

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4162560号  
(P4162560)

(45) 発行日 平成20年10月8日(2008.10.8)

(24) 登録日 平成20年8月1日(2008.8.1)

(51) Int. Cl.		F I			
HO 1 L	33/00	(2006.01)	HO 1 L	33/00	C
HO 1 S	5/042	(2006.01)	HO 1 L	33/00	E
HO 1 S	5/323	(2006.01)	HO 1 S	5/042	6 1 4
			HO 1 S	5/323	6 1 0

請求項の数 11 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2003-319528 (P2003-319528)	(73) 特許権者	000001889 三洋電機株式会社 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
(22) 出願日	平成15年9月11日(2003.9.11)	(74) 代理人	100104433 弁理士 宮園 博一
(65) 公開番号	特開2004-134772 (P2004-134772A)	(72) 発明者	井上 大二郎 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
(43) 公開日	平成16年4月30日(2004.4.30)	(72) 発明者	野村 康彦 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
審査請求日	平成16年7月2日(2004.7.2)	(72) 発明者	畑 雅幸 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2002-271968 (P2002-271968)		
(32) 優先日	平成14年9月18日(2002.9.18)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物系半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に形成された第1導電型の第1窒化物系半導体層と、  
前記第1窒化物系半導体層上に形成され、窒化物系半導体層からなる活性層と、  
前記活性層上に形成された第2導電型の第2窒化物系半導体層と、  
前記第2窒化物系半導体層上に形成された窒化物系半導体からなるアンドープコンタクト層と、  
前記アンドープコンタクト層上に形成された電極とを備えた、窒化物系半導体発光素子であって、

前記アンドープコンタクト層は、InGa<sub>x</sub>Nを含む、窒化物系半導体発光素子。

10

【請求項2】

前記アンドープコンタクト層のバンドギャップは、前記第2窒化物系半導体層のバンドギャップよりも小さい、請求項1に記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項3】

前記第1導電型の第1窒化物系半導体層は、n型の第1窒化物系半導体層であり、  
前記第2導電型の第2窒化物系半導体層は、p型の第2窒化物系半導体層である、請求項1または2に記載の窒化物系半導体発光素子。

【請求項4】

前記第2導電型の第2窒化物系半導体層は、AlGa<sub>x</sub>Nを含む、請求項1～3のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。

20

## 【請求項 5】

前記アンドープコンタクト層は、1 nm以上10 nm以下の厚みを有する、請求項1～4のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。

## 【請求項 6】

前記アンドープコンタクト層は、前記活性層のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する、請求項1～5のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。

## 【請求項 7】

前記アンドープコンタクト層は、単一のアンドープの窒化物系半導体層により構成されている、請求項1～6のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。

## 【請求項 8】

前記アンドープコンタクト層の表面上に、Pd膜を含む電極を備えている、請求項1～7のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。

10

## 【請求項 9】

少なくとも前記活性層と前記第2導電型の第2窒化物系半導体層との間に形成され、前記第2窒化物系半導体層よりもバンドギャップの小さい窒化物系半導体からなるアンドープの第3窒化物系半導体層をさらに備える、請求項1～8のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。

## 【請求項 10】

前記アンドープの第3窒化物系半導体層は、前記活性層と、前記第1導電型の第1窒化物系半導体層および前記第2導電型の第2窒化物系半導体層との間のうち、前記活性層と前記第2窒化物系半導体層との間にのみ形成されている、請求項9に記載の窒化物系半導体発光素子。

20

## 【請求項 11】

前記活性層と前記第1導電型の第1窒化物系半導体層との間に形成された第4窒化物系半導体層をさらに備え、

前記第4窒化物系半導体層は、前記第3窒化物系半導体層の膜厚よりも小さい膜厚を有する、請求項9～10のいずれか1項に記載の窒化物系半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

この発明は、窒化物系半導体発光素子に関し、特に、基板上に窒化物系半導体層が形成される窒化物系半導体発光素子に関する。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 < x, 0 < y, x + y < 1$ ) からなる窒化物系半導体を用いられた窒化物系半導体発光ダイオード素子 (LED) や窒化物系半導体レーザー素子 (LD) などの窒化物系半導体発光素子が実用化されている。

## 【0003】

従来の窒化物系半導体発光素子の基本的な構造は、基板上に、 $n$ 型  $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 < y < 1$ ) からなる  $n$ 型窒化物系半導体層と、 $In_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) からなる活性層と、 $p$ 型  $In_zAl_zGa_{1-z}N$  ( $0 < z < 1$ ) からなる  $p$ 型窒化物系半導体層とが順次積層されたダブルヘテロ構造である。そして、通常では、 $n$ 側電極とのオーミック接触を実現させるための  $n$ 型コンタクト層と、 $p$ 側電極とのオーミック接触を実現させるための  $p$ 型コンタクト層とをさらに備えている。また、窒化物系半導体レーザー素子の場合では、活性層を挟むように、 $n$ 型光ガイド層と  $p$ 型光ガイド層とを形成することがある。

40

## 【0004】

また、上記した窒化物系半導体発光素子の  $n$ 型および  $p$ 型の窒化物系半導体各層は、窒化物系半導体に  $n$ 型キャリア (電子) または  $p$ 型キャリア (正孔) を生成する不純物をドーピングすることによって形成される。そして、良好な発光効率を有する窒化物系半導体発光

50

素子を得るには、窒化物系半導体各層において、光吸収を抑制することが必要不可欠となる。しかしながら、p型窒化物系半導体を得るためにドーピングされる不純物は、活性化率が低いため、従来では、所定のキャリア濃度を有するp型窒化物系半導体を得るために、多量の不純物をドーピングする必要があった。この場合、p型窒化物系半導体に多量の不純物を導入することにより形成される不純物準位によって、小さいバンドギャップを有するp型コンタクト層やp型光ガイド層では、光吸収が大きくなるという不都合があった。また、多量の不純物をドーピングすることにより発生する結晶欠陥によっても、光吸収が大きくなるという不都合があった。

【0005】

そこで、従来では、p型光ガイド層に代えて、活性層上にアンドープ光ガイド層を形成することにより不純物ドーピングに起因する光吸収を低減させることが可能な窒化物系半導体レーザ素子が提案されている（たとえば、非特許文献1参照）。

【非特許文献1】「電子情報通信学会技術研究報告」電子情報通信学会、2002年6月15日、pp. 63 - 66

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記提案された従来の窒化物系半導体レーザ素子では、p型コンタクト層での光吸収を防止するための対策がなされていない。すなわち、p型コンタクト層には、p側電極とのオーミック接触を実現させるために、多量の不純物がドーピングされている。これにより、上述したアンドープ光ガイド層での光吸収が低減されたとしても、p型コンタクト層での不純物ドーピングに起因する光吸収を抑制するのが困難である。その結果、窒化物系半導体レーザ素子の発光効率を向上させるのが困難であるという問題点がある。また、p型コンタクト層を通して光が放出される窒化物系半導体発光ダイオード素子では、p型コンタクト層での光吸収が大きくなれば、窒化物系半導体発光ダイオード素子の発光特性に与える影響がより大きくなるという問題点がある。

【0007】

一方、従来では、コンタクト層を、アンドープの窒化物系半導体層と不純物がドーピングされたp型の窒化物系半導体層とが交互に積層された変調ドーピングされた超格子構造にする技術も提案されている。この技術は、たとえば、特開2001-60720号公報に開示されている。

【0008】

しかしながら、上記特開2001-60720号公報に開示された技術では、コンタクト層において、アンドープの窒化物系半導体層の両側（上下）に配置された不純物がドーピングされた窒化物系半導体層から、アンドープの窒化物系半導体層に不純物が拡散する場合がある。この場合、アンドープの窒化物系半導体層に不純物準位が形成されるので、コンタクト層での光吸収を抑制するのが困難になるという不都合が生じる。その結果、コンタクト層を、アンドープの窒化物系半導体層と不純物がドーピングされたp型の窒化物系半導体層との積層構造からなる変調ドーピングされた超格子構造にしたとしても、窒化物系半導体発光素子の発光効率を向上させるのが困難であるという問題点がある。

【0009】

また、p型コンタクト層での光吸収を抑制する方法として、バンドギャップの大きいp型窒化物系半導体層をp型コンタクト層として用いることによって、p型コンタクト層での光吸収を生じにくくすることが考えられる。しかしながら、p型コンタクト層のバンドギャップを大きくすることによって、p側電極とp型コンタクト層との界面における障壁が大きくなるので、p側電極とp型コンタクト層との間で良好なオーミック接触を実現するのが困難になる。これにより、発光効率がより低下するとともに、駆動電圧が高くなるという問題点が生じる。

【0010】

この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、この発明の1つ

10

20

30

40

50

の目的は、コンタクト層での光吸収損失を低減することによって、発光効率を向上させることが可能な窒化物系半導体発光素子を提供することである。

【課題を解決するための手段および発明の効果】

【0011】

上記目的を達成するために、この発明の一の局面による窒化物系半導体発光素子は、基板上に形成された第1導電型の第1窒化物系半導体層と、第1窒化物系半導体層上に形成され、窒化物系半導体層からなる活性層と、活性層上に形成された第2導電型の第2窒化物系半導体層と、第2窒化物系半導体層上に形成された窒化物系半導体からなるアンドープコンタクト層と、アンドープコンタクト層上に形成された電極とを備えている。なお、本発明の「アンドープ」は、不純物を意図的にドーピングしていないことを意味する。したがって、不純物が全くドーピングされていない場合のみならず、意図しないで不純物が少量混入している場合も、本発明の「アンドープ」に該当する。

10

【0012】

この一の局面による窒化物系半導体素子では、上記のように、アンドープコンタクト層を設けることによって、アンドープコンタクト層には不純物準位が形成されないため、不純物準位に起因する光吸収を防止することができる。また、アンドープコンタクト層には、不純物のドーピングに起因する結晶欠陥がないため、アンドープコンタクト層は、良好な結晶性を有する。このため、アンドープコンタクト層の結晶欠陥に起因する光吸収も抑制することができる。これにより、アンドープコンタクト層での光吸収損失を低減することができるので、発光効率を向上させることができる。

20

【0013】

上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、アンドープコンタクト層のバンドギャップは、第2窒化物系半導体層のバンドギャップよりも小さい。このように構成すれば、アンドープコンタクト層と電極との界面におけるエネルギー障壁が小さくなるので、アンドープコンタクト層と電極とのオーミック接触を実現しやすくなることができる。これにより、より発光効率を向上することができるとともに、駆動電圧を低くすることができる。

【0014】

上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、第1導電型の第1窒化物系半導体層は、n型の第1窒化物系半導体層であり、第2導電型の第2窒化物系半導体層は、p型の第2窒化物系半導体層である。

30

【0015】

上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、アンドープコンタクト層は、1nm以上10nm以下の厚みを有する。このように構成すれば、アンドープコンタクト層と電極との間のコンタクト抵抗を低減することができるので、アンドープコンタクト層と電極との間で良好なオーミック接触を得ることができる。また、アンドープコンタクト層の抵抗を低減することができる。

【0016】

上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、アンドープコンタクト層は、活性層のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有する。なお、活性層が単一材料により構成される場合では、活性層のバンドギャップは、その材料のバンドギャップを意味する。また、量子井戸構造などの多層構造を有する活性層の場合では、活性層のバンドギャップは、伝導帯および価電子帯に形成される2つの量子準位（基底準位）間のエネルギー差を意味する。このように構成すれば、容易に、アンドープコンタクト層での光吸収を低減することができる。この場合、アンドープコンタクト層は、InGaNを含むのが好ましい。このように構成すれば、容易に、アンドープコンタクト層のバンドギャップを第2窒化物系半導体層よりも小さくすることができる。

40

【0017】

上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、アンドープコンタクト層は、単一のアンドープの窒化物系半導体層により構成されている。このように構成

50

すれば、アンドープの窒化物系半導体層と不純物がドーブされた窒化物系半導体層とからなる変調ドーブされた超格子構造のコンタクト層に比べて、アンドープコンタクト層に不純物が拡散するのを抑制することができる。

【0018】

上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、少なくとも活性層と第2導電型の第2窒化物系半導体層との間に形成され、第2窒化物系半導体層よりもバンドギャップの小さい窒化物系半導体からなるアンドープの第3窒化物系半導体層をさらに備える。このように構成すれば、第3窒化物系半導体層により光の閉じ込め特性などの発光特性を制御することができるとともに、第3窒化物系半導体層での光吸収も抑制することができる。

10

【0019】

この場合、好ましくは、アンドープの第3窒化物系半導体層は、活性層と、第1導電型の第1窒化物系半導体層および第2導電型の第2窒化物系半導体層との間のうち、活性層と第2窒化物系半導体層との間にのみ形成されている。このように構成すれば、活性層で生成される光の強度の高い領域が第2窒化物系半導体層側にずれるので、第1導電型の第1窒化物系半導体層での光吸収が抑制される。この場合、光強度の高い領域が第2窒化物系半導体層側にずれたとしても、第2窒化物系半導体層上のアンドープコンタクト層には不純物準位や結晶欠陥が形成されないので、光吸収が増大することがない。その結果、窒化物系半導体発光素子の発光効率の向上効果が大きくなる。

【0020】

20

この場合、好ましくは、活性層と第1導電型の第1窒化物系半導体層との間に形成された第4窒化物系半導体層をさらに備え、第4窒化物系半導体層は、第3窒化物系半導体層の膜厚よりも薄い膜厚を有する。このように構成すれば、活性層で生成される光の強度の高い領域が第2窒化物系半導体層側にずれるので、第1導電型の第1窒化物系半導体層での光吸収が抑制される。この場合、光強度の高い領域が第2窒化物系半導体層側にずれたとしても、第2窒化物系半導体層上のアンドープコンタクト層には不純物準位や結晶欠陥が形成されないので、光吸収が増大することがない。その結果、窒化物系半導体発光素子の発光効率の向上効果が大きくなる。

【0021】

なお、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、アンドープコンタクト層は、Ga<sub>2</sub>Nを含んでいてもよい。

30

【0022】

また、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、第2導電型の第2窒化物系半導体層は、凸部を有する第2導電型のクラッド層を含み、アンドープコンタクト層は、第2導電型のクラッド層の凸部の上面に形成されており、第2導電型のクラッド層の凸部とアンドープコンタクト層とによってリッジ部が構成されている。このように構成すれば、容易に、電流通路領域としてのリッジ部を形成することができる。

【0023】

また、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、基板と第1導電型の第1窒化物系半導体層との間に形成されたアンドープの第5窒化物系半導体層をさらに備える。このように構成すれば、アンドープの第5窒化物系半導体層は、不純物のドーブに起因する結晶欠陥がないので、第5窒化物系半導体層上に順次形成される窒化物系半導体各層（第1窒化物系半導体層、活性層、第2窒化物系半導体層およびアンドープコンタクト層）に結晶欠陥が発生するのをより抑制することができる。これにより、結晶欠陥がより低減された窒化物系半導体各層（第1窒化物系半導体層、活性層、第2窒化物系半導体層およびアンドープコンタクト層）を形成することができるので、結晶欠陥に起因する光吸収をより抑制することができる。その結果、より発光効率の高い窒化物系半導体発光素子を形成することができる。

40

【0024】

この場合、好ましくは、アンドープの第5窒化物系半導体層は、選択横方向成長により

50

形成された低転位の窒化物系半導体から構成されている。このように構成すれば、容易に、不純物のドーブに起因する結晶欠陥のみならず、他の結晶欠陥も低減された低転位の第5窒化物系半導体層を得ることができるので、第5窒化物系半導体層上に順次形成される窒化物系半導体各層（第1窒化物系半導体層、活性層、第2窒化物系半導体層およびアンドープコンタクト層）に結晶欠陥が発生するのをさらに抑制することができる。

【0025】

また、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、第2導電型の第2窒化物系半導体層は、AlGaNからなる第2導電型のクラッド層を含む。このように構成すれば、第2窒化物系半導体層のバンドギャップを容易に大きくすることができるので、第2窒化物系半導体層からなるクラッド層における光吸収を低減することができる。

10

【0026】

また、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、アンドープコンタクト層は、複数のアンドープの窒化物系半導体層からなる超格子構造などの多層構造を有していてもよい。

【0027】

この場合、好ましくは、第2導電型の第2窒化物系半導体層は、AlGaNからなる第2導電型の第2窒化物系半導体層を含み、アンドープの第3窒化物系半導体層は、GaNからなるアンドープの第3窒化物系半導体層を含む。このように構成すれば、容易に、第3窒化物系半導体層のバンドギャップを第2窒化物系半導体層のバンドギャップよりも小さくすることができる。

20

【0028】

また、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、活性層は、Inを含む窒化物系半導体からなる活性層を含み、活性層上に形成され、活性層のInが脱離するのを防止するための窒化物系半導体からなる保護層をさらに備える。このように構成すれば、保護層により活性層のInが脱離するのが防止されるので、活性層の結晶の劣化を防止することができる。

【0029】

また、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、第1導電型の第1窒化物系半導体層は、第1導電型のコンタクト層を含み、第1導電型のコンタクト層は、第1導電型のクラッド層としての機能も有する。

30

【0030】

この場合、好ましくは、基板は、絶縁性基板を含む。このように構成すれば、クラッド層としての機能も有するコンタクト層上に電極を設けることにより、容易に、絶縁性基板を有する窒化物系半導体発光素子を得ることができる。

【0031】

また、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、アンドープコンタクト層上の電極は、くし状に形成されている。このように構成すれば、くし状に形成された電極を通して光を放出することができる。

【0032】

40

上記の場合、好ましくは、基板上に所定の間隔を隔てて形成されたオーバーハング部を有する複数のマスク層をさらに備え、アンドープの第5窒化物系半導体層は、選択横方向成長を用いて、マスク層間を埋め込むように形成されている。このように構成すれば、成長初期の段階から、マスク層間の中央部付近に、三角形の第5窒化物系半導体層が形成されるとともに、マスク層のオーバーハング部の下方に、マスク層間の中央部付近に位置する三角形の第5窒化物系半導体層よりも小さい三角形の第5窒化物系半導体層が形成される。このため、成長初期の段階から、第5窒化物系半導体層が横方向に成長するので、第5窒化物系半導体層に発生する転位が成長初期の段階から横方向に曲げられる。これにより、より薄い厚みで、転位密度が低減された第5窒化物系半導体層を形成することができる。

50

## 【0033】

また、上記一の局面による窒化物系半導体発光素子において、好ましくは、基板は、第1導電型のGa<sub>0.99</sub>N基板である。このように構成すれば、容易に、第1導電型のGa<sub>0.99</sub>N基板を有する窒化物系半導体発光素子の発光効率を向上させることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0034】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

## 【0035】

(第1実施形態)

図1は、本発明の第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子(青色LEDチップ)を示した断面図であり、図2は、図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の上面図である。まず、図1および図2を参照して、第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の構造について説明する。

## 【0036】

第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子では、図1に示すように、サファイア基板1の(0001)面上に、約10nmの膜厚を有するAlGa<sub>0.99</sub>Nからなる低温バッファ層2が形成されている。なお、サファイア基板1は、本発明の「基板」および「絶縁性基板」の一例である。そして、低温バッファ層2上には、約1μmの膜厚を有するアンドープGa<sub>0.99</sub>Nからなる高温バッファ層3が形成されている。高温バッファ層3上には、約5μmの膜厚を有するSiがドープされたn型Ga<sub>0.99</sub>Nからなるn型コンタクト層4が形成されている。また、n型コンタクト層4は、一部領域が除去されることによって、凸形状に形成されている。このn型コンタクト層4は、n型クラッド層としての機能も有する。なお、n型コンタクト層4は、本発明の「第1窒化物系半導体層」の一例である。

## 【0037】

また、n型コンタクト層4の凸部上のほぼ全面と接触するように、約5nmの膜厚を有する6つのアンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる障壁層5aと、約5nmの膜厚を有する5つのアンドープIn<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>Nからなる井戸層5bとが交互に積層された多重量子井戸(MQW: Multiple Quantum Well)構造を有するMQW活性層5が形成されている。なお、MQW活性層5は、本発明の「活性層」の一例である。そして、MQW活性層5上には、約10nmの膜厚を有するアンドープGa<sub>0.99</sub>Nからなる保護層6が形成されている。この保護層6は、MQW活性層5のInが脱離するのを防止することによりMQW活性層5の結晶の劣化を防止する機能を有する。

## 【0038】

ここで、第1実施形態では、保護層6上に、約0.15μmの膜厚を有するとともに、約 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ のドーピング量および約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するMgがドープされたp型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなるp型クラッド層7が形成されている。なお、p型クラッド層7は、本発明の「第2窒化物系半導体層」および「クラッド層」の一例である。また、第1実施形態では、p型クラッド層7上に、約1nm~約10nmの膜厚を有するアンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるアンドープコンタクト層8が形成されている。このIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるアンドープコンタクト層8のバンドギャップは、Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなるp型クラッド層7のバンドギャップよりも小さく、かつ、アンドープIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>NとアンドープIn<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>NとからなるMQW活性層5のバンドギャップよりも大きい。なお、MQW活性層5のバンドギャップは、伝導帯および価電子帯に形成される2つの量子準位(基底準位)間のエネルギー差を意味し、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>NとIn<sub>0.35</sub>Ga<sub>0.65</sub>Nとで構成されるMQW活性層5の量子準位間のエネルギー差は、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるアンドープコンタクト層8のバンドギャップよりも小さくなる。

また、アンドープコンタクト層8の上面上には、下から上に向かって、約100nmの膜厚を有するPd膜と、約100nmの膜厚を有するAu膜とから構成されるくし状のp側

10

20

30

40

50

電極 9 が形成されている。なお、p 側電極 9 は、本発明の「電極」の一例である。

【0039】

図 3 は、図 1 に示した第 1 実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子において、コンタクト層の材料と厚みとを変化させた場合の p 側電極とコンタクト層とのコンタクト抵抗を示したグラフである。この図 3 に示すグラフには、約  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  のキャリア濃度を有する Mg がドーパされた p 型 GaN 層をコンタクト層として用いた場合のコンタクト抵抗との相対値が示されている。なお、Mg がドーパされた p 型 GaN は、コンタクト層に標準的に用いられる材料である。

【0040】

図 3 に示すように、アンドープ  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  からなるアンドープコンタクト層 8 の膜厚を約 1 nm ~ 約 10 nm にすることによって、アンドープコンタクト層 8 のコンタクト抵抗を、Mg がドーパされた p 型 GaN からなる p 型コンタクト層のコンタクト抵抗に近づけることができることがわかる。また、アンドープ GaN からなるアンドープコンタクト層を設けた場合でも、膜厚を約 1 nm ~ 約 10 nm にすることによって、ある程度コンタクト抵抗を小さくすることができることがわかる。ただし、アンドープ  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  からなるアンドープコンタクト層 8 の方が、アンドープ GaN からなるアンドープコンタクト層よりもコンタクト抵抗をより小さくすることができる。上記の点を考慮して、第 1 実施形態では、約 1 nm ~ 約 10 nm の膜厚を有するアンドープ  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  からなるアンドープコンタクト層 8 を用いている。なお、アンドープ  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  からなるアンドープコンタクト層では、膜厚を約 1 nm ~ 約 10 nm にしたとしても、コンタクト抵抗が大きいことがわかる。また、p 型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  からなる p 型コンタクト層のコンタクト抵抗は、p 型 GaN からなる p 型コンタクト層のコンタクト抵抗の約 10 倍であり、高いことがわかる。

【0041】

また、図 1 および図 2 に示すように、p 側電極 9 の上面上の一部領域には、下から上に向かって、約 30 nm の膜厚を有する Ti 膜と、約 500 nm の膜厚を有する Au 膜とから構成される p 側パッド電極 10 が形成されている。また、n 型コンタクト層 4 の表面上の凸部以外の一部領域には、約 500 nm の膜厚を有する Al からなる n 側電極 11 が形成されている。

【0042】

第 1 実施形態では、上記のように、アンドープコンタクト層 8 を設けることによって、アンドープコンタクト層 8 には不純物準位が形成されないのので、不純物準位に起因する光吸収を防止することができる。また、アンドープコンタクト層 8 には、不純物のドーパに起因する結晶欠陥がないのので、アンドープコンタクト層 8 は、良好な結晶性を有する。このため、アンドープコンタクト層 8 の結晶欠陥に起因する光吸収も抑制することができる。これにより、アンドープコンタクト層 8 での光吸収損失を低減することができるので、窒化物系半導体発光ダイオード素子の発光効率を向上させることができる。

【0043】

また、第 1 実施形態では、上記のように、アンドープコンタクト層 8 のバンドギャップを p 型クラッド層 7 のバンドギャップよりも小さくすることによって、アンドープコンタクト層 8 と p 側電極 9 との界面におけるエネルギー障壁が小さくなるので、アンドープコンタクト層 8 と p 側電極 9 とのオーミック接触を実現しやすくなる。これにより、窒化物系半導体発光ダイオード素子の発光効率をより向上させることができるとともに、駆動電圧を低くすることができる。

【0044】

また、第 1 実施形態では、上記のように、アンドープコンタクト層 8 の膜厚を約 1 nm ~ 約 10 nm にすることによって、アンドープコンタクト層 8 と p 側電極 9 との間のコンタクト抵抗を低減することができるので、アンドープコンタクト層 8 と p 側電極 9 との間で良好なオーミック接触を得ることができる。また、アンドープコンタクト層 8 の抵抗を低減することができる。

10

20

30

40

50

## 【0045】

また、第1実施形態では、上記のように、p型クラッド層7をMgがドーブされたp型  $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$  により形成することによって、p型クラッド層7のバンドギャップを容易に大きくすることができるので、p型クラッド層7における光吸収を低減することができる。さらに、第1実施形態では、アンドープコンタクト層8を  $In_{0.15}Ga_{0.85}N$  により形成することによって、容易に、アンドープコンタクト層8のバンドギャップをp型クラッド層7よりも小さくすることができる。また、上記のように、アンドープコンタクト層8のバンドギャップがMQW活性層5のバンドギャップよりも大きくなるので、容易に、アンドープコンタクト層8での光吸収を低減することができる。

## 【0046】

図4および図5は、図1および図2に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図1、図2、図4および図5を参照して、第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスについて説明する。

## 【0047】

まず、図4に示すように、MOVPE法(Metal Organic Vapor Phase Epitaxy:有機金属気相成長法)を用いて、サファイア基板1上に、低温バッファ層2、高温バッファ層3、n型コンタクト層4、MQW活性層5、保護層6、p型クラッド層7およびアンドープコンタクト層8を順次成長させる。

## 【0048】

具体的には、サファイア基板1を約600の非単結晶成長温度に保持した状態で、 $H_2$  および  $N_2$  からなるキャリアガス( $H_2$ :約50%)と、 $NH_3$ 、トリメチルアルミニウム(TMAI)およびトリメチルガリウム(TMGa)からなる原料ガスとを用いて、サファイア基板1の(0001)面上に、約10nmの膜厚を有するAlGaInからなる低温バッファ層2を成長させる。

## 【0049】

次に、基板温度を約1150の単結晶成長温度に保持した状態で、 $H_2$  および  $N_2$  からなるキャリアガス( $H_2$ :約50%)と、 $NH_3$  および TMGa からなる原料ガスとを用いて、約  $1\mu m/h$  の成長速度で、低温バッファ層2上に、約  $1\mu m$  の膜厚を有するアンドープGaInからなる高温バッファ層3を成長させる。

## 【0050】

次に、基板温度を約1150の単結晶成長温度に保持した状態で、 $H_2$  および  $N_2$  からなるキャリアガス( $H_2$ :約50%)と、 $NH_3$  および TMGa からなる原料ガスと、 $SiH_4$  からなるドーパントガスとを用いて、約  $3\mu m/h$  の成長速度で、高温バッファ層3上に、約  $5\mu m$  の膜厚を有するSiがドーブされたn型GaInからなるn型コンタクト層4を成長させる。

## 【0051】

次に、基板温度を約850の単結晶成長温度に保持した状態で、 $H_2$  および  $N_2$  からなるキャリアガス( $H_2$ :約1%~約5%)と、 $NH_3$ 、トリエチルガリウム(TEGa)およびトリメチルインジウム(TMIIn)からなる原料ガスとを用いて、約  $0.4nm/s$  の成長速度で、n型コンタクト層4上に、約5nmの膜厚を有する6つのアンドープ  $In_{0.15}Ga_{0.85}N$  からなる障壁層5aと、約5nmの膜厚を有する5つのアンドープ  $In_{0.35}Ga_{0.65}N$  からなる井戸層5bとを交互に成長させる。これにより、n型コンタクト層4上にMQW活性層5が形成される。続いて、MQW活性層5上に、約  $0.4nm/s$  の成長速度で、約10nmの膜厚を有するアンドープGaInからなる保護層6を成長させる。

## 【0052】

次に、基板温度を約1150の単結晶成長温度に保持した状態で、 $H_2$  および  $N_2$  からなるキャリアガス( $H_2$ :約1%~約3%)と、 $NH_3$ 、TMGaおよびTMAIからなる原料ガスと、シクロペンタジエニルマグネシウム( $Cp_2Mg$ )からなるドーパント

10

20

30

40

50

ガスとを用いて、約  $3 \mu\text{m}/\text{h}$  の成長速度で、保護層 6 上に、約  $0.15 \mu\text{m}$  の膜厚を有するとともに、約  $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  のドーピング量および約  $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  のキャリア濃度を有する Mg がドーブされた p 型  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  からなる p 型クラッド層 7 を成長させる。

【0053】

この際、キャリアガスの  $\text{H}_2$  組成を約 1% ~ 約 3% と低くすることによって、アクセプタとしての Mg を活性化させることができるので、高いキャリア濃度を有する p 型クラッド層 7 を得ることができる。

【0054】

次に、基板温度を約  $850$  の単結晶成長温度に保持した状態で、 $\text{H}_2$  および  $\text{N}_2$  からなるキャリアガス ( $\text{H}_2$  : 約 1% ~ 約 5%) と、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{TEGa}$  および  $\text{TMI n}$  からなる原料ガスとを用いて、約  $3 \mu\text{m}/\text{h}$  の成長速度で、p 型クラッド層 7 上に、約  $1 \text{nm}$  ~ 約  $10 \text{nm}$  の膜厚を有するアンドープ  $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  からなるアンドープコンタクト層 8 を成長させる。

【0055】

そして、図 5 に示すように、反応性イオンビームエッチング (RIE) 法などを用いて、アンドープコンタクト層 8、p 型クラッド層 7、保護層 6、MQW 活性層 5 および n 型コンタクト層 4 の一部領域を除去することにより、n 型コンタクト層 4 の一部領域を露出させる。

【0056】

次に、図 1 および図 2 に示したように、真空蒸着法などを用いて、アンドープコンタクト層 8 の表面上に、下から上に向かって、約  $100 \text{nm}$  の膜厚を有する Pd 膜と、約  $100 \text{nm}$  の膜厚を有する Au 膜とから構成されるくし状の p 側電極 9 を形成する。その p 側電極 9 の表面上の一部領域に、下から上に向かって、約  $30 \text{nm}$  の膜厚を有する Ti 膜と、約  $500 \text{nm}$  の膜厚を有する Au 膜とから構成される p 側パッド電極 10 を形成する。また、n 型コンタクト層 4 の露出された表面上に、約  $500 \text{nm}$  の膜厚を有する Al からなる n 側電極 11 を形成する。

【0057】

その後、約  $600$  の温度で熱処理することによって、p 側電極 9 および n 側電極 11 を、それぞれ、アンドープコンタクト層 8 および n 型コンタクト層 4 にオーミック接触させる。

【0058】

最後に、スクライブ、ダイシングおよびブレーキングなどの方法を用いて、たとえば、一辺の長さが約  $400 \mu\text{m}$  のほぼ正方形のチップ形状になるように素子分離を行う。このようにして、第 1 実施形態の窒化物系半導体発光ダイオード素子が形成される。

【0059】

さらに、上記のように形成された第 1 実施形態の窒化物系半導体発光ダイオード素子 (青色 LED チップ) をフレーム (図示せず) に固定した後、それらを覆うように、樹脂を  $200$  前後の温度で硬化させることによって、第 1 実施形態の青色 LED チップを含む LED ランプを作製してもよい。

【0060】

(第 2 実施形態)

図 6 は、本発明の第 2 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子 (LD チップ) を示した断面図である。図 6 を参照して、この第 2 実施形態では、窒化物系半導体発光ダイオード素子に本発明を適用した第 1 実施形態と異なり、窒化物系半導体レーザ素子に本発明を適用した例について説明する。

【0061】

この第 2 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図 6 に示すように、(0001) Ga 面を表面とする酸素がドーブされた導電性の n 型 GaN 基板 21 上に、約  $1 \mu\text{m}$  の膜厚を有する Si がドーブされた n 型 GaN 層 22 が形成されている。n 型 GaN 層 2

10

20

30

40

50

2上には、約1 $\mu$ mの膜厚を有するSiがドーブされたn型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるn型クラッド層23が形成されている。なお、n型GaN基板21は、本発明の「基板」の一例であり、n型GaN層22およびn型クラッド層23は、本発明の「第1窒化物系半導体層」の一例である。

【0062】

また、n型クラッド層23上には、約100nmの膜厚を有するn型GaNからなるn型光ガイド層24が形成されている。そして、n型光ガイド層24上には、約15nmの膜厚を有する4つのアンドーブIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなる障壁層25aと、約4nmの膜厚を有する3つのアンドーブIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなる井戸層25bとが交互に積層された多重量子井戸構造を有するMQW活性層25が形成されている。

10

【0063】

ここで、第2実施形態では、MQW活性層25上に、約20nmの膜厚を有するアンドーブAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nからなる保護層26が形成されている。この保護層26は、MQW活性層25のInが脱離するのを防止することによりMQW活性層25の結晶の劣化を防止する機能を有する。また、保護層26上には、約100nmの膜厚を有するアンドーブGaNからなる光ガイド層27が形成されている。そして、アンドーブGaNからなる光ガイド層27は、後述するAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるp型クラッド層28のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する。なお、光ガイド層27は、本発明の「第3窒化物系半導体層」の一例である。

【0064】

20

そして、光ガイド層27上には、約280nmの膜厚を有するとともに、中央部付近に約1.5 $\mu$ mの幅を有するストライプ状の凸部を有するMgがドーブされたp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるp型クラッド層28が形成されている。なお、p型クラッド層28は、本発明の「第2窒化物系半導体層」および「クラッド層」の一例である。

【0065】

ここで、第2実施形態では、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるp型クラッド層28の凸部上に、約5nmの膜厚を有するアンドーブIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなるアンドーブコンタクト層29が形成されている。そして、p型クラッド層28の凸部とアンドーブコンタクト層29とによって、電流通路領域となるリッジ部が構成されている。このアンドーブコンタクト層29のバンドギャップは、p型クラッド層28のバンドギャップよりも小さく、かつ、MQW活性層25のバンドギャップよりも大きい。なお、MQW活性層25のバンドギャップは、伝導帯および価電子帯に形成される2つの量子準位(基底準位)間のエネルギー差を意味し、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>NとIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nとで構成されるMQW活性層25の量子準位間のエネルギー差は、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nからなるアンドーブコンタクト層29のバンドギャップよりも小さくなる。

30

【0066】

また、p型クラッド層28の表面とアンドーブコンタクト層29の側面とを覆うように、SiO<sub>2</sub>からなる絶縁膜30が形成されている。そして、アンドーブコンタクト層29上には、下から上に向かって、Pd膜と、Pt膜と、Au膜とから構成されるp側電極31が形成されている。なお、p側電極31は、本発明の「電極」の一例である。また、絶縁膜30の表面とp側電極31の表面とを覆うように、p側パッド電極32が形成されている。そして、n型GaN基板21の裏面上には、n型GaN基板21の裏面に近い側から、Ti膜と、Pt膜と、Au膜とから構成されるn側電極33が形成されている。

40

【0067】

第2実施形態では、上記のように、アンドーブコンタクト層29を設けることによって、アンドーブコンタクト層29には不純物準位が形成されないのので、不純物準位に起因する光吸収を防止することができる。また、アンドーブコンタクト層29には、不純物のドーブに起因する結晶欠陥がないのので、良好な結晶性を有する。このため、アンドーブコンタクト層29の結晶欠陥に起因する光吸収も抑制することができる。これにより、アンドーブコンタクト層29での光吸収損失を低減することができるので、窒化物系半導体レー

50

ザ素子の発光効率を向上させることができる。

【0068】

また、第2実施形態では、上記のように、アンドープコンタクト層29のバンドギャップをp型クラッド層28のバンドギャップよりも小さくすることによって、アンドープコンタクト層29とp側電極31との界面におけるエネルギー障壁が小さくなるので、アンドープコンタクト層29とp側電極31とのオーミック接触を実現しやすくすることができる。

【0069】

また、第2実施形態では、上記のように、p型クラッド層28をMgがドープされたp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nにより形成することによって、p型クラッド層28のバンドギャップを容易に大きくすることができるので、p型クラッド層28における光吸収を容易に低減することができる。さらに、第2実施形態では、アンドープコンタクト層29をIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nにより形成することによって、容易に、アンドープコンタクト層29のバンドギャップをp型クラッド層28よりも小さくすることができる。また、上記のように、アンドープコンタクト層29のバンドギャップがMQW活性層25のバンドギャップよりも大きくなるので、容易に、アンドープコンタクト層29での光吸収を低減することができる。

【0070】

また、第2実施形態では、上記のように、MQW活性層25とp型クラッド層28との間に、p型クラッド層28のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有するアンドープの光ガイド層27を設けることによって、光ガイド層27により光の閉じ込め特性などの発光特性を制御することができるとともに、光ガイド層27での光吸収も抑制することができる。

【0071】

図7～図9は、図6に示した第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図6～図9を参照して、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスについて説明する。

【0072】

まず、図7に示すように、MOVPE法を用いて、(0001)Ga面を表面とする酸素がドープされたn型GaN基板21上に、n型GaN層22、n型クラッド層23、n型光ガイド層24、MQW活性層25、保護層26、光ガイド層27、p型クラッド層28およびアンドープコンタクト層29を順次成長させる。

【0073】

具体的には、n型GaN基板21を約1150の成長温度に保持した状態で、H<sub>2</sub>およびN<sub>2</sub>からなるキャリアガス(H<sub>2</sub>:約50%)と、NH<sub>3</sub>およびTMGaからなる原料ガスと、SiH<sub>4</sub>からなるドーパントガスとを用いて、約3μm/hの成長速度で、(0001)Ga面を表面とする酸素がドープされたn型GaN基板21上に、約1μmの膜厚を有するSiがドープされたn型GaN層22を成長させる。

【0074】

次に、基板温度を約1150の成長温度に保持した状態で、H<sub>2</sub>およびN<sub>2</sub>からなるキャリアガス(H<sub>2</sub>:約50%)と、NH<sub>3</sub>、TMGaおよびTMAIからなる原料ガスと、SiH<sub>4</sub>からなるドーパントガスとを用いて、約3μm/hの成長速度で、n型GaN層22上に、約1μmの膜厚を有するSiがドープされたn型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるn型クラッド層23を成長させる。続いて、n型クラッド層23上に、約3μm/hの成長速度で、約100nmの膜厚を有するn型GaNからなるn型光ガイド層24を成長させる。

【0075】

次に、基板温度を約850の成長温度に保持した状態で、H<sub>2</sub>およびN<sub>2</sub>からなるキャリアガス(H<sub>2</sub>:約1%～約5%)と、NH<sub>3</sub>、TEGaおよびTMInからなる原料ガスとを用いて、約0.4nm/sの成長速度で、n型光ガイド層24上に、約15nm

10

20

30

40

50

の膜厚を有する4つのアンドープ  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  からなる障壁層 25a と、約 4 nm の膜厚を有する3つのアンドープ  $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$  からなる井戸層 25b とを交互に成長させる。これにより、n型光ガイド層 24 上に、MQW 活性層 25 が形成される。続いて、MQW 活性層 25 上に、約 0.4 nm/s の成長速度で、約 20 nm の膜厚を有するアンドープ  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  からなる保護層 26 を成長させる。

【0076】

次に、基板温度を約 1150 の成長温度に保持した状態で、 $\text{H}_2$  および  $\text{N}_2$  からなるキャリアガス ( $\text{H}_2$  : 約 1% ~ 約 3%) と、 $\text{NH}_3$  および  $\text{TMGa}$  からなる原料ガスとを用いて、約 3  $\mu\text{m}/\text{h}$  の成長速度で、保護層 26 上に、約 100 nm の膜厚を有するアンドープ  $\text{GaN}$  からなる光ガイド層 27 を成長させる。さらに、 $\text{TMAI}$  からなる原料ガスを加えるとともに、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$  からなるドーパントガスを加えて、光ガイド層 27 上に、約 3  $\mu\text{m}/\text{h}$  の成長速度で、約 280 nm の膜厚を有する  $\text{Mg}$  がドーパされた p 型  $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$  からなる p 型クラッド層 28 を成長させる。

【0077】

この際、キャリアガスの  $\text{H}_2$  組成を約 1% ~ 約 3% と低くすることによって、アクセプタとしての  $\text{Mg}$  を活性化させることができるので、高いキャリア濃度を有する p 型クラッド層 28 を得ることができる。

【0078】

次に、基板温度を約 850 の成長温度に保持した状態で、 $\text{H}_2$  および  $\text{N}_2$  からなるキャリアガス ( $\text{H}_2$  : 約 1% ~ 約 5%) と、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{TEGa}$  および  $\text{TMin}$  からなる原料ガスとを用いて、約 3  $\mu\text{m}/\text{h}$  の成長速度で、p 型クラッド層 28 上に、約 5 nm の膜厚を有するアンドープ  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  からなるアンドープコンタクト層 29 を成長させる。

【0079】

そして、図 8 に示すように、真空蒸着法およびリソグラフィ技術を用いて、アンドープコンタクト層 29 上の中央部付近に、下から上に向かって、Pd 膜と、Pt 膜と、Au 膜とから構成される p 側電極 31 を、約 1.5  $\mu\text{m}$  の幅を有するストライプ状に形成する。

【0080】

この後、図 9 に示すように、反応性イオンビームエッチング法などを用いて、p 側電極 31 をマスクとして、アンドープコンタクト層 29 および p 型クラッド層 28 の一部領域を除去する。これにより、電流注入領域となる凸部 (リッジ部) が形成される。

【0081】

次に、プラズマ CVD 法 (Chemical Vapor Deposition : 化学的気相堆積法) を用いて、p 型クラッド層 28 の表面とアンドープコンタクト層 29 の表面と p 側電極 31 の表面とを覆うように、 $\text{SiO}_2$  からなる絶縁膜 (図示せず) を形成した後、p 側電極 31 の表面上の絶縁膜を除去することによって、図 6 に示すような形状を有する絶縁膜 30 が得られる。そして、絶縁膜 30 の表面と p 側電極 31 の表面とを覆うように、p 側パッド電極 32 を形成する。

【0082】

最後に、n 型  $\text{GaN}$  基板 21 を所定の厚み (たとえば、約 100  $\mu\text{m}$ ) になるまで研磨した後、真空蒸着法を用いて、n 型  $\text{GaN}$  基板 21 の裏面上に、n 型  $\text{GaN}$  基板 21 の裏面に近い側から、Ti 膜と、Pt 膜と、Au 膜とから構成される n 側電極 33 を形成する。このようにして、第 2 実施形態の窒化物系半導体レーザ素子が形成される。

【0083】

(第 3 実施形態)

図 10 は、本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子 (青色 LED チップ) を示した断面図である。図 10 を参照して、この第 3 実施形態では、上記第 1 実施形態において形成された高温バッファ層 3 に代えて、より低転位のアンドープ  $\text{GaN}$  層 44 を形成した例について説明する。なお、その他の構成は、第 1 実施形態と同様である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 4 】

すなわち、第3実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子では、図10に示すように、サファイア基板41の(0001)面上に、約10nm~約1000nmの膜厚を有するSiNからなる断面が逆メサ形状(逆台形状)のマスク層42が、約7μmの周期でストライプ状(細長状)に形成されている。なお、サファイア基板41は、本発明の「基板」および「絶縁性基板」の一例である。そして、マスク層42は、隣接するマスク層42間の最短距離が、マスク層42間に露出したサファイア基板41の幅よりも小さくなるように形成されている。

## 【 0 0 8 5 】

また、マスク層42間に露出したサファイア基板41上には、約10nm~約50nmの膜厚を有するAlGaNまたはGaNからなる低温バッファ層43が形成されている。そして、低温バッファ層43上およびマスク層42上には、選択横方向成長を用いて、マスク層42間を埋め込むように、約2μmの膜厚を有する低転位のアンドープGaN層44が形成されている。なお、アンドープGaN層44は、本発明の「第5窒化物系半導体層」の一例である。

## 【 0 0 8 6 】

そして、アンドープGaN層44上に形成されているn型コンタクト層4、MQW活性層5、保護層6、p型クラッド層7、アンドープコンタクト層8、p側電極9、p側パッド電極10およびn側電極11の膜厚および組成は、図1に示した第1実施形態と同様である。

## 【 0 0 8 7 】

第3実施形態では、上記のように、第1実施形態の高温バッファ層3(図1参照)よりも低転位のアンドープGaN層44上に、窒化物系半導体各層(4~8)を形成することによって、窒化物系半導体各層(4~8)に結晶欠陥が発生するのをより抑制することができる。これにより、結晶欠陥がより低減された窒化物系半導体各層(4~8)を形成することができるので、結晶欠陥に起因する光吸収をより抑制することができる。その結果、より発光効率の高い青色LEDチップを形成することができる。

## 【 0 0 8 8 】

なお、第3実施形態のその他の効果は、第1実施形態と同様である。

## 【 0 0 8 9 】

図11~図13は、図10に示した第3実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図10~図13を参照して、第3実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスについて説明する。

## 【 0 0 9 0 】

まず、図11に示すように、サファイア基板41上の全面にSiN膜(図示せず)を形成した後、そのSiN膜の所定領域上にレジスト(図示せず)を形成する。そして、そのレジストをマスクとして、SiN膜をウェットエッチングすることによって、ストライプ状のマスク層42を形成する。このマスク層42は、オーバーハング部42aを有するように、逆メサ形状(逆台形状)に形成されている。また、マスク層42の開口部は、たとえば、サファイア基板41の[11-20]方向またはサファイア基板41の[1-100]方向に形成するのが好ましい。この後、マスク層42間に露出したサファイア基板41上に、約500~約700の成長温度で、約10nm~約50nmの膜厚を有するAlGaNまたはGaNからなる低温バッファ層43を選択成長させる。

## 【 0 0 9 1 】

次に、MOVPE法を用いて、マスク層42を選択成長マスクとして、低温バッファ層43上に、約950~約1200の成長温度で、アンドープGaN層44(図13参照)を横方向成長させる。この場合、露出された低温バッファ層43の上面上において、アンドープGaN層44は、まず、上方向に成長する。これにより、図12に示すように、成長初期の段階から、マスク層42間の中央部付近に、断面が三角形状のファセット構

10

20

30

40

50

造のアンドープGaN層44aが成長される。また、マスク層42のオーバーハング部42aの下方には、アンドープGaN層44aよりも小さいファセット構造のアンドープGaN層44bが形成される。さらに、アンドープGaN層44aおよび44bからなるファセットの成長が進むと、各アンドープGaN層44aおよび44bは、横方向に成長して合体するとともに、マスク層42上にも成長される。これにより、図13に示すように、約2 $\mu$ mの膜厚を有する上面が平坦な連続膜からなるアンドープGaN層44が形成される。

【0092】

このように、アンドープGaN層44は、成長初期の段階から横方向に成長するので、アンドープGaN層44に発生する転位が成長初期の段階から横方向に曲げられる。これにより、より薄い厚みで、転位密度が約 $7 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ に低減されたアンドープGaN層44を形成することができる。

10

【0093】

この後、第1実施形態と同様の製造プロセスを用いて、アンドープGaN層44上に、図10に示したような、n型コンタクト層4、MQW活性層5、保護層6、p型クラッド層7およびアンドープコンタクト層8を順次形成した後、n型コンタクト層4からアンドープコンタクト層8の一部領域を除去する。そして、アンドープコンタクト層8上に、p側電極9およびp側パッド電極10を順次形成する。この後、n型コンタクト層4の露出された表面上に、n側電極11を形成する。

【0094】

20

最後に、スクライブ、ダイシングおよびブレイキングなどの方法を用いて、たとえば、一辺の長さが約400 $\mu$ mのほぼ正方形のチップ形状になるように素子分離を行う。このようにして、第3実施形態の窒化物系半導体発光ダイオード素子が形成される。

【0095】

(第4実施形態)

図14は、本発明の第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子(LDチップ)を示した断面図である。図14を参照して、この第4実施形態では、上記第2実施形態において形成されたn型光ガイド層24を設けない例について説明する。なお、その他の構成は、第2実施形態と同様である。

【0096】

30

すなわち、第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図14に示すように、(0001)Ga面を表面とする酸素がドーパされた導電性のn型GaN基板21上に、第2実施形態と同様の膜厚および組成を有するn型GaN層22およびn型クラッド層23が順次形成されている。

【0097】

ここで、第4実施形態では、n型クラッド層23の直上に、第2実施形態と同様の膜厚および組成を有する4つの障壁層25aと3つの井戸層25bとが交互に積層されたMQW活性層25が形成されている。すなわち、この第4実施形態では、n型クラッド層23とMQW活性層25との間には、n型光ガイド層が設けられていない。

【0098】

40

そして、MQW活性層25上に形成されている保護層26、光ガイド層27、p型クラッド層28、アンドープコンタクト層29、絶縁膜30、p側電極31およびp側パッド電極32の膜厚および組成は、図6に示した第2実施形態と同様である。また、n型GaN基板21の裏面上に形成されているn側電極33の膜厚および組成も、図6に示した第2実施形態と同様である。

【0099】

第4実施形態では、上記のように、n型クラッド層23とMQW活性層25との間にn型光ガイド層を設けないことによって、MQW活性層25で生成された光の強度の高い領域がp側にずれるので、n型クラッド層23での光吸収が抑制される。この場合、光強度の高い領域がp側にずれたとしても、アンドープコンタクト層29にはドーピングに起因

50

する不純物準位や結晶欠陥が形成されないので、光吸収が増大することがない。その結果、窒化物系半導体レーザ素子の発光効率の向上効果が大きくなる。

【0100】

なお、第4実施形態のその他の効果は、第2実施形態と同様である。

【0101】

図15～図17は、図14に示した第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。次に、図14～図17を参照して、第4実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスについて説明する。

【0102】

まず、図15に示すように、MOCVD法を用いて、(0001)Ga面を表面とする酸素がドーパされたn型GaN基板21上に、n型GaN層22およびn型クラッド層23を順次成長させる。次に、第4実施形態では、n型クラッド層23の直上に、4つの障壁層25aと3つの井戸層25bとを交互に成長させることによって、MQW活性層25を形成する。その後、MQW活性層25上に、保護層26、光ガイド層27、p型クラッド層28およびアンドープコンタクト層29を順次成長させる。なお、n型GaN層22、n型クラッド層23、MQW活性層25、保護層26、光ガイド層27、p型クラッド層28およびアンドープコンタクト層29を成長させる際の基板温度および導入ガスは、それぞれ、第2実施形態の基板温度および導入ガスと同様である。

10

【0103】

次に、図16に示すように、第2実施形態と同様、真空蒸着法およびリソグラフィ技術を用いて、アンドープコンタクト層29上の中央部付近に、ストライプ状のp側電極31を形成する。この後、反応性イオンビームエッチング法などを用いて、p側電極31をマスクとして、アンドープコンタクト層29およびp型クラッド層28の一部領域を除去することによって、図17に示すような電流通路領域となる凸状のリッジ部を形成する。

20

【0104】

最後に、図14に示したように、第2実施形態と同様、プラズマCVD法を用いて、p型クラッド層28の表面とアンドープコンタクト層29の側面とを覆うように、絶縁膜30を形成した後、絶縁膜30の表面とp側電極31の表面とを覆うように、p側パッド電極32を形成する。この後、n型GaN基板21を所定の厚みになるまで研磨した後、真空蒸着法を用いて、n型GaN基板21の裏面上に、n側電極33を形成することによって、第4実施形態の窒化物系半導体レーザ素子が形成される。

30

【0105】

なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【0106】

たとえば、上記第1～第4実施形態では、基板として、サファイア基板およびn型GaN基板を用いるようにしたが、本発明はこれに限らず、スピネル基板、Si基板、SiC基板、GaAs基板、GaP基板、InP基板、水晶基板およびZrB<sub>2</sub>基板などを用いてもよい。

40

【0107】

また、上記第1～第4実施形態では、アンドープInGaNの単層からなるアンドープコンタクト層を形成するようにしたが、本発明はこれに限らず、図18に示すように、活性層のバンドギャップよりも大きいバンドギャップを有するアンドープInGaNなどからなる層を少なくとも1層含む複数のアンドープ層からなる超格子構造などの多層構造のp側コンタクト層49を形成するようにしてもよい。なお、p側コンタクト層49は、本発明の「アンドープコンタクト層」の一例である。この場合の超格子の構成としては、数nmの膜厚を有するアンドープIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Nからなる層と数nmの膜厚を有するアンドープIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N (X>Y>0)からなる層との積層構造や、数nmの膜厚を

50

有するアンドープInGa<sub>n</sub>Nからなる層と数nmの膜厚を有するアンドープAlGa<sub>n</sub>N (Ga<sub>n</sub>Nを含む)からなる層との積層構造などが考えられる。

【0108】

また、上記第1～第4実施形態では、窒化物系半導体の各層の表面が(0001)面になるように積層したが、本発明はこれに限らず、窒化物系半導体の各層の表面が他の方向になるように積層してもよい。たとえば、窒化物系半導体の各層の表面が(1-100)や(11-20)面などの(H、K、-H-K、0)面になるように積層してもよい。この場合、MQW活性層内にピエゾ電場が発生しないので、井戸層のエネルギーバンドの傾きに起因する正孔と電子との再結合確率の低下を抑制することができる。その結果、MQW活性層の発光効率を向上することができる。

10

【0109】

また、上記第1～第4実施形態では、活性層として多重量子井戸(MQW)構造を用いる例を示したが、本発明はこれに限らず、量子効果を有しない厚膜の単層または単一量子井戸構造であっても同様の効果を得ることができる。

【0110】

また、上記第1～第4実施形態では、InGa<sub>n</sub>Nからなるアンドープコンタクト層をp側に設けるようにしたが、本発明はこれに限らず、Ga<sub>n</sub>Nからなるアンドープコンタクト層をp側に設けるようにしてもよい。たとえば、第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造において、InGa<sub>n</sub>Nからなるアンドープコンタクト層に代えて、Ga<sub>n</sub>Nからなるアンドープコンタクト層を設けた場合には、図19に示すような構造となる。すなわち、第2実施形態と異なり、p型クラッド層28の凸部上には、Ga<sub>n</sub>Nからなるアンドープコンタクト層59が形成されている。このように、Ga<sub>n</sub>Nからなるアンドープコンタクト層59を設けた場合においても、光吸収を抑制することができるなどの第2実施形態と同様の効果を得ることができる。

20

【0111】

また、上記第2実施形態では、n側およびp側に、それぞれ、同じ膜厚(約100nm)を有するn型光ガイド層24および光ガイド層27を設けるようにしたが、本発明はこれに限らず、図20に示すように、光ガイド層27の膜厚よりも小さい膜厚(たとえば、約50nm)を有するn型光ガイド層64を設けるようにしてもよい。この場合には、n型光ガイド層64の膜厚がp側の光ガイド層27の膜厚よりも小さい分、光強度の高い領域がp側にずれるので、n型クラッド層23での光吸収が抑制される。また、この場合には、第4実施形態と同様、ドーピングに起因する不純物準位や結晶欠陥が形成されないアンドープコンタクト層29で光吸収が増大することがないので、窒化物系半導体レーザ素子の発光効率の向上効果が大きくなる。

30

【図面の簡単な説明】

【0112】

【図1】本発明の第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子(青色LEDチップ)を示した断面図である。

【図2】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の上面図である。

40

【図3】図1に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子において、コンタクト層の材料と厚みとを変化させた場合のp側電極とコンタクト層とのコンタクト抵抗を示したグラフである。

【図4】図1および図2に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図5】図1および図2に示した第1実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図6】本発明の第2実施形態による窒化物系半導体レーザ素子(LDチップ)を示した断面図である。

50

【図 7】図 6 に示した第 2 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 8】図 6 に示した第 2 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 9】図 6 に示した第 2 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 10】本発明の第 3 実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子（青色 LED チップ）を示した断面図である。

【図 11】図 10 に示した第 3 実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 12】図 10 に示した第 3 実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 13】図 10 に示した第 3 実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 14】本発明の第 4 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子（LD チップ）を示した断面図である。

【図 15】図 14 に示した第 4 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 16】図 14 に示した第 4 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 17】図 14 に示した第 4 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図 18】第 2 実施形態の変形例による窒化物系半導体レーザ素子（LD チップ）を示した断面図である。

【図 19】第 2 実施形態の変形例による窒化物系半導体レーザ素子（LD チップ）を示した断面図である。

【図 20】第 2 実施形態の変形例による窒化物系半導体レーザ素子（LD チップ）を示した断面図である。

【符号の説明】

【0113】

- 1、41 サファイア基板（基板）
- 4 n型コンタクト層（第1窒化物系半導体層）
- 5、25 MQW活性層（活性層）
- 7、28 p型クラッド層（第2窒化物系半導体層、クラッド層）
- 8、29、59 アンドープコンタクト層
- 9、31 p側電極（電極）
- 21 n型Ga<sub>2</sub>N基板（基板）
- 22 n型Ga<sub>2</sub>N層（第1窒化物系半導体層）
- 23 n型クラッド層（第1窒化物系半導体層）
- 24、64 n型光ガイド層
- 27 光ガイド層（第3窒化物系半導体層）
- 49 p側コンタクト層（アンドープコンタクト層）

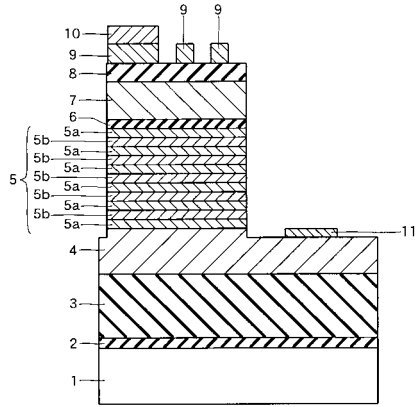
10

20

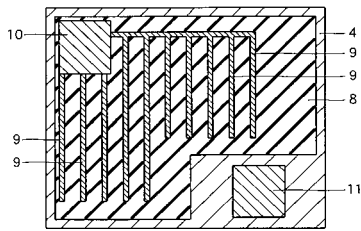
30

40

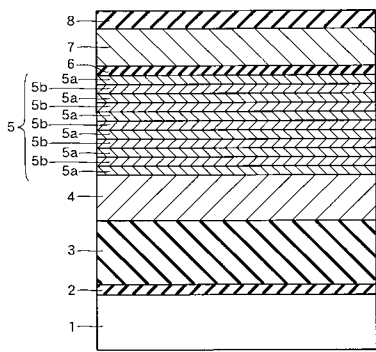
【図1】



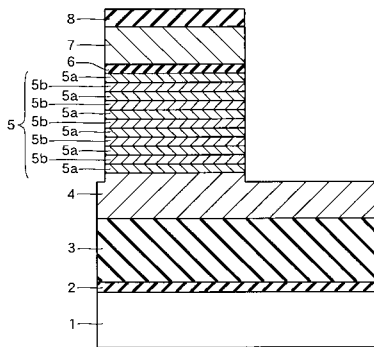
【図2】



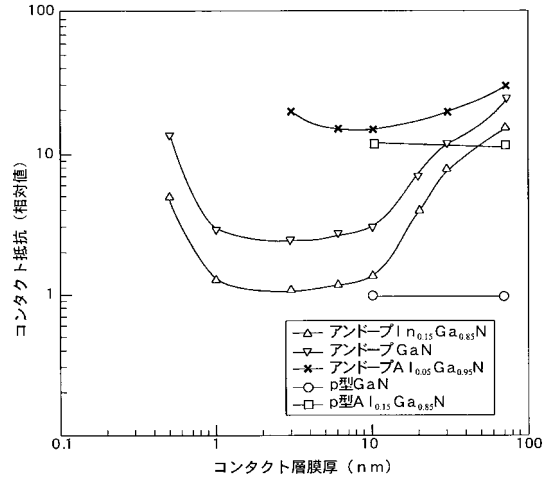
【図4】



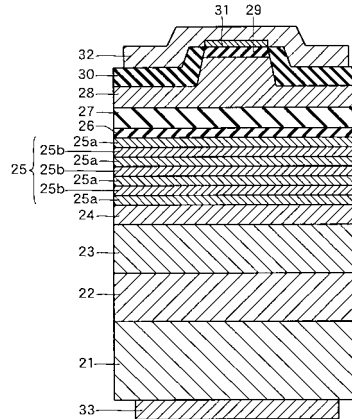
【図5】



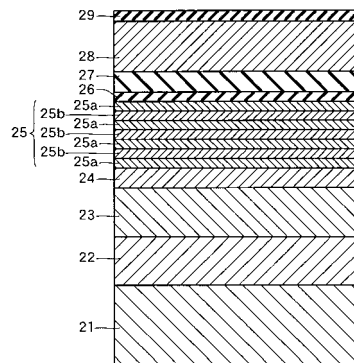
【図3】



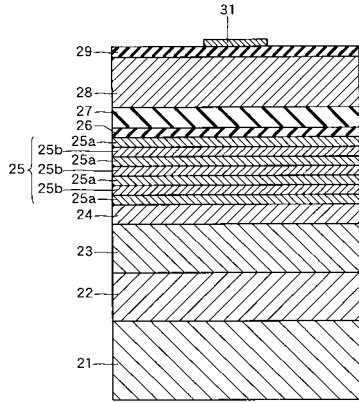
【図6】



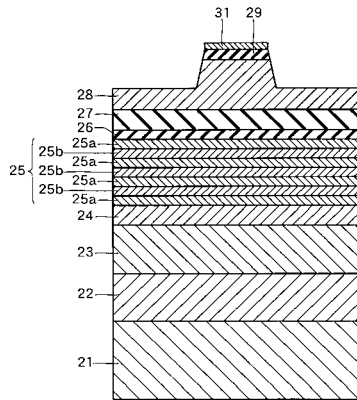
【図7】



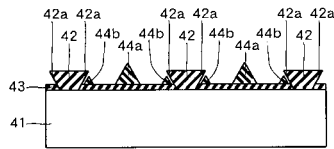
【 図 8 】



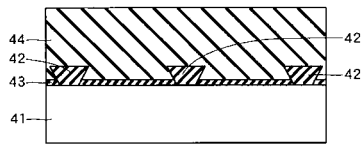
【 図 9 】



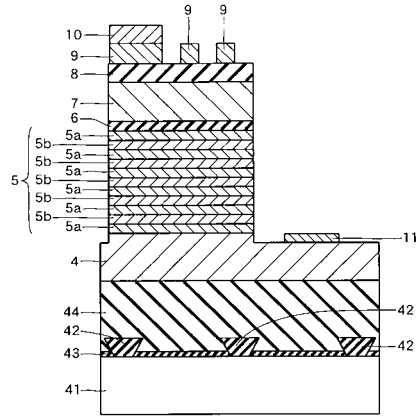
【 図 1 2 】



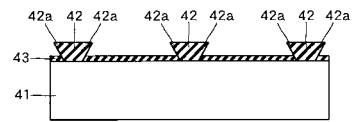
【 図 1 3 】



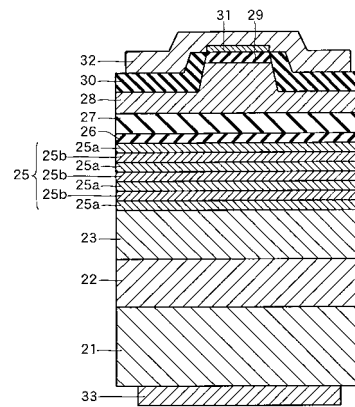
【 図 1 0 】



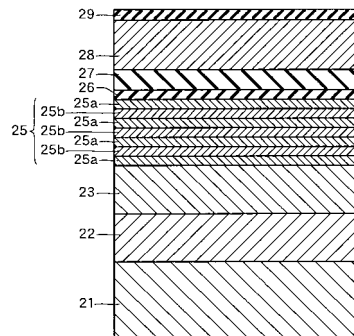
【 図 1 1 】



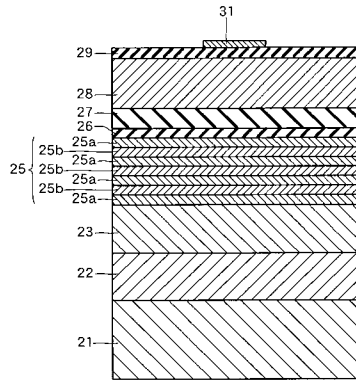
【 図 1 4 】



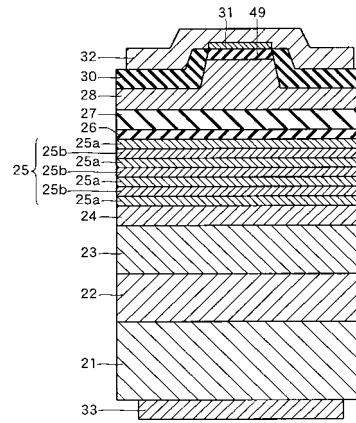
【 図 1 5 】



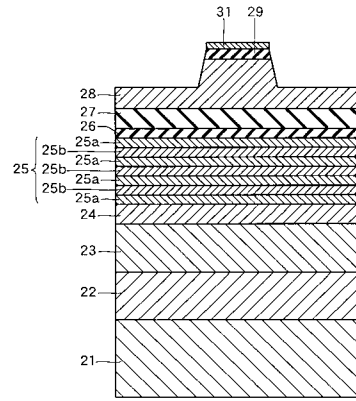
【図16】



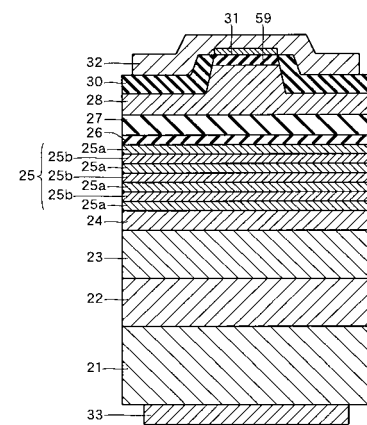
【図18】



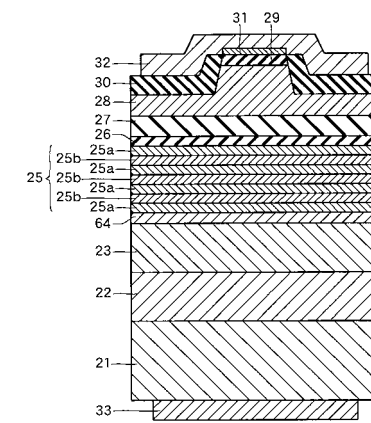
【図17】



【図19】



【図20】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 狩野 隆司  
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内
- (72)発明者 山口 勤  
大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三洋電機株式会社内

審査官 金高 敏康

- (56)参考文献 特開2001-053338(JP,A)  
特開2001-007392(JP,A)  
特開平11-340580(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |       |
|------|-------|
| H01L | 33/00 |
| H01S | 5/042 |
| H01S | 5/323 |