

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2007-537600

(P2007-537600A)

(43) 公表日 平成19年12月20日(2007.12.20)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)
HO 1 L 33/00 (2006.01)		HO 1 L 33/00	C	5 F O 4 1
HO 1 L 21/205 (2006.01)		HO 1 L 21/205		5 F O 4 5
HO 1 S 5/343 (2006.01)		HO 1 S 5/343	6 1 0	5 F 1 7 3

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2007-513224 (P2007-513224)
 (86) (22) 出願日 平成17年5月6日 (2005.5.6)
 (85) 翻訳文提出日 平成18年11月10日 (2006.11.10)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2005/015774
 (87) 国際公開番号 W02005/112123
 (87) 国際公開日 平成17年11月24日 (2005.11.24)
 (31) 優先権主張番号 60/569, 749
 (32) 優先日 平成16年5月10日 (2004.5.10)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 503360115
 独立行政法人科学技術振興機構
 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
 (74) 代理人 100089635
 弁理士 清水 守
 (72) 発明者 アーパン・チャクラボーティ
 米国、カリフォルニア州 93117、ア
 イラピスタ、エル コレヒオ ロード
 6667、アパートメントナンバー45
 (72) 発明者 ベンジャミン・エー・ハスケル
 米国、カリフォルニア州 93117、ゴ
 レタ、クローバー ウォーク 724、ナ
 ンバー207

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 有機金属気相成長法による非極性窒化インジウムガリウム薄膜、ヘテロ構造物およびデバイスの製作

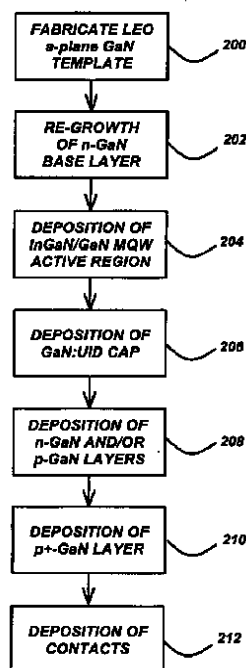
(57) 【要約】

【課題】 有機金属気相成長法による非極性窒化インジウムガリウム薄膜、ヘテロ構造物およびデバイスの製作方法を提供する。

【解決手段】

有機金属気相成長法 (MOCVD) を用いる非極性窒化インジウムガリウム (InGaN) 膜ならびに非極性 InGaN を含んだデバイス構造物の製作のための方法。本方法は、非極性 InGaN / GaN 紫色および近紫外発光ダイオードおよびレーザ・ダイオードを製作するために用いられる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

非極性窒化インジウムガリウム (InGa_N) 系ヘテロ構造物およびデバイスを製作する方法であって、

(a) 滑らかで低い欠陥密度の III 族窒化物基板またはテンプレートを準備する工程、

(b) 前記基板またはテンプレート上に一つ以上の非極性 InGa_N 層を成長させる工程、

(c) 後に続く層の成長中に In が脱離することを防ぐために前記非極性 InGa_N 層上に薄い低温窒化物キャッピング層を成長させる工程、および

(d) 前記キャッピング層上に低圧で一つ以上の非極性 n 型および p 型 (Al、Ga) N 層を成長させる工程

を含むことを特徴とする方法。

10

【請求項 2】

前記 InGa_N 層を大気圧または大気圧近傍で成長させることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記 InGa_N 層が、一つ以上の量子井戸ヘテロ構造物を形成することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記 InGa_N 層上に一つ以上の非ドープ非極性 GaN 障壁層を成長させることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 5】

前記非ドープ非極性 GaN 障壁層を大気圧または大気圧近傍で成長させることを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記キャッピング層が GaN を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法を用いて製作されたデバイス。

【請求項 8】

非極性窒化インジウムガリウム (InGa_N) 系ヘテロ構造物およびデバイスを製作する方法であって、

30

(a) 滑らかで低い欠陥密度の III 族窒化物基板またはテンプレートを準備する工程、

(b) 前記基板またはテンプレート上に複数の非極性 InGa_N 層を成長させる工程、

(c) p 型 GaN 層の成長中に In が脱離することを防ぐために、前記非極性 InGa_N 層上に薄い低温窒化ガリウム (GaN) キャッピング層を成長させる工程、

(d) 前記 GaN キャッピング層上に大気圧または大気圧近傍で一つ以上の InGa_N / GaN 多重量子井戸 (MQW) を成長させる工程、

(e) 前記 InGa_N / GaN 多重量子井戸上に大気圧または大気圧近傍で非ドープ GaN 障壁を成長させる工程、および

40

(f) 前記非ドープ GaN 障壁上に低圧で一つ以上の n 型および p 型 (Al、Ga) N 層を成長させる工程

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 9】

前記滑らかで低い欠陥密度の III 族窒化物基板またはテンプレートは、GaN、窒化アルミニウム (AlN) または窒化アルミニウムガリウム (AlGa_N) 基板であることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記基板は、低欠陥密度の自立 a 面 GaN ウエハ、低欠陥密度の自立 m 面 GaN ウエハ

50

、低欠陥密度の自立 a 面 AlN ウエハ、低欠陥密度の自立 m 面 AlN ウエハ、低欠陥密度のバルク a 面 GaN ウエハ、低欠陥密度のバルク m 面 GaN ウエハ、低欠陥密度のバルク a 面 AlN ウエハまたは低欠陥密度のバルク m 面 AlN ウエハを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 11】

ハイドライド気相成長法 (HVPE) によって前記テンプレートを成長させることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 12】

前記テンプレートが、低欠陥密度のハイドライド気相成長 (HVPE) エピタキシャル横方向オーバーグロース (LEO) させた a 面または m 面 GaN テンプレートを含むことを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

10

【請求項 13】

前記テンプレートが、有機金属気相成長法 (MOCVD) によって成長させた平坦な非極性 a 面 GaN テンプレートを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 14】

低温 GaN 核形成層工程と、高温 GaN 成長工程とを含む二段階プロセスによって、前記 a 面 GaN テンプレートを r 面サファイア基板上に成長させることを特徴とする請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記成長工程 (b) が、前記基板またはテンプレート上に約 900 未満の低い温度で非極性 InGa_nN 層を成長させる工程を含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

20

【請求項 16】

前記成長工程 (b) が、N₂ キャリア・ガスを用いて前記非極性 InGa_nN 層中のインジウム (In) 取り込みを促進し、In 脱離を減少させる工程をさらに含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 17】

前記成長工程 (b) が、ほぼ大気圧またはその近傍で前記基板またはテンプレート上に複数の非極性 InGa_nN 層を成長させて InGa_nN 膜品質を改善し、炭素取り込み量を減少させることを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 18】

約 600 ~ 850 Torr またはその近傍で前記 InGa_nN / GaN 多重量子井戸を成長させることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

30

【請求項 19】

約 20 ~ 150 Torr またはその近傍で前記キャッピング層および障壁層を除く前記 n 型および p 型 (Al、Ga) N 層を成長させることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 20】

請求項 8 に記載の方法を用いて製作されるデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、米国特許法第 119 条 (e) にもとづいて、本発明の譲受人に譲渡された以下の同時係属の米国特許出願の優先権を主張する。この出願は参照として本明細書に組み込まれる。

【0002】

アーバン・チャクラボर्टイ (Arpan Chakraborty)、ベンジャミン・エー・ハスケル (Benjamin A. Haskell)、ステシア・ケラー (Stacia Keller)、ジェームス・エス・スペック (James S. Speck)、スティーブン・ピー・デンバース (Steven P. DenBaars)、中村

50

修二 (Shuji Nakamura) およびウメシュ・ケー・ミシュラ (Umesh K. Mishra) による米国特許仮出願第 60/569,749 号、2004 年 5 月 10 日出願、発明の名称「有機金属気相成長方法による非極性窒化インジウムガリウム薄膜、ヘテロ構造物およびデバイスの製作 (FABRICATION OF NONPOLAR InGaN THIN FILMS, HETEROSTRUCTURES AND DEVICES BY METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION)」、代理人整理番号 30794.117-US-P1。

【0003】

本出願は、本発明の譲受人に譲渡された以下の同時係属出願の関連出願である。

【0004】

ベンジャミン・エー・ハスケル、マイケル・ディー・クレイブン (Michael D. Craven)、ポール・ティー・フィニ (Paul T. Fini)、スティーブン・ピー・デンバース、ジェームス・エス・スペックおよび中村修二による国際特許出願第 PCT/US03/21918 号、2003 年 7 月 15 日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長方法による転位密度の低い無極性窒化ガリウムの成長 (GROWTH OF REDUCED DISLOCATION DENSITY NON POLAR GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人整理番号 30794.93-WO-U1 (2003-224-2)。この出願は、ベンジャミン・エー・ハスケル、マイケル・ディー・クレイブン、ポール・ティー・フィニ、スティーブン・ピー・デンバース、ジェームス・エス・スペックおよび中村修二による米国特許仮出願第 60/433,843 号、2002 年 12 月 16 日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長方法による転位密度の低い無極性窒化ガリウムの成長」、代理人整理番号 30794.93-US-P1 (2003-224-1) の優先権を主張する。

10

20

【0005】

ベンジャミン・エー・ハスケル、ポール・ティー・フィニ、松田成正 (Shigemasa Matsuda)、マイケル・ディー・クレイブン、スティーブン・ピー・デンバース、ジェームス・エス・スペックおよび中村修二による国際特許出願第 PCT/US03/21916 号、2003 年 7 月 15 日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性 a 面窒化ガリウムの成長 (GROWTH OF PLANAR, NON POLAR A PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人整理番号 30794.94-WO-U1 (2003-225-2)。この出願は、ベンジャミン・エー・ハスケル、ポール・ティー・フィニ、松田成正、マイケル・ディー・クレイブン、スティーブン・ピー・デンバース、ジェームス・エス・スペックおよび中村修二による米国特許仮出願第 60/433,844 号、2002 年 12 月 16 日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦な無極性 a 面窒化ガリウムの成長技術 (TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR, NON POLAR A PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRIDE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人整理番号 30794.94-US-P1 (2003-225-1) の優先権を主張する。

30

40

【0006】

マイケル・ディー・クレイブンおよびジェームス・エス・スペックによる米国特許出願第 10/413,691 号、2003 年 4 月 15 日出願、発明の名称「有機金属気相成長法によって成長させた非極性 a 面窒化ガリウム薄膜 (NON POLAR A PLANE GALLIUM NITRIDE THIN FILMS GROWN BY METALORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION)」、代理人整理番号 30794.100-US-U1 (2002-294-2)。この出願は、マイケル・ディー・クレイブン、ステシア・ケラー、スティーブン・ピー・デンバース、タル・マーガリス (Tal Margalith)、ジェームス・エス・スペック、中

50

村修二およびウメシュ・ケー・ミシュラによる米国特許仮出願第60/372,909号、2002年4月15日出願、発明の名称「非極性窒化ガリウム系薄膜およびヘテロ構造材料(NON POLAR GALLIUM NITRIDE BASED THIN FILMS AND HETEROSTRUCTURE MATERIALS)」、代理人整理番号30794.95-US-P1(2002-294/301/303)の優先権を主張する。

【0007】

マイケル・ディー・クレイブン、ステーシア・ケラー、スティーブン・ピー・デンバーズ、タル・マーガリス、ジェームス・エス・スペック、中村修二およびウメシュ・ケー・ミシュラによる米国特許出願番号10/413,690号、2003年4月15日出願、発明の名称「非極性(Al、B、In、Ga)N量子井戸およびヘテロ構造材料およびデバイス(NON POLAR (Al, B, In, Ga)N QUANTUM WELL AND HETEROSTRUCTURE MATERIALS AND DEVICES)」、代理人整理番号30794.101-US-U1(2002-301-2)。この出願は、マイケル・ディー・クレイブン、ステーシア・ケラー、スティーブン・ピー・デンバーズ、タル・マーガリス、ジェームス・エス・スペック、中村修二およびウメシュ・ケー・ミシュラによる米国特許仮出願第60/372,909号、2002年4月15日出願、発明の名称「非極性窒化ガリウム系薄膜およびヘテロ構造材料」、代理人整理番号30794.95-US-P1(2002-294/301/303)の優先権を主張する。

10

20

【0008】

マイケル・ディー・クレイブン、ステーシア・ケラー、スティーブン・ピー・デンバーズ、タル・マーガリス、ジェームス・エス・スペック、中村修二およびウメシュ・ケー・ミシュラによる米国特許出願第10/413,913号、2003年4月15日出願、発明の名称「非極性窒化ガリウム薄膜中の転位減少法(DISLOCATION IN NON POLAR GALLIUM NITRIDE THIN FILMS)」、代理人整理番号30794.102-US-U1(2002-303-2)。この出願は、マイケル・ディー・クレイブン、ステーシア・ケラー、スティーブン・ピー・デンバーズ、タル・マーガリス、ジェームス・エス・スペック、中村修二およびウメシュ・ケー・ミシュラによる米国特許仮出願第60/372,909号、2002年4月15日出願、発明の名称「非極性窒化ガリウム系薄膜およびヘテロ構造材料」、代理人整理番号30794.95-US-P1の優先権を主張する。

30

【0009】

マイケル・ディー・クレイブンおよびスティーブン・ピー・デンバーズによる国際特許出願第PCT/US03/39355号、2003年12月11日出願、発明の名称「非極性(Al、B、In、Ga)N量子井戸(NONPOLAR (Al, B, In, Ga)N QUANTUM WELLS)」、代理人整理番号30794.104-WO-01(2003-529-1)。この出願は、上記特許出願第PCT/US03/21918号(第30794.93-WO-U1号)、第PCT/US03/21916号(第30794.94-WO-U1号)、第10/413,691号(第30794.100-US-U1号)、第10/413,690号(第30794.101-US-U1号)、第10/413,913号(第30794.102-US-U1号)の一部継続出願である。

40

【0010】

ベンジャミン・エー・ハスケル、メルヴィン・ビー・マクラリン(Melvin B. McLaurin)、スティーブン・ピー・デンバーズ、ジェームス・エス・スペックおよび中村修二による米国特許仮出願第60/576,685号、2004年6月3日出願、発明の名称「ハイドライド気相成長法による平坦で低い転位密度のm面窒化ガリウムの成長(GROWTH OF PLANAR REDUCED DISLOCATION DENSITY M PLANE GALLIUM NITRIDE BY HYDRID

50

DE VAPOR PHASE EPITAXY)」、代理人整理番号30794.119-US-P1。

【0011】

トロイ・ジェイ・ベイカー(Troy J. Baker)、ベンジャミン・エー・ハスケル、ポール・ティー・フィニ、スティーブン・ピー・デンバース、ジェームス・エス・スペックおよび中村修二による米国特許仮出願第60/660,283号、2005年3月10日出願、発明の名称「平坦な半極性窒化ガリウムの成長技術(TECHNIQUE FOR THE GROWTH OF PLANAR SEMI-POLAR GALLIUM NITRIDE)」、代理人整理番号30794.128-US-P1。

【0012】

以上の出願は、参照としてすべて本明細書に組み込む。

10

【0013】

資金援助を受けた研究に関する記述

本発明は、スタンレー電気株式会社(Stanley Electric Co., Ltd.)、三菱化学株式会社(Mitsubishi Chemical Corp.)、ローム株式会社(Rohm Co., Ltd.)、 Cree社(Cree, Inc.)、松下電工株式会社(Matsushita Electric Works, Ltd.)、松下電器産業株式会社(Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)およびソウル半導体株式会社(Seoul Semiconductor Co., Ltd.)を含む、ザ・ユニバーシティ・オブ・カリフォルニア・サンタ・バーバラ・ソリッド・ステート・ライティング・アンド・ディスプレイ・センター(The University of California Santa Barbara Solid State Lighting and Display Center)会員会社からの援助のもとで行なわれた。

20

1. 本発明の技術分野

本発明は、化合物半導体の成長およびデバイス製作に関する。より具体的には、本発明は、有機金属気相成長法(MOCVD)による窒化インジウムガリウム(InGaN)を含んだエレクトロニクス・デバイスおよびオプトエレクトロニクス・デバイスの成長および製作に関する。

【背景技術】

30

【0014】

2. 関連技術の説明

(注：本出願は、明細書全体にわたって括弧で囲まれる参照番号、例えば[参考文献x]で示されるように、複数のさまざまな刊行物を参照する。下記の「参考文献」と題するセクションに、これらの参照番号順に並べた種々の刊行物のリストを示す。これらの刊行物はそれぞれ参照として本明細書に組み込まれる。)

可視および紫外オプトエレクトロニクス・デバイスおよび高性能エレクトロニクス・デバイスの製作のための窒化ガリウム(GaN)ならびにアルミニウムおよびインジウムを組み込んだ窒化ガリウム三元および四元化合物(AlGaN、InGaN、AlInGaN)の有用性は定評がある。これらのデバイスは通常、分子線エピタキシー(MBE)、有機金属気相成長法(MOCVD)またはハイドライド気相成長法(HVPE)などの成長技術によってエピタキシャル成長させる。

40

【0015】

GaNおよびGaN合金は、六方晶系ウルツ鉱型結晶構造で最も安定となる。この構造は、互いに120°回転関係にある二つ(または三つ)の等価な基底面軸(a軸)によって示され、この軸はすべて主軸のc軸に垂直である。図1は、一般的な六方晶ウルツ鉱型結晶構造100の概略図であり、重要な面102、104、106、108の他、軸110、112、114、116を図中に示す。図で、塗りつぶしパターンは、重要な面102、104および106を示すものであり、構造100の材料を表すものではない。II族元素原子と窒素原子は、結晶のc軸方向にc面を交互に占める。ウルツ鉱型構造物中

50

に含まれる対称要素によって、III族窒化物はこのc軸方向にバルクの自発分極を有する。さらに、ウルツ鉱型結晶構造は非中心対称性を有するので、ウルツ鉱型窒化物は、結晶のc軸に沿ってさらに圧電分極を示す可能性もあり、実際に示す。現行のエレクトロニクス・デバイスおよびオプトエレクトロニクス・デバイス用窒化物技術では、極性c方向に成長させた窒化物膜を使用する。しかし、III族窒化物系オプトエレクトロニクス・デバイスおよびエレクトロニクス・デバイス中の従来のc面量子井戸構造は、強い圧電分極および自発分極の存在に起因する望ましくない量子閉じ込めシュタルク効果(QCSE)の問題を有する。c方向の強い組み込み電場によって、電子と正孔とが空間的に分離され、それが今度はキャリア再結合効率を抑制し、振動子強度を低下させ、発光を赤色シフトさせる。

10

【0016】

非極性成長方向、例えば $\langle 11-20 \rangle$ a方向または $\langle 1-100 \rangle$ m方向を使用する(AI、Ga、In)N量子井戸構造は、極性軸が膜の成長面内にあり、従って量子井戸のヘテロ界面と平行になるので、ウルツ鉱型窒化物構造物中の分極誘起電場効果を取り除く有効な手段を提供する。過去数年間、非極性(AI、Ga、In)Nの成長は、非極性エレクトロニクス・デバイスおよびオプトエレクトロニクス・デバイスの製作における利用可能性から、大きな関心を集めてきた。最近、アルミン酸リチウム基板上にプラズマ支援MBEによって成長させた非極性m面AlGaIn/GaN量子井戸と、r面サファイア基板上にMBEとMOCVDとの両方によって成長させた非極性a面AlGaIn/GaN多重量子井戸(MQW)によって、成長方向に沿って分極場がないことが実証された。従

20

【0017】

残念ながら、非極性InGaInの成長は非常に難しいことが証明されている。実際、文献を見ても、非極性InGaInの成長に成功した報告は二つしかない。スン(Sun)ら[非特許文献1]は、MBEによって最大10%のInを含むm面InGaIn/GaN量子井戸構造を成長させ、チトニス(Chitnis)ら[非特許文献2]は、MOCVDによってa面InGaIn/GaN量子井戸構造を成長させた。スンの論文[非特許文献1]は、研究材料の構造特性と光ルミネッセンス特性とを中心に検討しているが、検討したInGaIn膜の品質が実用的なデバイスを製作するのに十分であるとは示唆していない

30

【0018】

非極性InGaInの成長に成功した例がないのは、いくつかの理由によるものと考えられる。第一に、InGaInと利用可能な基板との間の格子不整合が大きいため、InGaInヘテロエピタキシーが非常に困難である。第二に、高温でInが成長面から脱離する傾向があるため、InGaInは、通常GaNと比較して低温で成長させなければならない。残念ながら、非極性窒化物は、通常900より高温、さらに多くの場合1050より高温というInが表面から容易に脱離する温度で成長させられる。第三に、高品質の非極性窒化物は、a面およびm面を傾斜小面に対して安定にするために、通常、減圧(< 100 Torr)で成長させられる。しかし、In取り込みを促進し、炭素取り込みを減らすためには、c面InGaInを大気圧で成長させる方がよいことが既に広く報告されている。

40

【0019】

本発明は、これらの課題を克服し、MOCVDによって高品質InGaIn膜と、InG

50

a Nを含んだデバイスを初めて作り出す。

【非特許文献1】Y. Sun, et al., "Nonpolar InxGa1-I / GaN (1-100) multiple quantum wells grown on -LiAlO2(100) by plasma assisted molecular beam epitaxy," Phys Rev. B, 67, 41306 (2003)

【非特許文献2】Chitnis, et al., "Visible light-emitting diodes using a plane GaN-InGaN multiple quantum wells over r plane sapphire," Appl. Phys. Lett., 84, 3663 (2004)

10

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0020】

上記で説明した従来技術の限界を克服し、本明細書を読み、理解すれば自明となるその他の限界を克服するために、本発明では、高品質インジウム(In)を含んだエピタキシャル層と、平坦な非極性InGaN膜を備えるヘテロ構造物およびデバイスとを製作するための方法を記載する。本方法では、MOCVDを用いて非極性InGaN/GaN紫色および近紫外発光ダイオードおよびレーザー・ダイオードを実現する。

【0021】

以下、図面を参照する。対応する部分には一貫して同じ参照番号を付与する。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下の好ましい実施形態の説明では、添付の図面を参照する。添付の図面は、本明細書の一部を形成し、本発明を実施することができる特定の実施形態を例示するために示す。本発明の範囲から逸脱することなく、他の実施形態を利用してもよく、構造上の変化を施してもよいことは明らかである。

【0023】

概要

非極性窒化物半導体を成長させることによって、ウルツ鉱型構造III族窒化物デバイス中の分極効果を取り除く手段が得られる。現行の(Ga, Al, In, B)Nデバイスは、極性[0001]c方向に成長させられるため、ヘテロ構造物中に電荷分離が起こる。生じた分極場は、特にオプトエレクトロニクス・デバイスの場合に、現行の最高技術水準のデバイスの性能を低下させる。そのようなデバイスを非極性方向に成長させれば、デバイス性能は著しく改善される。

30

【0024】

これまで、InGaNを含んだ高品質III族窒化物またはIII族窒化物系ヘテロ構造物を非極性方向に成長させるための手段はまったく存在しなかった。それに対して、本発明は、非極性InGaN膜、ならびに非極性InGaN含有デバイス構造物の製作を可能にする。この技術によって、表面粗さが大きいこと、In取り込み量が少ないこと、およびInGaNヘテロ構造中のInが脱離することに関連する従来の問題を克服した。MOCVDに立脚する本発明を利用して、最初の非極性InGaN/GaN紫色LEDを実現した。本発明は、非極性GaN系可視および近紫外LEDおよびLDの製造を初めて可能にするものである。

40

【0025】

技術説明

本発明は、高品質なInを含んだエピタキシャル層と、同層を含むヘテロ構造物およびデバイスを製作するための手法である。MOCVDによって優れた平坦な非極性InGaN膜を成長させ、同じ技法によって機能性の非極性InGaNを含んだデバイスを製作した。この特定の検証には、a面配向InGaN系量子井戸の製作を含んでいるが、m面窒化物成長に関する研究によって、本明細書で説明する技法がm面InGaN/GaNデバ

50

イスの成長にも広く適用できることが示されている。

【0026】

MOCVDによって平坦な非極性a面GaNテンプレートを成長させた。このテンプレート成長の詳細は、上記で示し、参照として本明細書に組み込まれる、本発明の譲受人に譲渡された同時係属特許出願第10/413,691号(30794.100-US-U1)およびPCT/US03/21916(30794.94-WO-U1)に開示される。これらのa面GaNテンプレートはほぼ格子整合した層を提供し、その上に非極性InGaN膜を再成長させることができる。

【0027】

高速度回転する高温垂直反応器中でMOCVD成長を実行した。300rpmの回転速度を使用した。Ga、In、MgおよびSi源として用いた前駆体は、それぞれ、トリメチルガリウム(TMG)、トリメチルインジウム(TMI)、ビス-シクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)およびジシランであった。高純度アンモニアを窒素源として用いた。低温(620~650)GaN核形成層工程と、高温(1130~1180)GaN成長工程とを含む二段階プロセスによって、r面サファイア基板の上にa面GaNテンプレートを成長させる。V族/III族比として650と670との間を用いる。反射分光法を用いるその場(in-situ)厚さ測定によって測定されるGaN成長速度は、4~6 /秒の範囲である。UIDのGaN成長の間、10slpmの全流量を使用する。

10

【0028】

上記成長手順によって、非極性InGaNを成長させることの実用性を確立した。本発明は、非極性InGaN系のLEDの成長および製作を目的とする。

20

【0029】

図2は、本発明の好ましい実施形態によるプロセス工程を説明するフローチャートであり、図3は、本発明の好ましい実施形態によって製作される非極性発光ダイオードの概略断面図である。

【0030】

ブロック200は、滑らかで低い欠陥密度のIII族窒化物基板またはテンプレートを準備する工程を表す。その例として、例えば、このブロックは、厚さが10μmで低い転位密度を有し、HVPEによってエピタキシャル横方向オーバーグロスされた(LEO) a面GaNテンプレート302をr面サファイア基板300上に製作することを表してもよい。上記に示し、参照として本明細書に組み込まれる、本発明の譲受人に譲渡された同時係属特許出願第PCT/US03/21918(30794.93-WO-U1)に、HVPEを利用するLEOプロセスの詳細が開示されている。

30

【0031】

テンプレート300はGaNであるが、窒化アルミニウム(AlN)または窒化アルミニウムガリウム(AlGaN)を含んでもよい。さらに、a面配向GaNテンプレート300について記載しているが、m面GaNテンプレートも製作することができる。

【0032】

LEOプロセス用のマスクは、GaN<1-100>方向と平行に配向した2μm幅の窓開口部で分離された平行な8μm幅SiO₂ストライプを備える。Ga面とN面との{0001}翼の横方向成長速度の比は~6:1であり、その結果、窓と融合の前線との間に約6.5μm幅の無欠陥オーバーグロス領域が生じる。同等な試料の透過型電子顕微鏡(TEM)観察によれば、オーバーグロス領域中の貫通転位および基底面積層欠陥密度は、それぞれ~5×10⁶cm⁻²および3×10³cm⁻¹未満であった。

40

【0033】

ブロック202は、垂直MOCVD反応器で実行され、2×10¹⁸cm⁻³の電子濃度を有するSiをドーピングした2.2μmのn-GaN基層304で開始される再成長を表す。この層は、通常のa面GaN成長条件(例えば、基板温度1050~1150、系内圧力40~100Torr、H₂キャリア・ガス、V族/III族~100)下で

50

堆積させる。その結果、MOCVDによって成長させた平坦な非極性a面GaNテンプレートを備える基板が得られる。

【0034】

あるいは、滑らかで低い欠陥密度のIII族窒化物基板を準備してもよい。そのような基板は、低欠陥密度の自立(free-standing)a面GaNウエハ、低欠陥密度の自立m面GaNウエハ、低欠陥密度の自立a面AlNウエハ、低欠陥密度の自立m面AlNウエハ、低欠陥密度のバルクa面GaNウエハ、低欠陥密度のバルクm面GaNウエハ、低欠陥密度のバルクa面AlNウエハまたは低欠陥密度のバルクm面AlNウエハを含む。

【0035】

さまざまな方法、特にハイドライド気相成長法(HVPE)によって、AlGaNなどの合金基板を成長させることも可能である。本発明を実施するために用いられる基板は、任意の非極性AlGaNまたはその他のIII族窒化物基板でよい。

【0036】

ブロック204は、低温、大気圧でN₂キャリア・ガスを用いるデバイス用InGaN/GaN活性領域306の堆積を表す。このブロックは、(1)低温(約900またはその近傍)でN₂キャリア・ガスを用いて基板またはテンプレート上に非極性InGaN層を成長させ、In取り込みを促進し、In脱離を減少させる工程であって、大気圧近く(約760 Torrまたはその近傍)でInGaN層を成長させてInGaN膜品質を改善し、炭素取りこみ量を減少させる工程、(2)非極性InGaN層の上に薄い低温GaNキャッピング層を成長させて、後で行うp型GaN層の成長の間のIn脱離を防止する工程、および(3)大気圧近く(約600~850 Torrまたはその近傍)でGaNキャッピング層の上に一つ以上のInGaN/GaN多重量子井戸(MQW)を成長させる工程を含む。

【0037】

N₂キャリア・ガスの使用は、InGaN膜中へより多くInを取り込むために重要である。比較的低い成長温度とすることによって、In取り込みが促進され、成長面からのIn脱離速度が低下する。さらに、大気圧を使用するとInGaN膜品質が改善され、膜中への炭素取り込み量が減り、活性領域中の非放射点欠陥の濃度が減少する。

【0038】

好ましくは、活性領域306は、16nmのSiドープGaN障壁と4nmのIn_{0.17}Ga_{0.83}N量子井戸とを有する5周期のMQWの積層で構成される。この工程では0.4/秒という比較的高い成長速度を用いて滑らかなInGaN/GaNヘテロ界面を保証し、ひいてはデバイスの光学性能を改善する。

【0039】

ブロック206は、InGaN/GaNのMQW構造物306の上に大気圧またはその近傍で非ドープGaN障壁308を成長させる工程を表す。より詳細には、このブロックは、後で成長中に活性領域306からInGaNが脱離するのを予防するために、低温で16nmの非ドープ〔または不作為でドープされた(unintentionally doped)(UID)]GaN障壁308を堆積させてInGaNのMQW構造物306にキャップする工程を表す。

【0040】

ブロック208は、非ドープGaN障壁308の上に低圧(約20~150 Torrまたはその近傍)で一つ以上のn型およびp型(Al、Ga)N層310を成長させる工程を表す。より詳細には、このブロックは、高温(~1100)および低圧(~70 Torr)で $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の正孔濃度を有する0.3 μm のMgドープp型GaN層310の堆積を表し、p型GaN成長には16slpmの全流量を使用する。

【0041】

ブロック210は、40nmの高濃度ドープp⁺GaN層312の堆積を表す。この層312は、構造物のためのキャップとして作用する。

10

20

30

40

50

【0042】

最後に、ブロック212は、デバイスのためのp GaN接点としてのPd/Au接点314およびn GaN接点としてのAl/Au接点316の堆積を表す。

【0043】

これらのプロセス工程の最終結果として、非極性InGaN系ヘテロ構造物およびデバイスが得られる。より詳細には、これらのプロセス工程の最終結果として、InGaNのLEDまたはLDが得られる。

【0044】

実験結果

光学顕微鏡法および光ルミネッセンス(PL)測定によって、as-grownの試料を検討した。塩素ベースの反応性イオンエッチング(RIE)によって $300 \times 300 \mu\text{m}^2$ ダイオードメサを定めた。p GaNおよびn GaN接点としてPd/Au(3/200nm)およびAl/Au(30/200nm)をそれぞれ用いた。デバイスのウエハ上の探測によって、ダイオードの電気特性およびルミネッセンス特性を測定した。ヒューレット・パッカード(Hewlett Packard)4145B半導体パラメータアナライザを用いて、図4に示されるI-V測定を実行した。直流(DC)条件下の相対光出力測定値は、サファイア基板を通して較正済み大面積Siフォトダイオードへの背面発光によって得た。図5および6にそれぞれ示すように、LEDの発光スペクトルおよび光出力放出を駆動電流の関数として測定した。すべての測定は、室温で実行した。

【0045】

上記で説明したデバイス構造物は、機能するInGaN系LEDの最初の報告となる。ダイオードのI-V曲線(図4)は3.3Vの順電圧を示し、直列抵抗値は7.8と低かった。同一の条件下で平坦なa面GaNテンプレート上に成長させた非極性a面GaNのp-n接合ダイオードは、同様な順電圧を示したが、直列抵抗値は約30と高かった。これらのLED中の直列抵抗が低かったのは、LEOによるGaNテンプレートの無欠陥オーバーグロス領域中の高い電気伝導率に起因する。

【0046】

このデバイスのエレクトロルミネッセンス(EL)スペクトルを、直流駆動電流の関数として調べた。10から250mAの範囲の駆動電流で発光スペクトルを測定した。このデバイスは、すべての駆動電流に対し413.5nmの紫色スペクトル域で発光し、線幅広がりは最小限であった(図5)。as-grown試料のPLスペクトルは、強い量子井戸発光を412nmで示し、線幅は25nmと狭かった。駆動電流を増加させても発光ピークの青色シフトは観測されず、この波長域および同様な駆動電流域で動作するc面LEDでは通常青色シフトが観測されるのと対照的である。線幅は、20mAでの最小値23.5nmから始まり、250mAでの27.5nmまで駆動電流とともにほぼ線形に増加した。駆動電流の増加に伴うこの最小限の線幅広がり、この電流領域でデバイス加熱が低かったことを示唆する。

【0047】

次に、直流駆動電流に対する出力電力の依存性を測定した。駆動電流を10mAから200mAに近い電流レベルで飽和するまで増加させると、出力電力は増大したが線形にならなかった。出力電力は加熱効果によって飽和し、それによって量子効率を低下させるものとなる。20mA順電流での出力電力は $240 \mu\text{W}$ であり、0.4%の外部量子効率(EQE)に対応した。200mAの駆動電流の場合には、1.5mWにも達する高い直流出力が測定された。EQEは、駆動電流が増加するにつれて増加し、30mAで0.42%の最大値に達したが、その後順電流が30mAを超えて増加すると急速に減少した。これらのLEDのEQEが低い理由は、一部はp型接点の低い反射率のせいであり、一部は光を放出しないLEOの「暗い」欠陥窓領域のせいである。上記で説明したデバイス構造物は、概念の実証を構成し、非最適化デバイスである点に注意すべきである。テンプレート/基層およびLED構造物のすべての態様の最適化によって、EQEの顕著な改善を行うことができるかと予想される。

10

20

30

40

50

【0048】

重要な特徴

上記で説明した非極性LED構造物の技術説明は、広範囲の非極性InGa_nN系ヘテロ構造物およびデバイスの製作および成長に関するいくつかの重要な特徴を含む。これらの重要な特徴は、以下を含む。

【0049】

1. HVPEによるLEOのa面またはm面Ga_nNテンプレートなど(これらに限定されるわけではない)、滑らかで低い欠陥密度のGa_nN基板またはテンプレートを使用する。

【0050】

2. N₂キャリア・ガスを用いて低温(～900 未満)で非極性InGa_nNを成長させてIn取り込みを促進し、In脱離を減少させる。

【0051】

3. 大気圧(760 Torr)またはその近傍でInGa_nN層を成長させてInGa_nN膜品質を改善し、炭素取り込み量を減少させる。

【0052】

4. 薄い低温Ga_nNキャッピング層を用いてp型Ga_nN堆積時にIn脱離を防ぐ。

【0053】

5. 大気圧またはその近傍(～600～850 Torr)でInGa_nN/Ga_nNのMQWおよび非ドープGa_nN障壁を成長させ、一方、低圧(40～80 Torr)でn型およびp型Ga_nNを成長させる。

【0054】

実施形態の可能な変更形および変形

好ましい実施形態では、非極性方向に平坦で高品質なInGa_nN膜およびヘテロ構造物を成長させることができるプロセスを説明した。上記の技術説明のセクションでは特に、a面Ga_nNデバイスに関して説明した(すなわち、成長方向は、Ga_nN<11-20>方向であった)。しかし、研究の結果、a面窒化物のための成長方法は、通常、m面窒化物成長にも利用可能であるかまたは容易に適合させ得ることが証明された。従って、このプロセスは、ウルツ鉱型構造の<11-20>または<1-100>のどちらの方向に成長させる膜および構造物にも適用できる。

【0055】

上記で説明したInGa_nN膜のための基層は、r面Al₂O₃上に成長させたMOCVD成長a面Ga_nNテンプレートであった。同様に、重要な特徴のセクションで説明したデバイス構造物には、r面Al₂O₃上に成長させたHVPE成長LEOのa面Ga_nN層を利用した。本発明の実施においては、実質的にその本質を変えることなく別の基板を用いることができる。例えば、どちらのプロセスの基層も、MBE、MOCVDまたはHVPEによってa面SiC基板上に成長させたa面Ga_nN膜を含んでよい。他の利用可能な基板の選択肢としては、a面6H-SiC、m面6H-SiC、a面4H-SiC、m面4H-SiC、非極性Ga_nNを生じる他のSiC多形および配向、a面ZnO、m面ZnO、(100)LiAlO₂、(100)MgAl₂O₄、自立a面Ga_nN、自立AlGa_nN、自立AlNまたはこれらの基板のミスカット変形を含むが、それらに限定されない。これらの基板は、非極性InGa_nNデバイス成長の前にそれらの上にGa_nNテンプレート層を成長させることを必ずしも必要としない。Ga_nN、AlN、AlGa_nN、AlInGa_nN、AlInN等の基層は、適当なその場欠陥低減技術を組み込んでいても、組み込んでいなくても、デバイス成長プロセスの始めに堆積させることができる。しかし、一般には、膜品質およびデバイス性能は、欠陥密度の低い(すなわち、 1×10^9 転位/cm² および 1×10^4 積層欠陥/cm⁻¹ 未満)窒化物テンプレート/基層の使用によって改善される。本発明中で用いられるエピタキシャル横方向オーバーグロースプロセスは、これらのレベル未満の欠陥密度を実現する。

【0056】

10

20

30

40

50

好ましい実施形態では、特に InGa_xN_{1-x} および GaN 層を含む LED 構造物に関して記載する。しかし、本発明は、任意のまたはすべての層におけるアルミニウム (Al) の取り込みについても利用可能である。一般的に言って、本発明によって成長させた層はどれも化学式 (Al_xIn_yGa_z)N、(ここで、0 ≤ x ≤ 1、0 ≤ y ≤ 1、0 ≤ z ≤ 1 および x + y + z = 1) で記述される組成を有し得る。任意のまたはすべての層は、選択により別のドーパントを含むことができ、依然、本発明の範囲内に属する。この別のドーパントには Zn、Mg、Fe、Si、O 等を含むが、それらに限定されるわけではない。

上記で説明したデバイスのキャッピング層および障壁層は GaN で構成される。しかし、これらの層のそれぞれは、選択により、適当なキャリア閉じ込めを提供する、またはキャッピング層の場合、適当な In 脱離抵抗を提供する、任意の非極性 AlInGa_xN 組成を含むことができる。

10

【0057】

上記で説明したデバイス構造物中の GaN および InGa_xN 層の厚さは、本発明の好ましい実施形態から基本的に逸脱することなく、実質的に変化してよい。同様に、層組成を変えてアルミニウムおよび/またはホウ素を含めて電子バンド構造を変えてもよい。ドーピング・プロファイルを変化させたり、構造物の電気的および光学的性質を調整してもよい。本発明の範囲内で、構造物中に追加の層を挿入してもよく、層を取り除いてもよく、または、構造物中の量子井戸の数を変化させてもよい。例えば、UID 型 GaN キャッピング層の厚さを減らし、Mg ドープ p 型 AlGa_xN 電子遮蔽層を含めると、LED デバイス性能を著しく改善できると考えられる。

20

【0058】

上記の技術説明のセクションで説明した厳密な成長条件も拡張してよい。許容できる成長条件は、反応器の構成の配置に依存して反応器ごとに変化する。本発明の実施においては、さまざまな温度、圧力範囲、前駆体/反応体選択、V 族/III 族比、キャリア・ガスおよびフロー条件を用いてもよいことを理解すれば、本発明で異なる設計の反応器を使用することができる。

【0059】

上記のように、本明細書で説明したデバイスは、LED を含む。しかし、本発明は、InGa_xN を含む非極性 InGa_xN 膜および構造物の一般的な成長に適用できるものであり、LED 構造物に限定されるとみなすべきでない。本発明は、360 nm ~ 600 nm 間の波長を有する非極性窒化物系 LED および類似の波長範囲で動作する非極性窒化物系レーザ・ダイオードを含むが、それらに限定されない広範なデバイスの設計および製作に顕著な利点を提供する。本発明を用いて、通常の c 面 InGa_xN 系レーザ・ダイオードに要求されるより低い透明キャリア密度を有する非極性歪み単一量子井戸レーザ・ダイオードを製作することができる。本発明によって製作される非極性 InGa_xN 系レーザ・ダイオードは、重い正孔バンドおよび軽い正孔バンドの異方性歪み誘起分裂に関連する低い正孔有効質量の恩恵を受ける。c 面 III 族窒化物デバイスでは通常実現することができない低い有効正孔質量によって、c 面レーザ・ダイオードに比べてレーザ発振のためのしきい値電流密度が減少する。正孔有効質量が低いと、正孔移動度が高くなり、ひいては非極性 p 型 GaN の電気伝導率が高くなる。エレクトロニクス・デバイスも本発明の利益を受ける。ヘテロ構造バイポーラ・トランジスタなどのバイポーラ・エレクトロニクス・デバイスの製作で、非極性 p 型 GaN の移動度が高いという利点を使用することができる。非極性窒化物中の p 型電気伝導率が高いことによって、p-n 接合ダイオードおよび LED 中の直列抵抗が低くなる。従って、InGa_xN 中の高い飽和電子速度による優れた高周波性能を特徴とする、高周波 (RF) 分散の減少した非極性 InGa_xN チャンネル MODFET を製作することができる。

30

40

【0060】

既存の実施方法に対する利点および改善点、ならびに新しいと考えられる特徴

本明細書中の背景技術および技術説明の各セクションで、本発明の新規な特徴の多くを詳述した。重要な特徴のセクションで特定した重要な点は、非極性 InGa_xN の成長にお

50

ける最も重要で新規な要素を構成する。本発明は、ヘテロ構造中の滑らかな、くぼみのないInGa_N層の成長を可能にすることによって、高品質非極性InGa_Nを含んだエレクトロニクス・デバイスおよびオプトエレクトロニクス・デバイスの製作を初めて可能にする。

【0061】

チトニスらの、MOCVDによって成長させたInGa_N/Ga_NのLEDに関する最近の開示[非特許文献2]は、本発明に最も近い比較例を提供する。チトニスらの開示と比較した本発明の最も重要な改善点は以下の通りである。

【0062】

1. 高品質で欠陥密度の低い基板/テンプレート/基層の使用。チトニスらの直接成長方法は、r面サファイア基板上でのa面Ga_Nテンプレート層の堆積を含む。しかし、チトニスらのプロセスは、貫通転位または積層欠陥密度をそれぞれ $\sim 10^9 \text{ cm}^{-2}$ および $\sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 未満に減少させる有効な手段をまったく含んでいない。チトニスらのInGa_N層中ではこれらの構造欠陥が伝播し、おそらくInGa_N層の形態、層構造の品質およびデバイス性能の劣化の原因となる。本発明は、テンプレート層中に欠陥減少技術を利用して材料品質およびデバイス性能を改善している。

【0063】

2. InGa_N/Ga_N量子井戸およびGa_Nキャッピング層成長のための大気圧または大気圧近傍の成長条件の使用。この大気圧工程によって、量子井戸中へのインジウム取り込みを促進し、炭素汚染を減少させ、チトニスらの結果と比較してデバイス性能を改善する。

【0064】

3. 低温、大気圧で、窒素をキャリア・ガスとして用いて成長させたGa_Nキャッピング層を含むこと。チトニスらのデバイス構造物は、低温キャッピング層をまったく含まない。チトニスらの量子井戸は、p-AlGa_N層を量子井戸領域の上に直接成長させるために成長温度を上げたため、劣化した可能性が高い。本明細書で説明した種類のキャッピング層を含むことによって、量子井戸領域が保護され、デバイス品質が改善される。

【0065】

これらの改善点のどれをとっても、従来技術と比較して、InGa_N系エレクトロニクス・デバイスおよびオプトエレクトロニクス・デバイスの製作に顕著な利点を提供する。これらの三つの重要な要素を組み合わせることによって、はるかに優れたInGa_N層品質およびデバイス性能が得られ、非極性III族窒化物デバイス成長の最先端技術の著しい進歩を表す。

【0066】

参考文献

以下の参考文献は、参照として本明細書に組み込まれる。

1. Y. Sun, et al., "Nonpolar In_xGa_{1-x}/Ga_N (1-100) multiple quantum wells grown on LiAlO₂ (100) by plasma assisted molecular beam epitaxy," Phys Rev. B, 67, 41306 (2003) この論文は、文献中で非極性InGa_Nの成長を報告した二件しかない論文のもう一方であり、ここではMBEによって実行された。

2. Chitnis, et al., "Visible light emitting diodes using a plane Ga_NInGa_N multiple quantum wells over r plane sapphire," Appl. Phys. Lett., 84, 3663 (2004)

3. S. J. Pearton, et al., "Ga_N: Processing, defects, and devices," J. Appl. Phys., 86, 1 (1999) この総説は、c面Ga_N技術の概要を紹介している。

4. T. Takeuchi, et al., "Quantum Confined

Stark Effect due to Piezoelectric Fields in GaInN Strained Quantum Wells," Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, 36, L382 (1997) この論文は、極性c面InGaNデバイス中の有害電場の大きさを定量化している。この電場は、本発明によって製作される非極性デバイスでは取り除かれる。

5. D. Miller, et al., "Electric field dependence of optical absorption near the band gap of quantum well structures," Phys. Rev. B, 32, 1043 (1985) この論文は、オプトエレクトロニクス・デバイスに対する電場およびQCSEの効果を論じている。

10

6. F. Bernardini, et al., "Spontaneous polarization and piezoelectric constants of III-V nitrides," Phys. Rev. B, 56, R10024 (1997) この論文は、窒化物半導体中の実質圧電係数の計算法を示している。

7. J. S. Im, et al., "Reduction of oscillator strength due to piezoelectric fields in GaN/Al_xGa_{1-x}N quantum wells," Phys. Rev. B, 57, R9435 (1998) この論文は、分極効果に起因する極性c面GaN系デバイスの効率の減少について記載している。拡張によって、本発明において説明したデバイスなどの非極性デバイスは、これらの効果を受けることなく、より高い理論的効率を実現することができる。

20

8. M. D. Craven, et al., "Structural characterization of nonpolar (11-20) a plane GaN thin films grown on (1-102) r plane sapphire," Appl. Phys. Lett., 81, 469 (2002) この論文は、カリフォルニア大学サンタ・バーバラ(UCSB)における非極性GaNのMOCVD成長に関し、最初に公表された開示である。

9. P. Waltereit, et al., "Nitride semiconductors free of electrostatic fields for efficient white light emitting diodes," Nature (London) 406, 865 (2000) この論文は、LiAlO₂上に成長させたm面GaN中の分極場の除去に関する最初に公開された実証であった。

30

10. H. M. Ng, "Molecular beam epitaxy of GaN/Al_xGa_{1-x}N multiple quantum wells on R plane (10-12) sapphire substrates," Appl. Phys. Lett. 80, 4369 (2002)。この論文は、MBEによって成長させた非極性AlGaN/GaN量子ヘテロ構造の数少ない報告の一つを表す。

11. M. D. Craven, et al., "Characterization of a plane GaN/(Al,Ga)N Multiple Quantum Wells Grown via Metalorganic Chemical Vapor Deposition," Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, 42, L235 (2003)。この論文は、MOCVD成長されたAlGaN/GaN量子ヘテロ構造物の構造的性質を説明する最初のものである。

40

12. B. A. Haskell, et al., "Defect reduction in (11-20) a plane gallium nitride via lateral epitaxial overgrowth by hydride vapor phase epitaxy," Appl. Phys. Lett., 83, 644 (2003) この論文は、本発明で説明したデバイス用のテンプレートを作り出すために用いられるHVPEによるLEOプロセスについて記載している。

13. T. Mukai and S. Nakamura, "Ultraviolet

50

InGaN and GaN Single Quantum Well Structure Light Emitting Diodes Grown on Epitaxially Laterally Overgrown GaN Substrates, " Jpn. J. Appl. Phys., Part 1, 38, 5735 (1999) この論文は、LEO基板上のInGaN/GaN活性領域を用いる紫外線LEDの製作について記載している。

14. S. Nakamura and G. Fasol, The Blue Laser Diode, (Springer, Heidelberg, 1997) この本は、c面GaNオプトエレクトロニクス技術の概要を紹介する。

15. L. Coldren and S. Corzine, Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits, (Wiley Interscience, 1995) 160~178頁および付録11に、歪み量子井戸レーザの設計に関する理論がある。この本は、ヒ化物およびリン化物系オプトエレクトロニクス・デバイスを中心に取り扱っているが、本発明を用いて設計される非極性InGaN系歪み単一量子井戸レーザの場合にも同じ理論が成立するはずである。

【0067】

結論

これで本発明の好ましい実施形態の説明を終える。本発明の一つ以上の実施形態を例示および説明のために示した。開示の形態そのものによって本発明を包括または限定することを意図するものではない。上記の教示に鑑みて、多くの変更および変形が可能である。本発明の範囲は、この詳細な説明によってではなく、本明細書に添付の請求項によって限定されるものとする。

【図面の簡単な説明】

【0068】

【図1】六方晶系ウルツ鉱型結晶構造およびその軸を示す図である。

【図2】本発明の好ましい実施形態によるプロセス工程を説明するフローチャートである。

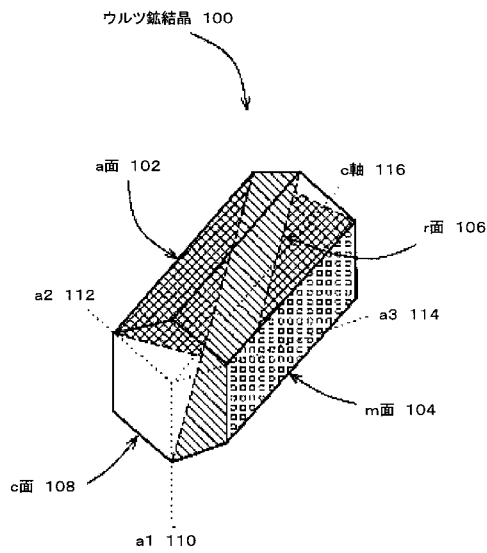
【図3】本非極性発光ダイオードの概略断面図である。

【図4】本非極性LEDの電流 - 電圧 (I - V) 特性のグラフである。

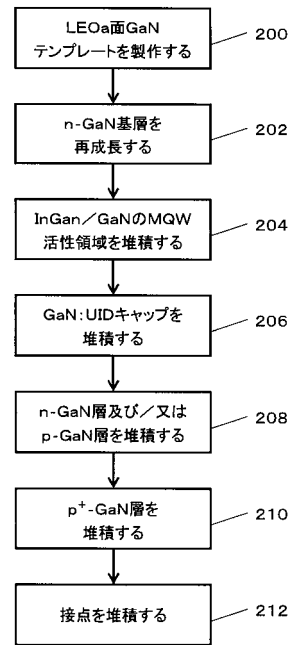
【図5】種々の駆動電流に対するエレクトロルミネセンス (EL) スペクトルのグラフであり、挿入図は駆動電流の関数としてのEL線幅を示す。

【図6】駆動電流の関数としてのウエハ上出力パワーおよびLEDの外部量子効率 (EQE) のグラフである。

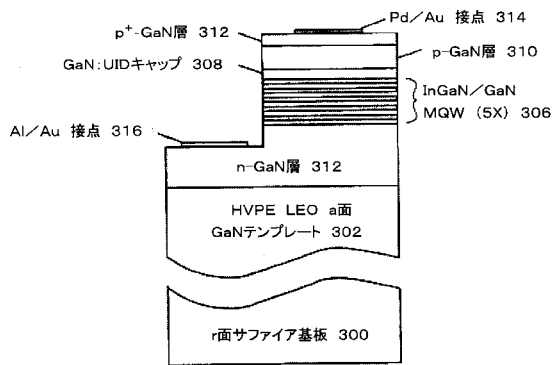
【 図 1 】



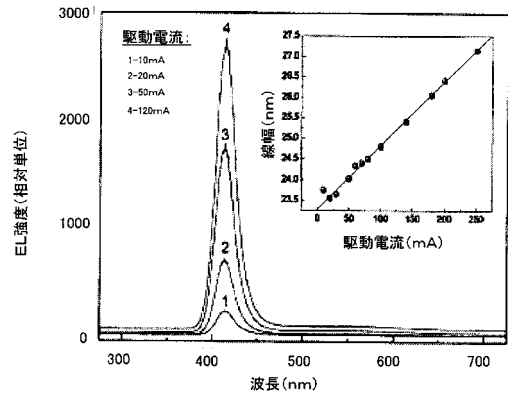
【 図 2 】



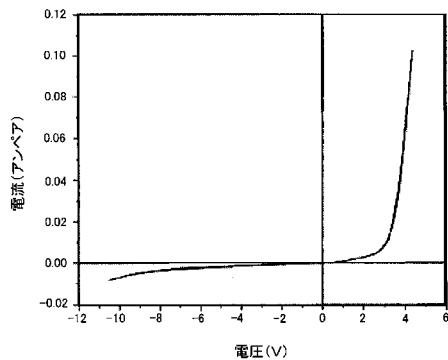
【 図 3 】



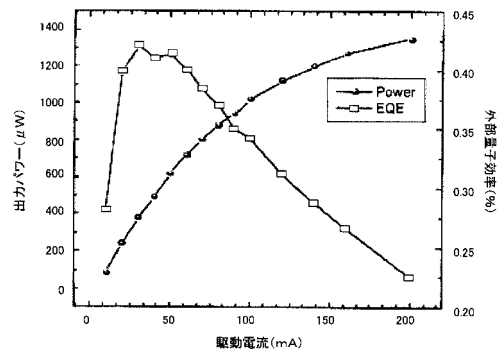
【 図 5 】



【 図 4 】



【 図 6 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US05/15774
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC: H01L 29/04(2006.01) USPC: 438/46,47,479,938;257/E21.113,E21.463;148/33 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) U.S. : 438/46,47,479,938;257/e21.113,e21.463;148/33 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched 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.
A	US 2006/0138431 A (DWILINSKI et al) 29 June 2006	1-20
A	US 2005/0214992 A (CHAKRABORTY et al) 29 September 2005	1-20
A	US 2004/0261692 A (DWILINSKI et al) 30 December 2004	1-20
A	US 2004/0251471 A (DWILINSKI et al) 16 December 2004	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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	"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
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"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
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (as specified)	"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
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 02 August 2006 (02.08.2006)		Date of mailing of the international search report 15 SEP 2006
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201		Authorized officer <i>Rhonda J. Aall</i> Smith Matthew Telephone No. (571)272-2800

フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72) 発明者 ステーシア・ケラー

米国、カリフォルニア州 9 3 1 1 7、ゴレタ、サンタ マルゲリータ ウェイ 6 1 7 4

(72) 発明者 ジェームス・エス・スペック

米国、カリフォルニア州 9 3 1 1 7、ゴレタ、ウェスト キャンパス レーン 9 4 7

(72) 発明者 スティーブン・ピー・デンバース

米国、カリフォルニア州 9 3 1 1 7、ゴレタ、キング ダニエル レーン 2 8 7

(72) 発明者 中村 修二

米国、カリフォルニア州 9 3 1 1 0、サンタ バーバラ、ピエハ ドライブ 4 5 1 7

(72) 発明者 ウメシュ・ケー・ミシュラ

米国、カリフォルニア州 9 3 1 0 8、サンタ バーバラ、シカモア キャニオン ロード 1 4
3 5

F ターム(参考) 5F041 AA31 CA04 CA05 CA34 CA40 CA65 CA92

5F045 AA04 AB14 AB17 AE25 AE29 AF09 CA11 CA12 DA53 DA55

DB02

5F173 AF04 AF20 AH22 AH49 AP05 AP19 AP24 AQ12 AQ13 AQ14

AR81