

(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2012-507874
(P2012-507874A)

(43) 公表日 平成24年3月29日(2012.3.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 33/32 (2010.01)	HO 1 L 33/00 1 8 6	5 F O 4 1
HO 1 S 5/343 (2006.01)	HO 1 S 5/343 6 1 0	5 F 1 4 1 5 F 1 7 3

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2011-534857 (P2011-534857)
 (86) (22) 出願日 平成21年11月2日 (2009.11.2)
 (85) 翻訳文提出日 平成23年5月27日 (2011.5.27)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2009/062982
 (87) 国際公開番号 W02010/051537
 (87) 国際公開日 平成22年5月6日 (2010.5.6)
 (31) 優先権主張番号 61/110,449
 (32) 優先日 平成20年10月31日 (2008.10.31)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 592130699
 ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシ
 ティ オブ カリフォルニア
 The Regents of The
 University of Calif
 ornia
 アメリカ合衆国 カリフォルニア 946
 07, オークランド, フランクリン スト
 リート 1111, 5ティーエイチ フロ
 ア
 (74) 代理人 100078282
 弁理士 山本 秀策
 (74) 代理人 100062409
 弁理士 安村 高明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無極性または半極性 AlInN および AlInGaN 合金に基づく光電子デバイス

(57) 【要約】

280 nm から 360 nm の範囲の放射波長 (λ_{peak}) を伴う、高出力および高効率発光デバイスを製造する。新しいデバイス構造は、無極性または半極性バルク GaN 基板上に成長させられる、無極性または半極性 AlInN および AlInGaN 合金を使用する。一実施形態において、光電子デバイスは、無極性または半極性 GaN 基板上に成長させられる、少なくとも、アルミニウム (Al)、インジウム (In)、および窒素 (N) を含有する 1 つ以上の発光層を備える光電子デバイスであって、該発光層は、無極性または半極性層である。

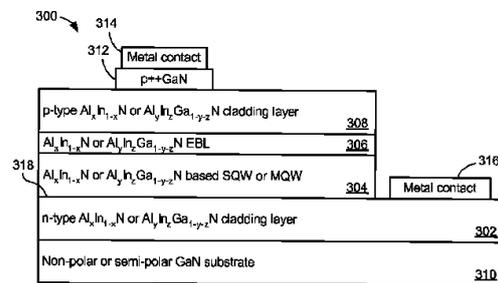


Figure 3

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光電子デバイスであって、該光電子デバイスは、無極性または半極性 GaN 基板上に成長させられる、少なくとも、アルミニウム (Al)、インジウム (In)、および窒素 (N) を含有する 1 つ以上の発光層を備え、該発光層は、無極性または半極性層である、光電子デバイス。

【請求項 2】

前記無極性または半極性 GaN 基板に密接に格子整合される、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $0 < y + z < 1$ である、1 つ以上の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層をさらに備える、請求項 1 に記載のデバイス。

10

【請求項 3】

$0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $0 < y + z < 1$ である、前記密接に格子整合した $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層は、n 型伝導性のためにシリコン (Si) でドーピングされている、請求項 2 に記載のデバイス。

【請求項 4】

前記発光活性層上に、p 型伝導性のために Mg でドーピングされる、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $0 < y + z < 1$ である、1 つ以上の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層をさらに備える、請求項 3 に記載のデバイス。

【請求項 5】

前記発光活性層、前記密接に格子整合した $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層、および前記 p 型ドーピング $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層は、1 つ以上のヘテロ構造を形成する、請求項 4 に記載のデバイス。

20

【請求項 6】

$0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $0 < y + z < 1$ である、前記 p 型ドーピング $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層は、マグネシウムでドーピングされる p 型クラッド層である、請求項 4 に記載のデバイス。

【請求項 7】

$0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $0 < y + z < 1$ である、前記格子整合した $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層は、シリコン Si でドーピングされる n 型クラッド層である、請求項 2 に記載のデバイス。

30

【請求項 8】

前記デバイスは、発光ダイオードまたはレーザダイオードである、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 9】

前記発光層は、10% から 30% の範囲のインジウム組成を有する、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 10】

前記発光活性層は、1 つ以上の量子井戸ヘテロ構造を形成する、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 11】

前記デバイスは発光デバイスであり、該発光デバイスは、

(a) 前記無極性または半極性 GaN 基板上の、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ に基づく n 型クラッド層と、

(b) 該 n 型クラッド層上の、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ に基づく単一量子井戸または多重量子井戸を備える、前記発光層と、

(c) 該量子井戸上の、1 つ以上の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ に基づく電子阻止層と、

(d) 該電子阻止層上の、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ に基づく p 型クラッド層と

をさらに備え、

40

50

(e) 該 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層 (a)、(b)、(c)、および (d) は、無極性または半極性であり、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $0 < y + z < 1$ である、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 12】

前記デバイスは、280 nm から 360 nm の範囲のピーク放射波長を有する発光デバイスである、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 13】

(a) 第 1 の導電性を有する、第 1 の (Al、In、Ga) N 層と、
 (b) 第 2 の導電性を有する、第 2 の (Al、In、Ga) N 層と、
 (c) 第 1 の (Al、In、Ga) N 量子井戸障壁層の無極性または半極性面上にエピタキシャルに成長させられる、(Al、In、Ga) N 量子井戸層と、該 (Al、In、Ga) N 量子井戸層の無極性または半極性面上にエピタキシャルに成長させられる、第 2 の (Al、In、Ga) N 量子井戸障壁層とを備える、(Al、In、Ga) N 量子井戸構造と

10

を備え、

(1) 該量子井戸構造は、該 (Al、In、Ga) N 量子井戸構造が、該第 1 の (Al、In、Ga) N 層と該第 2 の (Al、In、Ga) N 層との間にあるように、該第 1 の (Al、In、Ga) N 層の無極性または半極性面上にエピタキシャルに成長させられ、
 (2) 該量子井戸は、360 nm 未満のピーク波長を有するエレクトロルミネセンスを放射する、厚さおよび (Al、In、Ga) N 組成を有する、
 光電子デバイス。

20

【請求項 14】

(Al、In、Ga) N 層上にエピタキシャルに成長させられる、(Al、In、Ga) N 量子井戸構造をさらに備え、(Al、In、Ga) N 層は、Ga N 上にエピタキシャルに成長させられ、かつ該 Ga N に密接に格子整合される (Al、In、Ga) N 層の転位密度を有する、請求項 13 に記載のデバイス。

【請求項 15】

前記転位密度は、 10^6 cm^{-2} 未満であり、前記 (Al、In、Ga) N 層は、横方向エピタキシャル過成長を含まない、請求項 14 に記載のデバイス。

【請求項 16】

前記デバイスは、発光デバイスであり、
 (Al、In、Ga) N 層の無極性または半極性面上にエピタキシャルに成長させられる (Al、In、Ga) N 量子井戸構造と、
 十分に低い該 (Al、In、Ga) N 層の転位密度と
 をさらに備え、該無極性または半極性面および該転位密度は、15% よりも大きい該発光デバイスの内部量子効率、および 1% よりも大きい該発光デバイスの外部量子効率を達成する、請求項 13 に記載のデバイス。

30

【請求項 17】

深紫外線発光デバイスを製造する方法であって、無極性または半極性 Ga N 基板の上に、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $0 < y + z < 1$ である、1 つ以上の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層を成長させるステップを含み、該 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層は、無極性または半極性であり、該 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層のうちの少なくとも 1 つは、少なくとも Al、In、および N を含有する発光層である、方法。

40

【請求項 18】

$Al_x In_{1-x} N$ および $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層が、無極性または半極性 Ga N 基板に密接に格子整合されるように、該 $Al_x In_{1-x} N$ および $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層のうちの 1 つ以上を、該無極性または半極性 Ga N 基板の上にエピタキシャルに成長させるステップをさらに含む、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

50

10%から30%の範囲のインジウム組成を伴う、前記発光活性層を成長させるステップさらに含む、請求項17に記載の方法。

【請求項20】

第1の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層が、前記 GaN 基板に密接に格子整合されるように、該 GaN 基板の無極性または半極性面上に、第1の導電型を有する第1の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層として、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層のうちの1つをエピタキシャルに成長させるステップと、

該第1の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層の無極性または半極性面上に、第1の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸障壁層として、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層のうちの1つを、エピタキシャルに成長させるステップと、

該第1の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸障壁層の無極性または半極性面上に、かつ360nm未満のピーク波長を有するエレクトロルミネセンスを放射する厚さおよび(Al 、 In 、 Ga) N 組成に、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸層として、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層のうちの1つをエピタキシャルに成長させるステップと、

該 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸層の無極性または半極性面上に、第2の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸障壁層として、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層のうちの1つをエピタキシャルに成長させるステップであって、それによって、該第1の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸障壁層と、該第2の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸障壁層との間に、該 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸層を備える量子井戸構造を形成する、ステップと、

第2の導電型を有する第2の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層として、該量子井戸構造上に、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層のうちの1つをエピタキシャルに成長させるステップであって、前記発光活性層は、該量子井戸層を備える、ステップと

をさらに含む、請求項17に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願の引用)

本願は、米国特許法119条(e)に基づき、同時係属中の同一人に譲渡された米国仮出願第61/110,449号(2008年10月31日出願、Roy B. Chung, Zhen Chen, James S. Speck, Steven P. DenBaars, およびShuji Nakamura、「OPTOELECTRONIC DEVICE BASED ON NON-POLAR AND SEMI-POLAR ALUMINUM INDIUM NITRIDE AND ALUMINUM INDIUM GALLIUM NITRIDE ALLOYS,」、代理人事件番号30794.294-US-P1(2009-258))の利益を主張する。該仮出願は参照により本明細書に引用される。

【0002】

(技術分野)

本発明は、窒化物に基づく光電子デバイスおよびそれを製造する方法に関する。

【背景技術】

【0003】

(注:本出願は、明細書の全体を通して示されるように、角括弧内の1つ以上の参照番号、例えば[x]によって多数の異なる出版物を参照する。これらの参照番号による順序

10

20

30

40

50

で示されるこれらの異なる出版物の一覧は、以下の「参考文献」という表題の項に見出すことができる。これらの出版物のそれぞれは、参照することにより本明細書に組み込まれる。))

窒化物に基づく光電子部品は、可視光および紫外線 (UV) 発光デバイスの製造について広く研究されてきた。これらのデバイスは、典型的に三元合金 (InGa_{1-x}N、AlGa_{1-x}N、および AlInN) または四元合金 (AlInGa_{1-x-y-z}N) の1つ以上の層を有する。窒化物に基づく光電子デバイスの継続的な開発は、特に可視スペクトルにおいて、高出力および高効率発光ダイオード (LED) およびレーザダイオード (LD) をもたらした。しかしながら、スペクトルの深UV (DUV) 領域 (約360nm未満の波長を伴う発光) における高出力および高効率LEDおよびLDは、成長の難しさ、したがって不十分な材料品質、およびバルク窒化アルミニウム (AlN) 基板が存在しないことに起因して、達成されなかった。

10

【0004】

360nm未満のピーク放射波長 (λ_{peak}) を伴う窒化物に基づくUV発光デバイスの場合、従来のLEDおよびLDは、複数のAlGa_{1-x}N層と、1つのAlN緩衝層とを備え、これらは通常、サファイアまたは6H-SiC基板上に成長させられる。このヘテロエピタキシャル成長のため、AlNまたはAlGa_{1-x}N緩衝層は、約 10^{10} cm^{-2} の転位密度を有し、転位は、後続の層を通して伝搬し、不十分な材料品質をもたらす。

【0005】

InGa_{1-x}N等のインジウム含有合金の場合、一般に、インジウムのクラスタ化が、担体のための高効率な放射再結合場所を提供し、したがって、デバイスの性能は、転位の影響をあまり受けないことが認知されている。対照的に、AlGa_{1-x}Nに基づくデバイスは、インジウムのクラスタ化が存在しないため、転位密度の影響を受け易く、したがって、AlGa_{1-x}Nに基づくデバイスの性能は、転位の数によって直接的に影響を受ける。

20

【0006】

転位密度を低減するために、種々の構造および成長技術が研究されてきた。例えば、超格子構造は、緩衝層とクラッド層との間で成長させられ、超格子は、緩衝層から伝搬する転位をフィルタ処理して除去し、該構造はまた、格子不整合から構築される歪みを軽減することが公知である。この構造は、UV LEDのデバイス性能を向上させた。NH₃流れ変調AlN成長等の有機金属化学蒸着 (MOCVD) で使用される成長技術は、AlN緩衝層の品質を成功裏に向上させた。バルクAlN結晶は、ハイドライド気相エピタキシー (HVPE) および物理的蒸気輸送 (PVT) によって達成された。参考文献 [1-4] を参照のこと。

30

【0007】

高品質のAlN緩衝層またはバルクAlN基板を伴っていても、AlGa_{1-x}Nに基づくデバイスは、それでも、デバイスが、強い自発分極が存在するc方向に沿って成長させられる限りは、望ましくない量子閉じ込めシュタルク効果 (QCSE) を受ける。層の間の格子不整合は、圧電分極を誘発し、分極の程度を高め得る。分極からの強い内蔵電場は、電子と正孔との間の空間的分離を引き起こし、その結果、制限された担体再結合効率、低減された発振器強度、および赤方偏移した放射を生じさせる。内蔵電場は、Al組成が高くなるにつれて強くなる。

40

【0008】

要約すると、従来のAlGa_{1-x}Nに基づくUV発光デバイスは、バルクAlN基板が存在しないことに起因する高い転位密度、および放射再結合効率を低減するQCSEを受取る。

【0009】

転位の問題を回避するために、UV発光デバイスには、四元合金のAlInGa_{1-x-y-z}Nが導入され、インジウムのクラスタ化は、デバイス性能を向上させると期待されている。AlInGa_{1-x-y-z}Nに基づくLEDのフォトルミネセンス (PL) 発光強度は、AlGa_{1-x}Nに基づくLEDよりもほぼ1桁から2桁高いことが分かっている。 [5] しかしながら、AlI

50

nGa_{1-x}Nに基づくLEDの内部量子効率(IQE)は、まだ約15%であり、InGa_{1-x}N(50% - 70%)よりもかなり低い。外部量子効率依然として低過ぎて(約1%)、商業的に可能なUV発光デバイスを実現することはできない[5]。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

前述の従来技術の制限を克服するために、また、本発明を読み取って理解することで明らかになる他の制限を克服するために、本発明は、280nmから360nmの範囲のピーク放射波長(λ_{peak})を伴う、高出力および高効率の発光デバイスを製造するための方法を説明する。本発明はまた、無極性または半極性バルク(自立型)Ga_{1-x}N基板上に成長させられる無極性または半極性AlInNおよびAlInGa_{1-x-y-z}N合金を使用する、新しいデバイス構造を紹介する。

10

【課題を解決するための手段】

【0011】

一実施形態において、本発明は、無極性または半極性Ga_{1-x-y-z}N基板上に成長させられる、または製造される、少なくとも、アルミニウム(Al)、インジウム(In)および、窒素(N)を含有する1つ以上の発光層を備える、光電子デバイス(例えば、LEDまたはLD)であって、発光層は、無極性または半極性層である、光電子デバイスである。

【0012】

光電子デバイスはさらに、無極性または半極性Ga_{1-x-y-z}N基板に密接に格子整合される、1つ以上のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層を備え得る。密接に格子整合した層は、n型伝導性のためにシリコン(Si)でドーピングされる、1つ以上のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層(例えば、Siでドーピングされる、n型クラッド層)であり得る。デバイスはさらに、発光活性層上に、p型伝導性のためにMgでドーピングされる、1つ以上のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層(例えば、マグネシウムでドーピングされる、p型クラッド層)を備え得る。複数のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層、および発光活性層は、1つ以上のヘテロ構造を形成してもよく、発光活性層は、1つ以上の量子井戸ヘテロ構造を形成し得る。前述したものでは、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、および $0 \leq y + z \leq 1$ である。

20

【0013】

Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層(典型的に活性層)のうちの1つ以上のインジウム組成は、10%から30%の範囲であり得る。

30

【0014】

例えば、発光デバイスは、(a)無極性または半極性Ga_{1-x-y-z}N基板の上の、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}Nに基づくn型クラッド層と、(b)n型クラッド層上の、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}Nに基づく単一量子井戸(SQW)または多重量子井戸(MQW)を備える、1つ以上の発光層と、(c)量子井戸層上の、1つ以上のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}Nに基づく電子阻止層と、(d)電子阻止層上の、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}Nに基づくp型クラッド層と、を備え、(e)Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層は、無極性または半極性である。

40

【0015】

別の実施例において、光電子デバイスは、(a)第1の導電型を有する、第1の(Al、In、Ga)N層と、(b)第2の導電型を有する、第2の(Al、In、Ga)N層と、(c)第1の(Al、In、Ga)N量子井戸障壁層の無極性または半極性面上にエピタキシャルに成長させられる、(Al、In、Ga)N量子井戸層と、(Al、In、Ga)N量子井戸層の無極性または半極性面上にエピタキシャルに成長させられる、第2の(Al、In、Ga)N量子井戸障壁層とを備える、(Al、In、Ga)N量子井戸構造とを備え、(1)量子井戸構造は、(Al、In、Ga)N量子井戸構造が、第1の(Al、In、Ga)N層と第2の(Al、In、Ga)N層との間にあるように、第1

50

の (Al, In, Ga)N 層の無極性または半極性面上にエピタキシャルに成長させられ、(2)量子井戸は、360ナノメートル(nm)未満のピーク波長を有するエレクトロルミネセンスを放射する、厚さおよび (Al, In, Ga)N 組成を有する。例えば、発光デバイスは、280nmから360nmの範囲のピーク放射波長を有し得る。

【0016】

(Al, In, Ga)N量子井戸構造は、(Al, In, Ga)N層上にエピタキシャルに成長させられ、(Al, In, Ga)N層は、GaN上にエピタキシャルに成長させられ、かつそれに密接に格子整合される (Al, In, Ga)N層の転位密度を有する。例えば、転位密度は、 10^6 cm^{-2} 未満であり得、これは、下側にある GaN 基板から予期される転位密度であり、(Al, In, Ga)N層は、横方向エピタキシャル過成長を含まない。例えば、「密接に格子整合した」とは、成長した厚さにおいていかなる膜の緩和もないこととほぼ同じである。いかなる緩和もないことは、基板からの転位以外に他の転位がないことを意味する。

10

【0017】

発光デバイスは、(Al, In, Ga)N層の無極性または半極性面上にエピタキシャルに成長させられる、(Al, In, Ga)N量子井戸構造と、十分に低い (Al, In, Ga)N層の転位密度とを備え、無極性または半極性面および転位密度は、15%よりも大きい発光デバイスの内部量子効率、および1%よりも大きい発光デバイスの外部量子効率を達成する。

【0018】

本発明はさらに、無極性または半極性 GaN 基板上に、深紫外線発光デバイスを製造する方法であって、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 1$ 、および $0 < y + z < 1$ である、1つ以上の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層を製造するステップを含み、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層は、無極性または半極性である、方法を開示する。方法はさらに、典型的に、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ および $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層が、無極性または半極性 GaN 基板に密接に格子整合されるように、無極性または半極性 GaN 基板上に、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ および $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層のうち1つ以上をエピタキシャルに成長させるステップを含む。方法はさらに、10%から30%の範囲のインジウム組成を伴う発光活性層として、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ および $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層のうち少なくとも1つを成長させるステップを含み得る。

20

30

【0019】

例えば、方法は、第1の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層が、GaN 基板に密接に格子整合されるように、GaN 基板の無極性または半極性面上に、第1の導電型を有する第1の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層として、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層のうち1つをエピタキシャルに成長させるステップと、第1の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層の無極性または半極性面上に、第1の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 量子井戸障壁層として、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層のうち1つをエピタキシャルに成長させるステップと、第1の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 量子井戸障壁層の無極性または半極性面上に、かつ360nm未満のピーク波長を有するエレクトロルミネセンスを放射する厚さおよび (Al, In, Ga)N 組成に、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 量子井戸層として、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層のうち1つをエピタキシャルに成長させるステップと、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 量子井戸層の無極性または半極性面上に、第2の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 量子井戸障壁層として、 $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 層のうち1つをエピタキシャルに成長させるステップであって、それによって、第1の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$ 量子井戸障壁層と、第2の $\text{Al}_x \text{In}_{1-x} \text{N}$ または $\text{Al}_y \text{In}_z \text{Ga}_{1-y-z} \text{N}$

40

50

z N量子井戸障壁層との間に、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 量子井戸層を備える量子井戸構造を形成する、ステップと、第2の導電性を有する第2の $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層として、量子井戸構造上に、 $Al_x In_{1-x} N$ または $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 層のうちの1つをエピタキシャルに成長させるステップとを含み得る。

【図面の簡単な説明】

【0020】

以下、同じ参照符号が対応する要素を示す、複数の図面を参照する。

【図1】図1は、本発明の方法を示すフローチャートである。

【図2】図2(a)、2(b)および(2c)は、無極性および半極性発光デバイス用の可能な3つのMQW構造(4周期分)を示す、概略断面図である。

【図3】図3は、280nmから360nmの範囲の放射波長を伴い、クラッド層がGaN基板に密接に格子整合された、無極性または半極性UV LEDの最終的な構造の概略断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下の発明を実施するための形態において、本明細書の一部を形成し、かつ本発明が実施され得る特定の実施形態を例示目的で示す添付図面を参照する。本開示の範囲から逸脱することなく、他の実施形態が用いられてもよく、また、構造的な変更が行われ得ることを理解されたい。

【0022】

(概要)

本発明は、無極性または半極性GaN上に成長させられる無極性または半極性AlInNおよびAlInGaNを使用して、280nmから360nmの範囲の波長で、高出力および高効率のLEDおよびLDに利用することができる、デバイス構造を説明する。本構造の顕著な特徴は、AlInNおよびAlInGaNクラッド層をGaNに密接に格子整合することができるので、圧電場が低減されることである。新しい構造では、無極性または半極性結晶配向で成長させることによって、自発分極も最小化される。比較的に幅の広いバンドギャップ、ならびに自発および圧電分極効果によって、従来のAlGaNに基づく発光デバイスを、効率的な無極性または半極性AlInNおよびAlInGaNに基づく発光デバイスに置換することができる。

【0023】

本発明は、例えば、280nmから360nmの範囲の波長で発光する光電子デバイスを製造するために使用することができる。本発明によって生成される深UV LEDは、水および空気の浄化、ならびに殺菌および生医学用計装システムに有用であり得る。UV領域のLDを実現することができ、これは、光記憶デバイスの容量を増大する。約350nm以下の領域で放射するLEDによって、蛍光被覆を伴う高出力および高効率の白色LEDも生成され得る。

【0024】

(用語)

「(Al、Ga、In)N」またはIII族窒化物という用語は、本明細書で使用する場合、それぞれの単一の種Al、Ga、およびInの窒化物、ならびにそのようなIII族金属種の2元、3元、および4元組成を含むことを意図する。故に、(Al、Ga、In)Nという用語は、そのような用語に含まれる種として、化合物AlN、GaN、およびInN、3元化合物AlGaN、GaInN、およびAlInN、ならびに4元化合物AlGaInNを包括する。(Ga、Al、In)構成種のうちの2つ以上が存在する時、化学量論的割合ならびに「非化学量論的」割合(組成の中に存在する(Ga、Al、In)構成種のそれぞれの相対モル分率に対する)を含む、全ての可能な組成を、本発明の広い範囲内で採用することができる。故に、GaN材料に関する以下の本発明の議論は、種々の他の(AI、Ga、In)N材料種の形成に適用することができることを理解され

10

20

30

40

50

るであろう。さらに、本発明の範囲内の(A l、G a、I n) N材料はさらに、少量のドーパントおよび/もしくは他の不純物、または包含材料を含み得る。

【0025】

III族窒化物光電子デバイスの自発および圧電分極効果を排除する1つのアプローチは、結晶の無極性面上に(例えば、無極性結晶に沿って、III族窒化物のa軸またはm軸に沿って)、デバイスを成長させることである。例えば、GaN結晶において、このような面は、等しい数のGaおよびN原子を含有し、電荷中立である。さらに、後続の無極性層は、相互に等価であるので、バルク結晶は、成長方向に沿って分極されない。GaNの対称等価の無極性面の2つのそのような系統は、a面として集合的に公知である{11-20}系統、およびm面として集合的に公知である{10-10}系統である。

10

【0026】

(Ga、Al、In、B)Nデバイスの分極効果および正孔の有効質量を低減する別のアプローチは、デバイスを結晶の半極性面上に成長させることである。「半極性面」という用語は、c面、a面、またはm面として分類することができない、あらゆる面を指すために使用することができる。結晶学用語において、半極性面とは、少なくとも2つの非ゼロのh、i、kミラー指数、および非ゼロのlミラー係数を有する任意の面である。いくつかの一般に観察される半極性面の例には、{11-22}、{10-11}、および{10-13}面が挙げられる。ウルツ鉱型結晶構造の半極性面の他の例には、{10-12}、{20-21}、および{10-14}が挙げられるが、これらに限定されない。窒化物結晶の分極ベクトルは、そのような面内には存在せず、またはそのような面に対して垂直ではなく、むしろ該面の表面垂線に対してある角度で存在する。例えば、{10-11}および{10-13}面は、c面に対してそれぞれ、62.98°および32.06°である。

20

【0027】

(技術的説明)

本発明は、UV発光デバイスのための新しいデバイス構造を説明する。無極性または半極性GaN基板上に、MOCVDを介して、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $0 \leq y+z \leq 1$ 、 $0 \leq y' \leq 1$ 、 $0 \leq z' \leq 1$ 、および $0 \leq y'+z' \leq 1$ である、1つ以上の $Al_x In_{1-x} N$ 、 $Al_y In_z Ga_{1-y-z} N$ 、または $Al_{y'} In_{z'} Ga_{1-y'-z'} N$ 層を備えるデバイスを成長させる。

30

【0028】

図1は、本発明の方法を示すフローチャートである。

【0029】

ブロック100は、基板を反応器に装填するステップを表す。発光デバイス構造の成長の場合、バルク無極性または半極性GaN基板を、MOCVD反応器に装填し、反応器の圧力を、5トルから760トルの間の値に設定する。

【0030】

ブロック102は、基板上にGaN層を成長させるステップを表す。反応器の加熱器をオンにして、水素および/または窒素下で、設定点温度まで逡増させる。温度が設定点に到達した時点で、1μmから3μmの厚さの無作為にドーピングした(UID)GaNまたはSiドーピングGaNを(ジシラン(Si_2H_4))を反応器の中に流すことによって)成長させる。

40

【0031】

次いで、ブロック104に現されるように、600 から1000 の間の値に温度を設定し、トリメチルインジウム(TMIn)、トリメチルアルミニウム(TMAl)、およびアンモニア(NH_3)を、反応器の中に導入して、ブロック102のGaN層上にn型AlInNまたはAlInGaNクラッド層を成長させる。所望の層が4元合金である場合は、トリエチルガリウム(TEGa)またはトリメチルガリウム(TMGa)を使用する。n型ドーピングの場合、ジシランも反応器の中に流す。全ての源の流れは、クラッド層厚さが最低で200nmに到達するまで、一定レベルに保つ。重要な条件は、歪みを

50

最小化するように、クラッド層の格子定数を、Ga_{1-y-z}N基板の格子定数に密接に整合させなければならないことである。

【0032】

したがって、ブロック104は、第1のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層が、無極性または半極性Ga_{1-y-z}N基板に密接に格子整合するように、Ga_{1-y-z}N基板の無極性または半極性面上に、例えば第1の導電性を有する第1のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層として、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層のうちの1つをエピタキシャルに成長させる、実施例を示す。

【0033】

ブロック106は、ブロック104のn型クラッド層上のAlInNまたはAlInGa_{1-y-z}N活性領域の成長を表す。所望のn型AlInNまたはAlInGa_{1-y-z}Nのクラッド厚さを達成した時点で、より多くのインジウムをウェル領域に取り込むように、反応器の温度設定点を10から80だけ減少させる。温度が設定点に到達した時点で、AlInGa_{1-y-z}N障壁層を成長させる。所望の厚さを達成した時点で、AlInNまたはAlInGa_{1-y-z}N活性層の所望の組成を得るように、第III族源の流速またはNH₃の流速を増大または減少させることができる。活性層（例えば、井戸層）を所望の厚さに成長させた後、通常は3nmから10nmである障壁を頂部に成長させる。これは、SQWを形成する。例えば、AlInN（活性井戸層）/AlInGa_{1-y-z}N（障壁）またはAlInGa_{1-y-z}N（活性層）/AlInGa_{1-y-z}N（障壁）を成長させてもよく、また、MQWを形成するようにこの構造を繰り返すことができる。インジウム組成は、所望のpeakを達成するように、10%から30%の範囲であり得る。可能なMQW構造を図2に示す。

【0034】

図2(a)、2(b)、および2(c)は、ブロック104で成長させた第1のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層の無極性または半極性面上に、第1のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N量子井戸障壁層200として、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層のうちの1つをエピタキシャルに成長させるステップと；第1のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N量子井戸障壁層200の無極性または半極性面204上に、かつ360nm未満のピーク波長を有するエレクトロルミネセンスを放射する厚さ206および(Al、In、Ga)N組成に、Al_yIn_zGa_{1-y-z}NまたはAl_xIn_{1-x}N量子井戸層202として、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層のうちの1つをエピタキシャルに成長させるステップと；Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N量子井戸層202の無極性または半極性面210上に、第2のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N量子井戸障壁層208として、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層のうちの1つをエピタキシャルに成長させるステップであって、それによって、第1のAl_yIn_zGa_{1-y-z}NまたはAl_xIn_{1-x}N量子井戸障壁層200と、第2のAl_yIn_zGa_{1-y-z}NまたはAl_xIn_{1-x}N量子井戸障壁層208との間に、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N量子井戸層202を備える量子井戸構造を形成する、ステップを示す。図2(a)-(c)において、構造は、4周期を有するMQWを形成するように繰り返される。

【0035】

図2(a)の実施例において、第1の量子井戸障壁層200および第2の量子井戸障壁層208はどちらも、Al_yIn_zGa_{1-y-z}Nであり、量子井戸202は、Al_xIn_{1-x}Nである。図2(b)の実施例において、第1の量子井戸障壁層200および第2の量子井戸障壁層208はどちらも、Al_yIn_zGa_{1-y-z}Nであり、量子井戸202は、障壁層200、208とは異なる組成（例えば、Al_yIn_zGa_{1-y-z}N）を伴う、Al_yIn_zGa_{1-y-z}Nである。図2(c)の実施例において、第1の量子井戸障壁層200および第2の量子井戸障壁層208はどちらも、Al_yGa_{1-y}Nであり、量子井戸202は、Al_xIn_{1-x}Nである。例えば、Al_x

10

20

30

40

50

$In_{1-x}N$ および $Al_yIn_zGa_{1-y-z}N$ 層202のうちの少なくとも1つを、10%から30%の範囲のインジウム組成を伴う発光デバイスとして成長させてもよい。

【0036】

ブロック108は、ブロック106で成長させた活性領域上に、電子阻止層(EBL)を成長させるステップであって、EBLの中の第III族種の組成は、EBLと障壁との間で所望の伝導体オフセットを得るように調整される、ステップを表す。

【0037】

ブロック110は、ブロック108で成長させたEBL層上に、p型 $AlInN$ または $AlInGa$ クラッド層を成長させるステップを表す。所望のEBL厚さを達成した時点で、反応器の設定点温度を10 から80 だけ増大させる。次いで、p型 $AlInN$ または $AlInGa$ 層を達成するように、 Cp_2Mg を反応器の中に導入する。p型合金の組成は、n型合金の組成と同じである。したがって、ブロック110は、 $Al_xIn_{1-x}N$ または $Al_yIn_zGa_{1-y-z}N$ 層のうちの1つを、第2の導電型を有する $Al_xIn_{1-x}N$ または $Al_yIn_zGa_{1-y-z}N$ 層として、ブロック108のEBLおよびブロック106の量子井戸構造上にエピタキシャルに成長させる実施例を示す。

10

【0038】

次いで、ブロック112に表されるように、ブロック110で成長させたp型クラッド層上に、p型 GaN 接触層を成長させる。例えば、接触層を形成するように、薄くかつ高度にマグネシウム(Mg)ドーブしたp型 GaN 層を頂部に成長させてもよい。

20

【0039】

反応器を冷却した時点で、ブロック114に表されるように、ブロック112で成長させたp型 GaN 接触層(Mgドーブ層)を活性化するために、窒化物デバイス(ブロック110-112で形成される)を備えるエピタキシャルウエハを除去して、700 で15分間、水素欠乏雰囲気の中で焼鈍する。

【0040】

次のステップでは、デバイスを製造する。ここでは、UV LEDのためのプロセスを実施例として説明する。エピタキシャルウエハを焼鈍した時点で、ブロック116(ブロック114で活性化したp- GaN 層上に、p型接触層をパターン化する)に表されるように、p型接触(p-接触)をウエハ上にパターン化するために、フォトリソグラフィ技術を使用する。次いで、ブロック118(p-接触金属を、ブロック116でパターン化したパターン化p型 GaN 層上に蒸着して合金化する)に表されるように、金属合金を形成するように、p接触金属(20 ~ 100 の Ni/Au)を、電子ビーム蒸着器によって蒸着して、1~10分間、 N_2 または N_2/O_2 雰囲気下で焼鈍する。次いで、ブロック120(ブロック114-118の結果によって生じるp型 GaN 接触層を部分的に除去する)に表されるように、p- GaN 接触層を、ドライエッチング技術によって少なくとも部分的に除去する。ブロック120のステップでは、図3に示されるように、ブロック114-118の結果によって生じる光吸収 GaN 層を除去し、ブロック110で成長させたp型クラッド層を露出させる。このステップの後、ブロック122に表されるように、ドライエッチングによって、ブロック100-120の結果として生じる構造の中にメサを形成し、エッチングでブロック104のn型クラッド層を露出させる。次いで、ブロック124(n型接触金属を、ブロック104で成長させ。ブロック122で露出させたn型クラッド層上に蒸着して合金化する)に表されるように、金属合金を形成するように、n型接触金属($Ti/Al/Ni/Au$)を蒸着して、1~10分間、 N_2 または N_2/O_2 雰囲気下で焼鈍する。次いで、ブロック126(ブロック118の合金化p-接触金属およびブロック124の合金化n-接触金属上に、それぞれ、接触パッド用の金属を蒸着する)によって表されるように、接触パッド用の金属を、電子ビーム蒸着器を使用して蒸着する。

30

40

【0041】

次いで、ブロック128(基板を除去する)によって表されるように、典型的に、プロ

50

ック100の基板を除去する。最後に、典型的に、フリップチップパッケージングを実施し、典型的に、鏡面反射器を、ブロック128の基板除去によって露出したデバイス側に蒸着する。

【0042】

図3は、無極性または半極性Ga_{1-y-z}N基板310上に製造した（例えば、成長させた）、0 < y < 1、0 < z < 1、および0 < y + z < 1である、1つ以上のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層302、304、306、および308を備える（例えば、ブロック104、106、108、および110で示される）、前述のステップを実施した後に得られる、最終的な光電子デバイス300（例えば、LEDまたはLD）の構造の実施例を示し、図中、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層302、304、306、および308は、無極性または半極性である（すなわち、層302、304、306、および308の成長表面が、III族窒化物の無極性面（例えば、m面またはa面）または半極性面であるように、無極性または半極性方向に成長させる）。

10

【0043】

全ての層302、304、306、および308は、少なくともいくつかのインジウムを含有する。Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層302、304、306、および308は、例えば、少なくともAl、In、およびNを含み得る。

【0044】

例えば、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層のうちの1つ以上は、無極性または半極性Ga_{1-y-z}N基板310に密接に格子整合され（例えば、無極性または半極性Ga_{1-y-z}N基板310上のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}Nに基づくn型クラッド層302）、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層のうちの1つ以上は、n型伝導性のためにSiでドーピングされ（例えば、シリコンでドーピングされる、n型クラッド層302）、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層のうちの1つ以上は、p型伝導性のためにMgでドーピングされ（Mgでドーピングされる、p型クラッド層308）、複数のAl_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層302、304、306、および308は、1つ以上のヘテロ構造または1つ以上の量子井戸ヘテロ構造304（例えば、n型クラッド層302上の、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}Nに基づくSQWまたはMQW304）を形成する。一実施例において、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}N層304のうちの1つ以上のインジウム組成は、10%から30%の範囲である。

20

30

【0045】

図3のデバイス300はさらに、量子井戸層304上に、Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}Nに基づく電子阻止層（EBL）306を備える。Al_xIn_{1-x}NまたはAl_yIn_zGa_{1-y-z}Nに基づくp型クラッド層308は、1つ以上のEBL306上にある。また、p型クラッド層308上のp⁺GaN接触層312、p⁺GaN接触層312に対する金属接触314、およびn型クラッド層302に対する金属接触316も示される。

【0046】

層302は、典型的に、基板に密接に格子整合される。「密接に格子整合した」とは、成長した厚さにおいていかなる膜の緩和もないこととほぼ同じである。いかなる緩和もないことは、基板310からの転位以外の他の転位がないことを意味する。

40

【0047】

したがって、図2(a)、2(b)、2(c)、および3は、無極性または半極性Ga_{1-y-z}N基板310上に成長させられる、少なくともAl、In、およびNを含有する1つ以上の発光層202、304を備える、光電子デバイス300を示し、図中、発光層202、304は、無極性または半極性層である。

【0048】

図2(a)、2(b)、2(c)、および3はまた、第1の導電型（例えば、n型であ

50

るが、これに限定されない)を有する第1の(A1、In、Ga)N層302;第2の導電型(例えば、p型であるが、これに限定されない)を有する第2の(A1、In、Ga)N層308;および、第1の(A1、In、Ga)N量子井戸障壁層200の無極性または半極性面204上にエピタキシャルに成長させられる、(A1、In、Ga)N量子井戸層202と、(A1、In、Ga)N量子井戸層202の無極性または半極性面210上にエピタキシャルに成長させられる、第2の(A1、In、Ga)N量子井戸障壁層208とを備える、(A1、In、Ga)N量子井戸構造304を示し、(1)図中、量子井戸構造304は、(A1、In、Ga)N量子井戸構造304が、第1の(A1、In、Ga)N層302と第2の(A1、In、Ga)N層308との間にあるように、(A1、In、Ga)N層(例えば、第1の(A1、In、Ga)N層302)の無極性または半極性面318上にエピタキシャルに成長させられ、量子井戸202は、360nm未満のピーク波長を有するエレクトロルミネセンスを放射する、厚さ206および(A1、In、Ga)N組成を有する。例えば、デバイス300は、280nmから360nmの範囲のピーク放射波長を有する、発光デバイスであり得る。

10

【0049】

(A1、In、Ga)N層302は、典型的に、基板310の無極性または半極性面320上に成長させられる。続いて基板310が除去された後であっても(例えば、図1のブロック128を参照のこと)、層302は、GaN上のエピタキシャル成長と関連する転位密度を保持する。その結果、(A1、In、Ga)N量子井戸構造304は、(A1、In、Ga)N層302上にエピタキシャルに成長させられ、(A1、In、Ga)N層302は、基板310が除去された後であっても、GaN(例えば、基板310)上にエピタキシャルに成長させられ、かつそれに密接に格子整合される、(A1、In、Ga)N層の低転位密度を有する。(A1、In、Ga)N層302は、 10^6 cm^{-2} 未満の転位密度を有し得、(A1、In、Ga)N層302(および/または層302と基板310との間の層、および/または層304、306、および308)は、横方向エピタキシャル過成長を含まない。

20

【0050】

(A1、In、Ga)Nの十分に低い転位密度および比較的に高いインジウム組成により、活性領域(発光領域)304は、15%を超える発光デバイス300のIQEを達成することができ、これは、10%未満のインジウム含有量(y)を伴う $\text{Al}_x \text{In}_y \text{Ga}_{1-x-y} \text{N}$ 合金によって得られる値であった。したがって、1%を超える発光デバイス300の外部量子効率を達成することが可能である。

30

【0051】

概して、エッジ型転位および螺旋型転位等の転位は、非放射再結合場所を提供するトラップであることが公知である。転位が多くなることは、非放射再結合が多くなり、したがってIQEが低くなることを意味する。したがって、外部量子効率は、低下する(外部量子効率=IQE×抽出効率)。

【0052】

製造プロセスの詳細は、レーザダイオード等の他のUV放出デバイスのために改良する必要がある。

40

【0053】

本発明の有用性を高めるために、デバイスを、最小の可能な転位を有するバルクGaN基板上に成長させることが重要である。バルクGaN基板は、本質的に、自立型である厚いGaNである。一実施例は、サファイア上に成長させられる厚い(約300 μm)GaNであり、次いで、サファイア基板からリフトオフされる。

【0054】

しかしながら、GaN基板は、360nmより低い放射波長に対する吸収層である。したがって、ブロック128に表されるように、光抽出を向上させるように、GaN基板を除去することが必要である。GaN基板は、ラッピング、研磨、およびドライエッチングプロセスによって除去することができる。よって、鏡面反射器を伴うフリップチップパッ

50

ケーシング（ブロック130に表される）は、前述のLED等の発光デバイスからの光抽出を最大化することができる。

【0055】

（可能な変形例）

前述のデバイスに対する成長仕様は、MOCVDによる無極性および半極性AlInNおよびAlInGaN層のヘテロエピタキシャル成長を利用したが、本発明は、あらゆる成長技術を使用することができる。例えば、無極性および半極性AlInNおよびAlInGaNはまた、適切な成長条件を伴う分子ビームエピタキシ（MBE）によって成長させられ得る。

【0056】

GaN基板を除去するために、ドライエッチング技術を使用する代わりに、n型クラッド層の成長の前に、非常に薄いInGaN層を蒸着することができる。デバイスを成長させた後、InGaN層は、UV光源を使用する光電気化学（PEC）エッチングによってエッチングで除去することができる。

【0057】

前述の成長プロセスは、単に事前の実験に基づく1つの一組の可能な成長条件に過ぎない。無極性および半極性AlInNおよびAlInGaN層を成長させるために、ガス流、成長圧力、および成長温度等の成長条件をさらに調査することができる。AlInNの成長に関するさらなる情報は、[6]に見出すことができる。

【0058】

（利点および改良点）

既存の実行法は、表面がGa（Al）面またはc面である、c面サファイアまたはSiC基板上に、AlGaNに基づくUV放出デバイスを成長させるものである。c方向に垂直な面は、大きい電気陰性度差のため、自発分極を有する。したがって、異なる分極の多層間の界面は、本質的に分極電荷を構築して、内部電場をもたらす。この電場は、活性層等の薄い層に対してかなり大きくなる可能性があり、エネルギー帯構造を変化させる。基板と後続の層（AlNおよびAlGaN）との間の格子不整合は、圧電分極を導入し、帯域構造をさらに変化させ得る。

【0059】

本発明は、自発および圧電の両方の分極を最小化したデバイス構造を説明する。自発分極は、無極性または半極性結晶配向のデバイスを成長させることによって減少する。さらに重要なことに、圧電分極の低減は、GaN基板に密接に格子整合されるAlInNまたはAlInGaNクラッド層を成長させることによって達成される。量子井戸層だけが、わずかに圧縮歪みを受ける。格子整合状態はまた、クラッド層と基板との間の界面から生じるいかなる付加的な転位もないことを意味する。したがって、QCSE効果および転位密度の両方の低減は、より高いIQEをもたらす。改良された結晶品質はまた、UV領域における高出力および高効率のLDを実現できることを意味する。無極性および半極性バルクGaN基板が、高い結晶品質で利用可能であるので、本発明で説明される新しい構造は、現在利用可能である最先端技術のUV放出デバイスよりも効率的であることが予想される。

【0060】

10

20

30

40

【化 1】

参考文献

以下の文献は参照により本明細書に援用される:

[1] T. Nishida, H. Saito, and N. Kobayashi, Appl. Phys. Lett. 78, 399 (2001).

[2] H. Hirayama, T. Yatabe, N. Noguchi, T. Ohashi, and N. Kamata, Appl. Phys. Lett. 91, 071901 (2007).

[3] D. S. Kamber, Y. Wu, E. Letts, S. P. DenBaars, J. S. Speck, S. Nakamura, and S. A. Newman, Appl. Phys. Lett. 90, 122116 (2007). 10

[4] G. A. Slack and T. F. McNelly, J. Crys. Growth 34, 263 (1976).

【 0 0 6 1 】

【化 2】

[5] H. Hirayama, J. Appl. Phys. 97, 091101 (2005).

[6] R. B. Chung, Z. Chen, S. Keller, J. S. Speck, S. P. DenBaars, and S. Nakamura, "effect of growth conditions on Indium incorporation during AlInN growth by MOCVD and characterization", 36th international symposium on compound semiconductors, August 2009, Santa Barbara, CA, USA. 20

(結論)

これは、本発明の好適な実施形態の説明を締めくくるものである。本発明の1つ以上の実施形態の上述の説明は、図解および説明のために示したものである。本記述は、網羅的であること、または本発明を開示された形態に限定することを意図したものではない。上述の教示に照らして、多数の修正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限定されるのではなく、むしろ本明細書に添付された請求項によって限定されることを意図する。

【 図 1 】

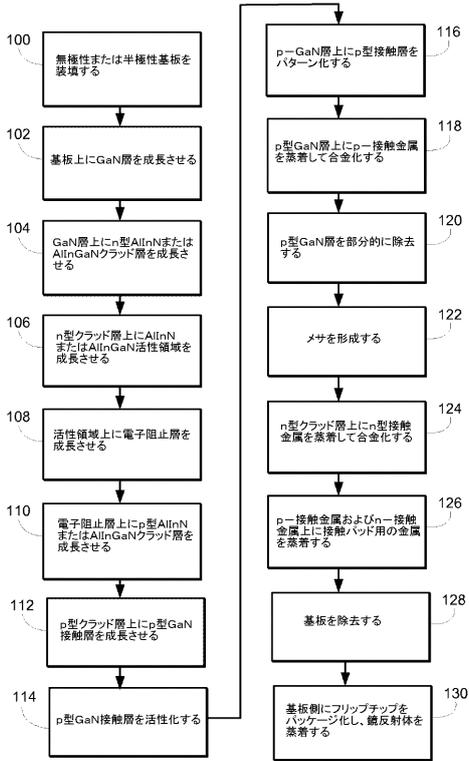


Figure 1

【 図 2 】

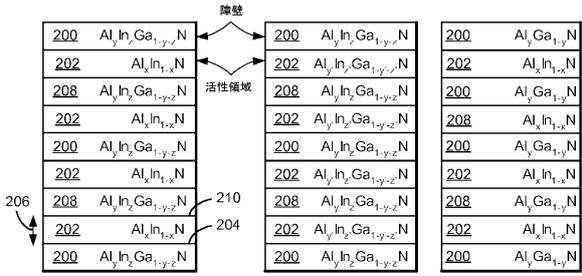


Figure 2(a)

Figure 2(b)

Figure 2(c)

【 図 3 】

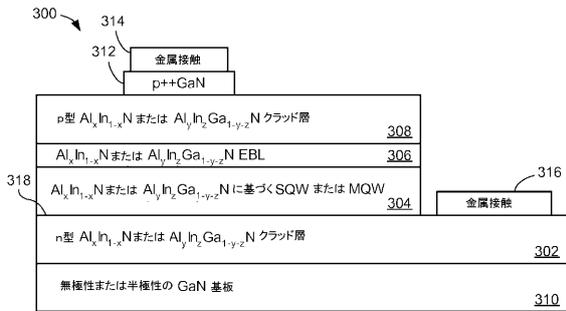


Figure 3

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US2009/062982

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(8) - H01L 27/15 (2009.01) USPC - 438/47 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) IPC(8) - H01L 27/15 (2009.01) USPC - 438/47 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) Google Patents, PatBase		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2008/0108162 A1 (DWILINSKI et al) 08 May 2008 (08.05.2008) entire document	1, 8-9
Y		2-7, 10-20
Y	US 3,982,261 A (ANTYPAS) 21 September 1976 (21.09.1976) entire document	2-7, 10, 14-15, 18, 20
Y	US 2005/0218414 A1 (UEDA et al) 06 October 2005 (06.10.2005) entire document	11-20
A	US 6,046,464 A (SCHETZINA) 04 April 2000 (04.04.2000) entire document	1-20
A	US 4,616,241 A (BIEFELD et al) 07 October 1986 (07.10.1986) entire document	1-20
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/>		
* 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 18 December 2009		Date of mailing of the international search report 29 DEC 2009
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: Blaine R. Copenhaever PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT QSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(74)代理人 100113413

弁理士 森下 夏樹

(72)発明者 チャン, ロイ ピー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 3 1 1 7, ゴレタ, ディアボーン プレイス 4 3, アパートメント 5 7

(72)発明者 チェン, チェン

アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 3 1 1 7, ゴレタ, エンシーナ ロード 5 6 7 3, アパートメント 1 0 2

(72)発明者 スペック, ジェームズ エス.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 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 デンバース, スティーブン ピー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 3 1 1 7, ゴレタ, エルダーベリー ドライブ 2 8 3

(72)発明者 ナカムラ, シュウジ

アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 3 1 6 0, サンタ バーバラ, ピー.オー. ボックス 6 1 6 5 6

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA04 CA04 CA05 CA13 CA22 CA40 CA65 CB11 CB15

DA04 DA09

5F141 AA03 AA04 CA04 CA05 CA13 CA22 CA40 CA65 CB11 CB15

5F173 AH22 AP05 AP24 AQ02 AR02