

(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
2013年9月6日(06.09.2013)

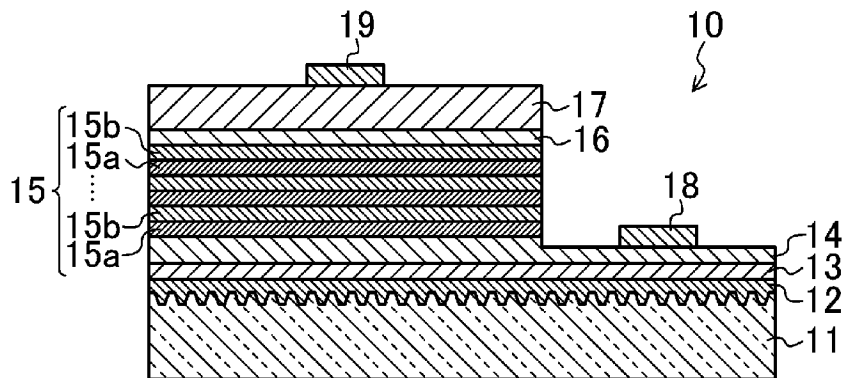


(10) 国際公開番号
WO 2013/128894 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/32 (2010.01) H01L 33/12 (2010.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/001113
 - (22) 国際出願日: 2013年2月26日(26.02.2013)
 - (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 2012-039483 2012年2月27日(27.02.2012) JP
 - (71) 出願人: 国立大学法人山口大学(YAMAGUCHI UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒7538511 山口県山口市吉田1677-1 Yamaguchi (JP).
 - (72) 発明者: 只友 一行(TADATOMO, Kazuyuki); 〒7558611 山口県宇部市常盤台2-16-1 国立大学法人山口大学工学部内 Yamaguchi (JP). 岡田 成仁(OKADA, Narihito); 〒7558611 山口県宇部市常盤台2-16-1 国立大学法人山口大学工学部内 Yamaguchi (JP).
 - (74) 代理人: 特許業務法人前田特許事務所(MAEDA & PARTNERS); 〒5410053 大阪府大阪市中央区本町2丁目5番7号 大阪丸紅ビル5階 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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, 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, 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: SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 半導体発光素子



(57) Abstract: A semiconductor light-emitting element (10) is provided with a GaN layer (13), an InGaN layer (14) directly above the GaN layer (13), and a multiple quantum well layer (15) directly above the InGaN layer (14). Distortion of the InGaN layer (14) due to lattice mismatch with the GaN layer (13) is partially or completely relaxed.

(57) 要約: 半導体発光素子(10)は、GaN層(13)と、GaN層(13)の直上のInGaN層(14)と、InGaN層(14)の多重量子井戸層(15)とを備える。InGaN層(14)は、GaN層(13)との間の格子不整合による歪みが完全に又は部分的に緩和している。

WO 2013/128894 A1

明 細 書

発明の名称：半導体発光素子

技術分野

[0001] 本発明は半導体発光素子に関する。

背景技術

[0002] 半導体発光素子として、サファイア基板上にn型Ga_aN層が設けられ、さらにその上にGa_aNとInGa_aNとが交互に積層されて構成された多重量子井戸層が設けられた構造は公知である。

[0003] また、特許文献1には、サファイア基板上にバッファ層を介してn型Ga_aN層が設けられ、そして、その上にノンドープのIn_aGa_{1-a}N (0.01 ≤ a ≤ 0.05) で形成された厚さ180nmの歪み緩和層が設けられ、さらにその上にGa_aNとInGa_aNとが交互に積層されて構成された多重量子井戸層が設けられ、サファイア基板と多重量子井戸層との熱膨張係数の差異により発生する歪みによる応力を歪み緩和層により緩和した半導体発光素子が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平11-233824号公報

発明の概要

[0005] 本発明は、主面が非極性面又は半極性面のGa_aN層と、

上記Ga_aN層の直上にIn_xGa_{1-x}N (0 < x < 0.1) がエピタキシャル成長して形成され、n型ドーパントを含有した厚さ0.2μm以上のInGa_aN層と、

上記InGa_aN層の直上にエピタキシャル成長して形成され、InGa_aNで形成された井戸層を含む多重量子井戸層と、
を備え、

上記InGa_aN層は、上記Ga_aN層との間の格子不整合による歪みが完全

に又は部分的に緩和している半導体発光素子である。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]実施形態に係る半導体発光素子の断面図である。

[図2] (a) ~ (e) は実施形態に係る半導体発光素子の製造方法の説明図である。

[図3] InGa_xN層のInの含有割合xとリファレンスを基準としたPL発光強度の倍率との関係を示すグラフである。

[図4] n型InGa_xN層の厚さと発光強度分布の半値全幅との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0007] 以下、実施形態について図面に基づいて詳細に説明する。

[0008] (半導体発光素子)

図1は実施形態に係る半導体発光素子10を示す。本実施形態に係る半導体発光素子10は、例えば半導体レーザや発光ダイオードとして好適に用いられるものである。

[0009] 本実施形態に係る半導体発光素子10は、基板11上に、u-GaN層12、n型GaN層13、n型InGa_xN層14、多重量子井戸層15、p型AlGa_xN層16、及びp型GaN層17が順に積層され、そして、エッチングにより露出したn型InGa_xN層14上にn型電極18及びp型GaN層17上にp型電極19がそれぞれ設けられた構成を有する。

[0010] ここで、基板11としては、例えば、典型的にはサファイア基板(AI₂O₃のコランダム構造の単結晶基板)が挙げられ、その他、ZnO基板、SiC基板等が挙げられる。また、基板11は、基板表面にエッチング等により微細凹凸を形成した加工基板であってもよく、また、基板表面に酸化窒化ケイ素(SiO_xN_y) 或いは窒化アルミニウム(AlN)等を部分的に設けて微細凹凸を形成した加工基板であってもよい。基板11は、例えば、発光素子の状態では矩形板状に形成されており、縦及び横のそれぞれが200~1000μm、並びに厚さが50~300μmである。

- [0011] 基板11の主面は、a面<{11-20}面>、c面<{0001}面>、m面<{1-100}面>、n面<{1-123}面>及びr面<{1-102}面>のいずれであってもよく、また、他の面方位の結晶面であってもよい。
- [0012] 基板11の結晶成長面は、主面であってもよく、また、加工基板の凹凸の側面であってもよい。基板11の結晶成長面は、a面<{11-20}面>、c面<{0001}面>、m面<{1-100}面>、n面<{1-123}面>及びr面<{1-102}面>のいずれであってもよく、また、他の面方位の結晶面であってもよい。
- [0013] u-GaN層12は、基板11の結晶成長面からGaNがドーパントを含まずにエピタキシャル結晶成長して形成されている。u-GaN層12の厚さは例えば2~20 μ mである。
- [0014] u-GaN層12の主面は、非極性面又は半極性面であり、{11-22}面であってもよく、また、{10-11}面等の他の面方位の結晶面であってもよい。
- [0015] n型GaN層13はあっても無くてもよい。n型GaN層13は、u-GaN層12の直上に、GaNがn型のドーパントを含んでu-GaN層12と同一面方位にエピタキシャル結晶成長して形成されており、従って、主面が非極性面又は半極性面である。n型ドーパントとしては、例えば、Si、Ge等が挙げられる。n型ドーパントの濃度は例えば $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。n型GaN層13の厚さは例えば2~10 μ mである。
- [0016] n型InGaN層14は、n型GaN層13がある場合はその直上に、無い場合はGaN層12の直上に、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ がn型のドーパントを含んでn型GaN層13と同一面方位にエピタキシャル結晶成長して形成されており、従って、主面が非極性面又は半極性面である。
- [0017] n型InGaN層14を形成する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ は、Inの含有割合が $0 < x < 0.1$ であり、好ましくは $0 < x < 0.05$ であり、より好ましくは

0.01 < x < 0.05である。n型ドーパントとしては、n型Ga_{1-x}N層13の場合と同様、例えば、Si、Ge等が挙げられる。n型ドーパントの濃度は例えば1.0 × 10¹⁷ ~ 1.0 × 10²⁰ / cm³である。n型InGa_{1-x}N層14は、単一層で構成されていてもよく、また、n型ドーパントの種類や濃度の異なる複数の層で構成されていてもよい。

[0018] n型InGa_{1-x}N層14の厚さは0.2 μm以上であるが、好ましくは0.2 ~ 10 μmであり、より好ましくは0.5 ~ 5 μmである。

[0019] そして、以上の構成のn型InGa_{1-x}N層14は、n型Ga_{1-x}N層13との間の格子不整合による歪みが完全に又は部分的に緩和している。ここで、本出願において、「完全緩和」とは、InGa_{1-x}N層が下地のGa_{1-x}N層に対して100%緩和していることを意味し、「部分緩和」とは、緩和率 > 0であると定義する。

[0020] 多重量子井戸層15は、n型InGa_{1-x}N層14の直上に、n型InGa_{1-x}N層14と同一面方位に半導体がエピタキシャル結晶成長して形成され、従って、主面が非極性面又は半極性面であり、そして、障壁層15aと井戸層15bの交互積層構造を有する。障壁層15a及び井戸層15bの層数は例えば3 ~ 15層である。多重量子井戸層15は発光層を構成し、その発光波長は、可視領域の波長であって、具体的にはInGa_{1-x}Nの発光領域の360 ~ 640 nmである。多重量子井戸層15は、紫色、青色、又は緑色に発光するように構成されていることが好ましく、紫色に発光するように構成されていることがより好ましい。ここで、紫色の発光波長域は380 ~ 450 nm、青色の発光波長域は450 ~ 495 nm、緑色の発光波長域は495 ~ 570 nmである。

[0021] 井戸層15bはIn_yGa_{1-y}Nで形成されており、yはxよりも大きいことが好ましい。井戸層15bの厚さは例えば1 ~ 20 nmである。

[0022] 障壁層15aを形成する半導体は、例えばバンドギャップが井戸層15bよりも大きいGa_{1-x}N等が挙げられる。障壁層15aの厚さは例えば5 ~ 20 nmである。

- [0023] p型AlGa_zN層16は、多重量子井戸層15の直上に、Al_zGa_{1-z}Nがp型のドーパントを含んで多重量子井戸層15と同一面方位にエピタキシャル結晶成長して形成されており、従って、主面が非極性面又は半極性面である。p型AlGa_zN層16を形成するAl_zGa_{1-z}Nは、Alの含有割合が例えば0.05 < z < 0.3である。p型ドーパントとしては、例えば、Mg、C等が挙げられる。p型ドーパントの場合、アクセプタ準位が深く、ドーパント濃度と自由正孔濃度とが大きく異なることから、ホール効果で測定される自由正孔濃度を含有量評価指標とするが、その自由正孔濃度は例えば1.0 × 10¹⁷ ~ 5 × 10¹⁸ / cm³である。p型AlGa_zN層16は、単一層で構成されていてもよく、また、p型ドーパントの種類や濃度の異なる複数の層で構成されていてもよい。p型AlGa_zN層16の厚さは例えば10 ~ 30 nmである。
- [0024] p型GaN層17は、p型AlGa_zN層16の直上に、GaNがp型のドーパントを含んでp型AlGa_zN層16と同一面方位にエピタキシャル結晶成長して形成されており、従って、主面が非極性面又は半極性面である。p型ドーパントとしては、p型AlGa_zN層16の場合と同様、例えば、Mg、C等が挙げられる。ホール効果測定で測定される自由正孔濃度は例えば2.0 × 10¹⁷ ~ 10 × 10¹⁷ / cm³である。p型GaN層17は、単一層で構成されていてもよく、また、p型ドーパントの種類や濃度の異なる複数の層で構成されていてもよい。p型GaN層17の厚さは例えば50 ~ 200 nmである。
- [0025] なお、p型層については、これらのp型AlGa_zN層16及びp型GaN層17に限定されるものではなく、InGa_zN/GaNの超格子構造等の特殊な構造であってもよい。
- [0026] n型電極18の構成電極材料としては、例えば、Cr/Au、Ti/Al、Ti/Al/Mo/Au、Hf/Au等の積層構造、或いは合金等が挙げられる。n型電極18の厚さは例えばTi/Al (10 nm / 500 nm) である。

[0027] p型電極19としては、例えば、Pd/Pt/Au、Ni/Au、Pd/Mo/Au等の積層構造、或いは合金等、又はITO（酸化インジウム錫）などの酸化物系透明導電材料が挙げられる。p型電極19の厚さは例えばITOの場合10～200nmである。p型電極19の上にはワイヤーボンディング用のパッド電極が必要であり、多くの場合はn型電極18と同じ材料系で作製される。

[0028] ところで、主面が非極性面であるIII族窒化物半導体を用いた半導体発光素子では、その物性の利点から高い発光効率が期待されているが、実際には、多重量子井戸層に含まれるInGaNで形成された井戸層に欠陥が入りやすいといった構造的な欠点を有し、その物性の利点を十分に生かしきれていないという問題がある。

[0029] これに対し、上記構成の本実施形態に係る半導体発光素子10では、n型GaN層13と多重量子井戸層15との間にInGaNの層が介設されており、そのため発光層での転位の発生が抑制される。また、n型ドーパントを含有する主面が非極性面又は半極性面のn型GaN層13と多重量子井戸層15との間に、 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.1$) がエピタキシャル成長して形成された、n型GaN層13と同型のn型ドーパントを含有した厚さ0.2 μ m以上のn型InGaN層14が介設され、しかも、そのn型InGaN層14がn型GaN層13との間の格子不整合による歪みが完全又は部分的に緩和し、そのため欠陥は貫通転位とならないため、n型InGaN層14の欠陥密度が下地のn型GaN層13と同等となることにより高い発光効率を得ることができる。具体的には、多重量子井戸層15の発光波長に対する発光強度分布の半値全幅が40nm以下であることが好ましく、35nm以下であることがより好ましい。なお、n型GaN層13が無く、u-GaN層12と多重量子井戸層15との間にn型InGaN層14が介設された構成であっても同様の作用効果を得ることができる。

[0030] （半導体発光素子の製造方法）

次に、本実施形態に係る半導体発光素子10の製造方法について図2（a

) ~ (e) に基づいて説明する。

[0031] 本実施形態に係る半導体発光素子10の製造方法では、ウエハ11'上にu-GaN層12、n型GaN層13(Siドープ)、n型InGaN層14(Siドープ)、発光層である多重量子井戸層15(障壁層15a:GaN、井戸層15b:InGaN)、p型AlGaN層16(Mgドープ)、及びp型GaN層17(Mgドープ)の各半導体層を順に形成した後、エッチングによりn型GaN層13を露出させ、そして、n型InGaN層14及びp型GaN層17の上にそれぞれn型電極18及びp型電極19を形成する。

[0032] <ウエハの準備>

ウエハ11'を準備する。ウエハ11'は、その直径によっても変わるが厚さが0.3~3.0mm、及び直径が50~300mmである。なお、直径50mmのウエハ11'の場合では、1枚の上に5000~12000個の半導体発光素子10を作り込むことができる。

[0033] ウエハ11'の表面には、必要に応じて、エッチング、或いは、酸化窒化ケイ素(SiO_xN_y)の堆積により、サブミクロンオーダーの多数の微細凹凸を形成加工する。

[0034] <半導体層の形成>

以下の各半導体層の形成方法としては、有機金属気相成長法(MOVPE法)、ハロゲン気相成長法(VPE法)、分子線エピタキシ法(MBE法)、ハイドライド気相成長法(HVPE法)等が挙げられ、これらのうち有機金属気相成長法が最も一般的である。以下では、有機金属気相成長法を利用した各半導体層の形成方法について説明する。

[0035] 各半導体層の形成に用いるMOVPE装置は、各々、電子制御される、ウエハ搬送系、ウエハ加熱系、ガス供給系、及びガス排気系で構成されている。ウエハ加熱系は、熱電対及び抵抗加熱ヒータ、その上に設けられた炭素製或いはSiC製のサセプタで構成されている。そして、MOVPE装置は、ウエハ加熱系において、搬送される石英トレイのサセプタの上にセットされ

たウエハ11'上に反応ガスにより半導体層を結晶成長させるように構成されている。

[0036] - u-GaN層 -

上記MOVPE装置を用いて、ウエハ11'を石英トレイ上にセットした後、ウエハ11'を1050~1150℃に加熱すると共に反応容器内の圧力を10k~100kPaとし、また、反応容器内に設置したフローチャンネル内にキャリアガスとしてH₂を流通させ、その状態を数分間保持することによりウエハ11'をサーマルクリーニングする。

[0037] 次いで、ウエハ11'の温度を1050~1150℃とすると共に反応容器内の圧力を10k~100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスH₂を10L/min程度の流量（以下、ガス流量は基準状態（0℃、1気圧）での値とする。）で流通させながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源（NH₃）、及びIII族元素供給源（TMG）を、それぞれの供給流量が0.1~5L/min、及び50~150μmol/minとなるように流す。

[0038] このとき、ウエハ11'の結晶成長面を起点として、その上にアンドープのGaNがエピタキシャル結晶成長し、図2（a）に示すように、ウエハ11'上にu-GaN層12が構成される。

[0039] なお、u-GaN層12を形成する前に低温バッファ層を形成する場合には、ウエハ11'の温度を400~500℃としてGaNを結晶成長させる。

[0040] - n型GaN層 -

反応容器内の圧力を10k~100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスH₂を5~15L/minの流量で流通させながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源（NH₃）、III族元素供給源1（TMG）、及びn型ドーパント供給源（SiH₄）を、それぞれの供給流量が0.1~5L/min、50~150μmol/min、及び1~5×10⁻³μmol/minとなるように流す。

[0041] このとき、図2（b）に示すように、u-GaN層12の直上にn型GaN

がエピタキシャル結晶成長してn型Ga_{0.9}In_{0.1}N層13が形成される。

[0042] - n型InGa_{0.9}N層 -

ウエハ11'の温度を600~850℃程度とすると共に反応容器内の圧力を10k~100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスN₂を流通させながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源(NH₃)、III族元素供給源1(TM₁G)、III族元素供給源2(TM₂I)、及びn型ドーパント供給源(SiH₄)を供給する。

[0043] このとき、図2(c)に示すように、n型Ga_{0.9}In_{0.1}N層13の直上にn型InGa_{0.9}Nがエピタキシャル結晶成長してn型InGa_{0.9}N層14が形成される。

[0044] - 多重量子井戸層 -

ウエハ11'の温度を600~850℃程度とすると共に反応容器内の圧力を10k~100kPaとし、また、反応容器内にキャリアガスN₂を流通させながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源(NH₃)、及びIII族元素供給源(TM₁G)を、それぞれの供給流量を流す。このとき、n型InGa_{0.9}N層14の直上にGa_{0.9}In_{0.1}Nがエピタキシャル結晶成長して障壁層15aが形成される。

[0045] 次に、V族元素供給源(NH₃)、III族元素供給源1(TM₁G)、及びIII族元素供給源2(TM₂I)を流す。このとき、Ga_{0.9}In_{0.1}Nの障壁層15aの直上にInGa_{0.9}Nがエピタキシャル結晶成長して井戸層15bが形成される。

[0046] そして、上記と同様の操作を交互に繰り返し、図2(d)に示すように、障壁層15aと井戸層15bとを交互に形成することにより多重量子井戸層15を構成する。なお、多重量子井戸層15の発光波長は井戸層15bの井戸幅(井戸層15bの厚み)とInN混晶比に依存し、InN混晶比が高いほど発光波長は長波長となる。InN混晶比はTM₂Iのモル流量/(TM₁Gのモル流量+TM₂Iのモル流量)、V/III比と成長温度によって決定される。

[0047] - p型AlGa_{0.9}N層及びp型Ga_{0.9}N層 -

ウエハ11'の温度を800~1100℃とすると共に反応容器内の圧力

を $10\text{ k} \sim 100\text{ k Pa}$ とし、また、反応容器内にキャリアガスの H_2 を流通させながら、そこに反応ガスとして、V族元素供給源 (NH_3)、III族元素供給源1 (TMG)、III族元素供給源3 (TMA)、及びp型ドーパント供給源 (Cp_2Mg) を流す。

[0048] このとき、図2 (e) に示すように、多重量子井戸層15の直上にp型AlGaInがエピタキシャル結晶成長してp型AlGaIn層16が形成される。

[0049] 引き続き、反応ガスとして、V族元素供給源 (NH_3)、III族元素供給源1 (TMG)、及びp型ドーパント供給源 (Cp_2Mg) を流す。

[0050] このとき、図2 (e) に示すように、p型AlGaIn層16の直上にp型GaNがエピタキシャル結晶成長してp型GaN層17が形成される。

[0051] <電極の形成>

半導体層を積層形成したウエハ11'を部分的に反応性イオンエッチングすることによりn型GaN層13を露出させ、真空蒸着、スパッタリング、CVD (Chemical Vapor Deposition) 等の方法によりn型InGaIn層14上にn型電極18を形成する。また、p型GaN層17上にp型電極19を形成する。なお、p型GaN層17とp型電極19との間にはITO等の透明導電膜を介設させてもよい。

[0052] 最後に、ウエハ11'を劈開することにより個々の半導体発光素子10に分断する。

実施例

[0053] (試験評価1)

上記実施形態と同様の構成の半導体発光素子を作製した。

[0054] 基板には、表面に微細凹凸を形成した主面がr面であるサファイア基板の加工基板を用いた。そして、サファイア基板上に、低温バッファ層を介して主面が{11-22}面であるu-GaN層を結晶成長させ、その上に、半導体をエピタキシャル結晶成長させてn型GaN層、n型InGaIn層、多重量子井戸層、p型AlGaIn層、及びp型GaN層を順に積層形成した。従

って、いずれの層も主面が $\{11-22\}$ 面である。

[0055] 半導体発光素子として、多重量子井戸層の発光波長が420nm（紫色）であるものについて、n型InGaN層におけるInの含有割合 x を変量した複数種を作製した。同様に、発光波長が450nm（青色）であるもの及び発光波長が520nm（緑色）であるもののそれぞれについても、n型InGaN層におけるInの含有割合 x を変量した複数種を作製した。なお、リファレンス用のn型InGaN層を設けていない半導体発光素子も作製した。

[0056] そして、各半導体発光素子について、PL発光強度を測定し、リファレンスを基準としたPL発光強度の倍率を求めた。

[0057] 図3は、InGaN層のInの含有割合 x とリファレンスを基準としたPL発光強度の倍率との関係を示す。

[0058] これによれば、n型InGaN層におけるInの含有割合 x が $0 < x < 0.1$ の範囲において、PL発光強度の倍率は1よりも大きく、従って、高い発光効率を得ることができることが分かる。特に、 $0.01 < x < 0.05$ の範囲において、また、紫色の発光をするものにおいて、顕著に高い発光効率を得られることが分かる。

[0059] また、各半導体発光素子について逆格子空間マッピング測定を行ったところ、少なくともn型InGaN層におけるInの含有割合 x が $0 < x < 0.15$ の範囲にあるものについて、n型InGaN層は、n型GaIn層との間の格子不整合による歪みが完全に又は部分的に緩和していることが確認された。

[0060] （試験評価2）

試験評価1と同様にして、n型InGaN層の厚さを変量した青緑色を発光する同種の半導体発光素子を作製した。なお、Inの含有割合 $x = 0.02$ とした。また、リファレンス用のn型InGaN層を設けていない半導体発光素子も作製した。そして、各半導体発光素子について、20mAの電流注入時における多重量子井戸層の発光波長に対する発光強度分布の半値全幅

を求めた。

[0061] 図4は、n型InGaN層の厚さと発光強度分布の半値全幅との関係を示す。

[0062] 図4によれば、リファレンス用の半導体発光素子では、発光強度分布の半値全幅が40nm強であるのに対し（図4の白丸）、n型InGaN層の厚さが0.2μm以上では、発光強度分布の半値全幅が40nm以下であり、0.3μm以上では、発光強度分布の半値全幅が35nm以下、1.0μmでは約30nmであることが分かる。つまり、これは、n型InGaN層の厚さが0.2μm以上であることにより、半導体発光素子の高い発光効率を得ることができることを示すものである。

産業上の利用可能性

[0063] 本発明は半導体発光素子について有用である。

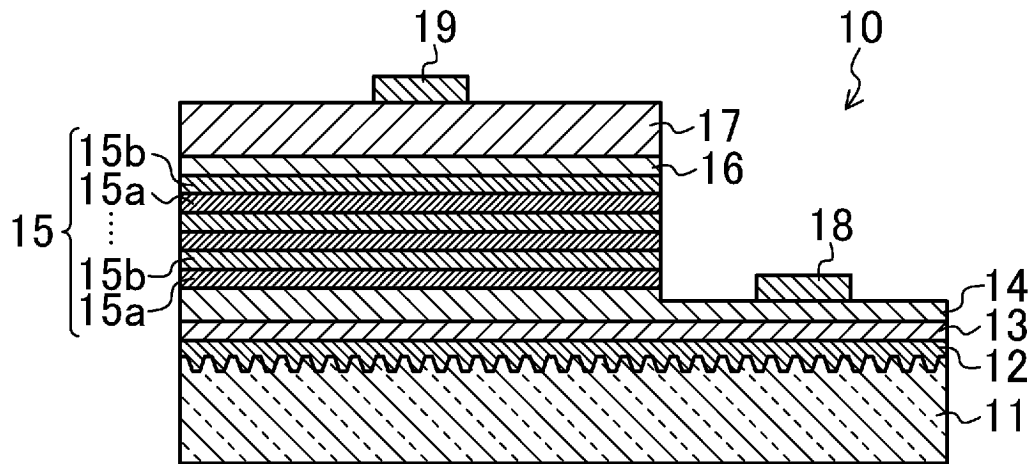
符号の説明

- [0064] 10 半導体発光素子
- 11 基板
- 11' ウエハ
- 12 u-GaN層
- 13 n型GaN層
- 14 n型InGaN層
- 15 多重量子井戸層
- 15a 障壁層
- 15b 井戸層
- 16 p型AlGaN層
- 17 p型GaN層
- 18 n型電極
- 19 p型電極

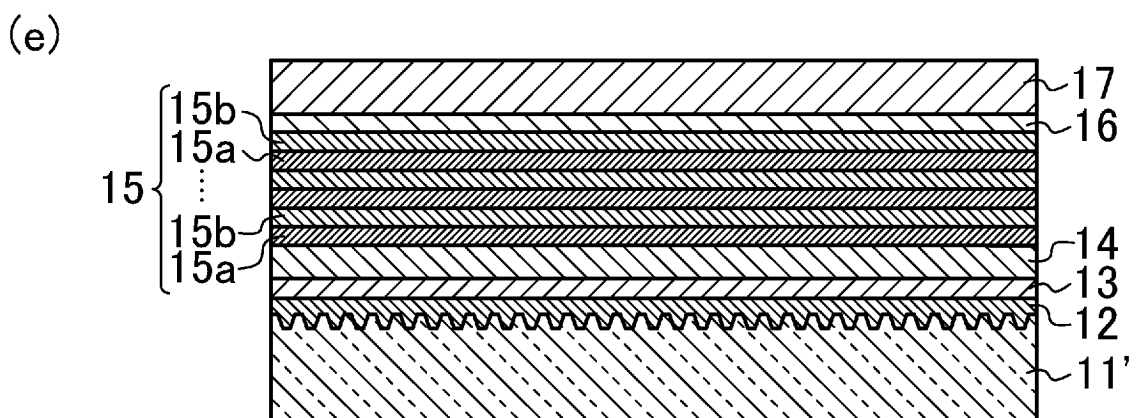
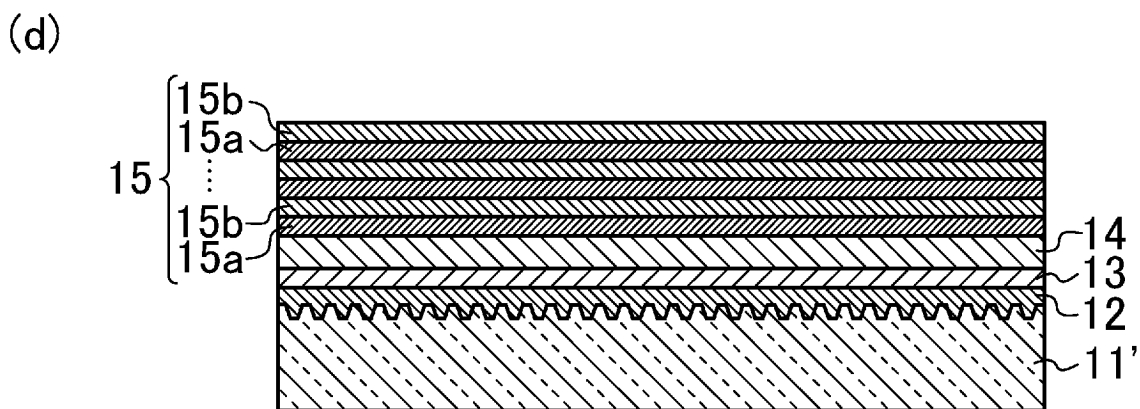
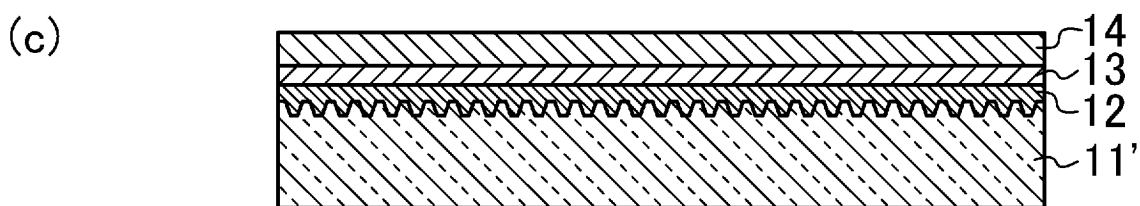
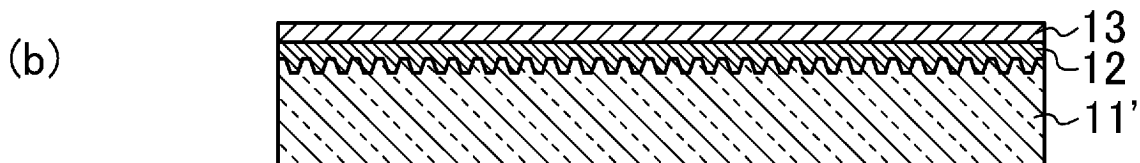
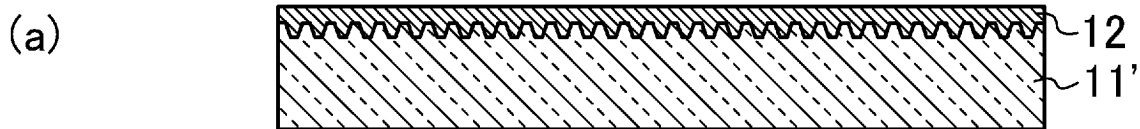
請求の範囲

- [請求項1] 主面が非極性面又は半極性面のGaN層と、
上記GaN層の直上に $In_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.1$)がエピタキシャル成長して形成され、n型ドーパントを含有した厚さ $0.2\mu m$ 以上のInGaN層と、
上記InGaN層の直上にエピタキシャル成長して形成され、InGaNで形成された井戸層を含む多重量子井戸層と、
を備え、
上記InGaN層は、上記GaN層との間の格子不整合による歪みが完全に又は部分的に緩和している半導体発光素子。
- [請求項2] 請求項1に記載された半導体発光素子において、
 $0.01 < x < 0.05$ である半導体発光素子。
- [請求項3] 請求項1又は2に記載された半導体発光素子において、
上記多重量子井戸層は、紫色、青色、又は緑色に発光するように構成されている半導体発光素子。
- [請求項4] 請求項3に記載された半導体発光素子において、
上記多重量子井戸層は、紫色に発光するように構成されている半導体発光素子。
- [請求項5] 請求項1乃至4のいずれかに記載された半導体発光素子において、
上記InGaN層の主面が $\{11-22\}$ 面である半導体発光素子。
- [請求項6] 請求項1乃至5のいずれかに記載された半導体発光素子において、
上記多重量子井戸層の発光波長に対する発光強度分布の半値全幅が $40nm$ 以下である半導体発光素子。
- [請求項7] 請求項1乃至6のいずれかに記載された半導体発光素子において、
上記GaN層が設けられた基板をさらに備えた半導体発光素子。
- [請求項8] 請求項7に記載された半導体発光素子において、
上記基板がサファイア基板である半導体発光素子。

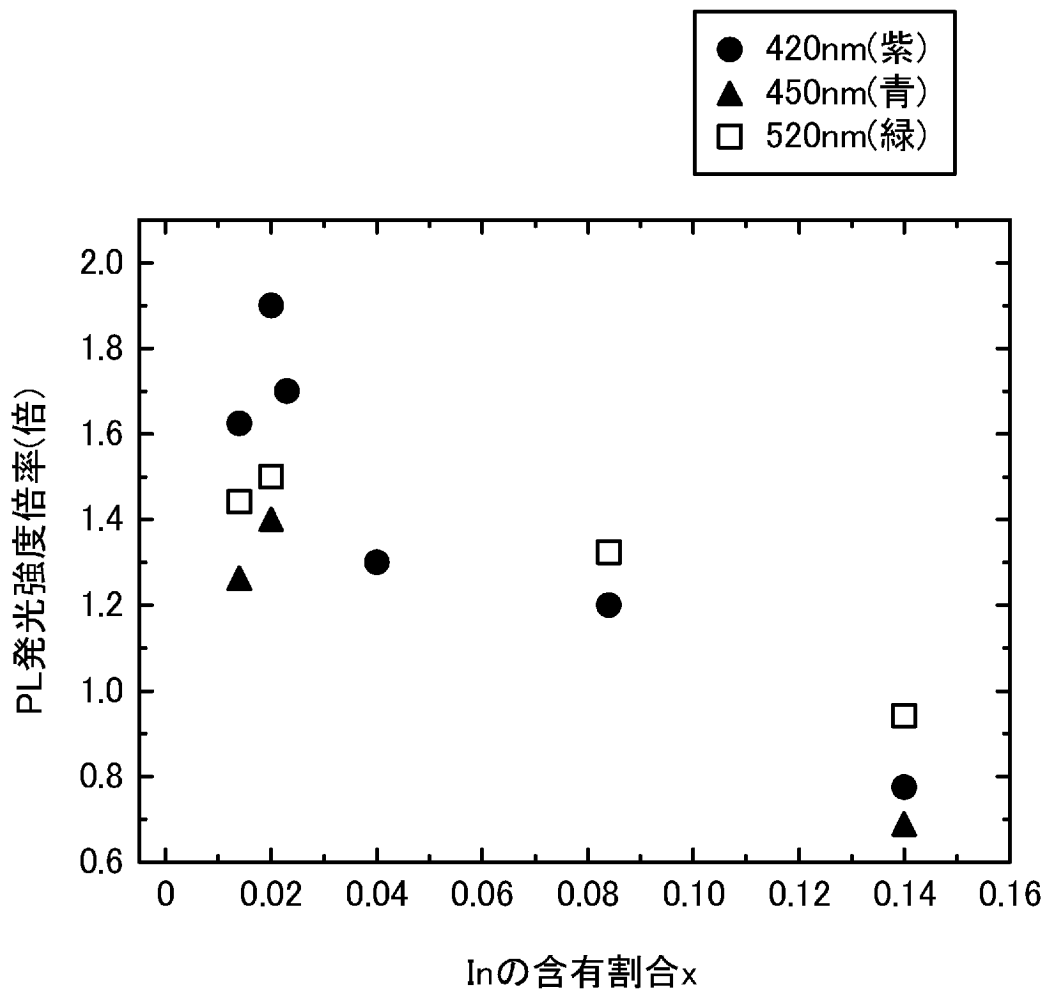
[図1]



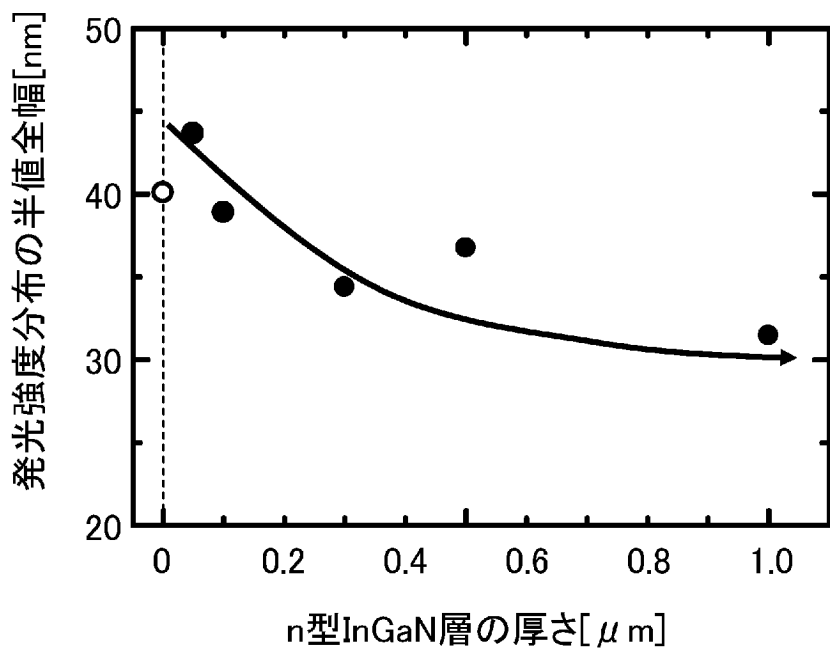
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/001113

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/32(2010.01) i, H01L33/12(2010.01) 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)

H01L33/32, H01L33/12

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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	WO 2011/022724 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA), 24 February 2011 (24.02.2011), pages 8 to 16; fig. 7 to 15 & JP 2013-502730 A & US 2011/0064103 A1 & CN 102484047 A & KR 10-2012-0055709 A & TW 201138149 A	1-8
Y	JP 2004-119783 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 15 April 2004 (15.04.2004), paragraphs [0013] to [0018]; fig. 1 (Family: none)	1-8

 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
07 June, 2013 (07.06.13)Date of mailing of the international search report
18 June, 2013 (18.06.13)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/001113

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2011/007637 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 20 January 2011 (20.01.2011), paragraphs [0009], [0016] to [0026]; fig. 1 & US 2011/0227035 A1 & EP 2455988 A1 & CN 102099935 A & KR 10-2011-0020246 A & TW 201121095 A	1-8
Y	JP 2012-15566 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 19 January 2012 (19.01.2012), entire text; all drawings & US 2011/0182311 A1 & WO 2010/041657 A1 & KR 10-2011-0069129 A & CN 102177593 A & TW 201027802 A	1-8
Y	JP 2010-263163 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 November 2010 (18.11.2010), entire text; all drawings & US 2012/0119240 A1 & EP 2432082 A1 & TW 201101533 A & CN 102422495 A & KR 10-2012-0024678 A	1-8
Y	JP 11-233824 A (Toyoda Gosei Co., Ltd.), 27 August 1999 (27.08.1999), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	S. Pereira et al., "Structural and optical properties of InGaN/GaN layers close to the critical layer thickness", Appl. Phys. Lett. Vol. 81, No. 7, p. 1207-1209 (2002)	1-8
A	D. Holec et al., "Critical thickness calculations for InGaN/GaN", Journal of Crystal Growth, Vol. 303 (2007), p. 314-317	1-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01L33/32(2010.01)i, H01L33/12(2010.01)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 (IPC))
 Int.Cl. H01L33/32, H01L33/12

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 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2013年
 日本国実用新案登録公報 1996-2013年
 日本国登録実用新案公報 1994-2013年

国際調査で使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	WO 2011/022724 A1 (THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA), 2011.02.24, pp. 8-16, fig. 7-15 & JP 2013-502730 A & US 2011/0064103 A1 & CN 102484047 A & KR 10-2012-0055709 A & TW 201138149 A	1-8
Y	JP 2004-119783 A (日本電信電話株式会社), 2004.04.15, [0013]-[0018], 図1 (ファミリーなし)	1-8

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。

<p>* 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、国際出願日以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</p>	<p>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</p>
---	---

国際調査を完了した日 07.06.2013	国際調査報告の発送日 18.06.2013
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 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) 吉野 三寛 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 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	WO 2011/007637 A1 (住友電気工業株式会社), 2011.01.20, [0009] [0016]-[0026], 図1 & US 2011/0227035 A1 & EP 2455988 A1 & CN 102099935 A & KR 10-2011-0020246 A & TW 201121095 A	1-8
Y	JP 2012-15566 A (住友電気工業株式会社), 2012.01.19, 全文, 全図 & US 2011/0182311 A1 & WO 2010/041657 A1 & KR 10-2011-0069129 A & CN 102177593 A & TW 201027802 A	1-8
Y	JP 2010-263163 A (住友電気工業株式会社), 2010.11.18, 全文, 全図 & US 2012/0119240 A1 & EP 2432082 A1 & TW 201101533 A & CN 102422495 A & KR 10-2012-0024678 A	1-8
Y	JP 11-233824 A (豊田合成株式会社), 1999.08.27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8
A	S. Pereira et al., "Structural and optical properties of InGaN/GaN layers close to the critical layer thickness", Appl. Phys. Lett. Vol. 81, No. 7, p. 1207-1209 (2002)	1-8
A	D. Holec et al., "Critical thickness calculations for InGaN/GaN", Journal of Crystal Growth, Vol. 303 (2007), p. 314-317	1-8