

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4829273号  
(P4829273)

(45) 発行日 平成23年12月7日(2011.12.7)

(24) 登録日 平成23年9月22日(2011.9.22)

(51) Int.Cl. F I  
 H O 1 L 33/32 (2010.01) H O 1 L 33/00 1 8 6  
 H O 1 L 21/205 (2006.01) H O 1 L 21/205

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2008-156500 (P2008-156500)	(73) 特許権者	000002004
(22) 出願日	平成20年6月16日(2008.6.16)		昭和電工株式会社
(62) 分割の表示	特願2002-115902 (P2002-115902) の分割		東京都港区芝大門1丁目13番9号
原出願日	平成14年4月18日(2002.4.18)	(74) 代理人	100070792 弁理士 内田 幸男
(65) 公開番号	特開2008-277852 (P2008-277852A)	(74) 代理人	100094178 弁理士 寺田 實
(43) 公開日	平成20年11月13日(2008.11.13)	(72) 発明者	松瀬 朗浩 千葉県千葉市緑区大野台一丁目1番1号 昭和電工株式会社研究開発センター内
審査請求日	平成20年6月16日(2008.6.16)	(72) 発明者	奥山 峰夫 千葉県千葉市緑区大野台一丁目1番1号 昭和電工株式会社研究開発センター内
		審査官	多田 春奈

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 I I I 族窒化物半導体発光素子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に、MOCVD法により、III族窒化物半導体からなるn型クラッド層、InGaN層を含む発光層、窒化アルミニウムガリウム層からなるp型クラッド層を順次接して積層し、n型クラッド層、発光層、p型クラッド層でダブルヘテロ構造の発光部を形成するIII族窒化物半導体発光素子の製造方法において、p型クラッド層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を供給し、p型クラッド層の成長温度を800 ~ 1000の範囲とすることを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

【請求項2】

p型クラッド層の成長中に供給するインジウム原料の供給量が、アルミニウム原料とガリウム原料の供給量の和に対して、0.1% ~ 100%の範囲であることを特徴とする請求項1に記載のIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

10

【請求項3】

p型クラッド層中のインジウム濃度が $10^{15} \sim 10^{19} \text{ n/cm}^3$ の範囲であることを特徴とする請求項1または2に記載のIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

【請求項4】

p型クラッド層に添加するp型不純物が、Mgであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載のIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

【請求項5】

p型クラッド層のキャリア濃度が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^3$ の範囲であること

20

を特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の III 族窒化物半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化アルミニウムガリウム層の製造方法、III 族窒化物半導体発光素子の製造方法および III 族窒化物半導体発光素子に係り、特に窒化アルミニウムガリウム層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を供給することにより、p 型の窒化アルミニウムガリウム層の特性を改良する技術に関する。

【背景技術】

10

【0002】

近年、短波長の光を発光する発光素子用の半導体材料として、III 族窒化物半導体 (III 族窒化物半導体は、一般式  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$  (ただし、 $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$ ) で表わされるものとする。) が注目を集めている。一般に III 族窒化物半導体は、サファイア単結晶を始めとする種々の酸化物結晶や III-V 族化合物半導体結晶等を基板として、その上に有機金属化学気相反応法 (MOCVD 法) や分子線エピタキシー法 (MBE 法) あるいは水素化物気相エピタキシー法 (HVPE 法) 等によって積層される。

【0003】

III 族窒化物半導体は、GaN、AlN、InN 等の基本となる 2 元半導体の組み合わせにより構成されるが、その中でも GaN について開発が盛んに行なわれている。また、GaN に In あるいは Al を混ぜた窒化インジウムガリウム (InGaN と略記する) や窒化アルミニウムガリウム (AlGaN と略記する) の 3 元混晶の研究も進められている。

20

【0004】

これらの InGaN や AlGaN 等の 3 元混晶を用いて、注入キャリアの閉じ込めに有効なダブルヘテロ構造の発光部を作製すれば、III 族窒化物半導体を用いた発光素子の発光効率の向上が可能となり、高輝度の発光ダイオード (LED) や短波長のレーザダイオード (LD) を実現することが出来る。

【0005】

30

特に InGaN は、その In 組成比を変化させることによりバンドギャップエネルギーを GaN の 3.4 eV から InN の 2 eV まで変えることが出来るので、可視の発光素子用の発光層として用いることが出来る。また AlGaN は、InGaN よりバンドギャップエネルギーが大きいので、ダブルヘテロ構造の発光部において InGaN からなる発光層の両側に接して配置させる n 型クラッド層および p 型クラッド層として用いることが出来る。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、InGaN のような In を含有する III 族窒化物半導体を発光層とする III 族窒化物半導体発光素子には、以下のような問題点があった。すなわち、比較的蒸気圧の高い In を含む III 族窒化物半導体からなる発光層の結晶品質を高めるためには、In を含む III 族窒化物半導体は、GaN あるいは AlGaN の成長温度よりも低い温度で成長しなければならなかった。

40

【0007】

これに対し、結晶性が良く良好な導電性を示す p 型の AlGaN からなるクラッド層を作製するためには、In を含む III 族窒化物半導体より高い成長温度で AlGaN を成長させなければならない。従って、AlGaN クラッド層で In を含む III 族窒化物半導体からなる発光層を挟み込んだダブルヘテロ構造の発光部を作製する場合には、発光層とその上に形成する AlGaN クラッド層とで成長温度を変える必要があった。

50

## 【0008】

しかし、発光層の成長とその上に形成するAlGaInクラッド層の成長との間で成長温度を上げると、発光層の成長後の昇温過程において、発光層から蒸気圧の高いInの蒸発が起こり、発光層の品質の劣化や発光層とクラッド層の界面の劣化につながり、ひいてはIII族窒化物半導体素子の特性の変化や劣化につながっていた。

## 【0009】

この問題を解決する為の方法として、p型クラッド層にInGaInを用い、Inを含む発光層と同程度の低温でp型クラッド層を成長させる方法が提案されている（非特許文献1）。しかし、このような条件で成長されたp型InGaInからなるクラッド層はp型層として機能するだけの十分なキャリア濃度を得ることが難しかった。

10

## 【0010】

またp型クラッド層には、発光素子に電流注入した際にn側電極から流れ込む電子が、発光層内でホールと再結合することなくp側電極に流れていくことを防ぎ、電子を発光層に滞留させる効果も求められている。そのためには、発光層とp型クラッド層の間には十分なバンドギャップエネルギーの差が必要である。しかしp型のInGaInからなるクラッド層では、発光層との間に十分なバンドギャップエネルギーの差を確保することが難しく、結果として発光素子の発光効率の低下につながっていた。

## 【0011】

また、特許文献1には、AlGaIn成長時にInを導入することで、結晶性の良いAlGaInが得られることが示されている。しかし、上述の特許文献の発明は、得られたAlGaIn結晶中にInが存在することによりクラックの発生しないAlGaIn薄膜が得られるという効果を有するものであり、得られたAlGaIn薄膜の結晶品質、特にそのp型導電性については記載されてない。

20

## 【0012】

本発明は上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、Inを含むIII族窒化物半導体からなる発光層上に、該発光層よりバンドギャップエネルギーが大きく、かつ結晶性が良く良好な導電性を示すp型の窒化アルミニウムガリウム（ $Al_xGa_{1-x}N$ ；但し $0 < x < 1$ ）からなるクラッド層を、発光層の結晶品質を劣化させることなく積層することが可能となるための条件を示し、発光効率に優れたIII族窒化物半導体発光素子を提供することである。また本発明は、結晶性が良く十分なキャリア濃度を有するp型の窒化アルミニウムガリウム（ $Al_xGa_{1-x}N$ ；但し $0 < x < 1$ ）層の成長条件を明らかにすることを目的とする。

30

【特許文献1】特開2001-97800号公報

【非特許文献1】2001年春季応用物理学会講演予講集、415頁、31a-K-11

【課題を解決するための手段】

## 【0013】

すなわち本発明は以下の各項からなる。

(1) 基板上に、MOCVD法により、III族窒化物半導体からなるn型クラッド層、InGaIn層を含む発光層、窒化アルミニウムガリウム層からなるp型クラッド層を順次接して積層し、n型クラッド層、発光層、p型クラッド層でダブルヘテロ構造の発光部を形成するIII族窒化物半導体発光素子の製造方法において、p型クラッド層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を供給し、p型クラッド層の成長温度を800～1000の範囲とすることを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

40

## 【0014】

(2) p型クラッド層の成長中に供給するインジウム原料の供給量が、アルミニウム原料とガリウム原料の供給量の和に対して、0.1%～100%の範囲であることを特徴とする上記(1)に記載のIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

(3) p型クラッド層中のインジウム濃度が $10^{15} \sim 10^{19} \text{ n/cm}^3$ の範囲であることを特徴とする上記請求項(1)または(2)に記載のIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

50

(4) p型クラッド層に添加するp型不純物が、Mgであることを特徴とする上記(1)ないし(3)のいずれか1項に記載のIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

(5) p型クラッド層のキャリア濃度が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^3$ の範囲であることを特徴とする上記(1)ないし(4)のいずれか1項に記載のIII族窒化物半導体発光素子の製造方法。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、窒化アルミニウムガリウム層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を供給することにより、結晶性が良く十分なキャリア濃度を有するp型AlGaIn層の成長することが出来る。

10

【0016】

また本発明によれば、半導体発光素子として利用するのに十分なp型のキャリア濃度を有するAlGaInからなるクラッド層を、 $800 \sim 1000$ の温度で成長することが出来る。そのため、Inを含むIII族窒化物半導体からなる発光層の結晶品質や発光特性を劣化させることが無くなる結果、本発明のIII族窒化物半導体発光素子は、従来の発光素子に比較して発光効率の向上を図ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明では、成長雰囲気中にアルミニウム原料、ガリウム原料、窒素原料およびp型不純物原料を供給し、基板上に、p型のAlGaIn層を成長させる際に、AlGaIn層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を供給する。これにより、結晶性が良く十分なキャリア濃度を有するp型AlGaIn層の成長することが出来る。ここで本発明では、基板としてサファイア、シリコン(Si)、GaN、AlN、GaAs、SiC、ZrB<sub>2</sub>等を使用することが出来る。また、基板上にp型のAlGaIn層を成長させる場合、基板とAlGaIn層との間に他のIII族窒化物半導体層が積層されていても構わない。

20

【0018】

本発明では、AlGaIn層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を供給することにより、In原子が結晶の成長表面でアンチサーファクタントとして機能し、結晶の成長表面におけるアルミニウム原料、ガリウム原料のマイグレーションが促進され、その結果、結晶性が良く良好な導電性を示すp型AlGaIn層を成長することが出来ると考えられる。

30

【0019】

本発明のAlGaIn層の成長方法としては、分子線エピタキシー法(MBE法)、有機金属化学気相反応法(MOCVD法)、ハイドライド気相成長法(HVPE法)などが挙げられる。このうちMOCVD法は、結晶成長の制御性に優れ、品質の良いAlGaIn層を製造することが出来、また原料使用効率が優れているため、特に好ましい。

【0020】

AlGaIn層の成長方法としてMOCVD法を用いる場合、アルミニウム原料、ガリウム原料、インジウム原料として、以下のような原料を使用することが出来る。ガリウム原料としては、トリメチルガリウム( $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ :TMG)、トリエチルガリウム( $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Ga}$ :TEG)などの一般式 $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{Ga}$ (ここで、 $\text{R}_1$ 、 $\text{R}_2$ 、 $\text{R}_3$ は低級アルキル基を示す。)で表されるトリアルキルガリウムを使用することが出来る。また、アルミニウム原料としては、トリメチルアルミニウム( $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ :TMA)、トリエチルアルミニウム( $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Al}$ :TEA)などの一般式 $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{Al}$ (ここで、 $\text{R}_1$ 、 $\text{R}_2$ 、 $\text{R}_3$ は低級アルキル基を示す。)で表されるトリアルキルアルミニウムを使用することが出来る。また、インジウム原料としては、トリメチルインジウム( $(\text{CH}_3)_3\text{In}$ :TMI)、トリエチルインジウム( $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{In}$ :TEI)などの一般式 $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{In}$ (ここで、 $\text{R}_1$ 、 $\text{R}_2$ 、 $\text{R}_3$ は低級アルキル基を示す。)で表されるトリアルキルインジウムを使用することが出来る。またこれらは、単独であるいは混合して用いることが出来る。

40

50

## 【0021】

また窒素原料としては、アンモニア、ヒドラジン、メチルヒドラジン、1,1-ジメチルヒドラジン、1,2-ジメチルヒドラジン、t-ブチルアミン、エチレンジアミンなどを用いることが出来る。これらは単独でまたは混合して用いることが出来る。これらの原料のうち、アンモニアとヒドラジンは分子中に炭素原子を含まないため、III族窒化物半導体に対する炭素の汚染が少なく特に好適である。

## 【0022】

本発明のAlGaIn層の成長温度は、800 ~ 1100 の範囲とするのが望ましい。成長温度が800 より低いとAlGaIn層の結晶性が悪化し十分なp型伝導性を示さなくなるという問題がある。また1100 より高いとAlGaIn層の昇華が始まり、成長速度が減少してしまうという問題がある。

10

## 【0023】

また本発明では、窒化アルミニウムガリウム層の成長中に成長雰囲気中に供給するインジウム原料の供給量が、アルミニウム原料とガリウム原料の供給量の和に対して、0.1% ~ 100%の範囲とするのが望ましい。インジウム原料、アルミニウム原料、ガリウム原料の供給量とは、単位時間当たりの原子数で表した原料の供給量(例えば、mol/min)で表す。)を言う。アルミニウム原料とガリウム原料の供給量の和に対するインジウム原料の供給量が、0.1%より小さいとアンチサーファクタントとしての十分な効果が得られないという問題がある。また、100%より大きいと結晶性が悪化するという問題がある。

20

## 【0024】

本発明のAlGaIn層の成長方法にMOCVD法を用いる場合、成長圧力は50 ~ 1000 hPaとするのが、成長速度が大きく結晶性が優れたAlGaIn層が得られるため望ましい。また、成長雰囲気ガスとしては水素や窒素を用いるのが望ましい。

## 【0025】

上記の条件でAlGaIn層を成長する結果、本発明のAlGaIn層中のIn濃度は、およそ $10^{15} \sim 10^{19} \text{ n/cm}^3$ の範囲となる。AlGaIn層中に含まれる濃度範囲がおよそ $10^{15} \sim 10^{19} \text{ n/cm}^3$ のInは、AlGaIn層の結晶特性に対して結晶性を良くするという影響を与えるため好ましい。

## 【0026】

本発明では、AlGaIn層の成長雰囲気中に供給する不純物原料は、Mgを含むことが望ましい。Mgは、結晶中にドーパされた原子のうちアクセプタとして機能する原子の割合が高いという利点がある。Mgを含む不純物原料としては、ビスシクロペンタジエニルマグネシウムやビスメチルシクロペンタジエニルマグネシウムなどを使用することが出来る。

30

## 【0027】

また、本発明のIII族窒化物半導体発光素子の製造方法は、基板上に、MOCVD法により、III族窒化物半導体からなるn型クラッド層、Inを含有するIII族窒化物半導体からなる発光層、窒化アルミニウムガリウム層からなるp型クラッド層を順次積層し、n型クラッド層、発光層、p型クラッド層でダブルヘテロ構造の発光部を形成するIII族窒化物半導体発光素子の製造方法において、p型クラッド層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を供給するものである。

40

## 【0028】

本発明では、Inを含有するIII族窒化物半導体からなる発光層の上に窒化アルミニウムガリウム層からなるp型クラッド層を積層する際、p型クラッド層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を供給する結果、p型クラッド層の成長温度を800 ~ 1000 の範囲にしても、結晶性が良く良好な導電性を示すp型のAlGaInからなるクラッド層が作製可能となる。このようにp型クラッド層の成長温度を1000 以下とすることが出来るため、発光層の上にp型クラッド層を積層する際の発光層の結晶品質が劣化することがなくなり、発光効率に優れたIII族窒化物半導体発光素子が製造できる。

50

## 【0029】

AlGaInからなるp型クラッド層を成長する際に、成長雰囲気中にIn原料を供給すると、In原子により成長表面における原料のマイグレーションが促進され、その結果、成長温度を800 ~ 1000 の範囲として成長させたにも拘らず、結晶性が良く良好なp型の導電性を示すAlGaInからなるp型クラッド層を成長することが出来ると考えられる。また本発明の方法により成長したp型クラッド層は、成長後に特別な熱処理を施さなくても十分なキャリア濃度を得ることが出来る。

## 【0030】

MOCVD法により発光層の上にAlGaIn層からなるp型クラッド層を成長するのに好適な条件は、前述のp型のAlGaIn層の成長条件と同じである。

10

## 【0031】

図1に本発明に係るIII族窒化物半導体発光素子の積層構造の一例を示す。図1に示すIII族窒化物半導体発光素子は、サファイア基板101の一主面上にGaInからなるn型クラッド層103、InGaInとGaInとを交互に積層した多重量子井戸(MQW)構造の発光層105、本発明の特徴であるAlGaInからなるp型クラッド層107、p型GaIn層109が順次積層された構造となっている。

## 【0032】

上記のn型クラッド層103、発光層105、p型クラッド層107、p型GaIn層109は、MOCVD法を用いてサファイア基板101上に積層した。上記の各層の膜厚、成長温度を表1に示す。

20

## 【0033】

## 【表1】

	層厚 (nm)	成長温度 (°C)
n型クラッド層	2000	1100
発光層	50	800
p型クラッド層	50	1000
p型GaIn層	100	1000

30

## 【0034】

このp型クラッド層107の成長中に、In原料の供給量がAl原料とガリウム原料の供給量の和に対しておよそ10%となるようにして、成長雰囲気中にIn原料を供給した。またSIMSによる分析の結果、成長後のp型クラッド層中のIn濃度は $10^{18} \text{ n/cm}^3$ 程度であった。

## 【0035】

また、p型クラッド層107にドーブするp型不純物としては、Mgを用いた。本発明では、p型不純物であるMg原料の添加量を制御することにより、p型クラッド層107のキャリア濃度を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^3$ の範囲で制御することができる。p型クラッド層107のキャリア濃度を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ n/cm}^3$ の範囲で制御できると、発光素子の発光効率が向上するという利点がある。

40

## 【0036】

成長中にインジウム原料を供給しないで成長した従来のp型AlGaIn層では、成長温度によりそのキャリア濃度が変化していた。例えば成長温度が1100 と高温の場合は、p-n接合を形成するために最も好ましいキャリア濃度である $1 \times 10^{18} \text{ n/cm}^3$ 以上のキャリア濃度が得られることが広く知られていた。しかし、1100 のような高温

50

でAlGaIn層からなるp型クラッド層を成長させると、下地となるInを含むIII族窒化物半導体からなる発光層の結晶性を劣化させ、発光素子としての性能を低下させてしまうという問題が生じていた。

【0037】

本発明では、発光層105の上に成長させるp型クラッド層107を800～1000の低温で成長させることにより、発光層105の結晶性の劣化を引き起こすことがなくなった。すなわち、p型クラッド層の成長中に成長雰囲気中にインジウム原料を添加することにより、800～1000の温度で成長させても、結晶性に優れ十分なキャリア濃度を有するp型クラッド層107を得ることが出来るようになった。

【0038】

図1に示した積層構造を有するIII族窒化物半導体発光素子の特性を、AlGaInからなるp型クラッド層107を、成長中にインジウム原料を供給しない従来の方法で1100で成長させた場合と、本発明の方法により1000で成長した場合とで比較した結果を表2に示す。表2には、p型クラッド層107の成長温度、キャリア濃度および発光層105の発光強度を示す。ここで発光層105の発光強度は、He-Cdレーザーを励起源としたフォトルミネセンス測定法により測定した。

【0039】

【表2】

	従来の方法	本発明の方法
p型クラッド層の成長温度(°C)	1100	1000
p型クラッド層のキャリア濃度(n/cm <sup>3</sup> )	1×10 <sup>18</sup>	1×10 <sup>18</sup>
発光層の発光強度(任意単位)	1	10

【0040】

表2より、従来の方法による発光素子と本発明の方法による発光素子とでは、p型クラッド層は同等のキャリア濃度を示しているのに、発光層の発光強度は、従来の発光素子に比べて本発明の発光素子が10倍程度高くなっていることがわかる。

【0041】

このことは、従来の方法により高温でp型クラッド層を成長させた場合、Inを含有する発光層の結晶品質を悪化させ、発光素子の発光特性が劣化してしまうのに対し、本発明の方法により低温でp型クラッド層を成長させると、発光層の劣化が抑えられ、発光素子の発光特性が向上することを示している。また、表2から本発明のp型クラッド層が十分なキャリア濃度を有することも分かる。

【実施例】

【0042】

(実施例1)

本発明に係わるIII族窒化物半導体発光素子とその製造方法を、実施例をもとに説明する。なお本実施例1では、n型ドーパントとしてSiをドーブするために、窒素で希釈したシラン(SiH<sub>4</sub>)を用いた。また、p型ドーパントとしてMgをドーブするために、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム((C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>Mg:Cp<sub>2</sub>Mg)を用いた。本実施例1に係るIII族窒化物半導体発光素子用エピタキシャルウェハの作製は、MOCVD法を用いて以下の手順で行った。

【0043】

基板として鏡面研磨したC面を有するサファイアを用いた。基板をMOCVD法による成長のための反応炉内に載置し、まず1150で水素ガスを流通して、基板と反応炉のサーマルクリーニングを行った。サーマルクリーニングの終了後、基板の温度を550にし、キャリアガスに水素を用いてTMGとアンモニアを反応炉内へ供給し、GaNから

10

20

30

40

50

なるバッファ層を基板上に200 形成した。

【0044】

次に基板の温度を1150 に昇温させ、TMGとアンモニアとシランガスを反応炉内へ供給し、バッファ層上にSiをドーブしたGaNからなるn型クラッド層を約3.0 μm成長させた。次に、基板温度を800 まで降温して、キャリアガスを窒素に切り換えた。そしてTEG、TMI、及びアンモニアを供給して、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなる井戸層とGaNからなる障壁層を交互に5ペア積層させたMQW構造の発光層をn型クラッド層上に形成した。InGaN井戸層の厚さは2 nm、GaN障壁層の厚さは8 nmとした。

【0045】

その後、基板温度を1000 まで昇温して、キャリアガスを水素に切り換えた。そしてTMG、TMA、Cp<sub>2</sub>Mg、及びアンモニアを供給して、発光層上にAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなるp型クラッド層を、50 nmの厚さで形成した。このp型クラッド層の成長中に、成長雰囲気中にIn原料としてTMIを供給した。TMGおよびTMAの供給量はそれぞれ $5.3 \times 10^{-5} \text{ mol/min}$ と $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/min}$ であり、またTMIの供給量は $8.0 \times 10^{-6} \text{ mol/min}$ としたので、TMGとTMAの供給量の和に対するTMIの供給量は約13%となった。形成されたp型クラッド層中のIn濃度は $10^{18} \text{ n/cm}^3$ 程度であった。またp型クラッド層のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ n/cm}^3$ であった。

【0046】

その後、TMAの供給を止めて、p型クラッド層上にGaNからなるp型コンタクト層を0.1 μm形成した。このp型コンタクト層の成長中にも、成長雰囲気中にIn原料としてTMIを供給した。このp型コンタクト層中のIn原子濃度は $10^{18} \text{ n/cm}^3$ 程度であった。またp型コンタクト層のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ n/cm}^3$ であった。p型コンタクト層の成長後、反応炉内に流通するガスを窒素とアンモニアのみにし、室温まで基板の温度を下げた。

【0047】

以上の手順により、III族窒化物半導体発光素子用エピタキシャルウェハを作製した。このウェハを反応炉から取り出した後、公知の手段により電極を形成し個々の素子に分離して、図2に示す断面構造を有するLEDを作製した。図2で201はサファイヤ基板、203はGaNからなるn型クラッド層、205はInGaN井戸層とGaN障壁層とからなるMQW構造の発光層、207はAlGaNからなるp型クラッド層、209はGaNからなるp型コンタクト層、211はn型電極、213はp型電極である。このLEDに順方向に電流を流したところ、発光波長400 nmの明瞭な青色発光を示した。順方向電流が20 mAの際のLEDの発光強度は2.0 mWであった。

【0048】

(比較例1)

p型クラッド層とp型コンタクト層を1050 で成長させたことを除いて、実施例1と同様の手順によりLEDを作製した。作製したLEDについて実施例1と同様の評価を行なったところ、発光強度が1.0 mW以下であった。

【0049】

(比較例2)

p型クラッド層とp型コンタクト層をそれぞれIn原料を添加しないで1000 で成長させたことを除いて、実施例1と同様の手順によりLEDを作製した。作製したLEDについて実施例1と同様の評価を行なったところ、p型クラッド層とp型コンタクト層はp型の電気特性を示さず、またLEDの発光強度は0.5 mW以下であった。

【産業上の利用可能性】

【0050】

本発明によれば結晶性が良く十分なキャリア濃度を有するp型AlGaN層の成長することが出来る。

10

20

30

40

50

また半導体発光素子として利用するのに十分なp型のキャリア濃度を有するAlGaInからなるクラッド層を得ることが出来る。そのため、Inを含むIII族窒化物半導体からなる発光層の結晶品質や発光特性を劣化させることが無くなる結果、本発明のIII族窒化物半導体発光素子は、従来の発光素子に比較して発光効率の向上を図ることができ、短波長の光を発光する発光素子用の半導体材料として利用できる。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】本発明に係るIII族窒化物半導体発光素子の積層構造を示す図

【図2】本発明の実施例1に係るLEDの断面構造を示す図

【符号の説明】

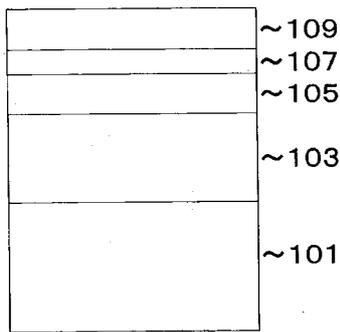
10

【0052】

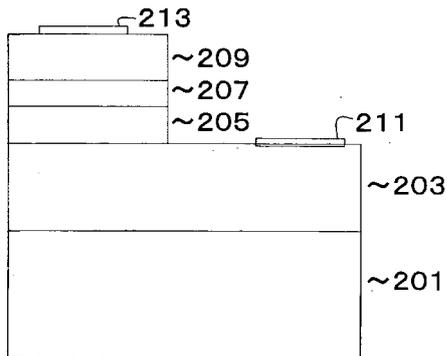
- 101 サファイア基板
- 103 n型クラッド層
- 105 発光層
- 107 p型クラッド層
- 109 p型GaN層
- 201 サファイア基板
- 203 n型クラッド層
- 205 発光層
- 207 p型クラッド層
- 209 p型コンタクト層
- 211 n型電極
- 213 p型電極

20

【図1】



【図2】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-94112(JP,A)  
特開2001-24221(JP,A)  
特開2001-97800(JP,A)  
特開平6-268257(JP,A)  
特開平9-312416(JP,A)  
特開平9-293897(JP,A)  
特開平9-153642(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64  
H01S 5/00 - 5/50  
H01L 21/205