

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-34851

(P2008-34851A)

(43) 公開日 平成20年2月14日(2008.2.14)

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

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2007-195432 (P2007-195432) (22) 出願日 平成19年7月27日 (2007.7.27) (31) 優先権主張番号 102006034820.6 (32) 優先日 平成18年7月27日 (2006.7.27) (33) 優先権主張国 ドイツ (DE) (31) 優先権主張番号 102006046237.8 (32) 優先日 平成18年9月29日 (2006.9.29) (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)	(71) 出願人 599133716 オスラム オプト セミコンダクターズ ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテ ル ハフツング Osram Opto Semicond uctors GmbH ドイツ連邦共和国 レーゲンスブルク ヴ ェルナーヴェルクシュトラッセ 2 Wernerwerkstrasse 2 , D-93049 Regensbur g, Germany (74) 代理人 100061815 弁理士 矢野 敏雄 (74) 代理人 100094798 弁理士 山崎 利臣 最終頁に続く
---	---

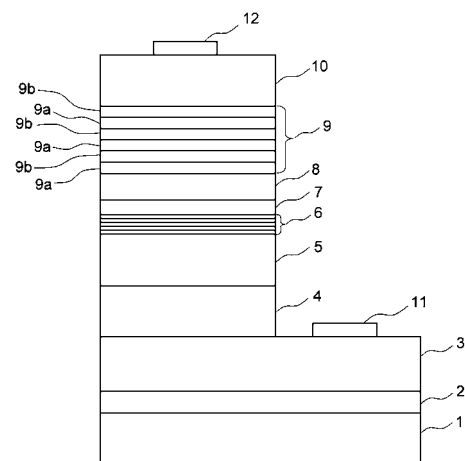
(54) 【発明の名称】 超格子を有する半導体層構造

## (57) 【要約】

【課題】電気特性および光学特性が改善された超格子を有する半導体層構造を提供すること、およびこのような半導体層構造を有するオプトエレクトロニクスデバイスを提供すること。

【解決手段】超格子内の異なるタイプの隣接する層は、少なくとも1つの元素の組成において異なり、超格子内で、同じタイプの少なくとも2つの層は少なくとも1つの元素の異なる含有量を有しており、該少なくとも1つの元素の含有量は超格子の層内で勾配状であり、超格子の層は所定の濃度でドーピング材料を含んでおり、当該超格子は、異なるドーピング材料でドーピングされた層を有している半導体層構造、およびこのような半導体層構造を有するオプトエレクトロニクスデバイス。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

半導体層構造であって、

該半導体層構造は超格子(9)を有しており、該超格子は、第1のタイプ(a)と少なくとも1つの第2のタイプ(b)の積み重ねられた層(9a, 9b)から成り、

・前記第1のタイプ(a)と少なくとも1つの第2のタイプ(b)の層(9a, 9b)はIII-V族化合物半導体であり、

・超格子(9)内の異なるタイプの隣接する層は、少なくとも1つの元素の組成において異なっており、

・超格子(9)内で、同じタイプの少なくとも2つの層は、少なくとも1つの元素の異なる含有量( $C_{A1}$ ,  $C_{In}$ )を有しており、

・該少なくとも1つの元素の含有量( $C_{A1}$ ,  $C_{In}$ )は、超格子(9)の層(9a, 9b)内で勾配状であり、

・超格子(9)の層(9a, 9b)は所定の濃度でドーピング材料を含んでおり、当該超格子(9)は、異なるドーピング材料でドーパされた層(9a, 9b)を有している、ことを特徴とする半導体層構造。

10

## 【請求項 2】

前記超格子(9)は、交互に積み重ねられた $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 層及び $In_wAl_zGa_{1-w-z}N$ 層を有しており、式中 $0 < x, y, w, z < 1$ 及び $x + y < 1$ および $w + z < 1$ である、請求項1記載の半導体層構造。

20

## 【請求項 3】

前記超格子(9)は、交互に積み重ねられた $In_xAl_yGa_{1-x-y}P$ 層及び $In_wAl_zGa_{1-w-z}P$ 層を有しており、式中 $0 < x, y, w, z < 1$ であるか、または交互に積層された $In_xAl_yGa_{1-x-y}As$ 層及び $In_wAl_zGa_{1-w-z}As$ 層を有しており、式中 $0 < x, y, w, z < 1$ 及び $x + y < 1$ 及び $w + z < 1$ である、請求項1記載の半導体層構造。

## 【請求項 4】

前記超格子(9)の個々の層に半導体層構造内の垂直位置(z)が割り当てられており、層内の前記少なくとも1つの元素の含有量( $C_{A1}$ ,  $C_{In}$ )は、所定のように、半導体層構造内の自身の垂直位置(z)に依存している、請求項1から3までのいずれか1項記載の半導体層構造。

30

## 【請求項 5】

前記垂直位置(z)に対する少なくとも1つの元素の含有量( $C_{A1}$ ,  $C_{In}$ )の依存性は、超格子(9)の全ての層(9a, 9b)に対して、共通の関数によって設定されている、請求項4記載の半導体層構造。

## 【請求項 6】

前記垂直位置(z)に対する少なくとも1つの元素の含有量( $C_{A1}$ ,  $C_{In}$ )の依存性は、第1のタイプ(a)の層(9a)に対しては第1の関数によって設定されており、少なくとも1つの第2のタイプ(b)の層(9b)に対しては少なくとも1つの第2の関数によって定められている、請求項4記載の半導体層構造。

40

## 【請求項 7】

前記第1の関数および/または少なくとも1つの第2の関数および/または共通の関数は、階段関数または単調増加関数/減少関数または一次関数または多項式関数または指数関数または対数関数または周期関数またはこれらの関数を重ね合わせたものであるか、またはこれらの関数の一部を有している、請求項5または6記載の半導体層構造。

## 【請求項 8】

前記少なくとも1つの元素の含有量( $C_{A1}$ ,  $C_{In}$ )は、超格子(9)の1つの層(9a, 9b)内で一定である、請求項1から7までのいずれか1項記載の半導体層構造。

## 【請求項 9】

全ての層(9a, 9b)は同じ厚さを有している、請求項1から8までのいずれか1項

50

記載の半導体層構造。

【請求項 10】

異なるタイプ ( a 、 b ) の層 ( 9 a 、 9 b ) は異なる厚さを有している、請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項記載の半導体層構造。

【請求項 11】

請求項 1 から 10 までのいずれか 1 項に記載された半導体層構造を有している、ことを特徴とするオプトエレクトロニクスデバイス。

【請求項 12】

光学活性層 ( 6 ) を有しており、同じタイプの少なくとも 2 つの層において含有量 (  $C_{A1}$  ) が異なっている少なくとも 1 つの元素は A1 であり、半導体層構造の超格子 ( 9 ) 内の A1 含有量 (  $C_{A1}$  ) は、当該光学活性層 ( 6 ) からの距離が増すとともに上昇する、請求項 11 記載のオプトエレクトロニクスデバイス。

10

【請求項 13】

光学活性層 ( 6 ) を有しており、同じタイプの少なくとも 2 つの層において含有量 (  $C_{A1}$  ) が異なっている少なくとも 1 つの元素は A1 であり、半導体層構造の超格子 ( 9 ) 内の A1 含有量 (  $C_{A1}$  ) は、当該光学活性層 ( 6 ) からの距離が増すとともに低下する、請求項 11 記載のオプトエレクトロニクスデバイス。

【請求項 14】

発光ダイオードである、請求項 11 から 13 までのいずれか 1 項記載のオプトエレクトロニクスデバイス。

20

【請求項 15】

レーザーダイオードである、請求項 11 から 13 までのいずれか 1 項記載のオプトエレクトロニクスデバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本特許出願は、ドイツ連邦共和国特許出願第 10 2006 034 820 . 6 号および第 10 2006 046 237 . 8 号の優先権を主張するものであり、これらの文献の開示内容は参照により本明細書に含まれる。

【0002】

本発明は、第 1 のタイプの積層された層および少なくとも 1 つの第 2 のタイプの積層された層から成る超格子を有する半導体層構造に関する。ここで第 1 のタイプの層および少なくとも 1 つの第 2 のタイプの層は III - V 族化合物半導体であり、超格子内の、タイプが異なる隣接している層は少なくとも 1 つの元素の組成において異なっている。本発明はさらに、このような半導体層構造を有するオプトエレクトロニクスデバイスに関する。

30

【0003】

1 つの組成の材料だけから成る、同じ厚さを有する層と比較すると、異なるタイプの積層された層を備えた超格子は異なる、電気特性、光学特性およびエピタキシャル特性を有する。特に、組成及びドーピングが適切な場合には、交互に積層された、p - ドープされた窒化ガリウム ( GaN ) 層と p - ドープされた窒化アルミニウムガリウム ( AlGaN ) 層からなる超格子は、同じ厚さを有する、p - ドープされた単純な GaN 層または AlGaN 層よりも高い導電性を有する。このような特性の故に、超格子は電子デバイス及びオプトエレクトロニクスデバイスにおいて多用されている。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の課題は、電気特性および光学特性が改善された、冒頭に記載した形式の超格子を有する半導体層構造を提供することである。本発明のさらなる課題は、このような半導体層構造を有するオプトエレクトロニクスデバイスを提供することである。

【課題を解決するための手段】

50

## 【 0 0 0 5 】

上述の課題は、請求項 1 に相応して、冒頭に記載した形式の半導体層構造によって解決される。ここでは超格子内で同じタイプの少なくとも 2 つの層は少なくとも 1 つの元素の異なる含有量を有しており、少なくとも 1 つの元素の含有量は超格子の層内で勾配状であり、超格子の層は所定の濃度でドーピング材料を含んでいる。ここで超格子は、異なるドーピング材料でドーピングされた層を有している。

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 0 6 】

本発明では、少なくとも 1 つの元素の含有量は、同じタイプの 2 つの層において異なっている。ここでこの元素によって、異なるタイプの隣接する層が組成において異なっている。少なくとも 1 つの元素の含有量は超格子の層内で勾配状であり、超格子の層は所定の濃度でドーピング材料を含んでいる。ここで超格子は、異なるドーピング材料でドーピングされた層を有している。

10

## 【 0 0 0 7 】

このようにして前記超格子の電気特性、光学特性及びエピタキシャル特性をできる限り、所与の要求に適合させることができる。これは殊に、超格子が適合されるエピタキシャル周囲条件に対してあてはまる。超格子に対する所与の要求はしばしば、超格子の全厚みにわたって異なる。なぜなら、例えばこれらの要求に影響を与える電界強度または光学場強度等の物理的な量も同じように、超格子の厚さにわたって一定ではないからである。

## 【 0 0 0 8 】

20

例えば 1 つのタイプの層内の組成は、屈折率、ひいては光学的導波 (Wellenfuehrung) にも、バンドギャップの寸法、ひいては光学的吸収損失にも、格子構造および / または格子定数、ひいては超格子が接している層に及ぼす歪み (Verspannungen) にも影響を与える。ここで元素の含有量に対するこれらの量の依存性は、超格子の所望の特性に関して例えば次のように対抗している。すなわち、高い含有量は超格子を通る導波に有利に影響を与える、および / または有利には光学的吸収損失を低減させるが、欠点として、接している層の歪みを高めてしまう。

## 【 0 0 0 9 】

1 つのタイプの全ての層に対して組成が等しい場合には、せいぜい、可能な利点の間での妥協と甘受されるべき欠点が生じるくらいである。これとは異なり、層タイプ内で変化する組成、少なくとも 1 つの元素の勾配状含有量および異なるドーピング材料によって、超格子に対する空間的に異なる要求が考慮され、例えば、接している層への歪みに関して深く関与している超格子の縁部領域の層に対しては、超格子の中央領域内の層とは異なる組成および / または異なるドーピング材料が設定される。これらの中央領域内の層は、中央領域が空間的により大きく伸張するので、導波に対して深く関与している。

30

## 【 0 0 1 0 】

基本的に超格子とは周期性を有する構造のことであり、その周期の長さは使用された材料の格子定数よりも長い。本願では、次のような積層された層の列を超格子とする。すなわち、層の間の境界面に対して垂直な方向で (例えば層の成長方向で)、異なるタイプの少なくとも 2 つの層を含む積層順序が繰り返される層列である。このような超格子は例えば、異なるタイプの交互に積層された層の列によって得られる。ここで「交互」とは、2 つまたはそれ以上の数の層が交互に現れることである。この場合、前記の繰り返される積層順序内では、1 つのタイプは 1 つの層よりも多くの層で出現することができる。この種の超格子の例は、次の層列によって表される: 「a b | a b | a b | ...」、 「a b c | a b c | a b c | ...」、 「a b c b | a b c b | ...」及び「a b a b a b a b c | a b a b a b a b c | ...」、その際、a、b 及び c はそれぞれ 1 つのタイプの層を表し、繰り返される積層順序は区切記号「|」によって明示されている。

40

## 【 0 0 1 1 】

本発明の範囲内で、1 つの層の組成は、層内に含有されている元素並びに前記元素の名目上 (すなわち成長プロセスの間又はその後の成分観察の精度の範囲内で) の化学量論に

50

よって定義され、この場合に、ドーピング材料と不純物は考慮されない。この化学量論は、層内の個々の元素の含有量（割合）によって表される。本発明の範囲内で、1つの層の元素の数に関して制限はない。超格子の層は例えば元素状（すなわち、1つの元素だけからなる）であるか、又は二成分、三成分、四成分等であってもよい。

#### 【0012】

層のタイプは層の組成によってあらわされるが、1つのタイプの全ての層が同じ組成を有しているとは限らない。1つのタイプの層の組成を、超格子内で予め定められたように変えることができる。例えば1つのタイプの層の1つの元素の濃度を、このタイプの層を追って増大させることによって組成を変えることができる。しかし、超格子内の異なるタイプの隣接する層は、少なくとも1つの元素の組成において異なる。

10

#### 【0013】

半導体層構造の有利な構成では、超格子は交互に積層された  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  層と  $\text{In}_w\text{Al}_z\text{Ga}_{1-w-z}\text{N}$  層を有する。式中  $0 < x, y, w, z < 1$ 、及び  $x + y < 1$  及び  $w + z < 1$  である。または超格子は交互に積層された  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$  層と  $\text{In}_w\text{Al}_z\text{Ga}_{1-w-z}\text{P}$  層を有する。式中  $0 < x, y, w, z < 1$  及び  $x + y < 1$  及び  $w + z < 1$  である。または超格子は交互に積層された  $\text{In}_x\text{Al}_z\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}$  層と  $\text{In}_w\text{Al}_z\text{Ga}_{1-w-z}\text{As}$  層を有する。式中  $0 < x, y, w, z < 1$  及び  $x + y < 1$  及び  $w + z < 1$  である。このような材料システムは一方では技術的に非常に重要であり、他方ではこのシステムにおいて、超格子を使用することによって、殊に正孔伝導の有利な伝導性上昇が観察される。

20

#### 【0014】

半導体層構造の別の有利な構成では、超格子の個々の層に半導体層構造内の垂直な位置が割り当てられ、層内の少なくとも1つの元素の含有量は予め定められているように、半導体層構造内での自身の垂直な位置に依存する。このように超格子およびその特性を可能な限り、超格子に対する空間的に異なっている要求に適合させることができる。

#### 【0015】

別の有利な構成では、垂直な位置に対する少なくとも1つの元素の含有量の依存性は全ての層に対して1つの共通の関数によって定められているか、または第1のタイプの層に対しては第1の関数によって定められており、第2のタイプの層に対しては少なくとも1つの第2の関数によって定められている。ここで特に有利には、この第1の関数および / または少なくとも1つの第2の関数および / または共通の関数は、階段関数または単調増加関数 / 減少関数または一次関数または多項式関数または冪関数または指数関数または対数関数または周期関数またはこれらの関数を重ね合わせたものであるか、またはこれらの関数の一部を有している。

30

#### 【0016】

別の有利な構成では、超格子の全ての層は同じ厚さを有している。別の有利な構成では異なるタイプの層は異なる厚さを有している。

#### 【0017】

前述の課題はさらに、上述した形式の半導体層構造を有しているオプトエレクトロニクスデバイスによって解決される。ここでこのオプトエレクトロニクスデバイス内では超格子の特定の特性に対する要求はしばしば空間的に一定ではない。超格子内で層のタイプが同じ場合には異なる組成を有する半導体層構造によって、超格子の電気特性、光学特性およびエピタキシャル特性ができる限り、所与の要求に適合される。

40

#### 【0018】

オプトエレクトロニクスデバイスの有利な構成ではこれは光学的な活性層を有しており、少なくとも1つの元素はAlであり、この元素の含有量が同じタイプの少なくとも2つの層内で異なる。ここで、半導体層構造の超格子内のAl含有量は、この光学活性層からの距離が増す程、増大する、または低減する。光学活性層を有するオプトエレクトロニクスデバイスでは、超格子の、活性層に直接的または間接的に接している層の高いAl含有量によって、活性層内に不利な歪みが生じてしまう。この歪みによって、この層の量子効

50

果が低減されてしまう。超格子内の、活性層の方に向かって下降する A 1 含有量によって、低い量子効果による損失が低減される。これに対して高い A 1 含有量によって、バンドギャップは大きくなり、ひいては層の光学的吸収が低減する。活性層の方向において、活性層によって生成された放射の強度が上昇するので、超格子内の、活性層の方に向かって上昇する A 1 含有量は光学的吸収に関して有利である。

【0019】

別の有利な構成では、オプトエレクトロニクスデバイスは、発光ダイオードまたはレーザーダイオードである。

【実施例】

【0020】

10

本発明の別の有利な構成を以下で、図示された実施例に関連して説明する。

【0021】

図 1 には、超格子を有するオプトエレクトロニクスデバイスの半導体層構造の層列が断面図で図示的に示されている。基板 1 上には、整合層 2 および後続の n - ドープされたコンタクト層 3 が成長させられている。わかりやすく示すために、各層のドーピング型は以後 n 又は p の文字を記載することにより、つまり例えば n - コンタクト層 3 のように表す。

【0022】

n - コンタクト層 3 上には、n - ジャケット層 4 および n - 導波体層 5 が設けられている。これらの層上に活性層 6 が設けられている。続いて、バリア層 7 並びに p - 導波体層 8 が設けられている。これに、超格子 9 として構成されている p - ジャケット層が続く。この超格子 9 は、交互に積み重ねられた、第 1 のタイプ a の層 9 a と第 2 のタイプ b の層 9 b とを有する。

20

【0023】

この超格子 9 上に p - コンタクト層 10 が成長されている。右側の領域では、前記層列は、n - コンタクト層 3 の基板側ではない面に達するまで除去エッチングにより取り去られているか、あるいはこの領域内でマスクングにより層列が全く構築されていない。n - コンタクト層 3 の露出面上に n - コンタクト 11 が設けられている。p - コンタクト層 10 上には p - コンタクト 12 が存在している。

【0024】

30

図 1 は略図として解釈することができる。特に、図示された層厚は寸法通りではない。

【0025】

図示された実施例は例えば、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}As$ 、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}P$  または  $In_xGa_{1-x}As_yN_{1-y}$  の材料システムに基づいて実現される。式中  $0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$  である。もちろん本発明はこの材料システムに限定されるものではなく、所望の波長に応じて、又はその他の要求に応じて別の材料システムに基づき実現することができる。

【0026】

図 1 に示したデバイスはダブルヘテロ構造のレーザーダイオードを表す。以後、例示的に  $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  の材料システムでの実現を詳細に記載する。このような場合には、基板 1 としてサファイアを使用することができ、かつ n - コンタクト層 3 として n - ドープされた GaN を使用することができる。GaN 層の n - ドーピングのために、有利にシリコン (Si) を使用する。整合層 2 として、一般に、前記サファイア基板 1 と GaN の n - コンタクト層 3 との間に、これらの層の異なる格子定数を整合させるために、窒化アルミニウム (AlN) 層が設けられている。

40

【0027】

同様に、p - コンタクト層 10 はマグネシウム (Mg) で p - ドープされた GaN 層により実現することができ、この場合、マグネシウム不純物により誘導された正孔伝導は前記層の成長の後で公知のように、例えば電子照射又は熱処理により活性化される。n - 又は p - コンタクト 11 もしくは 12 として、例えばアルミニウム又はニッケルからなる電

50

極が、対応する n - 又は p - コンタクト層 3 もしくは 10 上に蒸着される。このために必要な n - コンタクト層 3 の露出は、例えば塩素ガス中でのドライエッチングプロセスによるか又はアルゴンイオンスパッタリングにより行うことができる。

#### 【0028】

これとは別に、非導電性の基板 1 の代わりに、導電性の基板、例えば窒化ガリウム (GaN) 又は炭化ケイ素 (SiC) を使用することができる。このような場合には、n - コンタクト層 3 及び場合により、例えば GaN の使用の場合に、整合層 2 を使用しなくてもよい。n - コンタクト 11 を、その後 p - コンタクト 12 に対峙して、基板の半導体層構造とは反対側に設けることができるため、垂直伝導型 (vertikal leitend) の半導体層構造が形成される。

10

#### 【0029】

これに限定されるものではないが、図 1 にはまず n - ドープされた層が基板 1 上に設けられている実施例が示されている。p - ドープされた層が、n - ドープされた層よりも基板 1 の近くに配置されている構成も可能である。この両方の構成は、半導体層構造内への電荷キャリア注入に関して異なる特性を有することができる。所望の特性に応じて、個々の場合で、前記の構成のそれぞれが有利であることが判明している。

#### 【0030】

活性層 6 は例えば単一又は多重量子層構造 (Mehrfach-Quantenschichtstruktur) であることができ、この場合、インジウム - 窒化ガリウム (InGaN) 量子層が AlGaIn バリア層と交互に積層されている。

20

#### 【0031】

本発明の範囲内で、量子層とは、放射線生成のために重要な電荷キャリアエネルギーレベルの量子化が、例えば閉じ込め (confinement) により生じるように寸法決定及び構造化されている層であると解釈される。特にこの量子層という用語には、量子化の次元の数に関する規定又は限定は含まれない。この量子層は二次元の量子井戸を形成するか又はより低い次元の数を有する構造的素子、例えば量子ワイヤ又は量子ドット又はこれらの構造の組合せを含むことができる。

#### 【0032】

更に、活性層 6 として、フォトルミネッセンス活性層、例えば異種原子ドープされた InGaIn 層の使用も考えられる。

30

#### 【0033】

この活性層 6 を取り囲む層 (n - 及び p - 導波体層 5 もしくは 8、n - ジャケット層 4、p - ジャケット層としての超格子 9 及びバリア層 7) は、前記活性層 6 よりも大きなバンドギャップを有する。これは、活性層 6 に関して電荷キャリアおよび / または電界の濃縮又は限定 (閉じ込めとも言われる) を生じさせる。このために設けられた層の数は、図面に示された 5 層の数に限定されず、原則として任意である。

#### 【0034】

更に、前記活性層 6 を取り囲む層は、前記活性層 6 内で生じる放射線のための導波体を形成する。良好な導波特性は、屈折率が活性層 6 に対して垂直方向で前記活性層 6 から外側に向かって低下する場合に達成される。GaN は AlGaIn よりも高い屈折率を有するため、実施例の場合には、活性層 6 の比較的近くに配置された n - 及び p - 導波体層 5 もしくは 8 が GaN 層として構成されている。n - ジャケット層 4 及び p - ジャケット層としての超格子 9 は有利にアルミニウム含有である。

40

#### 【0035】

活性層 6 の、基板 1 に向かう側 (n - ドープされた側) で導波体層 5 を例えば Si ドープされた GaN 層として構成することができ、かつジャケット層 4 を Si ドープされた AlGaIn 層として構成することができる。活性層 6 の、基板 1 とは反対側 (p - ドープされた側) では同様にマグネシウム (Mg) ドープされた GaN 層が導波体層 8 として使用される。活性層 6 から導波体層 8 中へ拡散する電子と、そこに存在する正孔との直接的な再結合を妨げるために、両方の層の間に付加的にバリア層 7 が配置されている。この層は

50

有利には高濃度でpドーピングされたAlGaIn層により実現することができ、前記層は一般的にn-及びp-導波体層5もしくは8、n-ジャケット層4又は超格子9よりも明らかに薄く構成されている。

【0036】

p側のジャケット層は、超格子9によって実現される。

【0037】

図1の実施例の場合には、この超格子9は、交互に配置された第1のタイプaの層9aと第2のタイプbの層9bとによって形成されている。例示的に、かつわかりやすく示すために、この図中には2種の異なるタイプa及びbのそれぞれ3層だけが示されている。本発明を実際に適用する場合には、超格子9は一般に、より多くの層を有し、例えばそれぞれのタイプの数十～数百の層を有する。超格子9の個別の層についての一般的な層厚は数nm～数十nmの範囲内、例えば2nm～50nm、有利に3nm～10nmの範囲内にある。同じタイプの層は、名目的に（つまり成長プロセスの間又はその後の層厚制御の精度の範囲内で）同じ層厚を有する。しかしながら、第1のタイプaの層9aと第2のタイプbの層9bとは、その厚さの点で相互に異なる（非対称な超格子）か又は同じ（対称な超格子）であることもできる。

【0038】

GaN系の材料システムにおいて、p-ジャケット層としての超格子9は、例えば交互にMgドーピングされたGaN層とMgドーピングされたAlGaIn層とから構成されていてもよい。Mgドーパント原子の高い活性化エネルギーに基づき、p-ドーピングされた層の導電性は低い。更に、AlGaIn層はGaNよりも広いバンドギャップを有し、かつより低いドーピング効率に基づき比較的低い導電性を示す。このドーピング効率は、どの程度の濃度でドーパントが一般に材料に導入されるか、及び導入されたドーパント原子のどの程度の割合が原則として（つまり、わずかな温度に依存する占有効果（Besetzungseffekte）で）一般に導電性に寄与できるかを表す。このドーピング効率は、特に、ドーパント原子がどの格子位置又は格子間位置を取るかに依存する。

【0039】

本発明では超格子9の層9a、9bは所定の濃度でドーピング材料を含んでいる。ここで超格子9は、異なるドーピング材料でドーピングされた層9a、9bを有している。

【0040】

より高くかつより効率的にドーピング可能な、従ってより導電性のGaN層を使用することにより、前記超格子9は単にp-ドーピングされたAlGaInジャケット層と比べて、実際に同じ屈折率でより高い導電性を示す。実際に同じ屈折率は、単純なAlGaInジャケット層と比べて、超格子9中で使用されたAlGaIn層の高められたアルミニウム含有量により達成することができる。

【0041】

GaN/AlGaIn超格子9の代わりに、同様に、 $Al_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ 層（式中、 $0 < x, y < 1$  及び  $x \neq y$ ）が交互に積層されている超格子9も考えられる。同じように、超格子9の全ての層または幾つかの層内で、Alの代わりにInを使用することが可能である。3つまたはそれより多くの異なる層タイプが交互に積み重ねられている超格子9も可能である。

【0042】

更に、n-ドーピングされたAlGaInジャケット層4について超格子の使用も考えられる。n-ドーピングされた層は一般に比較的高い導電性であるために、この場合、高められた垂直方向の導電性の点であまり有利ではない。しかしながら、活性層6中で生じる歪みを低減できるという利点が生じる。特に側面で電流供給する場合に効果が発揮される他の利点は、超格子の高められた側方の電流伝導性（lateralen Stromleitfähigkeit）に基づく。

【0043】

超格子9は例えば、そのAl含有量に基づいて、活性層6内に歪みを生じさせてしまう



恐れがある。この歪みは、超格子 9 と活性層 6 の間に位置する GaN 導波体層 8 によって弱められるが、充分な程度には弱められない。これは特に、GaN 導波体層 8 の厚さが光学的導波体特性への要求に基づいて設定されているので、特に当てはまる。この GaN 導波体層の厚さに、生じる歪みの低減が依存する。

#### 【0044】

本発明では、同じように活性層 6 内で生じる歪みに作用する Al 含有量および In 含有量は、超格子 9 内の少なくとも 1 つのタイプの層内で一定ではない。これによって超格子 9 は可能な限り、導波が良好であるおよび生じる歪みが僅かであるという対抗する要求に適合される。超格子内の 1 つまたは複数のタイプの層内の少なくとも 1 つの元素（ここでは Al および / または In）の含有量が増加する相応の超格子を、以下で、図 2 ~ 5 の実施例に関連して説明する。

10

#### 【0045】

図 2 ~ 5 にはそれぞれ、超格子の異なる実施例に対してそれぞれ 1 つのダイアグラムが示されている。ここでは Al 含有量  $C_{Al}$  および場合によっては In 含有量  $C_{In}$  が % で（縦座標）、半導体層構造の超格子内の垂直位置  $z$ （横座標）に依存して示されている。超格子内の垂直位置  $z$  の零点として、超格子の、活性層に向かう側が選択されている。従って垂直位置  $z$  の値が負の場合には、活性層は超格子の示された領域の左に位置する。

#### 【0046】

超格子はそれぞれ異なるタイプ a、b および場合によっては c、d の交互に積み重ねられた多数の層によって形成される。ここで定義として、 $z = 0$  で始まる、活性層に最も近い超格子の層はタイプ a である。

20

#### 【0047】

図 2 a では半導体層構造の超格子が示されている。ここでは 2 つの異なるタイプ a、b の層が交互に積み重ねられている。各層タイプ a、b によって、それぞれ 7.5 nm の層厚を有する 30 の層が設けられている。従って、超格子は全体で 450 nm の厚さである。タイプ a の層は GaN 層である。タイプ b の層は Al GaN 層であり、ここでこの層の Al 含有量  $C_{Al}$  は約 5% ~ 20% まで、層を追って線形に上昇し、個々の Al GaN 層内の Al 含有量  $C_{Al}$  は勾配状である。従って、Al GaN 層の中間 Al 含有量は 12.5% になる。ここで活性層を向いている層は、最も低い Al 含有量  $C_{Al}$  を有している。Al GaN 層が 12.5% の中間 Al 含有量を有している GaN / Al GaN 超格子とは異なって、図 2 a の超格子が活性層内に生じさせる歪みは少ない。なぜなら、活性層の方に向かって下降する Al 含有量を有する超格子内で格子構造および格子定数が有利に変化するからである。活性層の方へ向かって下降する Al 含有量はさらに有利である。なぜなら、活性層に対する移行バリアが低減され、ヘテロ構造移行がそれほど強くはなくなるからである。層内での勾配状の Al 含有量は、超格子の導電性上昇作用を支持する。

30

#### 【0048】

Al 含有量  $C_{Al}$  が、線形にまたは一般的にその逆も可能に、超格子内で層の位置とともに明確に変化する場合には、デバイスの製造プロセスにおいて超格子の別の利点が生じる。コンタクトを設けるために、または導波のために、しばしば半導体構造内に溝（リッジ）を設ける必要がある。溝の所定の深さを保証するために、多くの材料システムにおいて、いわゆるエッチングストップ層と関連してウェットケミカルエッチングが用いられる。しかし、ウェットケミカルエッチングプロセスに対して抵抗する Al GaN 材料システムでは、通常は、低材料選択性のドライエッチングのみが使用される。エッチングプロセスの間に、除去された材料の Al 含有量が測定される場合、超格子内の層の Al 含有量  $C_{Al}$  と超格子内のその位置との間の関係を介して現場での深さ特定を行うことができる。除去された材料の Al 含有量の測定は例えば質量スペクトル分析によって行われる。

40

#### 【0049】

図 2 b は、GaN / Al GaN 超格子の実施例を示している。ここで、超格子内の Al GaN 層内の Al 含有量  $C_{Al}$  は、約 17% の最大値を有しており、2 つの側へ向かって減少する。このようにして、超格子の 2 つの側への歪みが低減される。ここで図示された

50

例では、最大値は、超格子のちょうど真ん中で得られるのではなく、活性層の隣に位置している層は、活性層から最も離れている層よりも少ないA1含有量 $C_{A1}$ を有している。

#### 【0050】

超格子内のA1含有量 $C_{A1}$ の特性を、層の位置に依存してA1含有量 $C_{A1}$ を示す(エンベロープ)関数によって一般化してあらわすことができる。ここで1つの共通の関数が全ての層タイプa、b等に対して設定されるか、または各層タイプに対して固有の関数が設定される。この場合には基本的には各関数は任意であり、例えば非線形の関数特性も可能である。

#### 【0051】

図3には、半導体層構造の超格子の実施例が示されており、ここでは、3つの異なるタイプa、bおよびcの層が交互に積み重ねられている。

#### 【0052】

タイプaの層は、図3aの例では、超格子にわたって一定の組成を有するGa<sub>1-x-y-z</sub>N層である。層タイプbおよびcの層は、超格子内で変化するA1含有量 $C_{A1}$ を有するA1Ga<sub>1-x-y-z</sub>N層である。タイプbの層に対しても、タイプcの層に対しても、A1含有量 $C_{A1}$ は線形に、層の垂直位置zが大きくなるにつれて上昇する。しかしタイプcの層は、自身に直に接しているタイプbの層よりも、それぞれ2%多いA1を有している。さらにタイプbおよびcの層は、タイプaの層と比べて半分の厚さしか有していない。

この構造をある程度、2つの層タイプのみを有するGa<sub>1-x-y-z</sub>N/A1Ga<sub>1-x-y-z</sub>N超格子としてみることもできる。ここではA1Ga<sub>1-x-y-z</sub>N層は階段関数によって勾配状にされている。前述したように、1つの層内の勾配状のA1含有量は超格子の導電性を高める効果を支持している。

#### 【0053】

図3b~dにおいて示された例では、タイプbおよびcのA1Ga<sub>1-x-y-z</sub>N層は、図3aに示された例と同じように構成されている。しかしタイプaの層として、変化するIn含有量 $C_{In}$ を有するInGa<sub>1-x-y-z</sub>N層が設けられている。図3bおよび3cの例では、In含有量 $C_{In}$ は階段関数に従い、第1の場合には層内で一定のIn含有量を有し、第2の場合には勾配状のIn含有量を有している。図3dの例では、In含有量 $C_{In}$ は6つの層内で線形に低減し、残りの層に対してはゼロである。単純なGa<sub>1-x-y-z</sub>N層の代わりにInGa<sub>1-x-y-z</sub>N層を使用することによって、一方では活性層内で生じる歪みが低減されるが、他方では超格子を通る導波が悪くなる。なぜなら、より高いIn含有量は超格子の屈折率を高め、これによって、接している導波体層に対して、低い屈折率コントラストが生じてしまうからである。一定ではない、活性層の方へ向かって大きくなるIn含有量 $C_{In}$ によって、超格子内のInGa<sub>1-x-y-z</sub>N層のポジティブな作用が、不利な作用に比べて増強される。

#### 【0054】

図4は、半導体層構造の超格子の実施例を示しており、ここでは4つの異なるタイプa、b、cおよびdの層が交互に積み重ねられている。cおよびdの層は、図3の層bおよびcのようにA1Ga<sub>1-x-y-z</sub>N層であり、この層のA1含有量 $C_{A1}$ は超格子内で、1つのタイプの層内で、線形に上昇している。ここでタイプbの層のA1含有量 $C_{A1}$ は、隣接しているタイプcの層よりも、それぞれ約2%高い。タイプaおよびbの層は、組成In<sub>x</sub>A1<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y-z</sub>N(1-x-y-z)を有する層である。式中、y>0の場合にはx=0であり、x>0の場合にはy=0である。従ってこの実施例では、InおよびA1が同時に1つの層内に現れることはない。基本的に、当然ながら、InおよびA1を含有している層の使用が可能である。In含有量 $C_{In}$ 、すなわち係数xはまず、(活性層から計算して)タイプaの最初の9つの層内およびタイプbの最初の8つの層内で線形に下降し、以降の層ではゼロである。A1含有量 $C_{A1}$ 、すなわち係数yはこれに反して、この最初の8ないし9つの層内でゼロであり(zが0~130nmの間)、その後、以降の中間層(zが130nm~270nmの間)に対して線形に上昇し、残りの層(z>270nm)に対しては一定のレベルで保たれる。ここでタイプaの各層に対してはIn含有量 $C_{In}$ は各隣接するタイプbの層のそれよりも大きく、A1含有量 $C_{A1}$ は各隣接するタイプbの

層のそれよりも小さい。この構造をある程度、2つの層タイプのみを有する超格子としてみることもできる。ここではA l G a N層は階段関数によって勾配状にされている。直接的または間接的に活性層に隣接している層においてA l含有量 $C_{A l}$ が低く、I n含有量 $C_{I n}$ が高いことの、誘起される歪みに関する利点は、この実施例において、超格子の導電性に与えられる（段階的）勾配状のA l含有量のポジティブな作用と組み合わせられる。

#### 【0055】

図5には、半導体層構造のA l G a N / A G a N超格子の実施例が示されている。2つのタイプaおよびbの層は、超格子内で変化するA l含有量 $C_{A l}$ を有するA l G a N層である。タイプaの層の垂直位置zに依存するA l含有量 $C_{A l}$ は第1の関数によって表され、タイプbの層のA l含有量 $C_{A l}$ は第2の関数によってあらわされる。図5に示された2つの例の場合には、この第1の関数と第2の関数は異なる。従って、直接的に隣接する層はそのA l含有量 $C_{A l}$ 、ひいてはその組成において異なる。しかしこれは、タイプaの層がタイプbの層と同じ組成を有することがない、ということ意味するのではない。

#### 【0056】

図5aの例1では、第1の関数は、垂直位置zとともに線形に上昇する関数である。第2の関数はまずは約 $z = 350 \text{ nm}$ の最大値まで線形に上昇し、zの値が大きくなると、再び線形に下降する。図5bに示された例では2つの関数は線形に上昇する領域と、線形に下降する領域を有している。ここで関数の上昇と、A l含有量 $C_{A l}$ の最大値の位置（タイプb）と、最小値の位置（タイプa）は2つの関数において異なっている。

#### 【0057】

図5の実施例では、2つの層タイプaおよびbによって変化するA l含有量 $C_{A l}$ が超格子を構成している。この超格子は、高い平均A l含有量によって、良好な導波を可能にしており、それにもかかわらず、活性層に向かって低減するA l含有量 $C_{A l}$ によって、活性層上の歪みを是認できる程度に低く保っている。

#### 【0058】

上記の実施例に基づく本発明の説明は、本発明をこれに制限するものであるとはみなすべきでない。むしろ本発明には実施例およびその他の説明で述べた全ての別の特徴との組み合わせも含まれており、たとえその組み合わせが特許請求項の範囲の構成要件でないとしても含まれている。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0059】

【図1】超格子を備えた本発明の半導体層構造を有するオプトエレクトロニクスデバイスの断面図である。

【図2】超格子内の垂直位置に依存した1つまたは異なる元素の含有量の概略図である。

【図3a】超格子内の垂直位置に依存した1つまたは異なる元素の含有量の概略図である。

。

【図3b】超格子内の垂直位置に依存した1つまたは異なる元素の含有量の概略図である。

。

【図3c】超格子内の垂直位置に依存した1つまたは異なる元素の含有量の概略図である。

。

【図3d】超格子内の垂直位置に依存した1つまたは異なる元素の含有量の概略図である。

。

【図4】超格子内の垂直位置に依存した1つまたは異なる元素の含有量の概略図である。

【図5】超格子内の垂直位置に依存した1つまたは異なる元素の含有量の概略図である。

#### 【符号の説明】

#### 【0060】

1 基板、 2 整合層、 3 n - ドープされたコンタクト層、 4 n - ジャケット層、 5 n - 導波体層、 6 活性層、 7 バリア層、 8 p - 導波体層、 9 超格子、 p - ジャケット層、 9 a 第1のタイプaの層、 9 b 第2のタイプbの

10

20

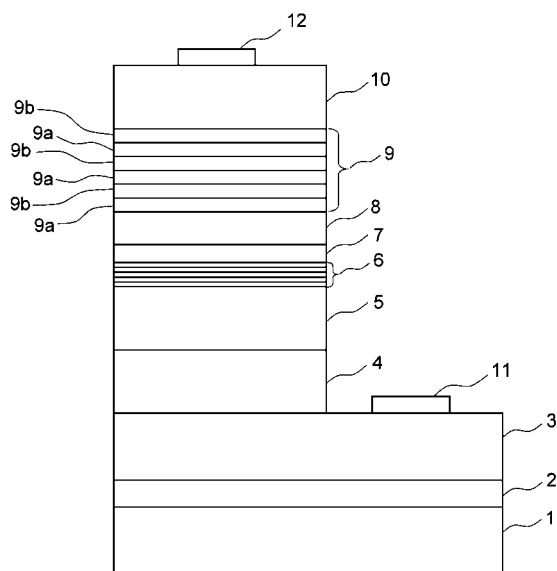
30

40

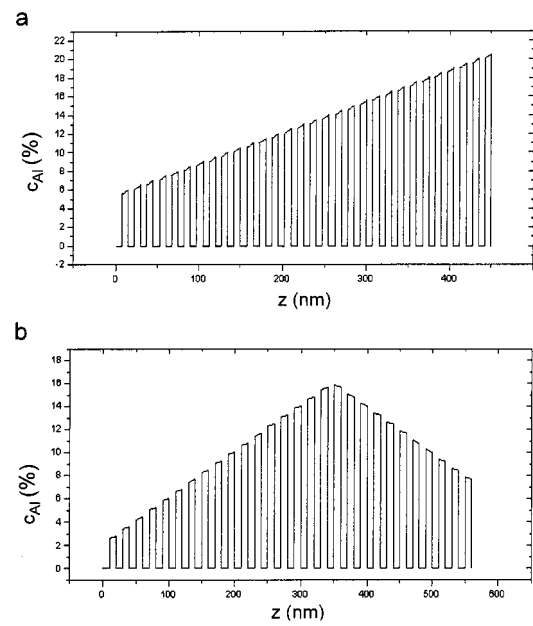
50

層、 10 p - コンタクト層、 11 n - コンタクト、 12 p - コンタクト

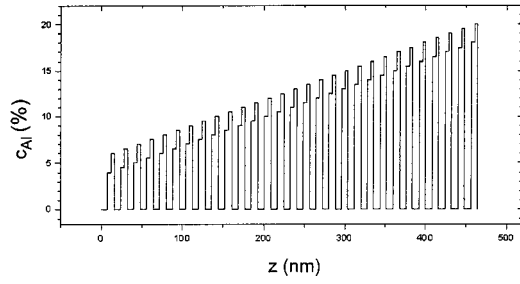
【図 1】



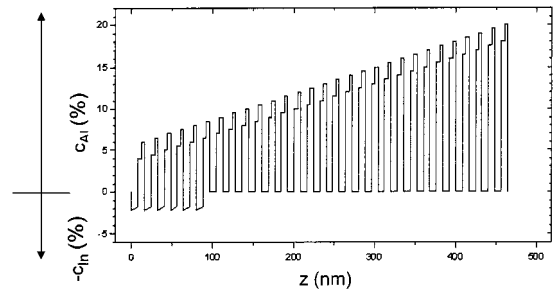
【図 2】



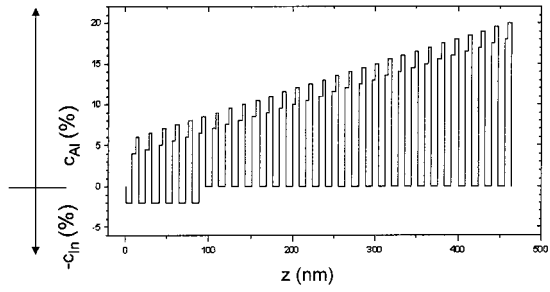
【図 3 a】



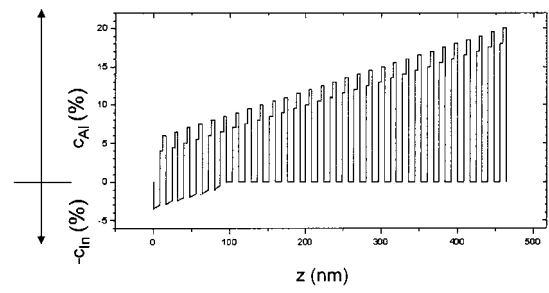
【図 3 c】



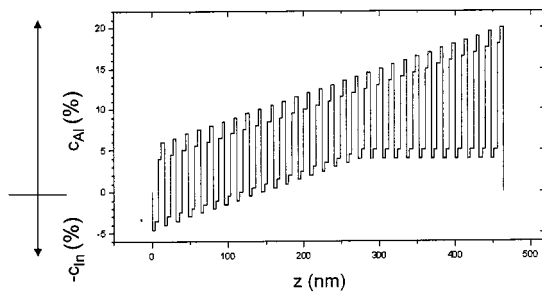
【図 3 b】



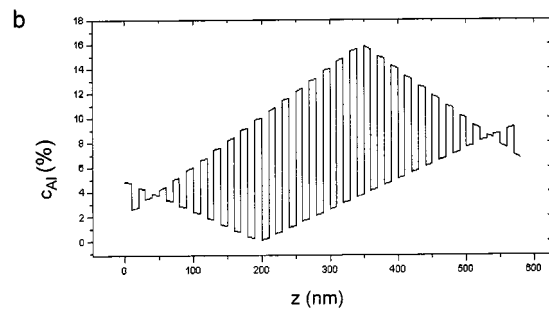
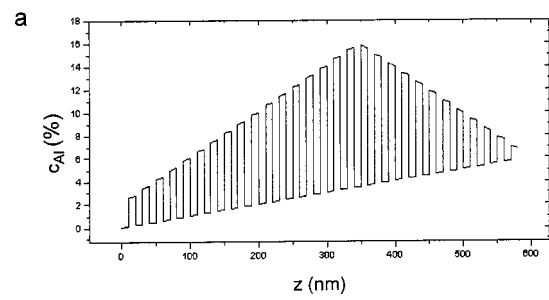
【図 3 d】



【図 4】



【図 5】



## フロントページの続き

(74)代理人 100099483

弁理士 久野 琢也

(74)代理人 100110593

弁理士 杉本 博司

(74)代理人 100128679

弁理士 星 公弘

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100114890

弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト

(74)代理人 230100044

弁護士 ラインハルト・アインゼル

(72)発明者 クリストフ アイヒラー

ドイツ連邦共和国 テーゲルンハイム リヒャルト・ヴァーグナー - シュトラーセ 2

(72)発明者 アルフレート レル

ドイツ連邦共和国 マックスヒュッテ - ハイトホーフ フィルヒョウシュトラーセ 1 9

(72)発明者 アンドレアス ミーラー

ドイツ連邦共和国 カウフェリング バーンホーフシュトラーセ 2 3

(72)発明者 マルク シルガリース

ドイツ連邦共和国 レーゲンスブルク ヴァインガッセ 8

F ターム(参考) 5F041 AA24 CA05 CA40 CA74

5F173 AG20 AG24 AH22 AP32 AR64