

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号  
特許第5430829号  
(P5430829)

(45) 発行日 平成26年3月5日(2014.3.5)

(24) 登録日 平成25年12月13日(2013.12.13)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 33/32 (2010.01)

HO 1 L 33/00 1 8 6

HO 1 S 5/343 (2006.01)

HO 1 S 5/343 6 1 0

請求項の数 8 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2007-195431 (P2007-195431)	(73) 特許権者	599133716
(22) 出願日	平成19年7月27日 (2007.7.27)		オスラム オプト セミコンダクターズ
(65) 公開番号	特開2008-34850 (P2008-34850A)		ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテ
(43) 公開日	平成20年2月14日 (2008.2.14)		ル ハフツング
審査請求日	平成22年4月27日 (2010.4.27)		Osram Opto Semicond
(31) 優先権主張番号	102006034822.2		uctors GmbH
(32) 優先日	平成18年7月27日 (2006.7.27)		ドイツ連邦共和国、93055 レーゲン
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		スブルグ、ライプニッツシュトラッセ 4
(31) 優先権主張番号	102006046228.9		Leibnizstrasse 4, D
(32) 優先日	平成18年9月29日 (2006.9.29)		-93055 Regensburg,
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		Germany
		(74) 代理人	100061815
			弁理士 矢野 敏雄
		(74) 代理人	100099483
			弁理士 久野 琢也

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およびオプトエレクトロニクスデバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体層構造であって、

該半導体層構造は活性層（6）と超格子（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、
- ・少なくとも1つの同じタイプの層（9a，9b）の化学量論的組成は、前記活性層（6）からの距離が増すとともに、1つの元素の含有量が層を追って上昇するように、前記超格子内で変化する、
- ・前記層は所定の層厚を有しており、
- ・前記第1のタイプ（a）の層（9a）の層厚及び第2のタイプ（b）の層（9b）の層厚は、前記活性層（6）からの距離が増すとともに、層を追って増大し、
- ・前記第1のタイプ（a）の層は、 $Al_xGa_{1-x}N$ 層（9a）であり、前記第2のタイプ（b）の層は、 $Al_yGa_{1-y}N$ 層（9b）であり、式中0  $x$ 、 $y$  1および $x$   $y$  であり、
- ・前記 $Al_yGa_{1-y}N$ 層（9b）のAl含有量は、前記活性層（6）からの距離が増す

とともに、層を追って増大する、  
ことを特徴とする半導体層構造。

【請求項 2】

前記超格子 ( 9 ) の個々の層には半導体層構造内での垂直位置 ( z ) が割り当てられており、層の層厚は半導体層構造内での自身の垂直位置 ( z ) に依存しており、

前記垂直位置 ( z ) に対する層の層厚の依存性は、超格子 ( 9 ) の全ての層に対して共通の関数によって設定されている、請求項 1 記載の半導体層構造。

【請求項 3】

前記超格子 ( 9 ) の個々の層には半導体層構造内での垂直位置 ( z ) が割り当てられており、層の層厚は半導体層構造内での自身の垂直位置 ( z ) に依存しており、

前記垂直位置 ( z ) に対する層の層厚の依存性は、第 1 のタイプ ( a ) の層に対しては第 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 1 記載の半導体層構造。

【請求項 4】

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放物線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 2 または 3 記載の半導体層構造。

【請求項 5】

前記第 1 のタイプ ( a ) の層は GaN 層 ( 9 a ) であり、前記第 2 のタイプ ( b ) の層は AlGaIn 層 ( 9 b ) である、請求項 1 記載の半導体層構造。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 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 7】

発光ダイオードである、請求項 6 記載のオプトエレクトロニクスデバイス。

【請求項 8】

レーザーダイオードである、請求項 6 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 034 822.2 号および第 10 2006 046 228.9 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、活性層と、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と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おり、少なくとも同じタイプの層における材料成分の含有量は、活性層からの距離が増すとともに層を追って上昇し、これらの層は所定の層厚を有している。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。

【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。殊に、組成およ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 ( AlGaIn ) 層から成る超格子は、同じ厚さを有する、p - ドープされた単純な GaN 層または AlGaIn 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およびオプトエレクトロニクスデバイス内で多用されている。

## 【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。本発明の別の課題は、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】

## 【0005】

上述の課題は請求項1に相応して、第1のタイプの層の層厚および第2のタイプの層の層厚が、活性層からの距離が増すとともに、層を追って増大する、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。

10

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0006】

超格子の層の層厚は、自身の電気特性、光学特性およびエピタキシャル特性に影響を与える。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、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。第1のタイプおよび第2のタイプの層内部で活性層からの距離が増すとともに、層を追って層厚が増加する超格子によって、このような事実が考慮され、超格子の特性が可能な限り、所与の、殊に空間的に変化する要求に合わせられる。

20

## 【0007】

例えば超格子の層の厚さは、導電性、光学的吸収のレベル、バンドギャップの大きさおよび熱伝導性に作用する。ここで、超格子のこれらの所望の特性に関する層厚のサイズの依存性は対抗するであろう。例えば、量子作用によってバンドギャップが増大するので、超格子内の薄い層厚によって有利には吸収が低減されるが、超格子内の境界層の数が増すので、垂直方向における熱伝導性も低減し、側方の導電性も低減する。

## 【0008】

超格子内の全ての層が同じ厚さである場合には、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。これに対して、超格子内部で変化する層厚によって、超格子に対する空間的に異なる要求が考慮される。例えば、半導体層構造の放射生成層に隣接している層は有利には、より高い側方の導電性を有している、離れている層よりも薄く構成されており、光学的吸収が低減される。これによって有利には電流の流れが側方で均一になる。

30

## 【0009】

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ている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。ここで繰り返される積層順序内で、複数の層によって1つのタイプが支持されている。例えば、このような格子の場合には、以下の層列によってあらわされる：すなわち、"a b | a b | a b | . . . "、"a b c | a b c | a b c | . . . "、"a b c b | a b c b | . . . "および"a b a b a b a b c | a b a b a b a b c | . . . "である。ここでa、bおよびcはそれぞれ1つのタイプの層を示しており、繰り返される積層順序は分断符号"|"によって明示されている。

40

## 【0010】

本発明では、層の組成は、層内に含有されている元素並びに元素の名目上の（すなわち成長過程の間または後の成分観察の精度の範囲内で）化学量論によって定められる。ここではドーピング材料と不純物は考慮されていない。化学量論は、層内の個々の元素の含有量（割合）によって示される。本願では層の元素の数に関して制限はない。超格子の層は

50

例えば元素状（すなわち、1つの元素だけから成る）であっても、二成分であっても、三成分であっても四成分等であってもよい。

【0011】

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。

【0012】

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。

【0013】

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、層の厚さ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、空間的に異なっている要求に合わせることができる。

【0014】

別の有利な構成では、垂直な位置に対する層の層厚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、少なくとも1つの第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。

【0015】

別の有利な構成では、少なくとも、超格子内の同じタイプの層は異なる組成を有している。これ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、所与の要求に合わせられる。

【0016】

特に有利な構成では、少なくとも同じタイプの層内の第1のタイプの層の層厚および第2のタイプの層の層厚も、材料成分の含有量も、活性層からの距離が長くなるとともに、層を追って増大する。層の厚さが連続的に変化することによって、超格子の特性が可能な限り、超格子に対する空間的に異なる要求に合わせられる。これは例えば超格子の光学的な吸収、側方のまたは垂直方向での導電性または熱伝導性に関する要求である。層厚変化を、同じように上述の特性に影響を与えることができる材料組成変化と組み合わせることによって、有利な効果をさらに増強させることができる。

【0017】

さらに前述した課題は、上述した形式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によって解決される。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、所与の要求に合わせられる。

10

20

30

40

50

## 【0018】

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】

## 【0019】

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。

## 【0020】

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。

10

## 【0021】

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9aと第2のタイプbの層9bとを有する。

## 【0022】

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キ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。

20

## 【0023】

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。

## 【0024】

図示された実施例は例えば、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}$ 、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}$ または $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{N}_{1-y}$ 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。

30

## 【0025】

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 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 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

## 【0026】

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。

## 【0027】

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(G

50

a N)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Ga N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。

【0028】

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。

10

【0029】

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(InGa N)量子層がAlGa Nバリア層と交互に積層されている。

【0030】

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。

20

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。

【0031】

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InGa N層の使用も考えられる。

【0032】

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。

30

【0033】

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。Ga NはAlGa N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Ga N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。

【0034】

従って、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SiドープされたGa N層として構成することができ、かつジャケット層4は相応してSiドープされたAlGa N層として構成されている。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Ga N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AlGa N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。

40

【0035】

p側のジャケット層は、超格子9によって実現される。

【0036】

50

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は一般に多数の層を有し、例えばそれぞれの組成の数十～数百の層を有する。超格子9の個々の層に対する典型的な層厚は、数nm～数十nmの範囲にある。

#### 【0037】

超格子9内の第1のタイプaの層9aの層厚も、第2のタイプbの層9bの層厚も一定ではなく、活性層9からの距離が増すとともに、層を追って増大する。少なくとも1つのタイプの層内で層厚が変化する超格子を、図2の実施例に関連して詳細に説明する。

10

#### 【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ドープされたGaN層とMgドープされたAlGaN層とから構成されていてもよい。Mgドープした原子の高い活性化エネルギーに基づき、p-ドープされた層の導電性は低い。更に、AlGaN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。

20

#### 【0039】

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-ドープされたAlGaN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、AlGaNジャケット層と比べて、超格子9中で使用されたAlGaN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。

#### 【0040】

GaN/AlGaN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。更に、n-ドープされたAlGaNジャケット層4について超格子の使用も考えられる。n-ドープ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。

30

#### 【0041】

図2には、超格子の2つの実施例が示されている。ここでこの超格子は、第1のタイプaと第2のタイプbの、交互に積み重ねられた層を有している。タイプaの層はGaN層であり、これらの層は全て同じ組成を有している。タイプbの層はAlGaN層であり、第1の場合には同じ組成であり（図2a）、第2の場合には異なる組成である（図2b）。

40

#### 【0042】

超格子はそれぞれ、ダイヤグラムによって表されている。このダイヤグラムではAl含有量 $C_{Al}$ が%（縦座標）で、半導体層構造の超格子内での垂直位置 $z$ （横座標）に依って示されている。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。 $z = 0$ 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。

#### 【0043】

図2aでは、各タイプaおよびbの、それぞれ30の層を有する超格子が示されている。タイプaの層はGaN層であり、タイプbの層は16%の一定のAl含有量を有するAlGaN層である。2つの層タイプの層の厚さは変化するが、跳躍的に変化するのではな

50

く、連続的に変化する。ここで層厚は、1つのタイプの層を追うごとに、0.5nmずつ厚くなる。従って、垂直位置 $z$ に対する層厚の冪関数的な依存性が生じる。

#### 【0044】

量子作用に基づいて、薄い層は格段に高いバンドギャップ、ひいては低い光学吸収係数を有する。超格子内により薄い層が、活性層に向かう部分に設けられることによって、超格子内の吸収損失が低減される。この部分では一般に、半導体層構造の動作中に比較的高い放射強度が生じる。超格子の、活性層と反対側の部分は一般に、電流を注入するコンタクト層に隣接している。例えば、図1で超格子9はp-コンタクト層10に接している。この部分に使用されている比較的厚い層は、比較的高い側方の導電性を有している。これは有利には、半導体層構造内で電流の流れを側方で均一にすることをサポートする。

10

#### 【0045】

超格子内の層厚の特性を、層の位置に依存して層の厚さを示す(エンベロープ)関数によって一般化して示す。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。

#### 【0046】

図2bに示された超格子は、層厚に関しては図2aの例に相応する。図2aに示された例と異なってAlGaIn層内でAl含有量が、超格子の、活性層に向かう側での約5%から、活性層と反対側での約20%にまで変化する。ここでAl含有量は層厚と同じように、層を追って固定の値だけ上昇する。タイプbの層の層のAl含有量を同じように、層の垂直位置 $z$ に依存して示すと、Al含有量に対しても冪関数的な依存性が得られる。

20

#### 【0047】

層の厚さが連続的に変化することによって、超格子の特性が可能な限り、超格子に対する空間的に異なる要求に合わせられる。これは例えば超格子の光学的な吸収、側方のまたは垂直方向での導電性または熱伝導性に関する要求である。層厚変化を、同じように上述の特性に影響を与えることができる材料組成変化と組み合わせることによって、有利な効果をさらに増強させることができる。

#### 【0048】

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。

30

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0049】

【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元素の含有量の概略図であり、半導体層構造の超格子の2つの異なる実施例のケースが示されている。

#### 【符号の説明】

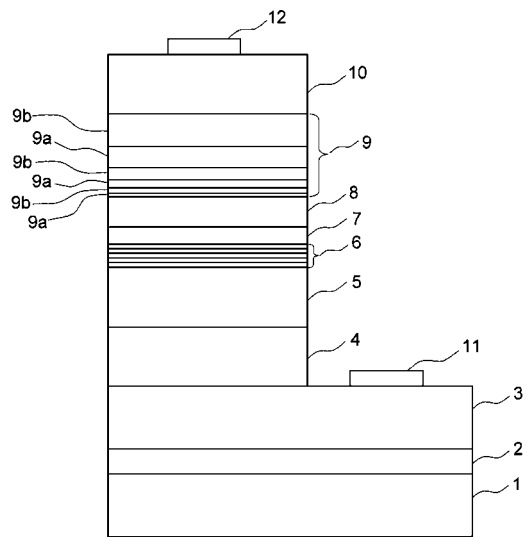
#### 【0050】

40

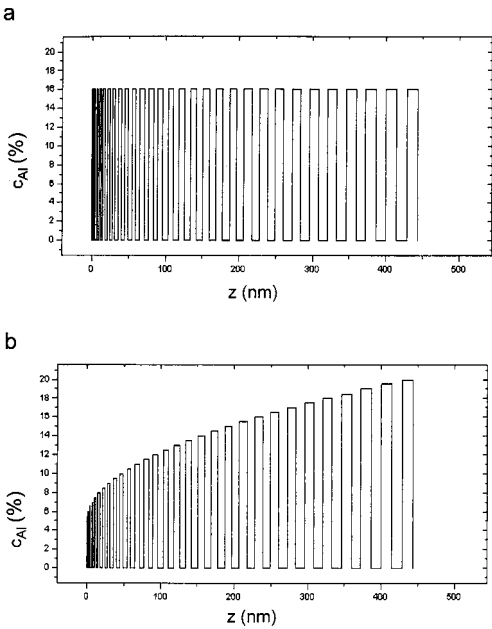
1 基板、 2 整合層、 3 n-ドーパされたコンタクト層、 4 n-ジャケット層、 5 n-導波体層、 6 活性層、 7 バリア層、 8 p-導波体層、 9 超格子、 p-ジャケット層、 9a 第1のタイプaの層、 9b 第2のタイプbの層、 10 p-コンタクト層、 11 n-コンタクト、 12 p-コンタクト



【図 1】



【図 2】



## フロントページの続き

- (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
- (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 19
- (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 パーンホーフシュトラーセ 23
- (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

審査官 高橋 健司

- (56)参考文献 特開2003 - 318495 (JP, A)  
特開2002 - 057410 (JP, A)  
特開平07 - 094829 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L 33/00 - 33/64  
H01S 5/00 - 5/50