

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6019541号
(P6019541)

(45) 発行日 平成28年11月2日(2016.11.2)

(24) 登録日 平成28年10月14日(2016.10.14)

(51) Int.Cl.		F I
HO 1 L 33/06	(2010.01)	HO 1 L 33/06
HO 1 L 33/16	(2010.01)	HO 1 L 33/16
HO 1 L 33/32	(2010.01)	HO 1 L 33/32

請求項の数 3 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2014-502031 (P2014-502031)	(73) 特許権者	304020177 国立大学法人山口大学 山口県山口市吉田1677-1
(86) (22) 出願日	平成25年2月26日(2013.2.26)	(74) 代理人	110001427 特許業務法人前田特許事務所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/001113	(72) 発明者	只友 一行 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
(87) 国際公開番号	W02013/128894	(72) 発明者	岡田 成仁 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
(87) 国際公開日	平成25年9月6日(2013.9.6)		
審査請求日	平成28年2月16日(2016.2.16)	審査官	吉野 三寛
(31) 優先権主張番号	特願2012-39483 (P2012-39483)		
(32) 優先日	平成24年2月27日(2012.2.27)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

主面が{11-22}面のGaN層と、

上記GaN層の直上にIn_xGa_{1-x}N(0.01<x<0.05)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紫色に発光するように構成された多重量子井戸層と、
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おり、

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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

【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、サファイア基板の上にn型Ga_aN層が設けられ、さらにその上にGa_aNとIn_aGa_{1-a}N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、サファイア基板の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In_aGa_{1-a}N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。

10

【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】

20

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】

30

【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_aN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_aN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】

40

(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ー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-Ga_aN層12、n型Ga_aN層13、n型InGa_aN層14、多重量子井戸層15、p型AlGa_aN層16、及びp型Ga_aN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_aN層14上にn型電極18及びp型Ga_aN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】

50

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(Al_2O_3 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200~1000 μm 、並びに厚さが50~300 μm 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。

10

【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 μm である。

20

【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 $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{20} / cm^3$ である。n型GaN層13の厚さは例えば2~10 μm である。

30

【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、 $In_xGa_{1-x}N$ 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 $In_xGa_{1-x}N$ 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GaN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 $1.0 \times 10^{17} \sim 1.0 \times 10^{20} / cm^3$ である。n型InGaN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。

40

【0018】

n型InGaN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InGaN層14は、n型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。ここで、本出願において、「完全緩和」とは、InGaN層が下地のGaN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。

50

【0020】

多重量子井戸層15は、n型InGa_xN層14の直上に、n型InGa_xN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_xNの発光領域の360～640nm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380～450nm、青色の発光波長域は450～495nm、緑色の発光波長域は495～570nmである。

10

【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1～20nm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_xN等が挙げられる。障壁層15aの厚さは例えば5～20nmである。

【0023】

p型AlGa_xN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_xN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_xN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_xN層16の厚さは例えば10～30nmである。

20

【0024】

p型Ga_xN層17は、p型AlGa_xN層16の直上に、Ga_xNがp型のドーパントを含んでp型AlGa_xN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_xN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 ~ 1.0 × 10¹⁷ / cm³である。p型Ga_xN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Ga_xN層17の厚さは例えば50～200nmである。

30

【0025】

なお、p型層については、これらのp型AlGa_xN層16及びp型Ga_xN層17に限定されるものではなく、InGa_xN / Ga_xN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 (10nm / 500nm)である。

40

【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】

50

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 μm 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40 nm以下であることが好ましく、35 nm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。

10

【0030】

(半導体発光素子の製造方法)

20

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ドーパ)、n型InGaN層14(Siドーパ)、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AlGaIn層16(Mgドーパ)、及びp型GaN層17(Mgドーパ)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InGaIn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。

30

【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0.3~3.0 mm、及び直径が50~300 mmである。なお、直径50 mm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>

40

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

50

プタの上にセットされたウエハ 1 1 ' 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。

【 0 0 3 6 】

- u - G a N 層 -

上記 M O V P E 装置を用いて、ウエハ 1 1 ' を石英トレイ上にセットした後、ウエハ 1 1 ' を 1 0 5 0 ~ 1 1 5 0 に加熱すると共に反応容器内の圧力を 1 0 k ~ 1 0 0 k P a 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 1 1 ' をサーマルクリーニングする。

【 0 0 3 7 】

次いで、ウエハ 1 1 ' の温度を 1 0 5 0 ~ 1 1 5 0 とすると共に反応容器内の圧力を 1 0 k ~ 1 0 0 k P a とし、また、反応容器内にキャリアガス H₂ を 1 0 L / m i n 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（N H₃）、及び III 族元素供給源（T M G）を、それぞれの供給流量が 0 . 1 ~ 5 L / m i n、及び 5 0 ~ 1 5 0 μ m o l / m i n となるように流す。

10

【 0 0 3 8 】

このとき、ウエハ 1 1 ' の結晶成長面を起点として、その上にアンドープの G a N 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 1 1 ' 上に u - G a N 層 1 2 が構成される。

【 0 0 3 9 】

20

なお、u - G a N 層 1 2 を形成する前に低温パッファ層を形成する場合には、ウエハ 1 1 ' の温度を 4 0 0 ~ 5 0 0 とし G a N を結晶成長させる。

【 0 0 4 0 】

- n 型 G a N 層 -

反応容器内の圧力を 1 0 k ~ 1 0 0 k P a とし、また、反応容器内にキャリアガス H₂ を 5 ~ 1 5 L / m i n 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（N H₃）、III 族元素供給源 1（T M G）、及び n 型ドーパント供給源（S i H₄）を、それぞれの供給流量が 0 . 1 ~ 5 L / m i n、5 0 ~ 1 5 0 μ m o l / m i n、及び 1 ~ 5 × 1 0⁻³ μ m o l / m i n となるように流す。

【 0 0 4 1 】

30

このとき、図 2（b）に示すように、u - G a N 層 1 2 の直上に n 型 G a N がエピタキシャル結晶成長して n 型 G a N 層 1 3 が形成される。

【 0 0 4 2 】

- n 型 I n G a N 層 -

ウエハ 1 1 ' の温度を 6 0 0 ~ 8 5 0 程度とすると共に反応容器内の圧力を 1 0 k ~ 1 0 0 k P a 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（N H₃）、III 族元素供給源 1（T M G）、III 族元素供給源 2（T M I）、及び n 型ドーパント供給源（S i H₄）を供給する。

【 0 0 4 3 】

このとき、図 2（c）に示すように、n 型 G a N 層 1 3 の直上に n 型 I n G a N がエピタキシャル結晶成長して n 型 I n G a N 層 1 4 が形成される。

40

【 0 0 4 4 】

- 多重量子井戸層 -

ウエハ 1 1 ' の温度を 6 0 0 ~ 8 5 0 程度とすると共に反応容器内の圧力を 1 0 k ~ 1 0 0 k P a 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（N H₃）、及び III 族元素供給源（T M G）を、それぞれの供給流量を流す。このとき、n 型 I n G a N 層 1 4 の直上に G a N がエピタキシャル結晶成長して障壁層 1 5 a が形成される。

【 0 0 4 5 】

次いで、V 族元素供給源（N H₃）、III 族元素供給源 1（T M G）、及び III 族元素供

50

給源 2 (T M I) を流す。このとき、G a N の障壁層 1 5 a の直上に I n G a N がエピタキシャル結晶成長して井戸層 1 5 b が形成される。

【 0 0 4 6 】

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 1 5 a と井戸層 1 5 b とを交互に形成することにより多重量子井戸層 1 5 を構成する。なお、多重量子井戸層 1 5 の発光波長は井戸層 1 5 b の井戸幅 (井戸層 1 5 b の厚み) と I n N 混晶比に依存し、I n N 混晶比が高いほど発光波長は長波長となる。I n N 混晶比は T M I のモル流量 / (T M G のモル流量 + T M I のモル流量)、V / I I I 比と成長温度によって決定される。

【 0 0 4 7 】

- p 型 A l G a N 層及び p 型 G a N 層 -

ウエハ 1 1 ' の温度を 8 0 0 ~ 1 1 0 0 とすると共に反応容器内の圧力を 1 0 k ~ 1 0 0 k P a 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 (N H ₃)、III 族元素供給源 1 (T M G)、III 族元素供給源 3 (T M A)、及び p 型ドーパント供給源 (C p ₂ M g) を流す。

【 0 0 4 8 】

このとき、図 2 (e) に示すように、多重量子井戸層 1 5 の直上に p 型 A l G a N がエピタキシャル結晶成長して p 型 A l G a N 層 1 6 が形成される。

【 0 0 4 9 】

引き続き、反応ガスとして、V 族元素供給源 (N H ₃)、III 族元素供給源 1 (T M G)、及び p 型ドーパント供給源 (C p ₂ M g) を流す。

【 0 0 5 0 】

このとき、図 2 (e) に示すように、p 型 A l G a N 層 1 6 の直上に p 型 G a N がエピタキシャル結晶成長して p 型 G a N 層 1 7 が形成される。

【 0 0 5 1 】

< 電極の形成 >

半導体層を積層形成したウエハ 1 1 ' 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 G a N 層 1 3 を露出させ、真空蒸着、スパッタリング、C V D (Chemical Vapor Deposition) 等の方法により n 型 I n G a N 層 1 4 上に n 型電極 1 8 を形成する。また、p 型 G a N 層 1 7 上に p 型電極 1 9 を形成する。なお、p 型 G a N 層 1 7 と p 型電極 1 9 との間には I T O 等の透明導電膜を介設させてもよい。

【 0 0 5 2 】

最後に、ウエハ 1 1 ' を劈開することにより個々の半導体発光素子 1 0 に分断する。

【 実施例 】

【 0 0 5 3 】

(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。

【 0 0 5 4 】

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 { 1 1 - 2 2 } 面である u - G a N 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 G a N 層、n 型 I n G a N 層、多重量子井戸層、p 型 A l G a N 層、及び p 型 G a N 層を順に積層形成した。従って、いずれの層も主面が { 1 1 - 2 2 } 面である。

【 0 0 5 5 】

半導体発光素子として、多重量子井戸層の発光波長が 4 2 0 n m (紫色) であるものについて、n 型 I n G a N 層における I n 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 4 5 0 n m (青色) であるもの及び発光波長が 5 2 0 n m (緑色) であるもののそれぞれについても、n 型 I n G a N 層における I n 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 I n G a N 層を設けていない半導体発光素子も作製した。

10

20

30

40

50

【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、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。

【0058】

これによれば、n型InGa_xN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。

10

【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InGa_xN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InGa_xN層は、n型Ga_{1-x}N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InGa_xN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InGa_xN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。

20

【0061】

図4は、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。

【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InGa_xN層の厚さが $0.2\mu\text{m}$ 以上では、発光強度分布の半値全幅が40nm以下であり、 $0.3\mu\text{m}$ 以上では、発光強度分布の半値全幅が35nm以下、 $1.0\mu\text{m}$ では約30nmであることが分かる。つまり、これは、n型InGa_xN層の厚さが $0.2\mu\text{m}$ 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示すものである。

30

【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】

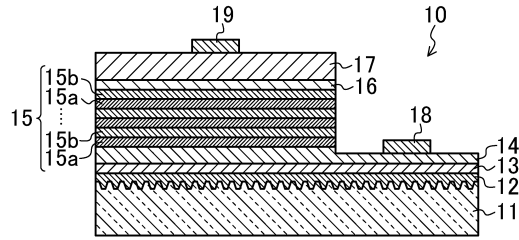
【0064】

- 10 半導体発光素子
- 11 基板
- 11' ウエハ
- 12 u-GaN層
- 13 n型Ga_{1-x}N層
- 14 n型InGa_xN層
- 15 多重量子井戸層
- 15a 障壁層
- 15b 井戸層
- 16 p型AlGa_{1-x}N層
- 17 p型Ga_{1-x}N層
- 18 n型電極
- 19 p型電極

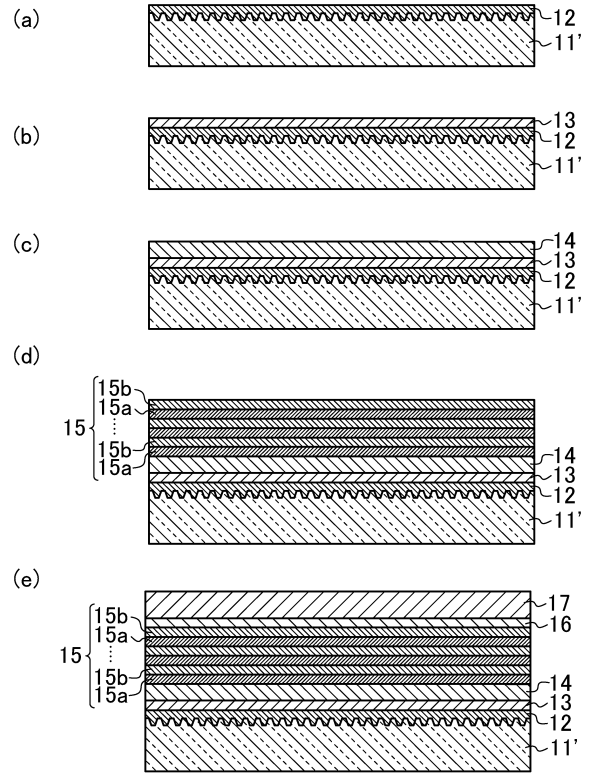
40

50

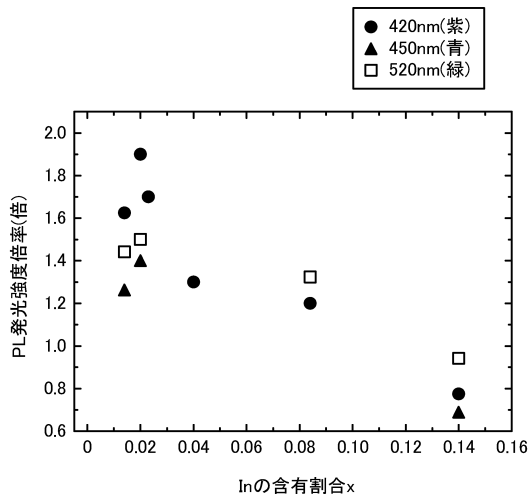
【図1】



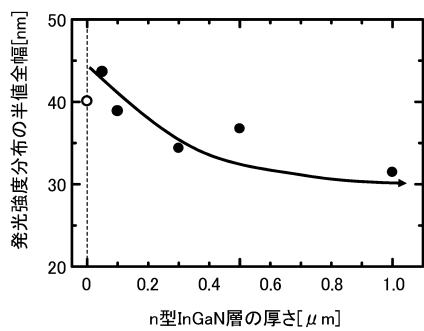
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2011/022724(WO, A1)

特開2004-119783(JP, A)

国際公開第2011/007637(WO, A1)

特開2012-15566(JP, A)

特開2010-263163(JP, A)

特開平11-233824(JP, A)

S. Pereira et al., Structural and optical properties of InGaN/GaN layers close to the critical layer thickness, Appl. Phys. Lett., 2002年, Vol. 81, No. 7, p. 1207-1209

D. Holec et al., Critical thickness calculations for InGaN/GaN, Journal of Crystal Growth, 2007年, Vol. 303, p. 314-317

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)