

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5737111号  
(P5737111)

(45) 発行日 平成27年6月17日(2015.6.17)

(24) 登録日 平成27年5月1日(2015.5.1)

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

請求項の数 10 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2011-212298 (P2011-212298)	(73) 特許権者	000241463 豊田合成株式会社 愛知県清須市春日長畑1番地
(22) 出願日	平成23年9月28日(2011.9.28)	(74) 代理人	100087723 弁理士 藤谷 修
(65) 公開番号	特開2012-216751 (P2012-216751A)	(72) 発明者	豊田 優介 愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内
(43) 公開日	平成24年11月8日(2012.11.8)	(72) 発明者	奥野 浩司 愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内
審査請求日	平成25年9月18日(2013.9.18)	(72) 発明者	西島 和樹 愛知県清須市春日長畑1番地 豊田合成株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2011-74727 (P2011-74727)		
(32) 優先日	平成23年3月30日(2011.3.30)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 III族窒化物半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

各層がIII族窒化物半導体から成り、n型層側クラッド層、 $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ )層を障壁層とする多重量子構造を有した発光層、p型層側クラッド層を少なくとも有するIII族窒化物半導体発光素子において、

前記発光層は、 $AlGaIn$ から成る第1層と、該第1層上に接合して成長された $InGaIn$ から成る井戸層と、該井戸層上に接合して成長された $GaN$ 層と、該 $GaN$ 層上に接合して成長され、前記第1層に対して $Al$ 組成比の異なる $AlGaIn$ から成る第2層とを1周期とする周期構造を有し、

前記第1層を前記障壁層とし、

前記発光層は、前記n型層側クラッド層から前記p型層側クラッド層の方向の厚さ方向に沿って、3区分の第1区分、第2区分、第3区分に分ける時、前記第1区分における前記障壁層の $Al$ 組成比の平均を $x$ 、前記第2区分における前記障壁層の $Al$ 組成比の平均を $y$ 、前記第3区分における前記障壁層の $Al$ 組成比の平均を $z$ とする時、 $z < y < x$ を満たし、前記第2層の $Al$ 組成比と厚さは、前記周期構造の全体に渡って一定として、前記発光層の厚さ方向の全範囲において電子密度を均一化させるように、それぞれの前記障壁層の $Al$ 組成比を設定したことを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項2】

前記第1区分と前記第3区分における前記障壁層の層数を等しくし、 $x + z = 2y$ を満たすように、それぞれの前記障壁層の $Al$ 組成比を設定した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。

【請求項3】

比  $x/y$  を、 $1.1 < x/y < 2.2$  としたことを特徴とする請求項2に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項4】

前記第1区分における前記障壁層の厚さの平均を  $a$ 、前記第2区分における前記障壁層の厚さの平均を  $b$ 、前記第3区分における前記障壁層の厚さの平均を  $c$  とする時、 $a < b < c$ 、又は、 $c < b < a$  を満たすように、それぞれの前記障壁層の厚さを設定したことを特徴とする請求項1乃至請求項3の何れか1項に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項5】

前記第1区分と前記第3区分における前記障壁層の層数を等しくし、 $a + c = 2b$  を満たすように、それぞれの前記障壁層の厚さを設定したことを特徴とする請求項4に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項6】

$a < c$  の関係に設定することを特徴とする請求項5に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項7】

$a < b < c$  の場合には、比  $a/b$  を、 $0.7 < a/b < 0.9$  とし、 $c < b < a$  の場合には、比  $c/b$  を、 $0.7 < c/b < 0.9$  としたことを特徴とする請求項5に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項8】

各層がIII族窒化物半導体から成り、 $n$ 型層側クラッド層、 $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) 層を障壁層とする多重量子構造を有した発光層、 $p$ 型層側クラッド層を少なくとも有するIII族窒化物半導体発光素子において、

前記発光層は、 $AlGaIn$  から成る第1層と、該第1層上に接合して成長された  $InGaInGa$  から成る井戸層と、該井戸層上に接合して成長された  $GaN$  層と、該  $GaN$  層上に接合して成長され、前記第1層に対して  $Al$  組成比の異なる  $AlGaIn$  から成る第2層とを1周期とする周期構造を有し、

前記第1層を前記障壁層とし、

前記発光層は、前記  $n$ 型層側クラッド層から前記  $p$ 型層側クラッド層の方向の厚さ方向に沿って、3区分の第1区分、第2区分、第3区分に分ける時、第1区分、第2区分、第3区分の前記障壁層の  $Al$  組成比を等しくし、前記第1区分における前記障壁層の厚さの平均を  $a$ 、前記第2区分における前記障壁層の厚さの平均を  $b$ 、前記第3区分における前記障壁層の厚さの平均を  $c$  とする時、 $a < b < c$ 、又は、 $c < b < a$  を満たし、かつ、第1区分と第3区分における前記障壁層の層数を等しくし、 $a + c = 2b$  を満たすように、それぞれの前記障壁層の厚さを設定し、前記第2層の  $Al$  組成比と厚さは、前記周期構造の全体に渡って一定として、前記発光層の厚さ方向の全範囲において電子密度を均一化させるように、それぞれの前記障壁層の厚さを設定したことを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項9】

$a < c$  の関係に設定することを特徴とする請求項8に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【請求項10】

$a < b < c$  の場合には、比  $a/b$  を、 $0.7 < a/b < 0.9$  とし、 $c < b < a$  の場合には、比  $c/b$  を、 $0.7 < c/b < 0.9$  としたことを特徴とする請求項8に記載のIII族窒化物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、駆動電圧の上昇を抑制して、発光効率を向上させたIII族窒化物半導体発光

10

20

30

40

50

素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、下記特許文献1に記載のIII族窒化物半導体発光素子が知られている。特許文献1には、III族窒化物半導体発光素子の活性層において、InGa<sub>n</sub>Nから成る井戸層のエネルギーバンドギャップを、n型コンタクト層に近いほど大きくすること、井戸層の厚さを、n型コンタクト層に近いほど薄くすること、InGa<sub>n</sub>Nから成る障壁層のエネルギーバンドギャップを、n型コンタクト層に近いほど大きくすることが、記載されている。この構造により、発光波長の不均一性を解消している。

【0003】

また、特許文献2には、活性層において、キャリアのオーバーフローを抑制するために、障壁層の厚さをp型層に向かうに連れて漸次厚くした構造が開示されている。

また、特許文献3には、障壁層、井戸層、障壁層の3層構造の活性層において、n型層側の障壁層のバンドギャップをp型層側の障壁層のバンドギャップよりも大きくした構造、n型層側の障壁層の厚さをp型層側の障壁層の厚さよりも薄くした構造が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2008-103711

【特許文献2】特開2009-152552

【特許文献3】特開2003-273473

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところが、このような構造であっても、III族窒化物半導体発光素子においては、さらなる発光効率の向上が求められている。MQW(多重量子井戸)構造の活性層においては、電子の拡散長は、正孔の拡散長よりも長い。このため、MQW構造において、n型クラッド層から活性層に注入された電子は、p型クラッド層に至り、その障壁により活性層に閉じ込められる。この結果、p型クラッド層側に近接した井戸層程、より多くの電子が捕獲されることになる。すなわち、活性層の井戸層における電子密度の分布は、p型クラッド層側に向かうに連れて大きくなる。この結果、p型クラッド層から活性層に注入された正孔は、p型クラッド層に近い電子密度の高い井戸層に捕獲された電子とより多く再結合することになる。

【0006】

この結果、活性層における発光領域がp型クラッド層に近接した位置に偏るという問題がある。このことが、発光素子全体の発光出力を小さくし、発光効率を小さくするという原因となっていた。

そこで、本発明の目的は、駆動電圧を向上させることなく、III族窒化物半導体発光素子の発光出力、発光効率を向上させることである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

第1の発明は、各層がIII族窒化物半導体から成り、n型層側クラッド層、 $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ )層を障壁層とする多重量子構造を有した発光層、p型層側クラッド層を少なくとも有するIII族窒化物半導体発光素子において、発光層は、AlGa<sub>n</sub>Nから成る第1層と、該第1層上に接合して成長されたInGa<sub>n</sub>Nから成る井戸層と、該井戸層上に接合して成長されたGa<sub>n</sub>N層と、該Ga<sub>n</sub>N層上に接合して成長され、第1層に対してAl組成比の異なるAlGa<sub>n</sub>Nから成る第2層とを1周期とする周期構造を有し、第1層を障壁層とし、発光層は、n型層側クラッド層からp型層側クラッド層の方向の厚さ方向に沿って、3区分の第1区分、第2区分、第3区分に分ける時、第1区分における障壁層

10

20

30

40

50

の A 1 組成比の平均を  $x$ 、第 2 区分における障壁層の A 1 組成比の平均を  $y$ 、第 3 区分における障壁層の A 1 組成比の平均を  $z$  とする時、 $z < y < x$  を満たし、第 2 層の A 1 組成比と厚さは、周期構造の全体に渡って一定として、 発光層の厚さ方向の全範囲において電子密度を均一化させるように、それぞれの障壁層の A 1 組成比を設定したことを特徴とする III 族窒化物半導体発光素子である。

【 0 0 0 8 】

本発明において、第 1 区分、第 2 区分、第 3 区分の障壁層の層数は任意である。第 1 区分の障壁層の層数と、第 3 区分の障壁層の層数が等しいことが望ましい。また、各同一区分内における複数の障壁層の A 1 組成比は、異なっても、同一であっても良い。また、 $n$  型層側クラッド層の側から障壁層の A 1 組成比が、単調に減少するものであっても、各区分内における障壁層の A 1 組成比の平均値が、 $z < y < x$  の関係を満たしていれば、各同一区分内での A 1 組成比の分布は、任意である。しかし、 $n$  型層側クラッド層の側から障壁層の A 1 組成比が、単調に減少することが望ましい。

10

【 0 0 0 9 】

第 2 発明は、第 1 発明において、第 1 区分と第 3 区分における障壁層の層数を等しくし、 $x + z = 2y$  を満たすように、それぞれの障壁層の A 1 組成比を設定したことを特徴とする。

第 1 区分と第 3 区分の障壁層の層数を  $k$ 、発光層の障壁層の全層数を  $n$  とする。本発明では、第 1 区分における障壁層の A 1 組成比の平均  $x$ 、第 2 区分における障壁層の A 1 組成比の平均  $y$ 、第 3 区分における障壁層の A 1 組成比の平均  $z$  は、次式により決定される。ただし、 $z < x$  である。

20

【 0 0 1 0 】

【 数 1 】

$$xk + y(n - 2k) + zk = yn$$

$$x + z = 2y \quad \dots (1)$$

(1) 式は、(2) 式のようにも表される。

【 数 2 】

$$x - y = y - z \quad \dots (2)$$

30

また、(2) 式は、(3) 式のようにも表される。

【 数 3 】

$$x/y - 1 = 1 - z/y \quad \dots (3)$$

【 0 0 1 1 】

すなわち、本第 2 発明では、第 1 区分と第 3 区分の障壁層の層数を等しくし、第 1 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $x$  を第 3 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $z$  よりも大きくし、第 1 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $x$  と第 3 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $z$  の相加平均が第 2 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $y$  に等しくなるように設計されていることが特徴である。

40

換言すれば、第 2 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $y$  に対する第 1 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $x$  の偏差 ( $x - y$ ) と、第 3 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $z$  に対する第 2 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $y$  の偏差 ( $y - z$ ) とを等しくしている。また、第 2 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $y$  に対する第 1 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $x$  の比  $x/y$  の 1 に対する偏差 ( $x/y - 1$ ) と、1 の第 2 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $y$  に対する第 3 区分の障壁層の A 1 組成比の平均  $z$  の比  $z/y$  に対する偏差 ( $1 - z/y$ ) とを等しくしている。本件発明は、発光層における 3 つの区分における障壁層の A 1 組成比の平均に関して、上記のような対称性を持たせることにより、発光効率を改善している。また、最も望ましくは、各同一区分内における複数の障壁層の A 1 組成比を同一にして

50

も良い。この場合には、第1区分の全ての障壁層のA1組成比はxで等しく、第2区分の全ての障壁層のA1組成比はyで等しく、第3区分の全ての障壁層のA1組成比はzで等しくなる。このことは、以下の発明においても、適用される。

【0012】

第3発明は、第2発明において、第2区分における障壁層のA1組成比の平均yに対する第1区分における障壁層のA1組成比の平均xの比x/yを、 $1.1 \leq x/y \leq 2.2$ としたことを特徴とする。障壁層のA1組成比の平均の比をこの範囲に設定して、対称性を持たせることにより、発光効率を大きく改善することができる。

【0013】

第4発明は、第1乃至第3の発明において、第1区分における障壁層の厚さの平均をa、第2区分における障壁層の厚さの平均をb、第3区分における障壁層の厚さの平均をcとする時、 $a < b < c$ 、又は、 $c < b < a$ を満たすように、それぞれの前記障壁層の厚さを設定したことを特徴とする。各区分における障壁層の厚さの平均値を、p型層側クラッド層に向けて、単調増加、又は、単調減少させたのが特徴である。各同一区分内の複数の障壁層の厚さは、同一でも、異なっても良いが、同一であることが望ましい。各区分内における障壁層の厚さの平均値a、b、cが、上記の関係を満たしていれば良い。

【0014】

第5発明は、第4発明において、第1区分と第3区分における障壁層の層数を等しくし、 $a + c = 2b$ を満たすように、それぞれの障壁層の厚さを設定したことを特徴とする。

本発明では、各区分内の障壁層の厚さの平均値に関して、次式のように決定されている。

【0015】

【数4】

$$ak + b(n - 2k) + ck = bn$$

$$a + c = 2b \quad \dots (4)$$

(4)式は、(5)式のようにも表される。

【数5】

$$b - a = c - b \quad \dots (5)$$

また、(5)式は、(6)式のようにも表される。

【数6】

$$1 - a/b = c/b - 1 \quad \dots (6)$$

【0016】

すなわち、本発明では、第1区分と第3区分の障壁層の層数を等しくし、第1区分の障壁層の厚さの平均aと第3区分の障壁層の厚さの平均cの相加平均が第2区分の障壁層の厚さの平均bに等しくなるように設計されていることが特徴である。第2発明においては、障壁層の厚さの平均に関しては、発明の範囲に、 $a < b < c$ の場合も、 $c < b < a$ の場合も含む。

換言すれば、第1区分の障壁層の厚さの平均aに対する第2区分の障壁層の厚さの平均bの偏差( $b - a$ )と、第2区分の障壁層の厚さの平均bに対する第3区分の障壁層の厚さの平均cの偏差( $c - b$ )とを等しくしている。また、1の第2区分の障壁層の厚さの平均bに対する第1区分の障壁層の厚さの平均aの比 $a/b$ に対する偏差( $1 - a/b$ )と、第2区分の障壁層の厚さの平均bに対する第3区分の障壁層の厚さの平均cの比 $c/b$ の1に対する偏差( $c/b - 1$ )とを等しくしている。本件発明は、発光層における障壁層のA1組成比の分布と厚さの平均の分布に関して、上記のような対称性を持たせることにより、発光効率を改善している。また、最も望ましくは、各同一区分内における複数の障壁層の厚さを同一にしても良い。この場合には、第1区分の全ての障壁層の厚さはa

10

20

30

40

50

で等しく、第2区分の全ての障壁層の厚さは $b$ で等しく、第3区分の全ての障壁層の厚さは $c$ で等しくなる。このことは、以下の発明においても、適用される。

【0017】

第6発明は、第5発明において、第1区分の障壁層の厚さの平均 $a$ と、第3区分の障壁層の厚さの平均 $c$ との間には、 $a < c$ の関係に設定することを特徴とする。すなわち、 $p$ 型層側クラッド層に近い障壁層の厚さの平均を、 $n$ 型層側クラッド層に近い障壁層の厚さの平均よりも厚くすることで、第3区分における障壁層のAl組成比を小さくしたことによる障壁層の低さから生じる電子のオーバーフローを障壁層の厚さで抑制している。

【0018】

第7発明は、第5発明において、 $a < b < c$ の場合には、比 $a/b$ を、 $0.7 < a/b < 0.9$ とし、 $c < b < a$ の場合には、比 $c/b$ を、 $0.7 < c/b < 0.9$ としたことを特徴とする。障壁層の厚さの平均の比をこの範囲に設定して、対称性を持たせることにより、発光効率を大きく改善することができる。

【0019】

第8発明は、各層がIII族窒化物半導体から成り、 $n$ 型層側クラッド層、 $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ )層を障壁層とする多重量子構造を有した発光層、 $p$ 型層側クラッド層を少なくとも有するIII族窒化物半導体発光素子において、発光層は、 $AlGaIn$ から成る第1層と、該第1層上に接合して成長されたInGaInから成る井戸層と、該井戸層上に接合して成長されたGaIn層と、該GaIn層上に接合して成長され、第1層に対してAl組成比の異なるAlGaInから成る第2層とを1周期とする周期構造を有し、第1層を障壁層とし、発光層は、 $n$ 型層側クラッド層から $p$ 型層側クラッド層の方向の厚さ方向に沿って、3区分の第1区分、第2区分、第3区分に分ける時、第1区分、第2区分、第3区分の障壁層のAl組成比を等しくし、第1区分における障壁層の厚さの平均を $a$ 、第2区分における障壁層の厚さの平均を $b$ 、第3区分における障壁層の厚さの平均を $c$ とする時、 $a < b < c$ 、又は、 $c < b < a$ を満たし、かつ、第1区分と第3区分における障壁層の層数を等しくし、 $a + c = 2b$ を満たすように、それぞれの障壁層の厚さを設定し、第2層のAl組成比と厚さは、周期構造の全体に渡って一定として、発光層の厚さ方向の全範囲において電子密度を均一化させるように、それぞれの障壁層の厚さを設定したことを特徴とするIII族窒化物半導体発光素子である。

【0020】

本発明は、第1区分、第2区分、第3区分の障壁層のAl組成比を等しくした上で、第2発明のように第1区分、第2区分、第3区分の各障壁層の厚さの平均値に関して、対称性を持たせたものである。

【0021】

また、第9発明は、第8発明において、第1区分の障壁層の厚さの平均 $a$ と、第3区分の障壁層の厚さの平均 $c$ との間には、 $a < c$ の関係に設定することを特徴とする。この場合には、 $p$ 型層側クラッド層に近い障壁層の厚さの平均を、 $n$ 型層側クラッド層に近い障壁層の厚さの平均よりも大きくすることで、電子の $p$ 型層側クラッド層へのオーバーフローが抑制されて、発光効率が向上する。

【0022】

第10発明は、第8発明において、 $a < b < c$ の場合には、比 $a/b$ を、 $0.7 < a/b < 0.9$ とし、 $c < b < a$ の場合には、比 $c/b$ を、 $0.7 < c/b < 0.9$ としたことを特徴とする。障壁層の厚さの平均の比をこの範囲に設定して、対称性を持たせることにより、発光効率を大きく改善することができる。

【0023】

上記の全ての発明の半導体発光素子は、通常は、 $n$ 型クラッド層の下方には、 $n$ 電極を形成するための $n$ 型コンタクト層、 $p$ 型層側クラッド層の上には、 $p$ 電極を形成するための $p$ 型コンタクト層が、存在する。また、本発明の半導体発光素子は、これ以外の層が存在してもかまわない。また、発光層は多重量子構造であり、層数は任意である。層の繰返構造の1単位は、少なくとも井戸層と障壁層とを有すれば良く、他の層が存在していても

10

20

30

40

50

良い。この1単位の繰返数は、3以上の整数である。

【0024】

p型層側クラッド層は、 $Al_z Ga_{1-z} N$  ( $0 < z < 1$ )層を含む超格子層から成ることが望ましい。n型層側クラッド層は $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ )層を含む超格子から成ることが望ましい。また、n型層側クラッド層を、 $In_y Ga_{1-y} N$  ( $0 < y < 1$ )層、 $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ )層、及び、 $GaN$ 層から成る超格子により構成しても良い。これらの超格子層の少なくとも1つの層には、 $Si$ が添加されていることが望ましい。もちろん、n型層側クラッド層を構成する全ての層に、 $Si$ が添加されていても良い。

【0025】

また、p型層側クラッド層は、 $In_w Ga_{1-w} N$ 層と $Al_z Ga_{1-z} N$  ( $0 < z < 1$ )層の周期構造から成る超格子層としても良い。この構成により、電子を発光層に効果的に閉じ込め、正孔を発光層に効果的に注入することができる。この結果、発光効率が向上する。上記の発明において、III族窒化物半導体とは、一般式 $Al_{x1} Ga_{y1} In_{z1} N$  ( $x1 + y1 + z1 = 1$ ,  $0 < x1, y1, z1 < 1$ )で表される化合物半導体であり、 $Al$ 、 $Ga$ 、 $In$ の一部を他の第13族元素である $B$ や $Tl$ で置換したもの、 $N$ の一部を他の第15族元素である $P$ 、 $As$ 、 $Sb$ 、 $Bi$ で置換したものをも含むものとする。通常は、 $Ga$ を必須とする $GaN$ 、 $AlGaN$ 、 $InGaN$ 、 $AlGaInN$ を示す。

【0026】

発光層は、多重量子構造を用いることができる。本半導体発光素子は、その他、n型コンタクト層、p型コンタクト層等、その他の層を有していても良い。また、n型コンタクト層とn型層側クラッド層との間に、静電耐圧改善層(ESD層)を有していても良い。その他、層構成は任意である。

【発明の効果】

【0027】

本発明では、発光層を、n型層側クラッド層からp型層側クラッド層の方向の厚さ方向に沿って、3区分の第1区分、第2区分、第3区分に分ける時、第1区分における障壁層の $Al$ 組成比の平均を $x$ 、第2区分における障壁層の $Al$ 組成比の平均を $y$ 、第3区分における障壁層の $Al$ 組成比の平均を $z$ とする時、 $z < y < x$ を満たすように、それぞれの障壁層の $Al$ 組成比を設定している。この結果、障壁層はn型層側クラッド層に近い側で障壁が高くなる。このため、発光層における電子はn型層側クラッド層に近い井戸層にも電子が蓄積され、発光層の厚さ方向の全範囲において、電子分布をより均一化させることができ、発光領域を厚さ方向の全範囲に渡って均一にすることができる。このため、発光効率を向上させることができる。

【0028】

また、第1区分と第3区分における障壁層の層数を等しくし、 $x + z = 2y$ を満たすように、それぞれの障壁層の $Al$ 組成比を設定することで、 $Al$ 組成比の分布は、n型層側クラッド層側が高く、p型層側クラッド層側が低く、しかも、厚さの中央に対して対称分布となる。この結果、n型層側クラッド層に近い井戸層にも電子が蓄積されるため、発光層の厚さ方向の全範囲において、電子分布をより均一化させることができ、発光領域を厚さ方向の全範囲に渡って均一にすることができる。このため、発光効率を向上させることができる。

【0029】

また、障壁層の厚さに関しても、第1区分における障壁層の厚さの平均を $a$ 、第2区分における障壁層の厚さの平均を $b$ 、第3区分における障壁層の厚さの平均を $c$ とする時、 $a < b < c$ 、又は、 $c < b < a$ を満たすように、それぞれの前記障壁層の厚さを設定している。これにより、発光効率を向上させることができた。

【0030】

また、第1区分と第3区分における障壁層の層数を等しくし、 $a + c = 2b$ を満たすように設定することで、発光層の厚さ方向の中央に対して障壁層の厚さの分布を対称とする

10

20

30

40

50

ことができる。このため、発光効率を向上させることができる。特に、p型層側クラッド層に近い第3区分の障壁層の厚さの平均を、n型層側クラッド層に近い第1区分の障壁層の厚さの平均よりも大きくすることにより、電子のp型層側クラッド層へのオーバーフローを防止でき、発光効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】実施例1の発光素子1の構成を示した図。

【図2】発光素子1の製造工程を示した図。

【図3】実施例1の発光素子のバンド構造を示した図。

【図4】実施例1の発光素子において、発光層を障壁層と井戸層だけで簡略化した場合のバンド図。 10

【図5】実施例2の発光素子において、発光層を障壁層と井戸層だけで簡略化した場合のバンド図。

【図6】実施例3の発光素子において、発光層を障壁層と井戸層だけで簡略化した場合のバンド図。

【図7】実施例5の発光素子のバンド構造を示した図。

【図8】実施例5の発光素子において、発光層を障壁層と井戸層だけで簡略化した場合のバンド図。

【図9】実施例6の発光素子において、発光層を障壁層と井戸層だけで簡略化した場合のバンド図。 20

【図10】実施例7の発光素子において、発光層を障壁層と井戸層だけで簡略化した場合のバンド図。

【図11】実施例5、6、7及び比較例1、3の発光層の発光光度を示した測定図。

【発明を実施するための形態】

【0032】

以下、本発明の具体的な実施例について図を参照に説明するが、本発明は実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0033】

図1は、実施例1の発光素子1の構成を示した図である。発光素子1は、サファイア基板100上にAlNからなるバッファ層120を介して、III族窒化物半導体からなるn型コンタクト層101、ESD層(静電耐圧改善層)102、n型層側クラッド層(以下、「n型クラッド層」という)103、発光層104、ノンドープクラッド層105、p型層側クラッド層(以下、「p型クラッド層」という)106、p型コンタクト層107、が積層され、p型コンタクト層107上にp電極108が形成され、p型コンタクト層107側から一部領域がエッチングされて露出したn型コンタクト層101上にn電極130が形成された構造である。 30

【0034】

サファイア基板100の表面には、光取り出し効率を向上させるために凹凸加工が施されている。サファイア以外にも、SiC、ZnO、Si、GaNなどを成長基板として用いてもよい。 40

【0035】

n型コンタクト層101は、Si濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上のn-GaNである。n電極130との接触を良好とするために、n型コンタクト層101をキャリア濃度の異なる複数の層で構成してもよい。

【0036】

ESD層102は、n型コンタクト層101側から第1ESD層110と第2ESD層111との2層構造である。第1ESD層110は、ノンドープのGaNである。第1ESD層110の厚さは50~500nmである。第1ESD層110の表面110aにはピットが生じており、そのピット密度は $2 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 以上である。第2ESD層1 50



11は厚さ25~50nmのSiドープのGaNである。なお、第1ESD層110には、キャリア濃度が $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下となる範囲でSiがドープされていてもよい。

【0037】

第2ESD層111は、SiがドープされたGaNであり、Si濃度( $/ \text{cm}^3$ )と膜厚(nm)の積で定義される特性値が $0.9 \times 10^{20} \sim 3.6 \times 10^{20} (\text{nm} / \text{cm}^3)$ である。たとえば、第2ESD層111の厚さを30nmとする場合にはSi濃度は $3.0 \times 10^{18} \sim 1.2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。

【0038】

n型クラッド層103は、厚さ2.5nmのノンドープの $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 層131、厚さ0.7nmのノンドープのGaN層132、厚さ1.4nmのSiドープのn-GaN層133の3層を順に積層させたものを1単位として、この単位構造を15回繰り返し積層させた超格子構造である。ただし、n型クラッド層103は、最初に形成する層、すなわち、第2ESD層111に接する層を $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 層131とし、最後に形成する層、すなわち、発光層104に接する層をn-GaN層133としている。n型クラッド層103の全体の厚さは、69nmである。ここで、 $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 層131の厚さは、1.5nm以上、5.0nm以下とすることができる。ノンドープGaN層132の厚さは、0.3nm以上、2.5nm以下とすることができる。Siドープのn-GaN層133の厚さは、0.3nm以上、2.5nm以下とすることができる。

【0039】

発光層104(活性層ともいう)において、n型クラッド層103の側から第1区分、第2区分、第3区分と、厚さ方向に3つの区分に分ける。第1区分では、厚さ2.4nmの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層141、厚さ3.2nmの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層142、厚さ0.6nmのGaN層143、厚さ0.6nmの $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.66}\text{N}$ 層144の4層を順に積層させたものを1単位として、2単位設けられている。第2区分では、厚さ2.4nmの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層141、厚さ3.2nmの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層142、厚さ0.6nmのGaN層143、厚さ0.6nmの $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層144の4層を順に積層させたものを1単位として、3単位設けられている。第3区分では、厚さ2.4nmの $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層141、厚さ3.2nmの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層142、厚さ0.6nmのGaN層143、厚さ0.6nmの $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 層144の4層を順に積層させたものを1単位として、2単位設けられている。本実施例では、第1区分の2層の $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.66}\text{N}$ 層144、第2区分の3層の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層144、第3区分の2層の $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 層144を、それぞれ、本発明の障壁層144とした。 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層142が井戸層142である。なお、 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層141も障壁層である。 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層141を障壁層とした場合に、GaN層143とGaN層143に続く各層144は、 $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層141に対するキャップ層と言われる場合もある。しかし、各層144は $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層141に続く層であり、井戸層142よりもバンドギャップは大きく、その井戸層142に対してキャリアを閉じ込める障壁層として機能する。したがって、以下の実施例1-4においては、各層144を障壁層とした場合を説明し、以下の実施例5-8においては、各層141を障壁層とした場合について説明する。

以下において、符号144は障壁層にも用い、符号142は井戸層にも用いる。

【0040】

ただし、最初に形成する層、すなわち、n型クラッド層103に接する層を $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層141、最後に形成する層、すなわち、ノンドープクラッド層105に接する層を $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層144としている。1繰返単位の厚さは6.8nmであり、発光層104の全体の厚さは47.6nmである。発光層104の全ての層は、ノンドープである。発光層104とp型クラッド層106との間に、厚さ2.5nmのノンドープのGaN層151と厚さ3nmのノンドープの $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 152とから成るノンドープクラッド層105が設けられている。ノンドープクラッド層105は、その上層に添加されているMgが発光層104へ拡散するのを防止するための層である。

## 【0041】

p型クラッド層106は、厚さ1.7nmのp-In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層161、厚さ3.0nmのp-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層162を順に積層させたものを1単位として、この単位構造を7回繰り返し積層させた構造である。ただし、最初に形成する層、すなわち、ノンドープクラッド層105に接する層をp-In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層161とし、最後に形成する層、すなわち、p型コンタクト層107に接する層をp-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層162としている。p型クラッド層106の全体の厚さは32.9nmである。p型不純物にはMgを用いている。

## 【0042】

p型コンタクト層107は、Mgをドーブしたp-GaNである。p電極とのコンタクトを良好とするために、p型コンタクト層107をキャリア濃度の異なる複数の層で構成してもよい。

10

## 【0043】

発光素子1は、ESD層102を上記のような構成としたことで、良好な静電耐圧特性が得られ、かつ、発光効率、信頼性が向上し、電流リークが減少している。以下、ESD層102を上記のように構成した理由について説明する。まず、ESD層102では、密度 $2 \times 10^8 / \text{cm}^2$ 以上のピットを有した第1ESD層110を形成し、そのピットが形成された第1ESD層110上にSiをドーブした第2ESD層111を形成した構成としている。第1ESD層110のピットにSiが位置することにより、この位置での導電性が得られる。このような構成により良好な静電耐圧特性が得られ、第1ESD層110の厚さを50~500nmとして、静電耐圧特性、発光効率が低下せず、電流リークが増大しないピット径となるようにした。

20

## 【0044】

なお、さらに静電耐圧特性、発光効率、および信頼性を向上させ、電流リークを減少させるためには、ESD層102の構成を以下のようにすることが望ましい。第1ESD層110の厚さは50~500nm、ピット密度は $2 \times 10^8 \sim 1 \times 10^{10} / \text{cm}^2$ とすることが望ましい。また、第2ESD層111の特性値は、 $1.5 \times 10^{20} \sim 3.6 \times 10^{20} \text{nm} / \text{cm}^3$ 、厚さは25~50nmであることが望ましい。

## 【0045】

次に、発光素子1の製造方法について図2を参照に説明する。ただし、図2では、図1で示された超格子の周期構造の表示は省略されている。

30

用いた結晶成長方法は有機金属化合物気相成長法(MOCVD法)である。ここで用いられたガスは、キャリアガスは水素と窒素(H<sub>2</sub>又はN<sub>2</sub>)を用い、窒素源には、アンモニアガス(NH<sub>3</sub>)、Ga源には、トリメチルガリウム(Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>:以下「TMG」と書く。)、In源には、トリメチルインジウム(In(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>:以下「TMI」と書く。)、Al源には、トリメチルアルミニウム(Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>:以下「TMA」と書く。)、n型ドーパントガスには、シラン(SiH<sub>4</sub>)、p型ドーパントガスには、シクロペンタジエニルマグネシウム(Mg(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>:以下「CP<sub>2</sub>Mg」と書く。)を用いた。

## 【0046】

まず、サファイア基板100を水素雰囲気中で加熱してクリーニングを行い、サファイア基板100表面の付着物を除去した。その後、MOCVD法によって、基板温度を400にして、サファイア基板100上にAlNからなるパツファ層120を形成した。次に、水素ガス(キャリアガス)とアンモニアガスを流しながら基板温度を1100まで上昇させ、基板温度が1100になったら直ちに、原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用いて、Si濃度が $4.5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のGaNよりなるn形コンタクト層101を、パツファ層120上に形成した(図2(a))。

40

## 【0047】

次に、以下のようにしてESD層102を形成した。まず、n型コンタクト層101上に、MOCVD法によって厚さ50~500nmのノンドープGaNである第1ESD層110を形成した。成長温度は800~950とし、キャリア濃度 $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$

50

以下、ピット密度  $2 \times 10^8 / \text{cm}^2$  以上の結晶が得られるようにした。成長温度は  $800 \sim 900$  とするとよりピット密度が増加し好ましい。

【0048】

次に、第1ESD層110上に、MOCVD法によってSi濃度 ( $/\text{cm}^3$ ) と膜厚 (nm) の積で定義される特性値が  $0.9 \times 10^{20} \sim 3.6 \times 10^{20} (\text{nm}/\text{cm}^3)$  のSiドープのn-GaNである第2ESD層111を形成した。成長温度は  $800 \sim 950$  とした。以上の工程により、n型コンタクト層101上にESD層102を形成した(図2(b))。

【0049】

次に、ESD層102上に、MOCVD法によってn型クラッド層103を形成した。n型クラッド層103の各層である厚さ2.5nmのノンドープの  $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$  層131、厚さ0.7nmのノンドープのGaN層132、厚さ1.4nmのSiドープのn-GaN層133から成る周期構造を15周期、繰り返して形成した。 $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$  層131の形成は、基板温度を  $830$  にして、シランガス、TMG、TMI、アンモニアを供給して行った。n-GaN層133の形成は、基板温度を  $830$  にして、TMG、アンモニアを供給して行った。

【0050】

次に、n型クラッド層103の上に、発光層104を形成した。発光層104の各層である  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層141、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  層142、GaN層143、 $\text{Al}_{1-w}\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層144の4層の周期構造を7回繰り返して形成した。ただし、第1区分における障壁層144である  $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層144は、 $\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.66}\text{N}$  層144とし、層数は2である。第2区分における障壁層144である  $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層144は、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  層144とし、層数は3である。第3区分における障壁層である  $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層144は、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$  層144とし、層数は2である。障壁層144である  $\text{Al}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$  層144の成長温度は、 $800 \sim 950$  の範囲の任意の温度とし、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  層142、GaN層143及び  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層141の成長温度は、 $770$  とした。勿論、各層の成長において、各層を成長させる基板温度は、一定の  $770$  にしても良い。それぞれの原料ガスを供給して、発光層104を形成した。

【0051】

次に、発光層104の上に、基板温度を  $855$  にして、TMG、アンモニアを供給して、ノンドープのGaN層151を厚さ2.5nmに成長させ、次に、基板温度を  $855$  に保持し、TMA、TMG、アンモニアを供給して、ノンドープの  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  層152を厚さ3nmに成長させた。これにより、ノンドープクラッド層105を形成した。

【0052】

次に、ノンドープクラッド層105の上に、p型クラッド層106を形成した。基板温度を  $855$  にして、 $\text{CP}_2\text{Mg}$ 、TMI、TMG、アンモニアを供給して、p- $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層161を厚さ1.7nmに、基板温度を  $855$  にして、 $\text{CP}_2\text{Mg}$ 、TMA、TMG、アンモニアを供給して、p- $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  層162を、厚さ3.0nmに形成することを、7回繰り返して積層させた。

【0053】

次に、基板温度を  $1000$  にして、TMG、アンモニア、 $\text{CP}_2\text{Mg}$  を用いて、Mgを  $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$  ドープしたp形GaNよりなる厚さ50nmのp形コンタクト層107を形成した。このようにして、図2(c)に示す素子構造が形成された。p形コンタクト層107のMg濃度は、 $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$  の範囲で使用可能である。また、p形コンタクト層107の厚さは、 $10 \text{nm} \sim 100 \text{nm}$  の範囲としても良い。

【0054】

次に、熱処理によってMgを活性化した後、p型コンタクト層107の表面側からドライエッチングを行ってn型コンタクト層101に達する溝を形成した。そして、p型コン

10

20

30

40

50

タクト層 107 の表面に Ni / Au / Al ( p 型コンタクト層 107 の側からこの順に積層した構造 ) からなる p 電極 108、ドライエッチングによって溝底面に露出した n 型コンタクト層 101 上に Ni / Au ( n 型コンタクト層 101 側からこの順に積層させた構造 ) からなる n 電極 130 を形成した。以上によって図 1 に示す発光素子 1 が製造された。

#### 【 0055 】

図 3 は、発光素子 1 のバンド構造を示している。伝導帯において、n 型コンタクト層 101 から発光層 104 に注入される電子に関して、n 型クラッド層 103 のノンドープの  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  層 132 による電位障壁が最も高い。ところが、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  層 132 は、厚さが 0.8 nm と薄いので、この層 132 をトンネルして、発光層 104 10  
に至ることができる。また、発光層 104 では、障壁層 144 である  $Al_wGa_{1-w}N$  層 144 の Al 組成比 w は、n 型クラッド層 103 側に位置する障壁層程大きく、p 型クラッド層 106 側に位置する障壁層程小さい。そして、Al 組成比は、 $x + z = 2y$  の関係、すなわち、 $(x - y) = (y - z)$  の関係を満たしている。これは、第 2 区分の障壁層 144 の Al 組成比に対する第 1 区分の障壁層 144 の Al 組成比の偏差と、第 3 区分の障壁層 144 の Al 組成比に対する第 2 区分の障壁層 144 の Al 組成比の偏差が等しいことを意味している。すなわち、発光層 104 における障壁層 144 の Al 組成比は、第 2 区分を中心にして点対称に分布している。

#### 【 0056 】

発光層 104 と p 型クラッド層 106 の間には、p 型不純物の添加による電位障壁があるので、n 型クラッド層 103 から発光層 104 に注入された電子は、p 型クラッド層 106 の p -  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$  層 162 によりブロックされる。したがって、電子は、発光層 104 に効果的に閉じ込められる。この時、障壁層 144 の Al 組成比の厚さ方向の分布が上記したように対称分布であり、n 型クラッド層 103 に近い側が大きいので、電子を n 型クラッド層 103 に近い井戸層 142 にも蓄積することができる。 20

#### 【 0057 】

一方、価電子帯において、p 型コンタクト層 107 から p 型クラッド層 106 及びノンドープクラッド層 105 を介して発光層 104 に注入された正孔は、n 型クラッド層 103 のノンドープの  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  層 132 をトンネルすることができない。 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  層 132 の厚さは、0.8 nm であるが、正孔には、トンネルできない厚さであるので、この層 132 でブロックされる。したがって、正孔は、発光層 104 において、効果的に閉じ込められる。このため、正孔密度は、発光層 104 において一様に分布する。この結果、電子と正孔の再結合は、発光層 104 における発光領域を厚さ方向に、より一様化することができる。この結果、駆動電圧を上昇させることなく、発光効率を向上させることができる。 30

#### 【 0058 】

この構造の障壁層 144 と井戸層 142 だけに注目したバンド構造は、図 4 のようになる。発光層 104 における障壁層 144 の電位障壁は、n 型クラッド層 103 側が高くなり、p 型クラッド層 106 側が低くなる。このため、発光層 104 の第 1 区分の井戸層 142 に注入された電子は、第 1 区分における障壁層 144 の障壁の高さのために、第 2 区分の井戸層 142 には移動し難い。同様に、第 2 区分の井戸層 142 の電子は、第 2 区分の障壁層 144 の高さにより、第 3 区分の井戸層 142 には移動し難い。この結果、発光層 104 においては、井戸層 142 における電子濃度は、n 型クラッド層 103 側の方が p 型クラッド層 106 側よりも高くなる。これにより、p 型クラッド層 106 から発光層 104 に注入された正孔の一部は、発光層 104 の n 型クラッド層 103 側にも至り、その部分でも電子と再結合する。この結果、発光は、発光層 104 の厚さ方向において一様となり、発光出力及び発光効率が向上する。 40

#### 【 実施例 2 】

#### 【 0059 】

本実施例 2 は、発光層 104 における障壁層 144 の厚さを変化させたものである。 7 50

層ある障壁層 144 である  $Al_w Ga_{1-w} N$  層 144 の  $Al$  組成比  $w$  は、全て、 $0.2$  とした。第 1 区分の 2 層ある障壁層の厚さ  $a$  を  $0.48 \text{ nm}$ 、第 2 区分の 3 層ある障壁層の厚さ  $b$  を  $0.6 \text{ nm}$ 、第 3 区分の 2 層ある障壁層の厚さ  $c$  を  $0.72 \text{ nm}$  とした。すなわち、第 1 区分の障壁層 144 の厚さ  $a$ 、第 2 区分の障壁層 144 の厚さ  $b$ 、第 3 区分の障壁層 144 の厚さ  $c$  に対して、 $a + c = 2b$ 、すなわち、 $(b - a) = (c - b) = 0.12 \text{ nm}$ 、とした。すなわち、障壁層 144 の厚さは、第 2 区分の障壁層 144 の厚さを中心として、第 2 区分の障壁層 144 の厚さに対する厚さの偏差が対称となるようにした。この場合に、 $p$  型クラッド層 106 に近い障壁層 144 の厚さ  $c$  を、 $n$  型クラッド層 103 に近い障壁層 144 の厚さ  $a$  よりも厚くした。すなわち、 $a < c$  とした。他は実施例 1 と同一構造の実施例 2 に係る発光素子を製造した。発光層 104 における障壁層 144 と井戸層 142 だけ抽出してバンド構造を表現すると図 5 のようになる。

10

### 【実施例 3】

#### 【0060】

本実施例 3 は、実施例 2 と同様に、発光層 104 における障壁層 144 の厚さを変化させたものである。7 層ある障壁層 144 である  $Al_w Ga_{1-w} N$  層 144 の  $Al$  組成比  $w$  は、全て、 $0.2$  とした。第 1 区分の 2 層ある障壁層の厚さ  $a$  を  $0.72 \text{ nm}$ 、第 2 区分の 3 層ある障壁層の厚さ  $b$  を  $0.6 \text{ nm}$ 、第 3 区分の 2 層ある障壁層の厚さ  $c$  を  $0.48 \text{ nm}$  とした。すなわち、第 1 区分の障壁層 144 の厚さ  $a$ 、第 2 区分の障壁層 144 の厚さ  $b$ 、第 3 区分の障壁層 144 の厚さ  $c$  に対して、 $a + c = 2b$ 、すなわち、 $(a - b) = (b - c) = 0.12 \text{ nm}$ 、とした。すなわち、障壁層 144 の厚さは、第 2 区分の障壁層 144 の厚さを中心として、第 2 区分の障壁層 144 の厚さに対する厚さの偏差が点対称となるようにした。この場合に、実施例 3 では、実施例 2 とは逆に、 $p$  型クラッド層 106 に近い障壁層 144 の厚さ  $c$  を、 $n$  型クラッド層 103 に近い障壁層 144 の厚さ  $a$  よりも薄くした。すなわち、 $c < a$  とした。他は実施例 1 と同一構造の実施例 3 に係る発光素子を製造した。発光層 104 における障壁層 144 と井戸層 142 だけ抽出してバンド構造を表現すると図 6 のようになる。

20

障壁層 144 の厚さの分布に関しては、図 5、6 のように、発光層 104 の厚さの中央  $CL$  に対して点対称性があれば、点対称性がない場合よりも発光光度は高くなる。このような障壁層 144 の厚さの分布により発光層 104 の厚さ方向での発光光度を一様化することができるため、発光光度が向上する。

30

### 【実施例 4】

#### 【0061】

実施例 4 は、障壁層 144 の  $Al$  組成比に関して、実施例 1 の構成を用い、障壁層 144 の厚さに関して、実施例 2 の構成を用いたものである。発光層 104 の障壁層 144 に関して、第 1 区分の障壁層 144 は、厚さ  $0.48 \text{ nm}$  の  $Al_{0.33} Ga_{0.66} N$  層 144 とし、層数を 2 とした。第 2 区分の障壁層 144 は、厚さ  $0.6 \text{ nm}$  の  $Al_{0.2} Ga_{0.8} N$  層 144 とし、層数を 3 とした。第 3 区分の障壁層 144 は、厚さ  $0.72 \text{ nm}$  の  $Al_{0.07} Ga_{0.93} N$  層 144 とし、層数は 2 とした。すなわち、組成比に関して、 $x + z = 2y$ 、且つ、 $z < x$ 、厚さに関して  $a + c = 2b$ 、且つ、 $a < c$  とした。この構成の場合には、障壁層 144 は、 $n$  型クラッド層 103 に近い方において  $Al$  組成比が大きいいため、電子に対する障壁の高さが高く、 $p$  型クラッド層 106 に近い方において障壁の高さが低くなる。 $p$  型クラッド層 106 に近い方において障壁層 144 の障壁の高さが低くなることによる電子のオーバーフローを抑制するために、障壁層 144 は、 $p$  型クラッド層 106 に近い方がその厚さを厚くしている。この結果として、発光光度は、大きくなる。

40

#### 【0062】

上記実施例においては、発光層 104 における障壁層 144 の層数は、第 1 区分と第 3 区分で層数が等しいならば、任意で良い。また、障壁層 144 の  $Al$  の組成比は、 $x + z = 2y$ 、且つ、 $z < x$  の関係を満たせば任意であるが、 $1.1 < x/y < 2.2$  の時に発光光度が高い。 $x/y$  が  $1.1$  より小さくなると、発光層 104 において、 $Al$  組成比を変化させて、井戸層における電子密度を均一化する効果が低くなり望ましくない。また、

50

$x/y$ が2.2より大きくなると、井戸層の結晶性が低下するので望ましくない。したがって、上記の範囲が望ましい。

【0063】

また、障壁層144の厚さは、 $a + c = 2b$ の関係を満たすならば、その厚さの範囲は任意であるが、 $a/b$ を、 $0.7 < a/b < 0.9$ とすると、発光光度が向上する。p型クラッド層106に近い障壁層144の厚さを、n型クラッド層103に近い障壁層144の厚さより厚くする方が、逆の場合より、発光光度は大きい。しかし、両者ともに、障壁層の厚さを一定とした場合よりは、発光光度は大きい。 $a/b$ が0.9を越えると、障壁層144の幅の変化が小さくなり、電子を発光層の厚さ方向に一樣に閉じ込める効果が小さくなるので、望ましくない。 $a/b$ が0.7より小さいと、厚さの厚い障壁層を越える井戸層へ移動する電子が少なくなり、発光層の厚さ方向における発光領域の均一化を阻害することになる。したがって、 $a/b$ は、上記の範囲が望ましい。

10

【実施例5】

【0064】

本実施例は、実施例1において、発光層104におけるAl組成比を変化させる層を、障壁層141とした例である。実施例1と同様に、発光層104（活性層ともいう）において、n型クラッド層103の側から第1区分、第2区分、第3区分と、厚さ方向に3つの区分に分ける。第1区分では、厚さ2.4nmの $Al_{0.083}Ga_{0.917}N$ 層141、厚さ3.2nmの $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層142、厚さ0.6nmのGa<sub>0.8</sub>N層143、厚さ0.6nmの $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層144の4層を順に積層させたものを1単位として、2単位設けられている。第2区分では、厚さ2.4nmの $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層141、厚さ3.2nmの $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層142、厚さ0.6nmのGa<sub>0.8</sub>N層143、厚さ0.6nmの $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層144の4層を順に積層させたものを1単位として、3単位設けられている。第3区分では、厚さ2.4nmの $Al_{0.017}Ga_{0.983}N$ 層141、厚さ3.2nmの $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層142、厚さ0.6nmのGa<sub>0.8</sub>N層143、厚さ0.6nmの $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層144の4層を順に積層させたものを1単位として、2単位設けられている。第1区分の2層の $Al_{0.083}Ga_{0.917}N$ 層141、第2区分の3層の $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層141、第3区分の2層の $Al_{0.017}Ga_{0.983}N$ 層141が、それぞれ、本発明の障壁層141であり、 $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層142が井戸層142である。以下において、符号141は障壁層にも用い、符号142は井戸層にも用いる。

20

30

【0065】

ただし、最初に形成する層、すなわち、n型クラッド層103に接する層を $Al_{0.083}Ga_{0.917}N$ 層141、最後に形成する層、すなわち、ノンドープクラッド層105に接する層を $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層144としている。1繰返単位の厚さは6.8nmであり、発光層104の全体の厚さは47.6nmである。発光層104の全ての層は、ノンドープである。発光層104以外の他の層の構成及び製造方法は、実施例1と同一である。

【0066】

ただし、発光層104の製法において、第1区分における障壁層141である $Al_wGa_{1-w}N$ 層141は、厚さ2.4nmの $Al_{0.083}Ga_{0.917}N$ 層141とし、層数は2である。第2区分における障壁層141である $Al_wGa_{1-w}N$ 層141は、厚さ2.4nmの $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ 層141とし、層数は3である。第3区分における障壁層である $Al_wGa_{1-w}N$ 層141は、厚さ2.4nmの $Al_{0.017}Ga_{0.983}N$ 層141、とし、層数は2である。そして、障壁層141である $Al_wGa_{1-w}N$ 層141の成長温度は、800~950の範囲の任意の温度とし、 $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層142、Ga<sub>0.8</sub>N層143及び $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層144の成長温度は、770とした。勿論、各層の成長において、各層を成長させる基板温度は、一定の770にしても良い。それぞれの原料ガスを供給して、発光層104を形成した。

40

【0067】

図7は、発光素子1のバンド構造を示している。伝導帯において、n型コンタクト層1

50

01から発光層104に注入される電子に関して、n型クラッド層103のノンドープの $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層132による電位障壁が最も高い。ところが、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層132は、厚さが0.8nmと薄いので、この層132をトンネルして、発光層104に至ることができる。また、発光層104では、障壁層141である $Al_wGa_{1-w}N$ 層141のAl組成比wは、n型クラッド層103側に位置する障壁層程大きく、p型クラッド層106側に位置する障壁層程小さい。そして、Al組成比は、 $x+z=2y$ の関係、すなわち、 $(x-y)=(y-z)$ の関係を満たしている。これは、第2区分の障壁層141のAl組成比に対する第1区分の障壁層141のAl組成比の偏差と、第3区分の障壁層141のAl組成比に対する第2区分の障壁層141のAl組成比の偏差が等しいことを意味している。すなわち、発光層104における障壁層141のAl組成比は、第2区分を中心にして点対称に分布している。

10

## 【0068】

発光層104とp型クラッド層106の間には、p型不純物の添加による電位障壁があるので、n型クラッド層103から発光層104に注入された電子は、p型クラッド層106のp- $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$ 層162によりブロックされる。したがって、電子は、発光層104に効果的に閉じ込められる。この時、障壁層141のAl組成比の厚さ方向の分布が上記したように対称分布であり、n型クラッド層103に近い側が大きいので、電子をn型クラッド層103に近い井戸層142にも蓄積することができる。

## 【0069】

一方、価電子帯において、p型コンタクト層107からp型クラッド層106及びノンドープクラッド層105を介して発光層104に注入された正孔は、n型クラッド層103のノンドープの $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層132をトンネルすることができない。 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層132の厚さは、0.8nmであるが、正孔には、トンネルできない厚さであるので、この層132でブロックされる。したがって、正孔は、発光層104において、効果的に閉じ込められる。このため、正孔密度は、発光層104において一様に分布する。この結果、電子と正孔の再結合は、発光層104における発光領域を厚さ方向に、より一様化することができる。この結果、駆動電圧を上昇させることなく、発光効率を向上させることができる。

20

## 【0070】

この構造の障壁層141と井戸層142だけに注目したバンド構造は、図8のようになる。発光層104における障壁層141の電位障壁は、n型クラッド層103側が高くなり、p型クラッド層106側が低くなる。このため、発光層104の第1区分の井戸層142に注入された電子は、第1区分における障壁層141の障壁の高さのために、第2区分の井戸層142には移動し難い。同様に、第2区分の井戸層142の電子は、第2区分の障壁層141の高さにより、第3区分の井戸層142には移動し難い。この結果、発光層104においては、井戸層142における電子濃度は、n型クラッド層103側の方がp型クラッド層106側よりも高くなる。これにより、p型クラッド層106から発光層104に注入された正孔の一部は、発光層104のn型クラッド層103側にも至り、その部分でも電子と再結合する。この結果、発光は、発光層104の厚さ方向において一様となり、発光出力及び発光効率が向上する。

30

40

## 【0071】

発光出力の測定図を図11に示す。発光層104の上記の単位を7単位として、全体で7層の障壁層である $Al_wGa_{1-w}N$ 層141のAl組成比wを、全て、上記の第2区分における障壁層のAl組成比0.05とした発光素子を比較例1として製造した。また、障壁層である $Al_wGa_{1-w}N$ 層141のAl組成比wについて、第1区分では0.017、第2区分では0.05、第3区分では0.083とした比較例2の発光素子を製造した。すなわち、比較例2では、発光層104における障壁層141のAl組成比について、発光層104の厚さの midpoint において点対称性はあるが、Al組成比wをn型クラッド層103に近い側を小さく、p型クラッド層106に近い側を大きくした。図11は、比較例1の光度を1として、規格化した相対光度である。図11から理解されるように、比較

50

例 2 では 0.975 と小さく、実施例 1 では 1.01 と大きい。すなわち、実施例 5 の障壁層 141 における Al 組成比の点対称性及び分布は、均一分布（比較例 1）や、実施例 5 と逆の分布（比較例 2）よりも、発光光度が大きいことが分かる。

【0072】

実施例 1 は、障壁層 144 について、実施例 5 と同一に、Al 組成比を変化させたものであるが、層 141 と層 144 のバンドギャップは、共に、井戸層 142 のバンドギャップよりも大きい。したがって、層 141 と層 144 は、共に、井戸層 142 に対してキャリアの閉じ込めのための障壁層として機能する。よって、図 11 の測定結果から、実施例 1 の場合においても、実施例 5 と同一の効果が見られるものと見做される。

【実施例 6】

【0073】

本実施例 6 は、発光層 104 における障壁層 141 の厚さを変化させたものである。7 層ある障壁層 141 である  $Al_w Ga_{1-w} N$  層 141 の Al 組成比  $w$  は、全て、0.05 とした。第 1 区分の 2 層ある障壁層 141 の厚さ  $a$  を 2.0 nm、第 2 区分の 3 層ある障壁層 141 の厚さ  $b$  を 2.4 nm、第 3 区分の 2 層ある障壁層 141 の厚さ  $c$  を 2.8 nm とした。すなわち、第 1 区分の障壁層 141 の厚さ  $a$ 、第 2 区分の障壁層 141 の厚さ  $b$ 、第 3 区分の障壁層 141 の厚さ  $c$  に対して、 $a + c = 2b$ 、すなわち、 $(b - a) = (c - b) = 0.4$  nm、とした。すなわち、障壁層 141 の厚さは、第 2 区分の障壁層 141 の厚さを中心として、第 2 区分の障壁層 141 の厚さに対する厚さの偏差が対称となるようにした。この場合に、p 型クラッド層 106 に近い障壁層 141 の厚さ  $c$  を、n 型クラッド層 103 に近い障壁層 141 の厚さ  $a$  よりも厚くした。すなわち、 $a < c$  とした。他は実施例 5 と同一構造の実施例 6 に係る発光素子を製造した。発光層 104 における障壁層 141 と井戸層 142 だけを抽出してバンド構造を表現すると図 9 のようになる。

【0074】

発光光度を図 11 に示す。この実施例 6 の発光素子の発光光度は、1.018 と比較例 1 よりも大きいことが分かる。同様に、この測定結果から、実施例 2 の障壁層 144 について、実施例 6 と同様な厚さの分布をさせた場合にも、同一の効果を奏するものと見做される。

【実施例 7】

【0075】

本実施例 7 は、実施例 6 と同様に、発光層 104 における障壁層 141 の厚さを変化させたものである。7 層ある障壁層 141 である  $Al_w Ga_{1-w} N$  層 141 の Al 組成比  $w$  は、全て、0.05 とした。第 1 区分の 2 層ある障壁層 141 の厚さ  $a$  を 2.8 nm、第 2 区分の 3 層ある障壁層 141 の厚さ  $b$  を 2.4 nm、第 3 区分の 2 層ある障壁層 141 の厚さ  $c$  を 2.0 nm とした。すなわち、第 1 区分の障壁層 141 の厚さ  $a$ 、第 2 区分の障壁層 141 の厚さ  $b$ 、第 3 区分の障壁層 141 の厚さ  $c$  に対して、 $a + c = 2b$ 、すなわち、 $(a - b) = (b - c) = 0.4$  nm、とした。すなわち、障壁層 141 の厚さは、第 2 区分の障壁層 141 の厚さを中心として、第 2 区分の障壁層 141 の厚さに対する厚さの偏差が点対称となるようにした。この場合に、実施例 7 では、実施例 6 とは逆に、p 型クラッド層 106 に近い障壁層 141 の厚さ  $c$  を、n 型クラッド層 103 に近い障壁層 141 の厚さ  $a$  よりも薄くした。すなわち、 $c < a$  とした。他は実施例 5 と同一構造の実施例 7 に係る発光素子を製造した。発光層 104 における障壁層 141 と井戸層 142 だけを抽出してバンド構造を表現すると図 10 のようになる。

【0076】

発光光度を図 11 に示す。この実施例 7 の発光素子の発光光度は、1.01 と比較例 1 よりも大きいことが分かる。同様に、この測定結果から、実施例 3 の障壁層 144 について、実施例 7 と同様な厚さの分布をさせた場合にも、同一の効果を奏するものと見做される。

【0077】

10

20

30

40

50



以上のことから、障壁層 141 の厚さの分布に関しては、図 9、10 のように、発光層 104 の厚さの中央 CL に対して点対称性があれば、点対称性がない場合（比較例 1）よりも発光光度は高いことが分かる。このような障壁層 141 の厚さの分布により発光層 104 の厚さ方向での発光光度を一様化することができるため、発光光度が向上する。

【実施例 8】

【0078】

実施例 8 は、障壁層 141 の Al 組成比に関して、実施例 5 の構成を用い、障壁層 141 の厚さに関して、実施例 6 の構成を用いたものである。発光層 104 の障壁層 141 に関して、第 1 区分の障壁層 141 は、厚さ 2.0 nm の  $Al_{0.083}Ga_{0.917}N$  層 141 とし、層数を 2 とした。第 2 区分の障壁層 141 は、厚さ 2.4 nm の  $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$  層 141 とし、層数を 3 とした。第 3 区分の障壁層 141 は、厚さ 2.8 nm の  $Al_{0.017}Ga_{0.983}N$  層 141 とし、層数は 2 とした。すなわち、組成比に関して、 $x + z = 2y$ 、且つ、 $z < x$ 、厚さに関して  $a + c = 2b$ 、且つ、 $a < c$  とした。この構成の場合には、障壁層 141 は、n 型クラッド層 103 に近い方において Al 組成比が大きいため、電子に対する障壁の高さが高く、p 型クラッド層 106 に近い方において障壁の高さが低くなる。p 型クラッド層 106 に近い方において障壁層 141 の障壁の高さが低くなることによる電子のオーバーフローを抑制するために、障壁層 141 は、p 型クラッド層 106 に近い方がその厚さを厚くしている。この結果として、発光光度は、大きくなる。

【0079】

上記全実施例 5 - 8 においては、発光層 104 における障壁層 141 の層数は、第 1 区分と第 3 区分で層数が等しいならば、任意で良い。また、障壁層 141 の Al の組成比は、 $x + z = 2y$ 、且つ、 $z < x$  の関係を満たせば任意であるが、 $1.1 < x/y < 2.2$  の時に発光光度が高い。 $x/y$  が 1.1 より小さくなると、発光層 104 において、Al 組成比を変化させて、井戸層における電子密度を均一化する効果が低くなり望ましくない。また、 $x/y$  が 2.2 より大きくなると、井戸層の結晶性が低下するので望ましくない。したがって、上記の範囲が望ましい。

【0080】

また、障壁層 141 の厚さは、 $a + c = 2b$  の関係を満たすならば、その厚さの範囲は任意であるが、 $a/b$  を、 $0.7 < a/b < 0.9$  とすると、発光光度が向上する。p 型クラッド層 106 に近い障壁層 141 の厚さを、n 型クラッド層 103 に近い障壁層 141 の厚さより厚くする方が、逆の場合より、発光光度は大きい。しかし、両者ともに、障壁層の厚さを一定とした場合よりは、発光光度は大きい。 $a/b$  が 0.9 を越えると、障壁層 141 の幅の変化が小さくなり、電子を発光層の厚さ方向に一様に閉じ込める効果が小さくなるので、望ましくない。 $a/b$  が 0.7 より小さいと、厚さの厚い障壁層を越える井戸層へ移動する電子が少なくなり、発光層の厚さ方向における発光領域の均一化を阻害することになる。したがって、 $a/b$  は、上記の範囲が望ましい。

【0081】

上記全実施例 1 - 8 において、n 型クラッド層 103 は、n 型コンタクト層 101 の側から、ノンドープの  $In_{0.08}Ga_{0.92}N$  層 131、ノンドープの GaN 層 132、Si ドープの n - GaN 層 133 の周期構造としたが、配列に関して、 $In_{0.08}Ga_{0.92}N$  層、Si ドープの n - GaN 層、ノンドープの GaN 層としても良く、Si ドープの n - GaN 層、ノンドープの GaN 層、 $In_{0.08}Ga_{0.92}N$  層としても良く、Si ドープの n - GaN 層、 $In_{0.08}Ga_{0.92}N$  層、ノンドープの GaN 層としても良い。また、 $In_{0.08}Ga_{0.92}N$  層 131 にも、Si をドープして、n 型層としても良いし、GaN 層 133 をノンドープとしても良い。また、Si ドープの n - GaN 層 133 に代えて、Si ドープの  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  層 133 としても良いし、その  $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$  層 133 はノンドープであっても良い。

【0082】

n 型クラッド層 103 は、15 周期としたが、この周期数は、任意である。例えば、一例であるが、3 以上、30 周期以下の範囲とすることができる。また、ノンドープの Ga

10

20

30

40

50

N層132の厚さは、0.3nm以上、2.5nm以下とすることができる。SiドープのGa<sub>0.98</sub>N層133の厚さは、0.3nm以上、2.5nm以下とすることができる。In<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N層131の厚さは、1.5nm以上、5.0nm以下とすることができる。

【0083】

層132として、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層132を用いた場合には、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層132の組成比xは、0.05以上、1より小さくすることができる。望ましくは、0.1以上、0.8以下である。さらに、望ましくは、0.2以上、0.6以下である。Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層132をAlNとした場合には、厚さは、0.3nm程度でも、電子をトンネルさせ、正孔をトンネルさせないようにすることができる。また、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層132をAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nとした場合には、その層132の厚さは2.5nm程度は必要である。したがって、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層132の厚さは、0.3nm以上、2.5nm以下とすることができる。p型クラッド層106の周期構造の一つの層には、p-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層162を用いているので、n型クラッド層103のAl<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層132のAlの組成比xは、0.15以上とするのが望ましい。

10

【産業上の利用可能性】

【0084】

本発明は、III族窒化物半導体発光素子において、駆動電圧を上昇させることなく、発光効率を向上させるのに用いることができる。

【符号の説明】

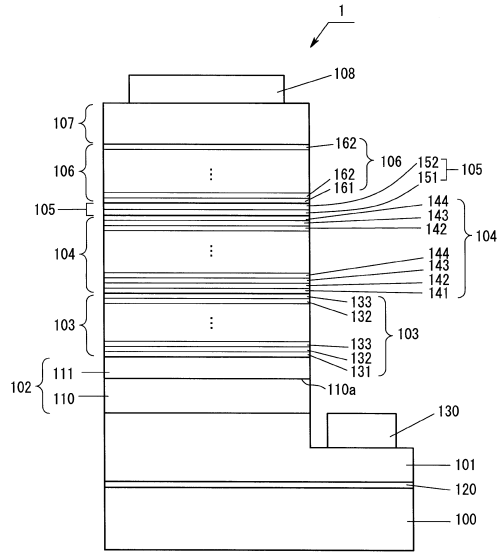
20

【0085】

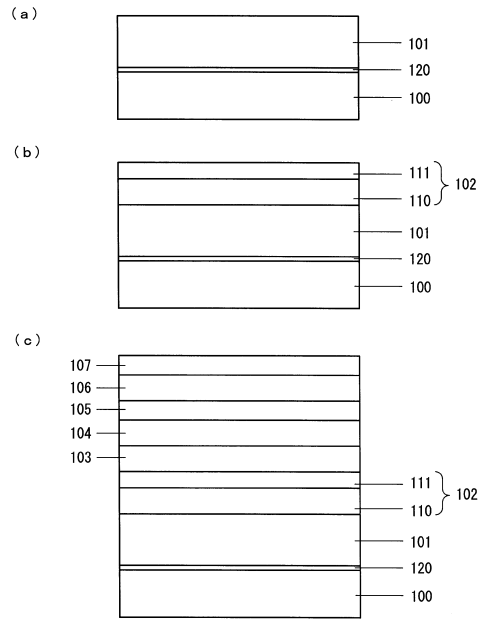
- 100：サファイア基板
- 101：n型コンタクト層
- 102：ESD層
- 103：n型クラッド層
- 104：発光層
- 105：ノンドープクラッド層
- 106：p型クラッド層
- 107：p型コンタクト層
- 108：p電極
- 130：n電極
- 110：第1ESD層
- 111：第2ESD層
- 120：バッファ層
- 131：In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N層
- 132：Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N層
- 133：Ga<sub>0.98</sub>N層

30

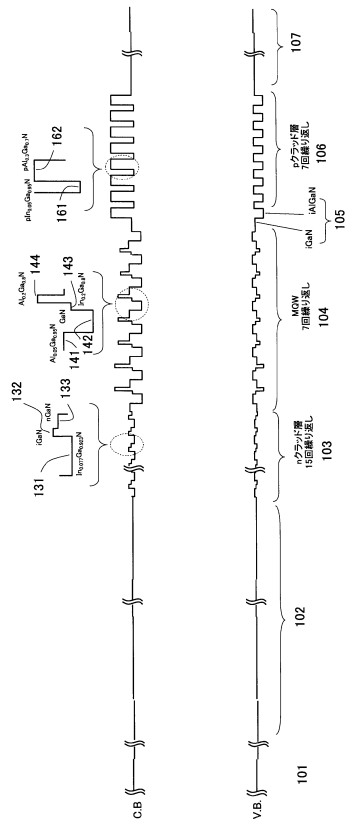
【 図 1 】



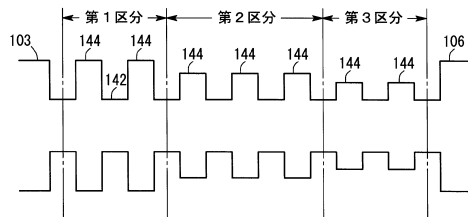
【 図 2 】



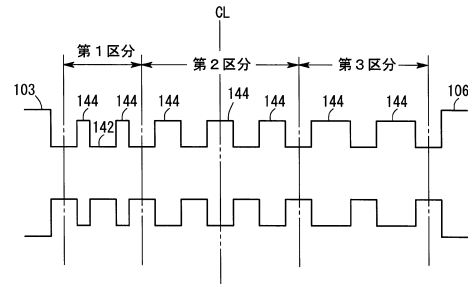
【 図 3 】



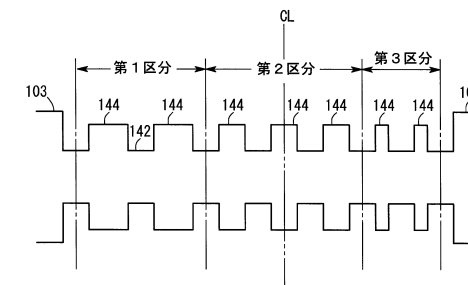
【 図 4 】



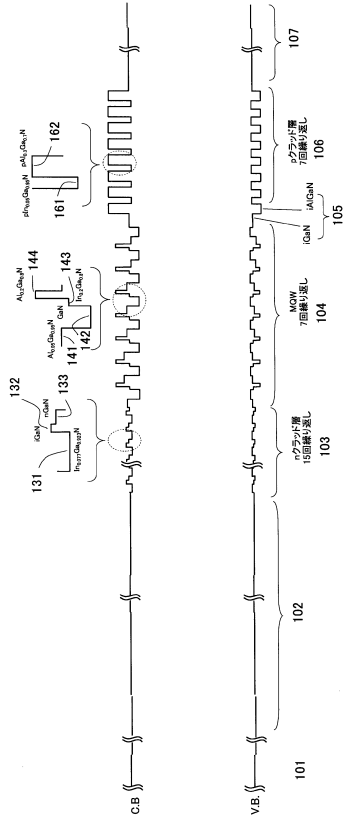
【 図 5 】



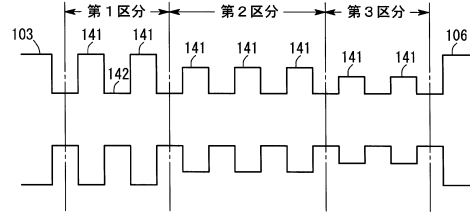
【 図 6 】



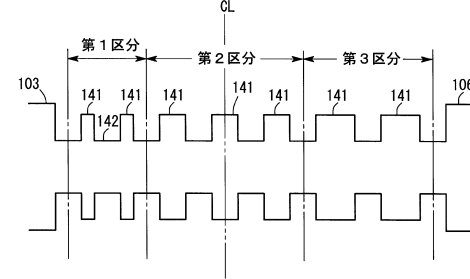
【図7】



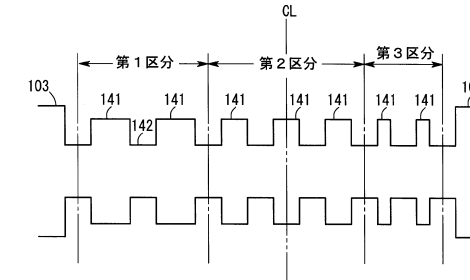
【図8】



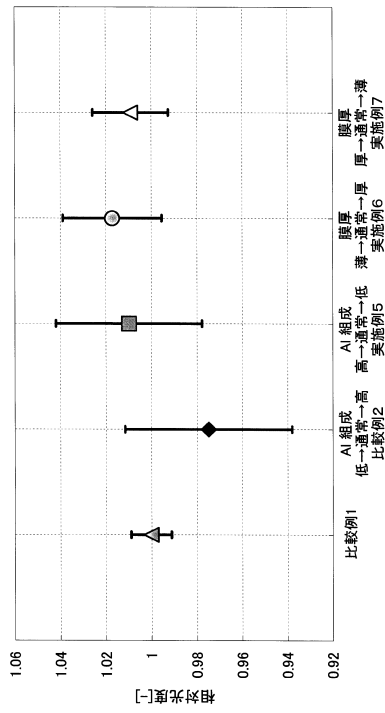
【図9】



【図10】



【図11】



---

フロントページの続き

審査官 金高 敏康

- (56)参考文献 特開2001-237457(JP,A)  
特開2003-031902(JP,A)  
特開2006-332365(JP,A)  
特開2008-103711(JP,A)  
特開2009-152552(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64