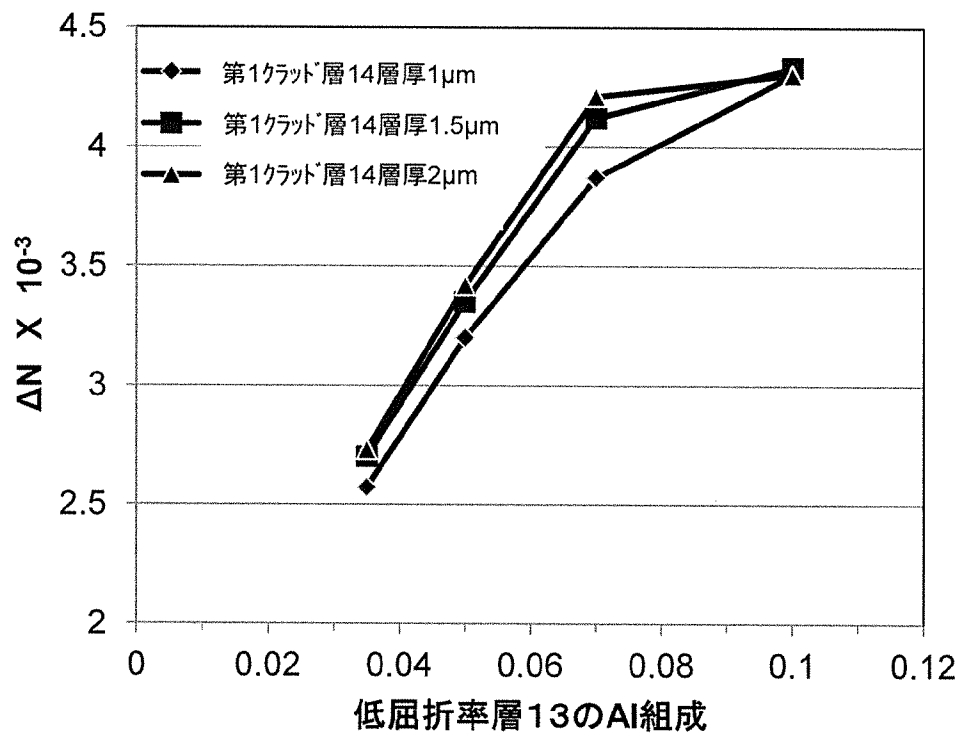
[図1]



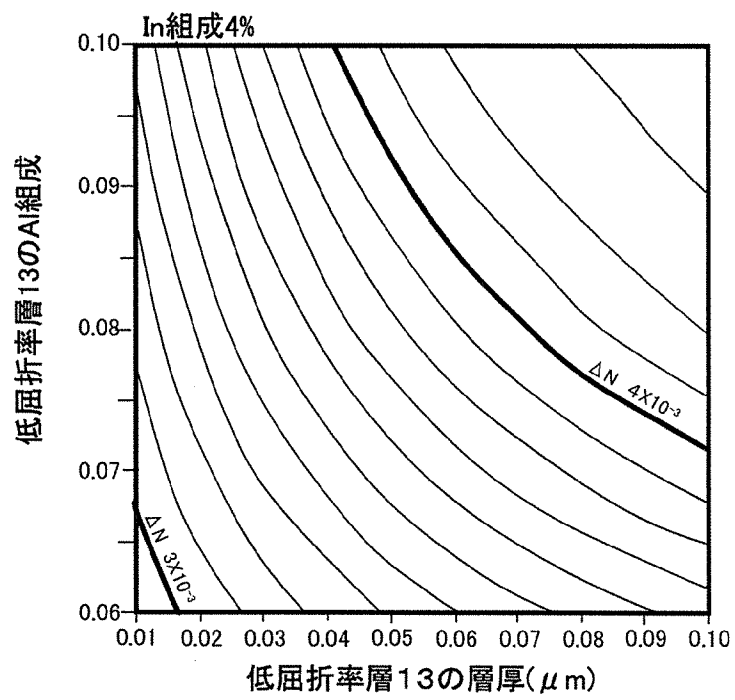
[図2]



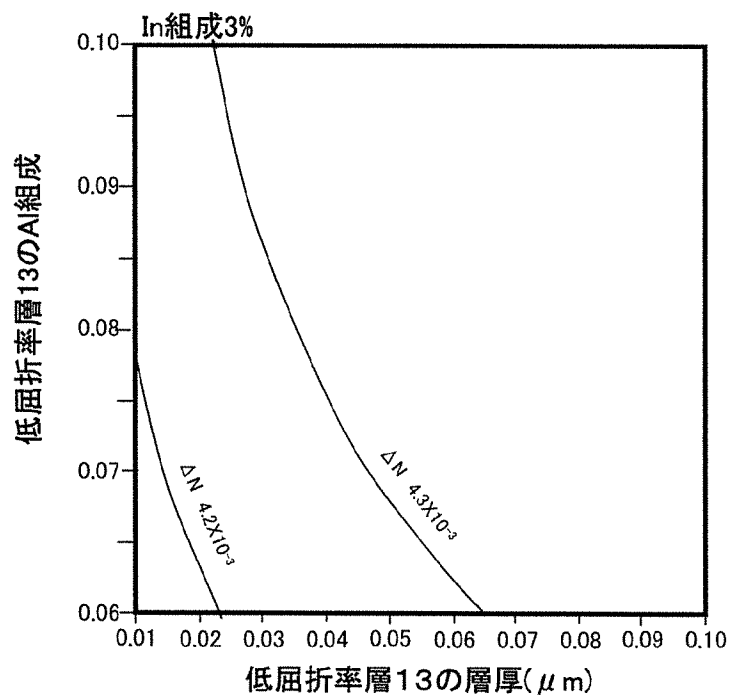
[図3]



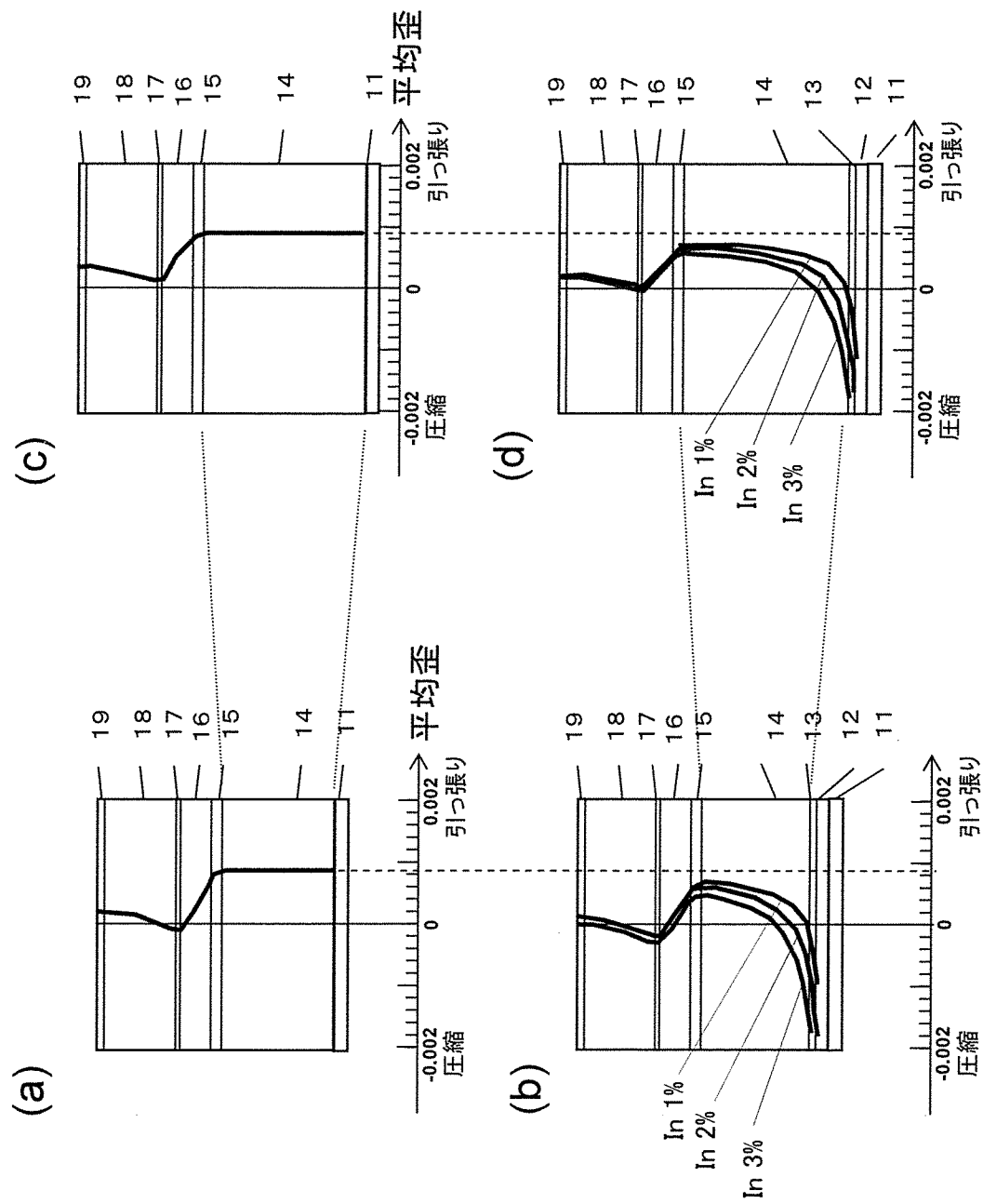
[図4A]



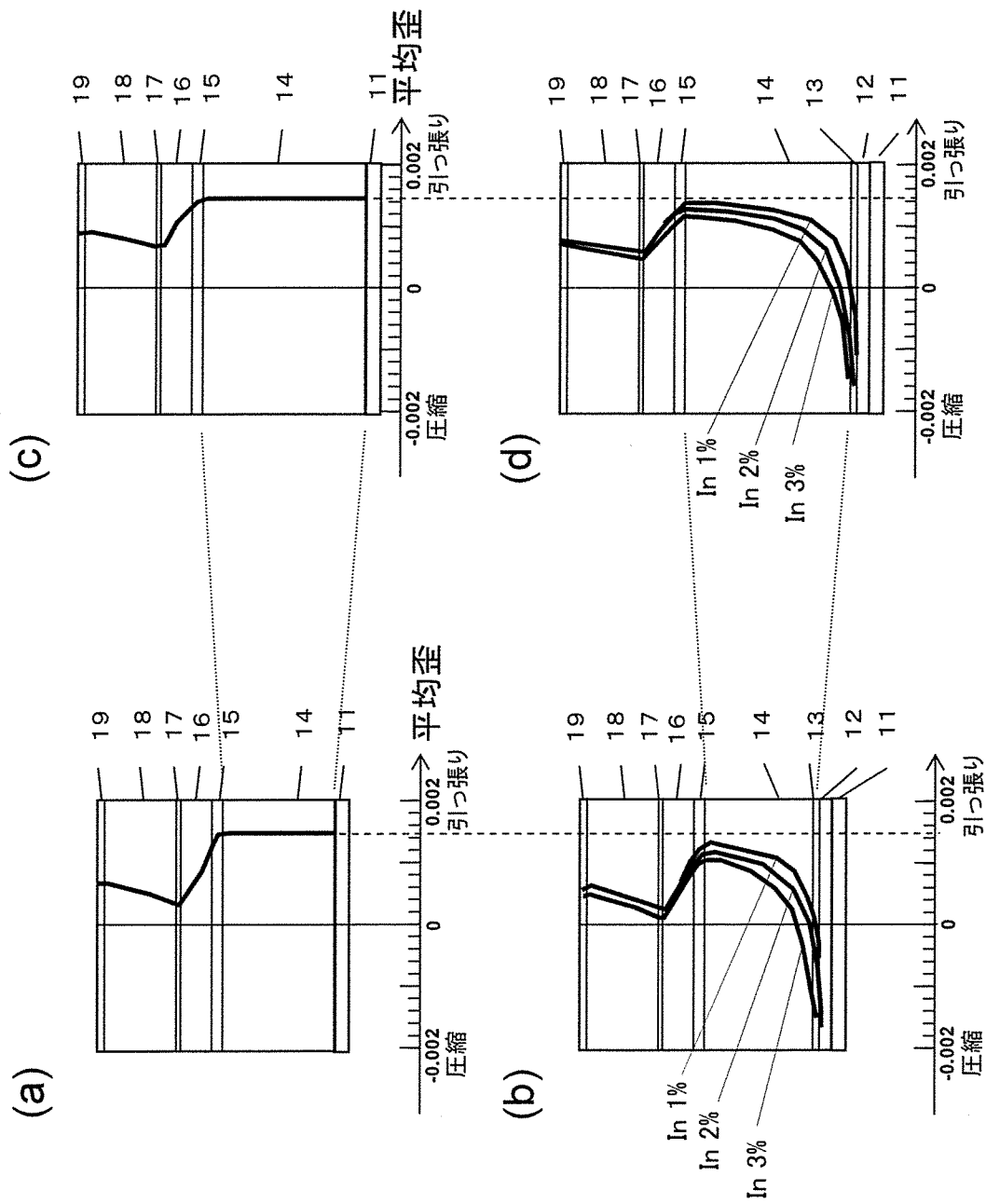
[図4B]



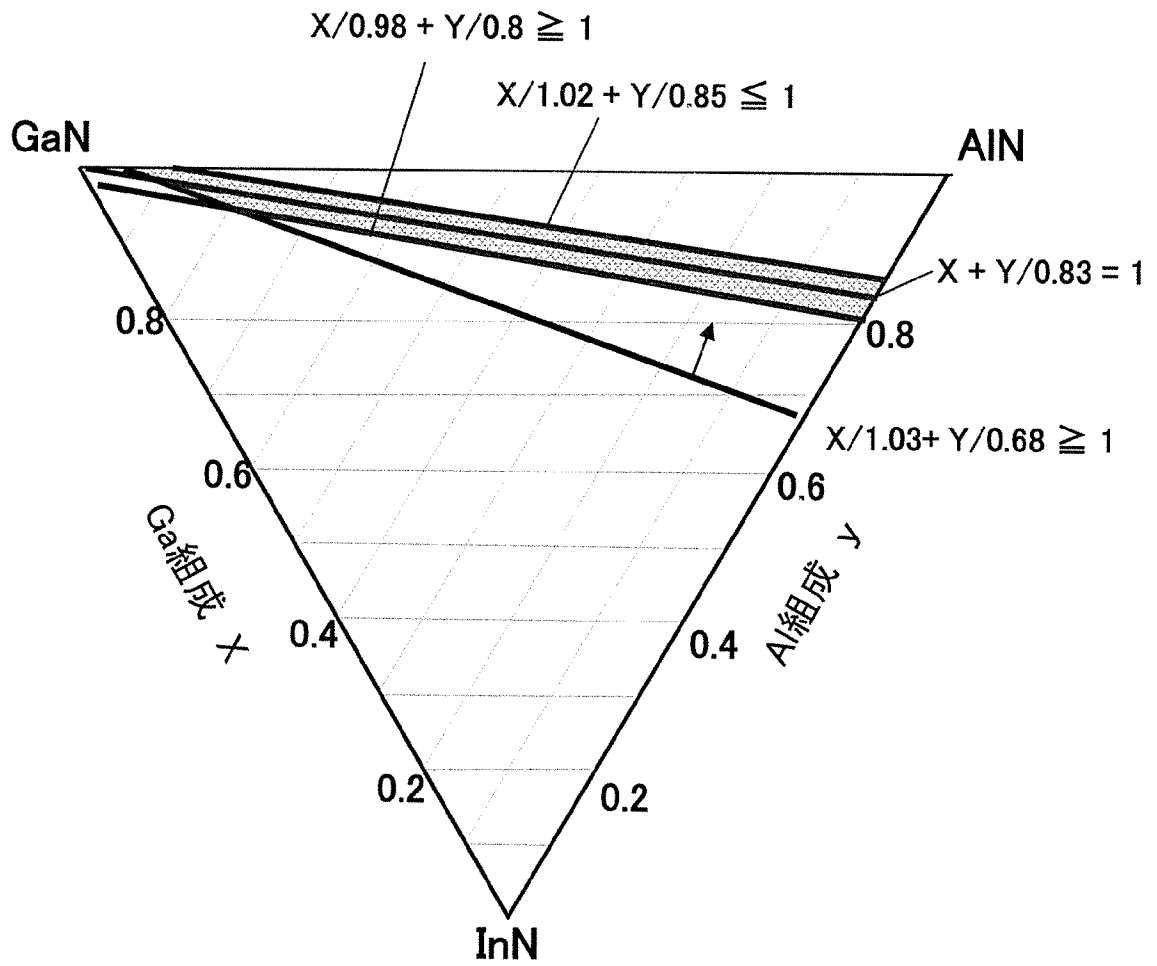
[図5]



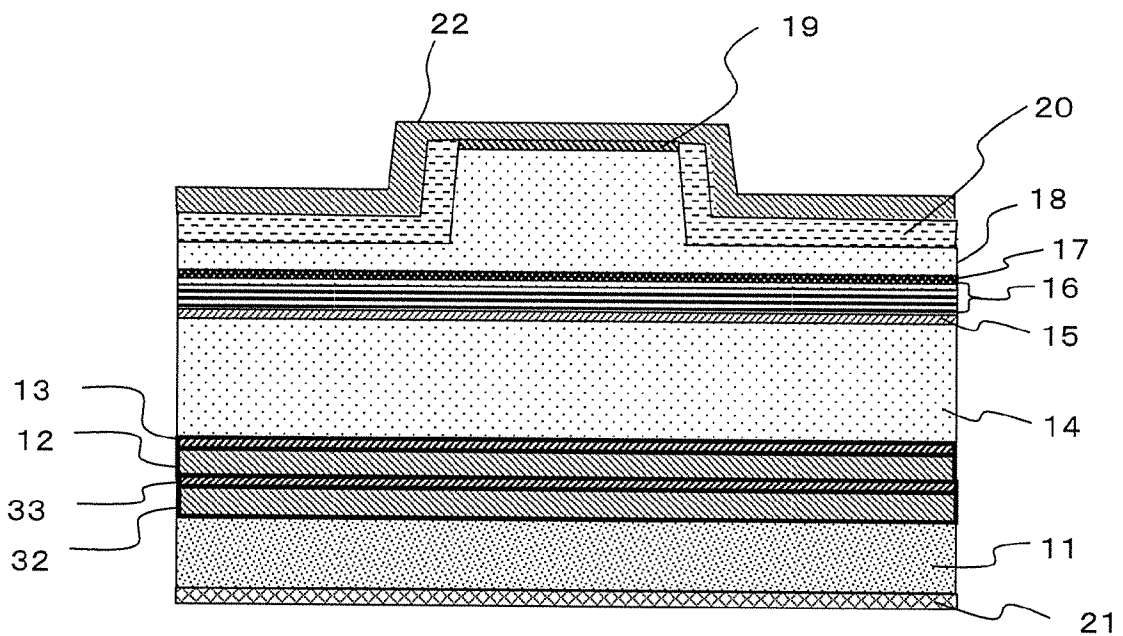
[図6]



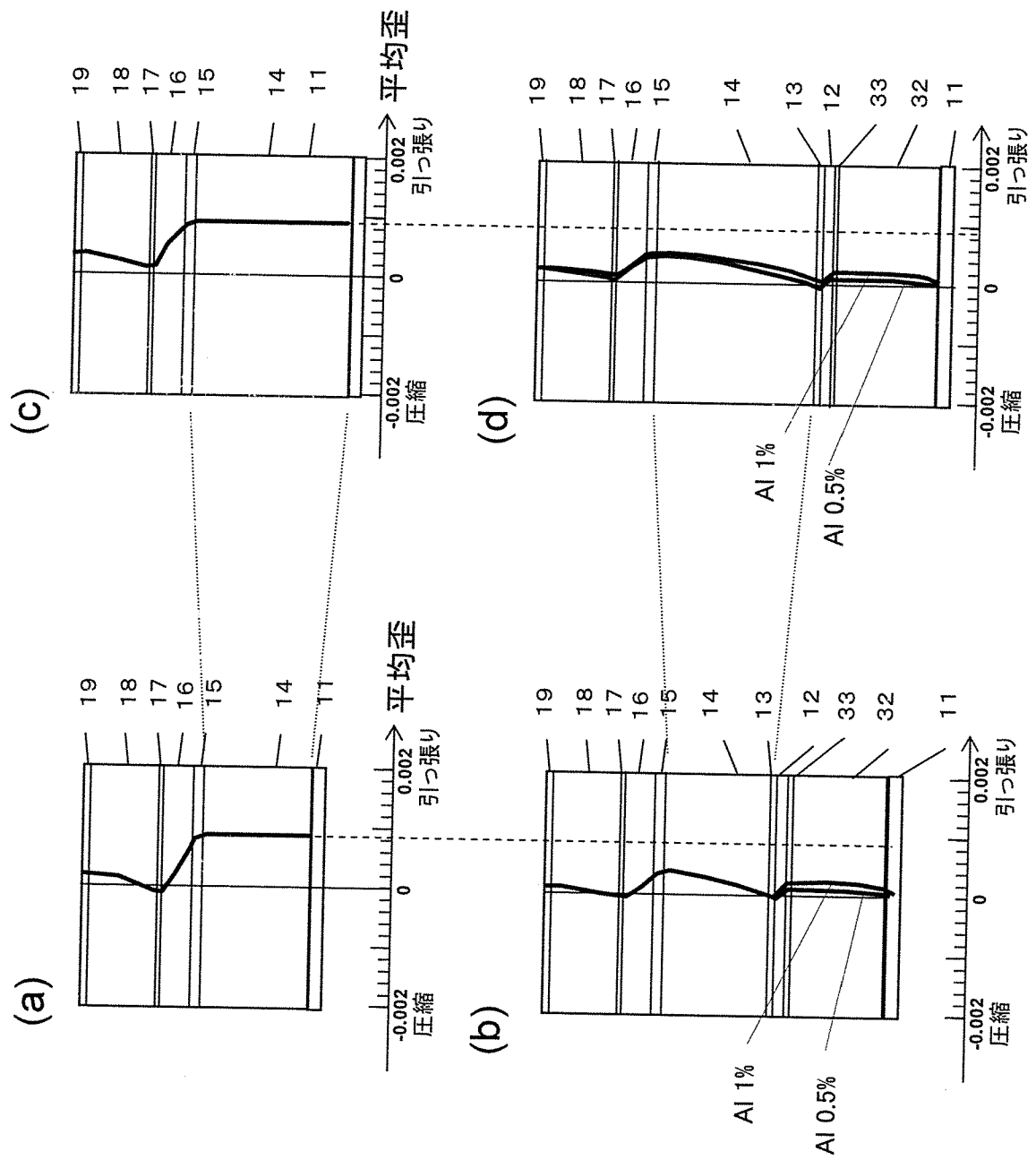
[図7]



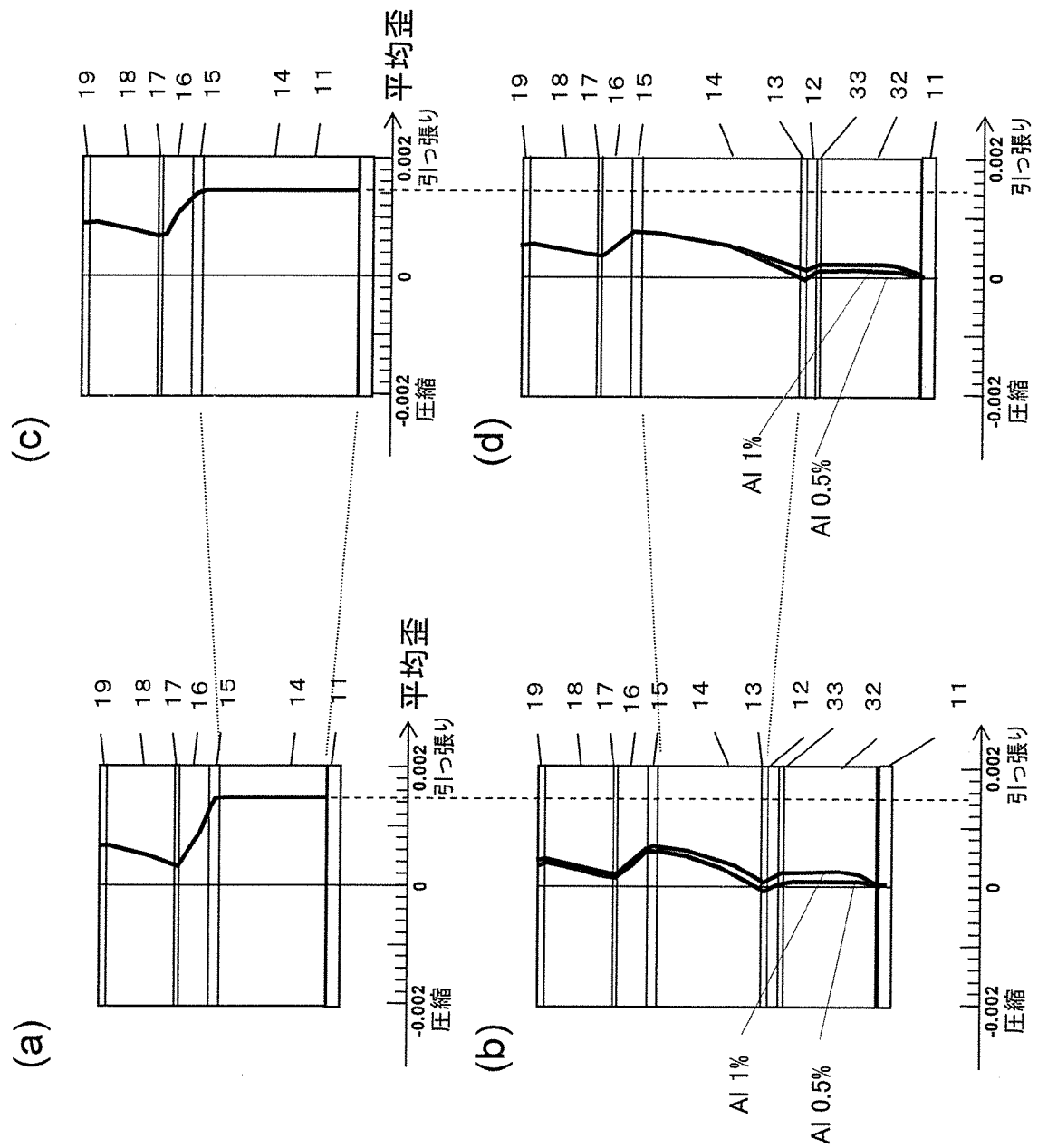
[図8]



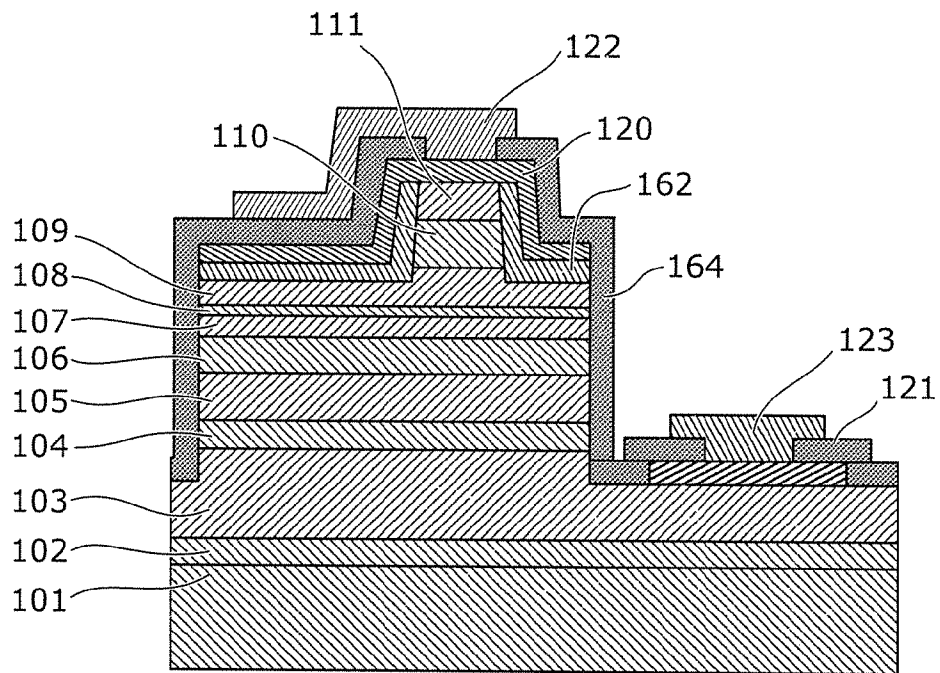
[図9]



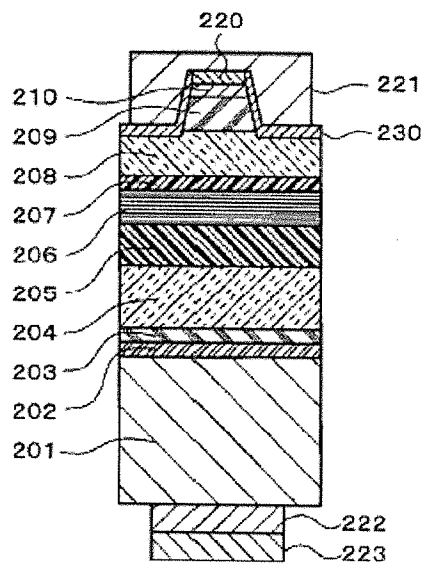
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/002523

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/343(2006.01)i, H01S5/20(2006.01)i, H01S5/22(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/205, 21/31, 21/365, 21/469, 21/86, 33/00-33/64, H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2003-282862 A (Sharp Corp.), 03 October 2003 (03.10.2003), paragraphs [0052] to [0059]; fig. 1 (Family: none)	1-5, 12-18 6-11
Y	JP 2006-80374 A (Sharp Corp.), 23 March 2006 (23.03.2006), paragraphs [0045] to [0049], [0057] to [0058]; fig. 3 & US 2006/0057824 A1 paragraphs [0077] to [0082], [0090] to [0091]; fig. 3 & CN 1758419 A	1-5, 12-18



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 July 2016 (15.07.16)

Date of mailing of the international search report

26 July 2016 (26.07.16)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/002523

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-249463 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 05 September 2003 (05.09.2003), paragraphs [0049] to [0050]; fig. 4 (Family: none)	3-4
A	JP 2003-60314 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 28 February 2003 (28.02.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-18
A	US 2008/0181274 A1 (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 31 July 2008 (31.07.2008), entire text; all drawings & KR 10-2008-0063160 A	1-18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S5/343(2006.01)i, H01S5/20(2006.01)i, H01S5/22(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L21/205, 21/31, 21/365, 21/469, 21/86, 33/00-33/64, H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 6 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 6 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 6 年

国際調査で利用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2003-282862 A（シャープ株式会社）2003.10.03, 段落 0052-0059, 図 1 （ファミリーなし）	1-5, 12-18 6-11
Y	JP 2006-80374 A（シャープ株式会社）2006.03.23, 段落 0045-0049, 0057-0058, 図 3 & US 2006/0057824 A1, 段落 0077-0082, 0090-0091, 図 3 & CN 1758419 A	1-5, 12-18

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 5 . 0 7 . 2 0 1 6

国際調査報告の発送日

2 6 . 0 7 . 2 0 1 6

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官（権限のある職員）

高 椋 健 司

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5

2 K

3 7 1 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2003-249463 A (日亜化学工業株式会社) 2003.09.05, 段落 0049-0050, 図 4 (ファミリーなし)	3-4
A	JP 2003-60314 A (松下電器産業株式会社) 2003.02.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-18
A	US 2008/0181274 A1 (日亜化学工業株式会社) 2008.07.31, 全文, 全図 & KR 10-2008-0063160 A	1-18