

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4530234号
(P4530234)

(45) 発行日 平成22年8月25日 (2010. 8. 25)

(24) 登録日 平成22年6月18日 (2010. 6. 18)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 33/32 (2010. 01)	HO 1 L 33/00 1 8 6
HO 1 S 5/00 (2006. 01)	HO 1 S 5/00

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願平10-288516	(73) 特許権者	000005049
(22) 出願日	平成10年10月9日 (1998. 10. 9)		シャープ株式会社
(65) 公開番号	特開2000-114599 (P2000-114599A)		大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号
(43) 公開日	平成12年4月21日 (2000. 4. 21)	(74) 代理人	100078282
審査請求日	平成17年5月25日 (2005. 5. 25)		弁理士 山本 秀策
審判番号	不服2008-32054 (P2008-32054/J1)	(74) 代理人	100062409
審判請求日	平成20年12月18日 (2008. 12. 18)		弁理士 安村 高明
		(74) 代理人	100107489
			弁理士 大塩 竹志
		(72) 発明者	石田 真也
			大阪府大阪市阿倍野区長池町2番22号
			シャープ株式会社内

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】

III-V 族窒化物系の少なくとも1種類の化合物半導体材料からなる複数の単結晶半導体成長層が、該 III-V 族窒化物系以外の構成材料からなる基板の上に積層されて構成されている積層構造体を備えた III-V 族窒化物系半導体発光素子であって、

該基板の熱膨張係数が、該積層構造体のうちで該基板に最も近く位置している第1成長層の熱膨張係数、及び該積層構造体のうちで最も大きな厚さを有する第2成長層の熱膨張係数よりも大きく、該第1成長層は、III-V 族窒化物半導体の混晶であり、該第2成長層の材料は GaN であり、

活性層が該第2成長層上にコヒーレント成長をしており、

該積層構造体の該第1成長層のバルク格子定数 a_1 と該第2成長層のバルク格子定数 a_2 とが、 $a_2 < a_1 - 1.005a_2$ なる関係を満たし、

該第2成長層より薄い該第1成長層のバルク格子定数 a_1 は、該第1成長層の組成の調整により、該第1成長層が該基板からの圧縮応力を受けることにより、該第1成長層の格子定数が、該第1成長層のバルク格子定数 a_1 よりも小さくなり、該第2成長層のバルク格子定数 a_2 と等しくなるような値に設定されている、III-V 族窒化物系半導体発光素子。

【請求項 2】

III-V 族窒化物系の少なくとも1種類の化合物半導体材料からなる複数の単結晶半導体成長層が、該 III-V 族窒化物系以外の構成材料からなる基板の上に積層されて構

10

20

成されている積層構造体を備えたⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系半導体発光素子であって、

該基板の熱膨張係数が、該積層構造体のうちで該基板に最も近く位置している第1成長層の熱膨張係数、及び該積層構造体のうちで最も大きな厚さを有する第2成長層の熱膨張係数よりも小さく、該第1成長層は、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物半導体の混晶であり、該第2成長層の材料はGaNであり、

活性層が該第2成長層上にコヒーレント成長をしており、

該積層構造体の該第1成長層のバルク格子定数 a_1 と該第2成長層のバルク格子定数 a_2 とが、 $0.995a_2 < a_1 < a_2$ なる関係を満たし、

該第2成長層より薄い該第1成長層のバルク格子定数 a_1 は、該第1成長層の組成の調整により、該第1成長層が該基板からの引っ張り応力を受けることにより、該第1成長層の格子定数が、該第1成長層のバルク格子定数 a_1 よりも大きくなり、該第2成長層のバルク格子定数 a_2 と等しくなるような値に設定されている、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系半導体発光素子。

10

【請求項3】

前記基板と前記積層構造体との間に形成された非単結晶のバッファ層を更に有する、請求項1或いは2に記載のⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系半導体発光素子。

【請求項4】

前記第2成長層が前記第1成長層にコヒーレント成長している、請求項1或いは2に記載のⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系半導体発光素子。

【請求項5】

20

前記第2成長層の厚みが $1\mu\text{m}$ 以上である、請求項1或いは2に記載のⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系半導体発光素子。

【請求項6】

前記バッファ層が、前記第1成長層と同一の組成である、請求項3に記載のⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体発光素子に関し、より詳細には、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系の化合物半導体材料から構成されている半導体発光素子に関する。

30

【0002】

【従来の技術】

近年、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系の化合物半導体材料、例えばGaN系化合物半導体材料を用いた高輝度の青色発光ダイオードが商品化されており、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系化合物半導体材料は、発光デバイスの構成材料として大きく期待されている。

【0003】

一般に、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系化合物半導体材料層の結晶成長は、ハイドライド気相成長法(HVPE法)、有機金属気相成長法(MOCVD法)、或いは分子線エピタキシー法(MBE法)などによって行われる。一方、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系化合物半導体材料を結晶成長させる基板としては、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系化合物半導体材料以外の構成材料からなる基板、例えばサファイア基板やSiC基板などが用いられている。結晶成長用の基板は、本来は成長膜と同種の材料系から構成されていることが理想的であるが、ⅢⅢⅢ-Ⅴ族窒化物系化合物半導体材料の大面積単結晶基板を得ることが困難であるために、このような異種の材料系からなる基板が用いられている。

40

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

GaN層の上にAlGaN或いはInGaNからなるヘテロ成長層を成長させる場合には、窒化物以外のⅢⅢⅢ-Ⅴ族化合物半導体層を成長させる場合とは異なり、計算から得られる臨界膜厚を超えた厚さの成長膜がコヒーレント成長する(すなわち、成長面内の格子定数が一致して成長する)ことが、これまでに報告されている(例えば、Mat. Res. Soc. Sym

50

p. Proc., Vol.449、第1143頁を参照)。

【0005】

しかし、サファイア基板或いはSiC基板など、III-V族窒化物以外の材料からなる基板を用いる場合には、基板とその上に成長するIII-V族窒化物系化合物半導体層との間の格子不整合が大きいために、単結晶III-V族窒化物系化合物半導体層を直接に基板上に良好に成長させることができない。このような場合には、まず非単結晶バッファ層を基板上に成長させて、このバッファ層の上に、III-V族窒化物系の単結晶化合物半導体層を成長させている(例えば、Japanese Journal of Applied Physics、Vol.30、第L1705頁を参照のこと)。

【0006】

更に、基板と成長膜との間の熱膨張係数の関係が格子定数に及ぼす影響が、これまでに研究報告されている(例えば、日本結晶成長学会誌、Vol.23、第49頁を参照のこと)。

【0007】

一般にサファイア基板は、その熱膨張係数が、GaNなどのIII-V族窒化物系化合物半導体層の熱膨張係数より大きい。このため、上記のようにバッファ層を介してサファイア基板上に成長させたGaN単結晶膜は、結晶成長温度よりも低い温度下では、成長方向(c軸方向)と垂直である面内方向(a軸方向)に圧縮応力を受けて、面内方向の格子定数がバルク格子定数よりも小さくなる。これに対して、SiC基板は、熱膨張係数がIII-V族窒化物系化合物半導体層の熱膨張係数より小さい。そのため、上記の方法でSiC基板上に成長させたGaN単結晶膜は、結晶成長温度よりも低い温度下で、成長方向(c軸方向)と垂直である面内方向(a軸方向)に引っ張り応力を受けて、面内方向の格子定数がバルク格子定数よりも大きくなる。なお、本願明細書において、「バルク格子定数」とは、素子構造の中に組み込まれて歪みを受けている状態での格子定数値ではなく、歪み無く形成された状態における材料本来の格子定数値を指す。

【0008】

更に、半導体発光素子の作製時に使用される活性層としては、多くの場合、InGaN層などのInを含む層が用いられる。InGaNはGaNに比べてバルク格子定数が大きいので、特に、熱膨張係数がIII-V族窒化物系化合物半導体層より大きい基板(例えばサファイア基板)の上に前述の方法でGaN単結晶膜を成長させ、更にその上にInを含む活性層(例えばInGaN活性層)を成長させる場合、GaN単結晶膜に対する活性層の面内方向の格子不整合が、バルク結晶時に比べて大きくなる。これは、結晶成長温度よりも低い温度下でGaN単結晶膜が基板から圧縮応力を受けて、面内方向の格子定数がバルク格子定数よりも小さくなるからである。このために、結晶性の良好な活性層を得るためには、そのIn濃度にも依存するが、活性層を薄膜としなければならない(例えば、In_{0.3}Ga_{0.7}Nの場合には数nmの厚さ)。このような薄いInGaN活性層へのInの取り込み効率は、GaN単結晶基板上に成長させたGaN膜の上へ同条件で成長させたInGaN層に比べて、低くなる。更に、InGaN活性層に均一にInが取り込まれず、活性層中でIn濃度の多い部分と少ない部分とが混在するようになる。この結果、上記のようにして作製された半導体発光素子は、輝点の集合の形態で発光する素子となり、面状発光を呈する素子は得られない。

【0009】

これに対して、熱膨張係数がIII-V族窒化物系化合物半導体層より小さい基板(例えばSiC基板)の上に前述の方法でGaN単結晶膜を成長させ、更にその上にInを含む活性層(例えばInGaN活性層)を成長させる場合、GaN単結晶膜に対する活性層の面内方向の格子不整合が、バルク結晶時に比べて小さくなる。これは、結晶成長温度よりも低い温度下でGaN単結晶膜が基板から引っ張り応力を受けて、面内方向の格子定数がバルク格子定数よりも大きくなるからである。しかし、この場合においても、下地のGaN単結晶膜は格子歪みを受けており、良質のGaN単結晶膜を得ることができないために、このGaN膜上に結晶成長されるInGaN活性層を良質に形成することは困難である。

【0010】

上記のような方法による結晶成長では、成長条件のわずかなずれにより活性層の混晶比及び格子不整合が変化するので、歩留まり良く且つ再現性良く InGaN 活性層を成長させることができない。

【0011】

このような問題を解決する試みとして、特開平 8 - 264833 号公報には、AlInGa N 活性層の格子定数に近い InGa N バッファ層をサファイア基板上に成長させることが記載されている。すなわち、活性層とバッファ層との格子定数を近づけることによって、活性層の格子歪を減少させようとするものである。しかし、窒化物以外の基板上に III - V 族窒化物系単結晶半導体層を成長させる場合の格子歪みは、基板と単結晶エピタキシャル成長層との熱膨張係数の差に主に起因するので、バッファ層を改善するだけでは格子歪みを十分に除去することができず、良質の InGa N 活性層を得ることは依然として困難である。

10

【0012】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、III - V 族窒化物系単結晶化合物半導体層を、これとは異なる材料系の基板上に、良質な結晶性を有する状態で歩留まり良く且つ再現性良く結晶成長させ、これを用いて高品質及び高信頼性を有し且つ面状発光を実現する半導体発光素子を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明の III - V 族窒化物系半導体発光素子は、
III - V 族窒化物系の少なくとも 1 種類の化合物半導体材料からなる複数の単結晶半導体成長層が、該 III - V 族窒化物系以外の構成材料からなる基板の上に積層されて構成されている積層構造体を備えた III - V 族窒化物系半導体発光素子であって、該基板の熱膨張係数が、該積層構造体のうちで該基板に最も近く位置している第 1 成長層の熱膨張係数、及び該積層構造体のうちで最も大きな厚さを有する第 2 成長層の熱膨張係数よりも大きく、該第 1 成長層は、III - V 族窒化物半導体の混晶であり、該第 2 成長層の材料は GaN であり、活性層が該第 2 成長層上にコヒーレント成長をしており、該積層構造体の該第 1 成長層のバルク格子定数 a_1 と該第 2 成長層のバルク格子定数 a_2 とが、 $a_2 < a_1 - 1.005a_2$ なる関係を満たし、該第 2 成長層より薄い該第 1 成長層のバルク格子定数 a_1 は、該第 1 成長層の組成の調整により、該第 1 成長層が該基板からの圧縮応力を受けることにより、該第 1 成長層の格子定数が、該第 1 成長層のバルク格子定数 a_1 よりも小さくなり、該第 2 成長層のバルク格子定数 a_2 と等しくなるような値に設定されており、そのことによって、上記の目的が達成される。

20

30

本発明の他の III - V 族窒化物系半導体発光素子は、III - V 族窒化物系の少なくとも 1 種類の化合物半導体材料からなる複数の単結晶半導体成長層が、該 III - V 族窒化物系以外の構成材料からなる基板の上に積層されて構成されている積層構造体を備えた III - V 族窒化物系半導体発光素子であって、該基板の熱膨張係数が、該積層構造体のうちで該基板に最も近く位置している第 1 成長層の熱膨張係数、及び該積層構造体のうちで最も大きな厚さを有する第 2 成長層の熱膨張係数よりも小さく、該第 1 成長層は、III - V 族窒化物半導体の混晶であり、該第 2 成長層の材料は GaN であり、活性層が該第 2 成長層上にコヒーレント成長をしており、該積層構造体の該第 1 成長層のバルク格子定数 a_1 と該第 2 成長層のバルク格子定数 a_2 とが、 $0.995a_2 < a_1 < a_2$ なる関係を満たし、該第 2 成長層より薄い該第 1 成長層のバルク格子定数 a_1 は、該第 1 成長層の組成の調整により、該第 1 成長層が該基板からの引っ張り応力を受けることにより、該第 1 成長層の格子定数が、該第 1 成長層のバルク格子定数 a_1 よりも大きくなり、該第 2 成長層のバルク格子定数 a_2 と等しくなるような値に設定されており、そのことによって、上記の目的が達成される。

40

前記基板と前記積層構造体との間に形成された非単結晶のバッファ層を更に有していてもよい。

前記第 2 成長層が前記第 1 成長層にコヒーレント成長していてもよい。

50

前記第2成長層の厚みが1 μm 以上であってもよい。

前記バッファ層が、前記第1成長層と同一の組成であってもよい。

【0016】

以下、本発明の作用について説明する。

【0017】

本発明によれば、積層構造体のうちで基板に最も近い第1成長層のバルク格子定数 a_1 と最大の膜厚を有する第2成長層のバルク格子定数 a_2 との間に、基板の熱膨張係数が、積層構造体を構成するIII-V族窒化物系化合物半導体材料の熱膨張係数よりも（より具体的には、第1成長層の熱膨張係数及び第2成長層の熱膨張係数よりも）大きい場合に、
 $a_2 < a_1 - 1.005 a_2$

10

なる関係が満たされる。この結果、第1成長層は、結晶成長よりも低い温度下では、圧縮応力を受けて圧縮歪を生じる。これにより、第1成長層は、面内方向(a軸方向)の格子定数が第1成長層のバルク格子定数よりも小さくなって、第2成長層のバルク格子定数に近づく。

【0018】

或いは、基板の熱膨張係数が、積層構造体を構成するIII-V族窒化物系化合物半導体材料の熱膨張係数よりも（より具体的には、第1成長層の熱膨張係数及び第2成長層の熱膨張係数よりも）小さい場合には、

$$0.995 a_2 - a_1 < a_2$$

なる関係が満たされる。これによって、第1成長層は結晶成長よりも低い温度下で、引っ張り応力を受けて引っ張り歪を生じる。これにより、第1成長層は、面内方向(a軸方向)の格子定数が第1成長層のバルク格子定数よりも大きくなって、第2成長層のバルク格子定数に近づく。

20

【0019】

上記によって、本発明によれば、基板の熱膨張係数が積層構造体の熱膨張係数（第1及び第2成長層の熱膨張係数）よりも大きい場合及び小さい場合の何れであっても、第2成長層の格子歪が低減され、第2成長層の結晶性が向上する。これによって、活性層の結晶性が向上して、歩留まり良く且つ再現性良く、良質の活性層を得ることができる。

【0020】

更に、基板の熱膨張係数が、積層構造体のうちで基板に最も近い第1成長層の熱膨張係数及び最大膜厚を有する第2成長層の熱膨張係数よりも大きい場合には、第2成長層の上に形成される活性層は、下地層である第2成長層のa軸にコヒーレントに成長するので、第2成長層の格子定数歪に等しい格子定数を有する活性層を形成し得る。この結果、活性層の格子歪みが小さくなり、十分な厚さを有する活性層の成長が可能になる。また、活性層中へのInの取り込み効率が向上され得るとともに、活性層内のIn濃度の面内均一性が向上され、結果として歩留まり及び再現性の向上した良質の厚い活性層の成長が可能になる。これより、高輝度で面状発光を呈するIII-V族窒化物系単結晶半導体発光素子が実現される。

30

【0021】

更に、第1成長層の構成材料、組成比、及び厚さを適切に選択すると、第1成長層の面内方向の格子定数を、第2成長層のバルク格子定数に一致させることが可能になる。このような場合には、第2成長層として、無歪みで高品質のIII-V族窒化物系単結晶化合物半導体層の成長が可能になる。

40

【0022】

【発明の実施の形態】

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態として、サファイア基板上にLED(発光ダイオード)素子が形成されている構成を説明する。

【0023】

図1は、本実施形態のLED素子100の構成を模式的に示す断面図である。

50

【0024】

LED素子100では、サファイア(0001面)基板10の上に $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層11が形成され、さらにその上に、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層12(約 $0.5\mu\text{m}$)、Siドープn型Ga_{0.99}N第2成長層(最大膜厚層)13(約 $5\mu\text{m}$)、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層14(約 2nm)、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層15(約 10nm)、及びMgドープp型Ga_{0.99}N層16(約 $0.4\mu\text{m}$)を含む積層構造体が形成されている。バッファ層11からGa_{0.99}N層16までの総膜厚は、約 $5.9\mu\text{m}$ である。ここで、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層15は、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層14からのInの蒸発を防止する蒸発防止層である。

【0025】

上記の素子構造の一部は、Siドープn型Ga_{0.99}N第2成長層13が露出するまで部分的に切開されており、その露出した面上にn型電極17が形成されている。一方、Mgドープp型Ga_{0.99}N層16の上には、p型電極18が形成されている。

10

【0026】

ここで、サファイア基板10の熱膨張係数($7.50 \times 10^{-6}/\text{deg}$)は、上記のIII-V族窒化物系単結晶半導体層からなる積層構造体の熱膨張係数(GaNの熱膨張係数は $5.45 \times 10^{-6}/\text{deg}$)よりも大きい。加えて、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層12のバルク格子定数 a_1 とSiドープn型Ga_{0.99}N第2成長層(最大膜厚層)13のバルク格子定数 a_2 とは、それぞれ $a_1 = 3.193$ 及び $a_2 = 3.189$ であり、 $a_2 < a_1$ 、 $1.005a_2$ なる関係が満たされている。

【0027】

20

以下、このLED素子100の製造方法、及び素子特性の測定結果について説明する。

【0028】

まず、サファイア基板10の上に $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層11を成長させ、更にその上に、基板温度約 900°C で $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層12を成長させる。その後、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層12の上に、Ga_{0.99}N層を成長させながら基板温度を約 1100°C まで上昇させて、最終的には基板温度約 1100°C でSiドープGa_{0.99}N第2成長層13を成長させる。次に、基板温度を約 760°C まで降下させた後に $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層14を成長させ、更にその上に、同温度で $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層15を成長させる。その後、基板温度を約 1050°C まで上昇させ、MgドープGa_{0.99}N層16を成長させる。なお、上記の成長プロセスには、例えばMOCVD法を使用する。

30

【0029】

以上のようにして形成された素子構造について、X線解析及び透過電子顕微鏡(TEM)解析により、SiドープGa_{0.99}N第2成長層13、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層14、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層15、及びMgドープGa_{0.99}N層16の各々の格子定数を解析した。その結果、SiドープGa_{0.99}N第2成長層13及びMgドープGa_{0.99}N層16の格子定数はGaNのバルク格子定数値に等しく、成長したGa_{0.99}N層13及び16が格子緩和して歪のない状態であることが判明した。一方、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層14及び $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層15のa軸方向の格子定数はGaNのバルク格子定数と一致しており、これらの層14及び15は面内方向(a軸方向)に歪んだ状態で、SiドープGa_{0.99}N第2成長層13の上にコヒーレント成長していることが判明した。

40

【0030】

上記の現象は、以下のようなメカニズムによって生じていると考えられる。

【0031】

結晶成長温度から基板温度が低下すると、積層構造体及び $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層11とサファイア基板10との間の熱膨張係数の差異によって、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層11とサファイア基板10との界面で応力が生じる。この応力は、サファイア基板10のほうが積層構造体よりも熱膨張係数が大きいことから、圧縮応力である。一方、積層構造体と $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層11とは同じIII-V族窒化物系の材料からなるので、ほぼ同一の熱膨張係数を有する。従って、上記のような圧縮応力は、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層11を介して、積層構造体の中でサファイア基板10に最も近く位置

50

する $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第 1 成長層 12 に伝搬する。これより、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第 1 成長層 12 が圧縮応力を受けて、その格子定数は、バルク格子定数よりも小さくなって、 GaN 層のバルク格子定数とほぼ等しくなる。

【0032】

更に、 Si ドープ GaN 第 2 成長層 13 をこのような $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第 1 成長層 12 の上に成長させると、下地層の $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第 1 成長層 12 が GaN 層のバルク格子定数とほぼ等しい格子定数を有するので、 Si ドープ GaN 第 2 成長層 13 における格子歪の発生が低減され、好ましくは格子緩和する。また、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層 14 は、最大膜厚を有する Si ドープ GaN 第 2 成長層 13 の上にコヒーレント成長するので、 GaN 層のバルク格子定数とほぼ等しい格子定数を有するように形成され得る。加えて、この $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層 14 の上に形成される $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層 15 及び Mg ドープ GaN 層 16 は、同様にコヒーレント成長して、 GaN 層のバルク格子定数とほぼ等しい格子定数を有するように形成される。

10

【0033】

次に p 型ドーパントである Mg を活性化させるために、窒素雰囲気中にて約 800 で約 20 分間、上記のような素子構造が形成された基板をアニールする。その後、 Mg ドープ GaN 層 16 の上面から Si ドープ GaN 第 2 成長層 13 の内部に至る部分を部分的にエッチングで除去して、第 2 成長層 13 の一部表面を露出させる。次に、 n 型 GaN 層 13 の露出面の上に n 型電極 17、及び p 型 GaN 層 16 の表面に p 型電極 18 を、それぞれ形成する。以上によって、 LED 素子 100 が作製される。

20

【0034】

本実施形態の LED 素子 100 の輝度を測定したところ、駆動電流 20 mA で発光波長 470 nm、輝度 3.5 cd を示し、従来の 1.5 倍の輝度が得られた。更に、 LED 素子 100 の発光パターンを顕微鏡で観察したところ、均一な面状の発光が実現されていることが確認された。一方、比較のために、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第 1 成長層 12 を省略し、それ以外は上記と同様にして作製した比較用 LED 素子について、その発光パターンを顕微鏡で観察したところ、輝点の集まりで発光していることが判明した。

【0035】

更に、積層構造体の中の最大膜厚層である Si ドープ GaN 第 2 成長層 13 の膜厚を種々に変化させ、それ以外は上記と同様にして作製した幾つかの比較用 LED 素子について、それらの輝度を測定した。その測定結果を図 2 に示す。

30

【0036】

図 2 より、第 2 成長層(最大膜厚層) 13 の膜厚が $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の場合において、図中に点線で示す $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第 1 成長層 12 を形成しなかった LED 素子における値に比べて、輝度が強くなった。これより、本実施形態のように、基板の熱膨張係数が積層構造体の熱膨張係数よりも大きい場合は、第 2 成長層 13 の膜厚は $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上に設定する必要がある。

【0037】

加えて、第 1 成長層 12 及び第 2 成長層 13 の構成材料及び / 或いは組成比を様々に変化させることによってそれらの格子定数を変化させ、それ以外は上記と同様にして作製した幾つかの比較用 LED 素子について、それらの輝度を測定した。その測定結果を図 3 に示す。具体的には、これらの比較用 LED 素子は、第 1 層を InGaN 、及び第 2 層を GaN で構成し、且つ InGaN の混晶比を変化させて作成した。

40

【0038】

なお、図 3 では、第 1 成長層 12 (バルク格子定数: a_1) と第 2 成長層(最大膜厚層) 13 (バルク格子定数: a_2) との間の理論上のバルク格子不整合率 ε を、

$$\varepsilon = (a_1 - a_2) / a_1 \times 100$$

と定義し、このバルク格子不整合率 ε をパラメータに用いている。

【0039】

図 3 より、 $0 < \varepsilon < 0.5$ の範囲内、すなわち $a_2 < a_1 < 1.005 a_2$ の範囲内で、図

50

中に点線で示した第1層としての $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層12を形成しなかったLED素子に比べて、輝度が強くなった。

【0040】

これより、本実施形態のように基板の熱膨張係数が積層構造体の熱膨張係数よりも大きい場合は、 $a_2 < a_1$ 、 $1.005a_2$ の範囲内でLED素子の輝度が向上した。

【0041】

なお、上記の実施形態における InGaInN の混晶比は、上記で述べた特定の値に限られるものではなく、 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_z\text{N}$ ($x, y, z \geq 0, x + y + z = 1$)と表現される混晶であっても良い。

【0042】

また、基板に関しても、サファイア基板に限るものではなく、積層構造体を構成するIII-V族窒化物系化合物半導体材料よりも大きい熱膨張係数を有する材料からなる基板であれば良い。

【0043】

更に、各層の成長プロセスにおいて、MOCVD法に代えてMBE法やHPPE法など、半導体技術で使用される周知の他のプロセスを用いても、本実施形態と同様の効果を奏することを確認している。

【0044】

(第2の実施形態)

本発明の第2の実施形態として、SiC基板上にLED素子が形成されている構成を説明する。

【0045】

図4は、本実施形態のLED素子200の構成を模式的に示す断面図である。

【0046】

LED素子200は、SiC(0001面)基板20の上に $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層21が形成され、更にその上に、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22(約 $0.3\mu\text{m}$)、Siドープn型GaIn第2成長層(最大膜厚層)23(約 $4\mu\text{m}$)、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層24(約 2nm)、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層25(約 10nm)、及びMgドープp型GaIn層26(約 $0.4\mu\text{m}$)を含む積層構造体が形成されている。バッファ層21からGaIn層26までの総膜厚は、約 $4.7\mu\text{m}$ である。ここで、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層25は、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層24からのInの蒸発を防止する蒸発防止層である。

【0047】

上記の素子構造の一部は、Siドープn型GaIn第2成長層23の一部が露出するまで部分的に切開されており、その露出した面上にn型電極17が形成されている。一方、Mgドープp型GaIn層26の上には、p型電極18が形成されている。

【0048】

ここで、SiC基板20の熱膨張係数($5.0 \times 10^{-6}/\text{deg}$)は、上記のIII-V族窒化物系単結晶半導体層からなる積層構造体の熱膨張係数(GaNの熱膨張係数は $5.45 \times 10^{-6}/\text{deg}$)よりも小さい。加えて、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22のバルク格子定数 a_1 とSiドープn型GaIn第2成長層(最大膜厚層)23のバルク格子定数 a_2 とは、それぞれ $a_1 = 3.188$ 、 $a_2 = 3.189$ であり、 $0.995a_2 < a_1 < a_2$ なる関係が満たされている。

【0049】

以下、このLED素子200の製造方法、及び素子特性の測定結果について説明する。

【0050】

まず、SiC基板20上に $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層21を成長させ、更にその上に、基板温度約 1100°C で $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22を成長させる。その後、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22の上に、基板温度約 1100°C でSiドープGaIn第2成長層23を成長させる。次に、基板温度を約 760°C まで降下させた後に $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層24を成長させ、更にその上に、同温度で $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層25を成長さ

10

20

30

40

50

せる。その後、基板温度を約1050℃まで上昇させ、MgドープGaN層26を成長させる。なお、上記の成長プロセスには、例えばMOCVD法を使用する。

【0051】

以上のようにして形成された素子構造について、X線解析及びTEM解析により、SiドープGaN第2成長層23、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層24、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層25、及びMgドープGaN層26の各々の格子定数を解析した。その結果、SiドープGaN第2成長層23及びMgドープGaN層26の格子定数は、第1の実施形態の場合と同様にGaNのバルク格子定数値に等しく、成長したGaN層23及び26が格子緩和していて歪のない状態であることが判明した。一方、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層24及び $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層25のa軸方向の格子定数はGaNのバルク格子定数と一致しており、これらの層24及び25は面内方向(a軸方向)に歪んだ状態で、SiドープGaN第2成長層23の上にコヒーレント成長していることが判明した。

10

【0052】

上記の現象は、以下のようなメカニズムによって生じていると考えられる。

【0053】

結晶成長温度から基板温度が低下すると、積層構造体及び $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層21とSiC基板20との間の熱膨張係数の差異によって、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層21とSiC基板20との界面で応力が生じる。この応力は、SiC基板20のほうが積層構造体よりも熱膨張係数が小さいことから、引っ張り応力である。一方、積層構造体と $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層21とは同じIII-V族窒化物系の材料からなるので、ほぼ同一の熱膨張係数を有する。従って、上記のような引っ張り応力は、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層21を介して、積層構造体の中でSiC基板20に最も近く位置する $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22に伝搬する。これより、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22が引っ張り応力を受けて、その格子定数は、バルク格子定数よりも大きくなって、GaN層のバルク格子定数とほぼ等しくなる。

20

【0054】

更に、SiドープGaN第2成長層23をこのような $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22の上に成長させると、下地層の $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22がGaN層のバルク格子定数とほぼ等しい格子定数を有するので、SiドープGaN第2成長層23における格子歪の発生が低減され、好ましくは格子緩和する。また、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層24は、最大膜厚を有するSiドープGaN第2成長層23の上にコヒーレント成長するので、GaN層のバルク格子定数とほぼ等しい格子定数を有するように形成され得る。加えて、この $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 活性層24の上に形成される $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層25及びMgドープGaN層26は、同様にコヒーレント成長して、GaN層のバルク格子定数とほぼ等しい格子定数を有するように形成される。

30

【0055】

次にp型ドーパントであるMgを活性化させるために、窒素雰囲気中にて約800℃で約20分間、上記のような素子構造が形成された基板をアニールする。その後、MgドープGaN層26の上面からSiドープGaN第2成長層23の内部に至る部分を部分的にエッチングで除去して、第2成長層23の一部表面を露出させる。次に、n型GaN層23の露出面の上にn型電極17、及びp型GaN層26の表面にp型電極18を、それぞれ形成する。以上によって、LED素子200が作製される。

40

【0056】

本実施形態のLED素子200の輝度を測定したところ、駆動電流20mAで発光波長470nm、輝度3.4cdを示し、従来の1.5倍の輝度が得られた。更に、LED素子200の発光パターンを顕微鏡で観察したところ、均一な面状の発光が実現されていることが確認された。一方、比較のために、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22を省略し、それ以外は上記と同様にして作製した比較用LED素子について、その発光パターンを顕微鏡で観察したところ、輝点の集まりで発光していることが判明した。

【0057】

50

更に、積層構造体の中の最大膜厚層であるSiドープGaN第2成長層23の膜厚を種々に変化させ、それ以外は上記と同様にして作製した幾つかの比較用LED素子について、それらの輝度を測定した。その測定結果を図5に示す。

【0058】

図5より、第2成長層(最大膜厚層)23の膜厚が $0.5\mu\text{m}$ 以上の場合において、図中に点線で示す $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22を形成しなかったLED素子における値に比べて、輝度が強くなった。これより、本実施形態のように、基板の熱膨張係数が積層構造体の熱膨張係数よりも小さい場合は、第2成長層23の膜厚は $0.5\mu\text{m}$ 以上に設定する必要がある。

【0059】

加えて、第1成長層22及び第2成長層23の構成材料及び/或いは組成比を種々に変化させることによってそれらの格子定数を変化させ、それ以外は上記と同様にして作製した幾つかの比較用LED素子について、それらの輝度を測定した。その測定結果を図6に示す。具体的には、これらの比較用LED素子は、第1層を AlGaN 、及び第2層を GaN で構成し、且つ AlGaN の混晶比を変化させて作成した。

【0060】

なお、図6では、第1の実施形態においてと同様に、第1成長層22(バルク格子定数： a_1)と第2成長層(最大膜厚層)23(バルク格子定数： a_2)との間の理論上のバルク格子不整合率 $\varepsilon = (a_1 - a_2) / a_1 \times 100$ をパラメータに用いている。

【0061】

図6より、 $-0.5 \leq \varepsilon < 0$ の範囲内、すなわち $0.995a_2 \leq a_1 < a_2$ の範囲内で、図中に点線で示した第1層としての $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層22を形成しなかったLED素子に比べて、輝度が強くなった。

【0062】

これより、本実施形態のように基板の熱膨張係数が積層構造体の熱膨張係数よりも小さい場合は、 $0.995a_2 \leq a_1 < a_2$ の範囲内でLED素子の輝度が向上した。

【0063】

なお、上記の実施形態における InGaN の混晶比は、上記で述べた特定の値に限られるものではなく、 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_z\text{N}$ ($x, y, z \geq 0, x + y + z = 1$)と表現される混晶であっても良い。

【0064】

また、基板に関しても、サファイア基板に限るものではなく、積層構造体を構成するIII-V族窒化物系化合物半導体材料よりも大きい熱膨張係数を有する材料からなる基板であれば良い。

【0065】

更に、各層の成長プロセスにおいて、MOCVD法に代えてMBE法やHPPE法など、半導体技術で使用する周知の他のプロセスを用いても、本実施形態と同様の効果を奏することを確認している。

【0066】

(第3の実施形態)

本発明の第3の実施形態として、サファイア基板上にLD(レーザダイオード)素子が形成されている構成を説明する。

【0067】

図7は、本実施形態のLD素子300の構成を模式的に示す断面図である。

【0068】

LD素子300では、サファイア(0001面)基板30の上に $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層31が形成され、さらにその上に、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層32(約 $0.5\mu\text{m}$)、Siドープn型GaNコンタクト第2成長層(最大膜厚層)33(約 $5\mu\text{m}$ 、キャリア濃度：約 $1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$)、Siドープn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層34(約 $0.4\mu\text{m}$)、Siドープn型GaN光ガイド層35(約 $0.1\mu\text{m}$ 、キャリア濃度：約 1×10

10

20

30

40

50

10^{18} cm^{-3})、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ (約2 nm)/ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ (約4 nm)の10周期からなる多重量子井戸活性層36(総厚さ約60 nm)、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層37(約10 nm)、Mgドープp型Ga_N光ガイド層38(約0.1 μm、キャリア濃度: 約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、Mgドープp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層39(約0.4 μm)、及びMgドープp型Ga_Nコンタクト層40(約0.5 μm)を含む積層構造体が形成されている。バッファ層31からGa_Nコンタクト層40までの総膜厚は、約7.1 μmである。ここで、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層37は、多重量子井戸活性層36からのInの蒸発を防止する蒸発防止層である。

【0069】

上記の素子構造の一部は、Siドープn型Ga_Nコンタクト第2成長層33が露出するまで部分的に切開されており、その露出した面上にn型電極41が形成されている。一方、Mgドープp型Ga_Nコンタクト層40の上には、p型電極42が形成されている。

【0070】

ここで、サファイア基板30の熱膨張係数($7.50 \times 10^{-6} / \text{deg}$)は、上記のIII-V族窒化物系単結晶半導体層からなる積層構造体の熱膨張係数(GaNの熱膨張係数は $5.45 \times 10^{-6} / \text{deg}$)よりも大きい。加えて、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層32のバルク格子定数 a_1 とSiドープn型Ga_Nコンタクト第2成長層(最大膜厚層)33のバルク格子定数 a_2 とは、それぞれ $a_1 = 3.193$ 及び $a_2 = 3.189$ であり、 $a_2 < a_1$ 、 $1.005 a_2$ なる関係が満たされている。

【0071】

以下、このLD素子300の製造方法、及び素子特性の測定結果について説明する。

【0072】

まず、サファイア基板30の上に、例えばMOCVD法によって、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層31、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層32、Siドープn型Ga_Nコンタクト第2成長層33、Siドープn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層34、Siドープn型Ga_N光ガイド層35、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ (約2 nm)/ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ (約4 nm)の10周期からなる多重量子井戸活性層36、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層37、Mgドープp型Ga_N光ガイド層38、Mgドープp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層39、及びMgドープp型Ga_Nコンタクト層40を、順次積層して形成する。

【0073】

次にp型ドーパントであるMgを活性化させるために、窒素雰囲気中にて約800 °Cで約20分間、上記のような素子構造が形成された基板をアニールする。その後、p型Ga_Nコンタクト層40の上面からSiドープGa_Nコンタクト第2成長層33の内部に至る部分を、幅約200 μmのストライプ状にエッチングで除去して、第2成長層33の一部表面を露出させる。次に、n型Ga_N層33の露出面の上にn型電極41、及びp型Ga_Nコンタクト層40の表面にp型電極42を、それぞれ形成する。以上によって、LD素子300が作製される。

【0074】

本実施形態のLD素子300は、室温でレーザ発振する。また、その発振しきい値電流及びしきい値電圧は、それぞれ約160 mA及び約5.8 Vである。

一方、比較のために、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層32を省略し、それ以外は上記と同様にして比較用LD素子を作製したところ、レーザ発振しなかった。

【0075】

(第4の実施形態)

本発明の第4の実施形態として、SiC基板上にLD素子が形成されている構成を説明する。

【0076】

図8は、本実施形態のLD素子400の構成を模式的に示す断面図である。

【0077】

LD素子400は、SiC(0001面)基板50の上に $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層5

10

20

30

40

50

1 が形成され、更にその上に、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層52 (約0.7 μm)、 Si ドープn型 GaN コンタクト第2成長層(最大膜厚層)53 (約5 μm 、キャリア濃度: 約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、 Si ドープn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層54 (約0.4 μm)、 Si ドープn型 GaN 光ガイド層55 (約0.1 μm 、キャリア濃度: 約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ (約2 nm) / $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ (約4 nm) の10周期からなる多重量子井戸活性層56 (総厚さ約60 nm)、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層57 (約10 nm)、 Mg ドープp型 GaN 光ガイド層58 (約0.1 μm 、キャリア濃度: 約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、 Mg ドープp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層59 (約0.4 μm)、及び Mg ドープp型 GaN コンタクト層60 (約0.5 μm)を含む積層構造体が形成されている。バッファ層51から GaN コンタクト層60までの総膜厚は、約7.3 μm である。ここで、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層57は、多重量子井戸活性層56からの In の蒸発を防止する蒸発防止層である。

10

【0078】

上記の素子構造の一部は、 Si ドープn型 GaN 第2成長層53の一部が露出するまで部分的に切開されており、その露出した面上にn型電極41が形成されている。一方、 Mg ドープp型 GaN コンタクト層60の上には、p型電極42が形成されている。

【0079】

ここで、 SiC 基板50の熱膨張係数 ($5.0 \times 10^{-6} / \text{deg}$) は、上記のIII-V族窒化物系単結晶半導体層からなる積層構造体の熱膨張係数 (GaN の熱膨張係数は $5.45 \times 10^{-6} / \text{deg}$) よりも小さい。加えて、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層52のバルク格子定数 a_1 と Si ドープn型 GaN コンタクト第2成長層(最大膜厚層)53のバルク格子定数 a_2 とは、それぞれ $a_1 = 3.188$ 及び $a_2 = 3.189$ であり、 $0.995a_2 - a_1 < a_2$ なる関係が満たされている。

20

【0080】

以下、このLD素子400の製造方法、及び素子特性の測定結果について説明する。

【0081】

まず、 SiC 基板50上に、例えばMOCVD法によって、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ バッファ層51、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層52、 Si ドープn型 GaN コンタクト第2成長層53、 Si ドープn型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層54、 Si ドープn型 GaN 光ガイド層55、 $\text{In}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ (約2 nm) / $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ (約4 nm) の10周期からなる多重量子井戸活性層56、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層57、 Mg ドープp型 GaN 光ガイド層58、 Mg ドープp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ クラッド層59、及び Mg ドープp型 GaN コンタクト層60を、順次積層して形成する。

30

【0082】

次にp型ドーパントである Mg を活性化させるために、窒素雰囲気中にて約800 で約20分間、上記のような素子構造が形成された基板をアニールする。その後、p型 GaN コンタクト層60の上面から Si ドープ GaN コンタクト第2成長層53の内部に至る部分を、幅約200 μm のストライプ状にエッチングで除去して、第2成長層53の一部表面を露出させる。次に、n型 GaN 層53の露出面の上にn型電極41、及びp型 GaN コンタクト層60の表面にp型電極42を、それぞれ形成する。以上によって、LD素子400が作製される。

40

【0083】

本実施形態のLD素子400は、室温でレーザ発振する。また、その発振しきい値電流及びしきい値電圧は、それぞれ約150 mA及び約5.5 Vである。

一方、比較のために、 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 第1成長層52を省略し、それ以外は上記と同様にして比較用LD素子を作製したところ、レーザ発振しなかった。

【0084】

なお、上記の各実施形態の構成において、基板と積層構造体(第1成長層)との間に形成されるバッファ層は、単結晶層である必要はなく、多結晶層などの非単結晶層であってもよい。

50

【 0 0 8 5 】

また、上記で説明した本発明の効果は、基板の上に形成されるバッファ層及び積層構造体の全体の厚さが約 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下である場合に、特に顕著に得られる。

【 0 0 8 6 】

【発明の効果】

上記のように、本発明のIII-V族窒化物系半導体発光素子では、III-V族窒化物系化合物半導体材料よりも大きい熱膨張係数を有する基板を使用する場合は、最大膜厚を有するIII-V族窒化物系化合物半導体層と基板との間に、最大膜厚層よりもバルク格子定数の大きい他のIII-V族窒化物系化合物半導体層を挿入する。また、III-V族窒化物系化合物半導体層よりも小さい熱膨張係数を有する基板を使用する場合は、最大膜厚層を有するIII-V族窒化物系化合物半導体層と基板との間に、最大膜厚層よりもバルク格子定数の小さい他のIII-V族窒化物系化合物半導体層を挿入する。これによって、最大膜厚層に対する基板からの格子歪みの影響が抑えられ、活性層の結晶性の向上したIII-V族窒化物系化合物半導体層、及びそれを使用した半導体発光素子の作製が可能になる。

【 0 0 8 7 】

以上によって、本発明によれば、歩留まり及び再現性が向上した、高品質及び高信頼性を有し、且つ面状発光を実現するIII-V族窒化物系半導体発光素子が、実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態におけるLED素子の構成を模式的に示す断面図である。

【図2】図1のLED素子における、第2成長層(最大膜厚層)の厚さと輝度との関係を示す図である。

【図3】図1のLED素子における、第1成長層と第2成長層(最大膜厚層)との間のバルク格子不整合率 ε と、輝度との関係を示す図である。

【図4】本発明の第2の実施形態におけるLED素子の構成を模式的に示す断面図である。

【図5】図4のLED素子における、第2成長層(最大膜厚層)の厚さと輝度との関係を示す図である。

【図6】図4のLED素子における、第1成長層と第2成長層(最大膜厚層)との間のバルク格子不整合率 ε と、輝度との関係を示す図である。

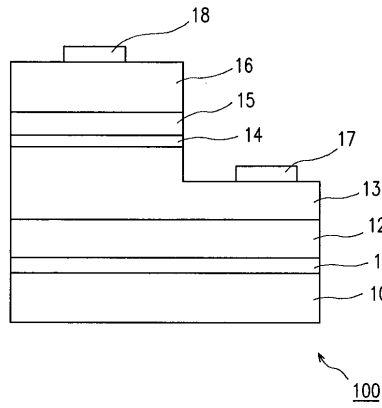
【図7】本発明の第3の実施形態におけるLD素子の構成を模式的に示す断面図である。

【図8】本発明の第1の実施形態におけるLD素子の構成を模式的に示す断面図である。

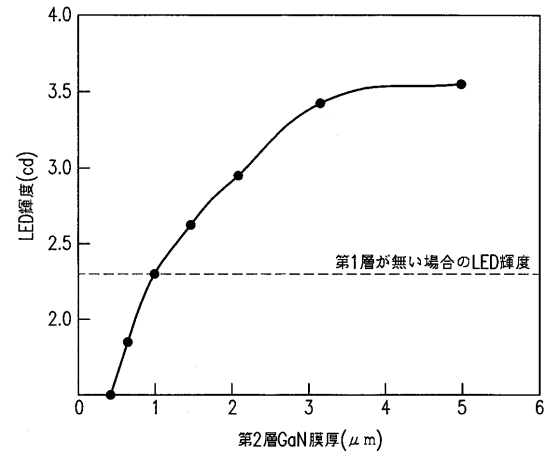
【符号の説明】

- 10、30 サファイア基板
- 20、50 SiC基板
- 11、21、31、51 バッファ層
- 12、32 InGaN第1成長層
- 22、52 AlGaIn第1成長層
- 13、23、33、53 n型GaIn第2成長層
- 14、24、36、56 活性層
- 15、25、37、57 蒸発防止層
- 16、26、40、60 p型GaInコンタクト層
- 34、54 n型AlGaInクラッド層
- 35、55 n型GaInガイド層
- 38、58 p型GaInガイド層
- 39、59 p型AlGaInクラッド層
- 17、41 n型電極
- 18、42 p型電極
- 100、200 LED素子
- 300、400 LD素子

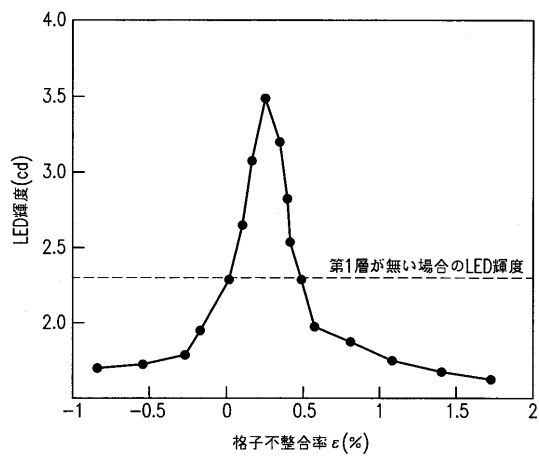
【図 1】



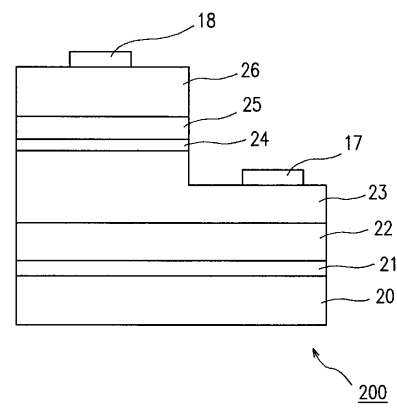
【図 2】



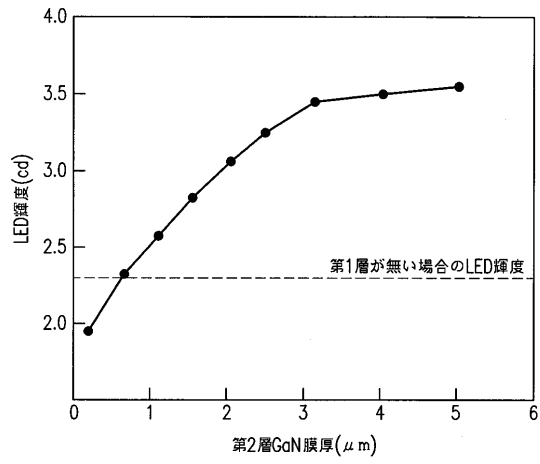
【図 3】



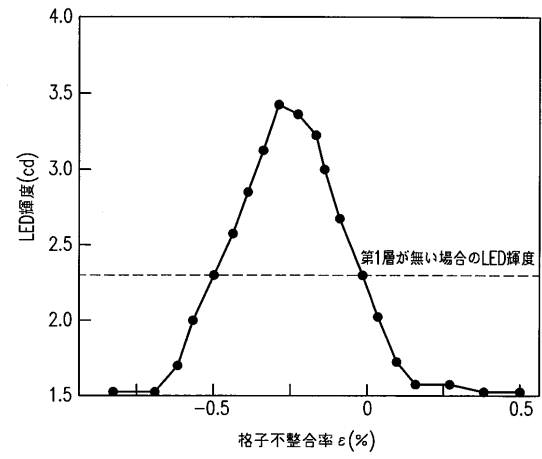
【図 4】



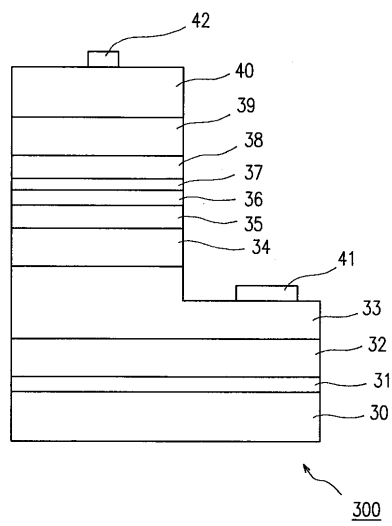
【図 5】



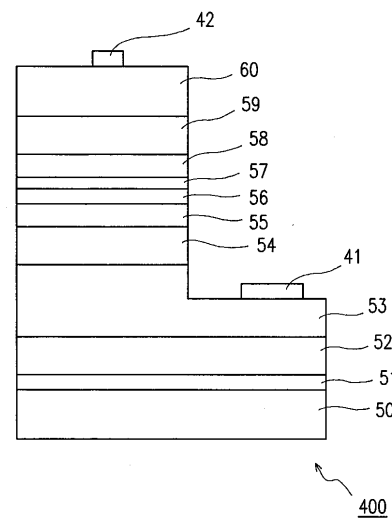
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

合議体

審判長 吉野 公夫

審判官 右田 昌士

審判官 稲積 義登

(56)参考文献 特開平 1 0 - 1 5 0 2 4 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01S 33/00

H01S 5/00-5/50