

(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2007-80896

(P2007-80896A)

(43) 公開日 平成19年3月29日(2007.3.29)

(51) Int.CI.	F 1	テーマコード (参考)
H01S 5/343 (2006.01)	H01S 5/343	5 F O 4 1
H01L 33/00 (2006.01)	H01L 33/00	C 5 F 1 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2005-263264 (P2005-263264)	(71) 出願人	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17年9月12日 (2005.9.12)	(74) 代理人	100104433 弁理士 宮園 博一
		(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	畠 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
		(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

最終頁に続く

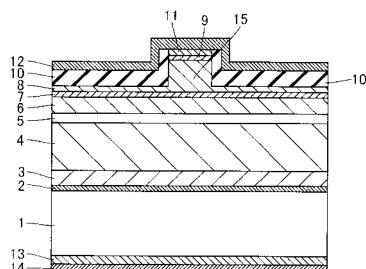
(54) 【発明の名称】半導体素子

(57) 【要約】

【課題】素子特性の低下を抑制することが可能な半導体素子を提供する。

【解決手段】この半導体素子(窒化物系半導体レーザ素子)は、2種類の3族元素であるAlおよびGaと窒素とからなるAl_{1-x}G_xN基板1と活性層5との間に、Al_{1-x}G_xN基板1と同一の構成元素からなるとともに、Al_{1-x}G_xN基板1より高いAl組成比(7%)より高いAl組成比(15%)を有するAl_{1-x}G_xNからなる高Al組成層2が形成されている。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

少なくとも 2 種類の 3 族元素と窒素とからなる半導体基板と、
前記半導体基板上に形成される活性層と、
前記半導体基板と前記活性層との間の前記半導体基板の上面に形成されるとともに、前記半導体基板の構成元素と同一の構成元素からなり、かつ、前記構成元素の少なくとも 2 種類の 3 族元素の内、最も軽い元素の組成比が前記半導体基板の対応する元素の組成比よりも高い窒化物系半導体層とを備えた、半導体素子。

【請求項 2】

前記半導体基板の構成元素と同一の構成元素からなるクラッド層をさらに備える、請求項 1 に記載の半導体素子。

【請求項 3】

前記半導体基板および前記窒化物系半導体層は、AlGaN 層であり、
前記窒化物系半導体層の Al 組成比は、前記半導体基板の Al 組成比より高い、請求項 1 または 2 に記載の半導体素子。

【請求項 4】

前記半導体基板および前記窒化物系半導体層は、InGaN 層であり、
前記窒化物系半導体層の Ga 組成比は、前記半導体基板の Ga 組成比より高い、請求項 1 または 2 に記載の半導体素子。

【請求項 5】

前記窒化物系半導体層は、前記半導体基板の表面上に接触するように形成されている、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の半導体素子。

【請求項 6】

前記窒化物系半導体層は、前記半導体基板の表面が変質された変質層からなる、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の半導体素子。

【請求項 7】

少なくとも 2 種類の 3 族元素と窒素とからなる半導体層と、
活性層と、
前記活性層の前記半導体層とは反対側の面側に接着層により接着された基板と、
前記半導体層と前記活性層との間の前記半導体層の表面に形成されるとともに、前記半導体層の構成元素と同一の構成元素からなり、かつ、前記構成元素の少なくとも 2 種類の 3 族元素の内、最も軽い元素の組成比が前記半導体層の対応する元素の組成比よりも高い窒化物系半導体層とを備えた、半導体素子。

【請求項 8】

前記活性層には、前記活性層を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪が印加されている、請求項 7 に記載の半導体素子。

【請求項 9】

前記半導体層は、前記活性層よりも大きい格子定数を有する、請求項 7 または 8 に記載の半導体素子。

【請求項 10】

前記半導体層および前記窒化物系半導体層は、AlGaN 層であり、
前記窒化物系半導体層の Al 組成比は、前記半導体層の Al 組成比より高い、請求項 7 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の半導体素子。

【請求項 11】

前記半導体層および前記窒化物系半導体層は、InGaN 層であり、
前記窒化物系半導体層の Ga 組成比は、前記半導体層の Ga 組成比より高い、請求項 7 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の半導体素子。

【請求項 12】

前記窒化物系半導体層は、前記半導体層の前記活性層側の表面上に、前記半導体層に接觸するように形成されている、請求項 7 ~ 11 に記載の半導体素子。

10

20

30

40

50

【請求項 1 3】

前記窒化物系半導体層は、前記半導体層の前記活性層側の表面が変質された変質層からなる、請求項 7 ~ 11 に記載の半導体素子。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、半導体素子に関し、特に、窒化物系半導体層を備えた半導体素子に関する。 10

【背景技術】**【0002】**

近年、窒化物系半導体レーザ素子は、次世代の大容量光ディスク用光源としての利用が期待され、その開発が盛んに行われている。また、従来、窒化物系半導体基板としての GaN 基板上に、窒化物系半導体層が形成された窒化物系半導体レーザ素子が知られている（たとえば、特許文献 1 参照）。 20

【0003】

上記特許文献 1 には、n 型 GaN 基板上に、n 型層、AlGaN 層からなる n 型クラッド層、多重量子井戸（MQW（M u l t i p l e Q u a n t u m W e l l ））構造を有する InGaN 活性層を含む発光層、および、AlGaN 層からなる p 型クラッド層が順次成長されることによって形成される窒化物系半導体レーザ素子の構造が記載されている。この特許文献 1 に記載の窒化物系半導体レーザ素子では、GaN 基板上に形成された発光素子構造の大半の厚みを占める AlGaN クラッド層によって、InGaN 活性層が挟まれている。 20

【0004】

しかしながら、上記特許文献 1 に記載された従来の窒化物系半導体レーザ素子では、GaN 基板上に窒化物系半導体レーザ素子の積層構造を結晶成長により形成する過程において、GaN 基板と発光素子構造の大半の厚みを占める AlGaN クラッド層との格子定数差に起因して、GaN 基板に反りが生じたり、クラックが発生するという不都合がある。このため、窒化物系半導体レーザ素子の歩留まりが低下するという不都合がある。 30

【0005】

また、従来では、AlGaN クラッド層と基板との格子定数差を小さくするために、AlGaN クラッド層と実質的に同一の Al 組成比を有する AlGaN 基板を用いることによって、基板の反りおよびクラックの発生を抑制した半導体発光素子の構造も知られている。この従来の半導体発光素子の構造では、上記特許文献 1 と異なり、基板の反りやクラックに起因する歩留まりの低下を抑制することが可能である。 30

【0006】**【特許文献 1】特開 2004 - 140052 号公報****【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

しかしながら、上記した従来の AlGaN クラッド層と AlGaN 基板との Al 組成比が実質的に同一である半導体発光素子では、基板の反りおよびクラックに起因する歩留まりの低下を抑制することができる一方、AlGaN 基板上に成長する窒化物系半導体層の構成元素である Al、Ga および N の吸着力が弱くなるという不都合がある。このため、AlGaN 基板上に成長させた発光素子中にピットや転位が発生し易くなるので、半導体素子の素子特性が低下するという問題点がある。 40

【0008】

また、上記特許文献 1 に記載された窒化物系半導体レーザ素子では、基板上に形成された発光素子構造の厚みの大半を占める AlGaN クラッド層によって InGaN 活性層が挟まれているため、AlGaN クラッド層と InGaN 活性層との格子定数差に起因して、活性層に歪が生じるという不都合もある。このため、活性層（発光層）の歪によって発 50

光効率の低下が生じるという不都合がある。その結果、これによっても、素子特性が低下するという問題点がある。

【0009】

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つの目的は、素子特性の低下を抑制することが可能な半導体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】

【0010】

上記目的を達成するために、この発明の第1の局面による半導体素子は、少なくとも2種類の3族元素と窒素とからなる半導体基板と、半導体基板上に形成される活性層と、半導体基板と活性層との間の半導体基板の上面に形成されるとともに、半導体基板の構成元素と同一の構成元素からなり、かつ、構成元素の少なくとも2種類の3族元素の内、最も軽い元素の組成比が半導体基板の対応する元素の組成比よりも高い窒化物系半導体層とを備えている。

【0011】

この第1の局面による半導体素子では、上記のように、少なくとも2種類の3族元素と窒素とからなる半導体基板の上面に、半導体基板の構成元素と同一の構成元素からなり、かつ、構成元素の少なくとも2種類の3族元素の内、最も軽い元素の組成比が半導体基板の対応する元素の組成比よりも高い窒化物系半導体層を設けることによって、窒素との結合力が強い最も軽い元素の組成比を高くすることができるので、窒化物系半導体層上に半導体素子層を成長させる際に、半導体素子層の構成元素である窒素を、下層の窒化物系半導体層の構成元素中の3族元素の最も軽い元素に結合しやすくすることができる。このため、窒化物系半導体層上に形成する半導体素子を構成する半導体層中にピットが発生するのを抑制することができるので、半導体素子の素子特性の低下を抑制することができる。また、半導体基板の上面に形成される窒化物系半導体層の最も軽い元素の組成比を、半導体基板の組成比よりも高くすることによって、窒化物系半導体層を、半導体基板よりも硬くすることができるので、半導体基板と窒化物系半導体層との界面で、半導体基板に存在する転位を曲げることができる。これにより、半導体基板に存在する転位が、窒化物系半導体層を越えて上層の半導体素子層に伝播するのを抑制することができるので、半導体素子層の転位を従来に比べて減少することができる。これによっても、半導体素子の素子特性の低下を抑制することができる。また、半導体基板を、少なくとも2種類の3族元素と窒素とからなるように構成することによって、その半導体基板の構成元素を半導体基板上に形成されるクラッド層の構成元素と同一にした場合には、半導体基板とクラッド層との格子定数差を小さくすることができるので、半導体基板とクラッド層との格子定数差に起因して生じる半導体基板の反りおよびクラックの発生を抑制することができる。

【0012】

上記第1の局面による半導体素子において、好ましくは、半導体基板の構成元素と同一の構成元素からなるクラッド層をさらに備える。半導体基板の構成元素と同一の構成元素からなるクラッド層をさらに備える。このように構成すれば、クラッド層と半導体基板との格子定数差を小さくすることができるので、クラッド層と半導体基板との格子定数差に起因して生じる半導体基板の反りおよびクラックの発生を容易に抑制することができる。

【0013】

上記第1の局面による半導体素子において、好ましくは、半導体基板および窒化物系半導体層は、AlGa_N層であり、窒化物系半導体層のAl組成比は、半導体基板のAl組成比より高い。このように構成すれば、Alは、Gaに比べて窒素との結合力が強い性質を有するため、窒化物系半導体層上に半導体素子層を成長させる際に、半導体素子層の構成元素である窒素を容易に下層の窒化物系半導体層のAlに結合させることができる。このため、窒化物系半導体層上に形成する半導体素子層中にピットが発生するのを抑制することができる。また、このように構成すれば、Al組成比の低いAlGa_NよりAl組成比の高いAlGa_Nの方が硬いので、窒化物系半導体層を半導体基板より硬くすることができる。このため、半導体基板と窒化物系半導体層との界面で、半導体基板に存在する転

10

20

30

40

50

位を曲げることができるので、窒化物系半導体層上に形成される半導体素子層に転位が伝播するのを有効に抑制することができる。

【0014】

上記第1の局面による半導体素子において、好ましくは、半導体基板および窒化物系半導体層は、InGaN層であり、窒化物系半導体層のGa組成比は、半導体基板のGa組成比より高い。このように構成すれば、Gaは、Inに比べて窒素との結合力が強い性質を有するため、窒化物系半導体層上に半導体素子層を成長させる際に、半導体素子層の構成元素である窒素を容易に下層の窒化物系半導体層のGaに結合させることができる。このため、窒化物系半導体層上に形成する半導体素子層中にピットが発生するのを抑制することができる。また、このように構成すれば、Ga組成比の低いInGaNよりGa組成比の高いInGaNの方が硬いので、窒化物系半導体層を半導体基板より硬くすることができる。このため、半導体基板と窒化物系半導体層との界面で、半導体基板に存在する転位を曲げることができるので、窒化物系半導体層上に形成される半導体素子層に転位が伝播するのを有効に抑制することができる。

10

【0015】

上記第1の局面による半導体素子において、好ましくは、窒化物系半導体層は、半導体基板の上面に接触するように形成されている。このように構成すれば、半導体基板中に存在する転位を、半導体基板の直上に形成された窒化物系半導体層によって曲げることができるので、窒化物系半導体層上に形成される半導体素子層に転位が伝播するのを有効に抑制することができる。

20

【0016】

上記第1の局面による半導体素子において、好ましくは、窒化物系半導体層は、半導体基板の表面が変質された変質層からなる。このように構成すれば、半導体基板上に窒化物系半導体層を結晶成長させることなく、ピットの発生および転位の伝播を抑制可能な窒化物系半導体層を形成することができる。

20

【0017】

この発明の第2の局面による半導体素子は、少なくとも2種類の3族元素と窒素とからなる半導体層と、活性層と、活性層の、半導体層とは反対側の面側に接着層により接着された基板と、半導体層と活性層との間の半導体層の表面に形成されるとともに、半導体層の構成元素と同一の構成元素からなり、かつ、構成元素の少なくとも2種類の3族元素の内、最も軽い元素の組成比が半導体層の対応する元素の組成比よりも高い窒化物系半導体層とを備えている。

30

【0018】

この第2の局面による半導体素子では、上記のように、少なくとも2種類の3族元素と窒素とからなるクラッド層と、活性層と、クラッド層と活性層との間のクラッド層の表面に形成されるとともに、クラッド層の構成元素と同一の構成元素からなり、かつ、構成元素の少なくとも2種類の3族元素の内、最も軽い元素の組成比がクラッド層の対応する元素の組成比よりも高い窒化物系半導体層とを備えることによって、窒化物系半導体層を、クラッド層よりも硬くすることができるので、クラッド層と窒化物系半導体層との界面で、クラッド層に存在する転位を曲げることができるので、活性層を越えて活性層に伝播するのを抑制することができるので、活性層の転位を従来に比べて減少することができる。これによっても、半導体素子の素子特性の低下を抑制することができる。

40

【0019】

上記第2の局面による半導体素子において、好ましくは、活性層には、活性層を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪みが印加されている。このように構成すれば、活性層に圧縮歪みが印加されている場合において、活性層を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪みと逆の引張歪みを窒化物系半導体層中に生じさせることができるので、活性層中に発生する応力を窒化物系半導体層中に生じる応力により補償することができる。このため、半導体素子の活性層(発光層)での結晶欠陥の発生を抑制することができるので、半導体素

50

子の特性（発光効率）および素子の寿命を向上させることができる。

【0020】

上記第2の局面による半導体素子において、好ましくは、活性層の格子定数は半導体層の格子定数より大きい。このように構成すれば、窒化物系半導体層の格子定数が活性層の格子定数よりも小さくなり、半導体層と活性層との格子定数差に起因する活性層を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪と逆の引張歪を窒化物系半導体層中に生じさせることができるので、活性層に発生する応力を窒化物系半導体層で発生する応力によって補償することができる。このため、半導体素子の活性層（発光層）での結晶欠陥の発生を抑制することができるので、半導体素子の特性（発光効率）および素子の寿命を向上させることができます。

10

【0021】

上記第2の局面による半導体素子において、好ましくは、クラッド層および窒化物系半導体層は、AlGaN層であり、窒化物系半導体層のAl組成比は、クラッド層のAl組成比より高い。このように構成すれば、Al組成比の低いAlGaNよりAl組成比の高いAlGaNの方が硬いため、窒化物系半導体層を、半導体層よりも硬くすることができるので、半導体基板と窒化物系半導体層との界面で、半導体基板中に存在する転位を曲げることができ。また、このように構成すれば、活性層の格子定数が半導体層の格子定数より大きい場合において、窒化物系半導体層の格子定数が半導体層の格子定数よりも小さいため、半導体層と活性層との格子定数差に起因する活性層を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪と逆の引張歪を窒化物系半導体層に生じさせることができるので、容易に活性層に発生する応力を窒化物系半導体層に発生する応力によって補償することができる。

20

【0022】

上記第2の局面による半導体素子において、好ましくは、半導体層および窒化物系半導体層は、InGaN層であり、窒化物系半導体層のGa組成比は、半導体層のGa組成比より高い。このように構成すれば、Ga組成比の低いInGaNよりGa組成比の高いInGaNの方が硬いため、窒化物系半導体層を、半導体層よりも硬くすることができるので、半導体基板と窒化物系半導体層との界面で、半導体基板中に存在する転位を曲げることができ。また、このように構成すれば、活性層の格子定数が半導体層の格子定数より大きい場合において、窒化物系半導体層の格子定数が半導体層の格子定数よりも小さいため、半導体層と活性層との格子定数差に起因する活性層を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪と逆の引張歪を窒化物系半導体層に生じさせることができるので、容易に活性層に発生する応力を窒化物系半導体層に発生する応力によって補償することができる。

30

【0023】

上記第2の局面による半導体素子において、好ましくは、窒化物系半導体層は、半導体層の活性層側の表面上に、半導体層に接触するように形成されている。このように構成すれば、半導体層に存在する転位を、半導体層の活性層側の表面上に形成された窒化物系半導体層によって曲げることができるので、窒化物系半導体素子の表面上に形成される半導体素子層に転位が伝播するのを有効に抑制することができる。

40

【0024】

上記第2の局面による半導体素子において、好ましくは、窒化物系半導体層は、半導体層の活性層側の表面が変質された変質層からなる。このように構成すれば、半導体層上に窒化物系半導体層を結晶成長させることなく、半導体層と活性層との間に生じる歪を補償可能な歪を生じさせる窒化物系半導体層を形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

【0026】

（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レーザ素子（半導体素子）の構造

50

を示した断面図である。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レーザ素子の活性層の構造を示した断面図である。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レーザ素子の構造について説明する。

【0027】

第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図1に示すように、約 $100\mu\text{m}$ の厚みを有する $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる AlGaN 基板1上に、約 $0.5\text{n}\text{m}$ ～約 $20\text{n}\text{m}$ の厚みを有するアンドープの $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ からなる高A1組成層2が形成されている。なお、高A1組成層2は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。また、 AlGaN 基板1は、本発明の「半導体基板」の一例である。

【0028】

ここで、第1実施形態では、高A1組成層2は、2種類の3族元素であるA1およびGaと窒素とから構成されている。また、高A1組成層2と AlGaN 基板1とは、同一の構成元素(A1、Ga、N)で構成されている。また、高A1組成層2のA1組成比(15%)は、 AlGaN 基板1のA1組成比(7%)よりも高くなるように構成されている。さらに、高A1組成層2は、 AlGaN 基板1上に接触するように形成されている。

【0029】

高A1組成層2上には、約 $1.0\mu\text{m}$ の厚みを有するアンドープの $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるバッファ層3が形成されている。バッファ層3上には、約 $2.0\mu\text{m}$ の厚みを有するGeがドープされたn型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなるn型クラッド層4が形成されている。このn型クラッド層4は、 AlGaN 基板1と同一の元素(A1、Ga、N)により構成されるとともに、 AlGaN 基板1と同一のA1組成比(7%)を有する。なお、n型クラッド層4は、本発明の「クラッド層」の一例である。n型クラッド層4上には、MQW構造を有する活性層5が形成されている。活性層5は、図2に示すように、約 $3.5\text{n}\text{m}$ の厚みを有するアンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ からなる3つの量子井戸層5aと、約 $20\text{n}\text{m}$ の厚みを有するアンドープの $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ からなる3つの量子障壁層5bとが交互に積層されて構成されている。なお、X>Yであり、X=0.15、Y=0.02である。

【0030】

また、活性層5上には、図1に示すように、約 $80\text{n}\text{m}$ の厚みを有するアンドープの $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ からなるp側光ガイド層6が形成されている。p側光ガイド層6上には、約 $20\text{n}\text{m}$ の厚みを有するアンドープの $\text{Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ からなるp側キャリアプロック層7が形成されている。また、p側キャリアプロック層7上には、図1に示すように、平坦部と凸部とを有するMgがドープされた $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなるp型クラッド層8が形成されている。このp型クラッド層8の凸部の膜厚は、約 $0.45\mu\text{m}$ であり、p型クラッド層8の凸部以外の平坦部の膜厚は、約 $0.05\mu\text{m}$ である。このp型クラッド層8は、 AlGaN 基板1と同一の元素(A1、Ga、N)により構成されるとともに、 AlGaN 基板1と同一のA1組成比(7%)を有する。なお、p型クラッド層8は、本発明の「クラッド層」の一例である。p型クラッド層8の凸部の上面上には、約 $2\text{n}\text{m}$ の厚みを有するアンドープの $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなるp側コンタクト層9が形成されている。p型クラッド層8の凸部と、p側コンタクト層9とによって、電流通路となるリッジ部15が構成されている。このリッジ部15は、平面的に見て、光の出射方向に延びるストライプ状(細長状)に形成されている。また、リッジ部15は、約 $1.5\mu\text{m}$ の幅を有している。

【0031】

また、リッジ部15の側面と、p型クラッド層8の平坦部の上面上とに、約 $0.2\mu\text{m}$ の厚みを有する SiO_2 膜からなる電流プロック層10が形成されている。p側コンタクト層9の上面上には、下層から上層に向かって、約 $1\text{n}\text{m}$ の膜厚を有するSi層と、約 $20\text{n}\text{m}$ の膜厚を有するPd層と、約 $10\text{n}\text{m}$ の膜厚を有するAu層とからなるp側オームイック電極11が形成されている。

【0032】

10

20

30

40

50

また、p側オーミック電極11の上面と、電流ブロック層10の上面とに、p側オーミック電極11の上面に接触するように、下層から上層に向かって、約30nmの膜厚を有するTi層と、約150nmの膜厚を有するPd層と、約3000nmの膜厚を有するAu層とからなるp側パッド電極12が形成されている。

【0033】

また、AlGaN基板1の裏面上には、図1に示すように、AlGaN基板1の裏面に近い方から順に、約1nmの膜厚を有するSi層と、約6nmの膜厚を有するAl層と、約30nmの膜厚を有するPd層とからなるn側オーミック電極13が形成されている。n側オーミック電極13の裏面上には、約300nmの膜厚を有するAu層からなるn側パッド電極14が形成されている。

10

【0034】

第1実施形態では、上記のように、 $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$ からなるAlGaN基板1の上面に、AlGaN基板1の構成元素と同一の構成元素(Al、Ga、N)からなり、かつ、Al組成比がAlGaN基板1のAl組成比よりも高い高Al組成層2を設けることによって、Alは、Gaに比べて窒素との結合力が強い性質を有するため、高Al組成層2上に窒化物系半導体レーザ素子を構成するバッファ層3を成長させる際に、バッファ層3の構成元素である窒素を容易に高Al組成層2のAlに結合させることができ。このため、高Al組成層2上に形成する窒化物系半導体レーザ素子を構成するバッファ層3中にピットが発生するのを抑制することができるので、窒化物系半導体レーザ素子の素子特性の低下を抑制することができる。

20

【0035】

また、第1実施形態では、AlGaN基板1の上面に形成される高Al組成層2のAl組成比を、AlGaN基板1のAl組成比よりも高くすることによって、高Al組成層2を、AlGaN基板1よりも硬くすることができるので、AlGaN基板1と高Al組成層2との界面で、AlGaN基板1に存在する転位を曲げることができる。これにより、AlGaN基板1に存在する転位が、高Al組成層2を越えて上層のバッファ層3、n型クラッド層4、活性層5、p側光ガイド層6、p側キャリアプロック層7、p型クラッド層8およびp側コンタクト層9に伝播するのを抑制することができる。これによっても、窒化物系半導体レーザ素子の素子特性の低下を抑制することができる。

30

【0036】

また、第1実施形態では、AlGaN基板1の構成元素と同一の構成元素からなるn型クラッド層4およびp型クラッド層8をさらに備えることによって、n型クラッド層4およびp型クラッド層8とAlGaN基板1との格子定数差を小さくすることができるので、n型クラッド層4およびp型クラッド層8とAlGaN基板1との格子定数差に起因して生じるAlGaN基板1の反りおよびクラックの発生を容易に抑制することができる。

【0037】

また、第1実施形態では、高Al組成層2を、AlGaN基板1の上面に接触するように形成することによって、AlGaN基板1中に存在する転位を、AlGaN基板1の直上に形成された高Al組成層2によって曲げることができるので、高Al組成層2条に形成されるバッファ層3、n型クラッド層4、活性層5、p側光ガイド層6、p側キャリアプロック層7、p型クラッド層8およびp側コンタクト層9に転位が伝播するのを有效地に抑制することができる。

40

【0038】

図3～図6は、図1に示した第1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1および図3～図6を参照して、第1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。

【0039】

まず、図3に示すように、有機金属気相エピタキシー(MOVP E)法を用いて、 $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$ からなるAlGaN基板1上に、高Al組成層2、バッファ層3、n型クラッド層4、活性層5、p側光ガイド層6、p側キャリアプロック層7、p型ク

50

ラッド層 8 および p 側コンタクト層 9 を順次成長させる。

【 0 0 4 0 】

具体的には、AlGaN 基板 1 を、H₂ および NH₃ 霧囲気の反応炉の中に挿入し、NH₃ ガスを供給した状態で、約 1000 ~ 約 1200 (たとえば、約 1150) の単結晶成長温度まで加熱する。AlGaN 基板 1 の温度が約 1150 に達すると、水素からなるキャリアガスと、トリメチルガリウム (TMGa) およびトリメチルアルミニウム (TMA1) からなる原料ガスとを用いて、AlGaN 基板 1 の (0001) 面上に約 0.5 nm ~ 約 20 nm の厚みを有するアンドープの Al_{0.15}Ga_{0.85}N からなる高 Al 組成層 2 を成長させる。次に、AlGaN 基板 1 を約 1150 に保持した状態で、高 Al 組成層 2 上に、約 1.0 μm の厚みを有するアンドープの Al_{0.01}Ga_{0.99}N からなるバッファ層 3 を成長させる。その後、AlGaN 基板 1 を約 1150 に保持した状態で、水素からなるキャリアガスと、TMGa、TMA1 および n 型導電性を得るための Ge 不純物の原料である GeH₄ (モノゲルマン) からなる原料ガスとを用いて、バッファ層 3 上に、約 2.0 μm の厚みを有する Ge がドープされた Al_{0.07}Ga_{0.93}N からなる n 型クラッド層 4 を成長させる。
10

【 0 0 4 1 】

次に、AlGaN 基板 1 を約 850 に保持した状態で、トリエチルガリウム (TEGa) およびトリメチルインジウム (TMIn) からなる原料ガスを用いて、n 型クラッド層 4 上に、約 3.5 nm の厚みを有するアンドープ In_{0.15}Ga_{0.85}N からなる 3 層の量子井戸層 5a と、約 20 nm の厚みを有するアンドープ In_{0.02}Ga_{0.98}N からなる 3 層の量子障壁層 5b とを交互に成長させることにより MQW 構造を有する活性層 5 を形成する。
20

【 0 0 4 2 】

次に、AlGaN 基板 1 を約 850 に保持した状態で、活性層 5 上に、約 80 nm の厚みを有するアンドープの In_{0.01}Ga_{0.99}N からなる p 側光ガイド層 6 を成長させる。次に、TMGa および TMA1 からなる原料ガスを用いて、約 20 nm の厚みを有する Al_{0.25}Ga_{0.75}N からなるキャリアプロック層 7 を成長させる。

【 0 0 4 3 】

次に、H₂ および NH₃ 霧囲気中において、AlGaN 基板 1 を約 1150 に保持した状態で、キャリアプロック層 7 上に、p 型不純物の Mg の原料である Cp₂Mg、TMGa および TMA1 からなる原料ガスを用いて、約 0.45 μm の厚みを有する Mg がドープされた Al_{0.07}Ga_{0.93}N からなる p 型クラッド層 8 を成長させる。
30

【 0 0 4 4 】

次に、AlGaN 基板 1 を約 850 に保持した状態で、NH₃ 霧囲気において、p 型クラッド層 8 上に、TEGa および TMIn からなる原料ガスを用いて、約 2 nm の厚みを有するアンドープの In_{0.07}Ga_{0.93}N からなる p 側コンタクト層 9 を成長させる。

【 0 0 4 5 】

この後、図 4 に示すように、プラズマ CVD 法などを用いて、p 側コンタクト層 9 上に、約 1.5 μm の幅を有する SiO₂ 膜 10a を形成する。そして、SiO₂ 膜 10a をマスクとして、Cl₂ ガスによる反応性イオンエッチング (RIE) 法により、p 側コンタクト層 9 および p 型クラッド層 8 の一部をエッチングすることにより、図 5 に示されるような p 側コンタクト層 9 と p 型クラッド層 8 の凸部とからなるリッジ部 15 が形成される。この場合、p 型クラッド層 8 の凸部は、約 0.45 μm の膜厚とともに、p 型クラッド層 8 の平坦部の膜厚が約 0.05 μm となるように、エッチング深さを制御する。この後、SiO₂ 膜 10a を除去する。
40

【 0 0 4 6 】

次に、図 6 に示すように、プラズマ CVD 法を用いて、約 0.2 μm の膜厚を有する SiO₂ 膜を全面に形成した後、フォトリソグラフィー技術と、Cl₂ ガスによる RIE 法とを用いて、p 側コンタクト層 9 の上面が露出するように SiO₂ 膜の一部を除去するこ
50

とによって、 SiO_2 膜からなる電流プロック層 10 が形成される。

【0047】

次に、図 1 に示したように、p 側コンタクト層 9 の上面に、電子ビーム加熱蒸着法を用いて、下層から上層に向かって、約 1 nm の膜厚を有する Si 層と、約 20 nm の膜厚を有する Pd 層と、約 10 nm の膜厚を有する Au 層とからなる p 側オーミック電極 11 を形成する。そして、電子ビーム加熱蒸着法を用いて、p 側オーミック電極 11 の上面と、電流プロック層 10 の上面とに、p 側オーミック電極 11 の上面に接触するように、下層から上層に向かって、約 30 nm の膜厚を有する Ti 層と、約 150 nm の膜厚を有する Pd 層と、約 3000 nm の膜厚を有する Au 層とからなる p 側パッド電極 12 を形成する。そして、AlGaN 基板 1 の裏面を、劈開し易い厚みまで研磨する。その後、図 1 に示すように、電子ビーム加熱蒸着法を用いて、AlGaN 基板 1 の裏面に近い側から、約 1 nm の膜厚を有する Si 層と、約 6 nm の膜厚を有する Al 層と、約 30 nm の膜厚を有する Pd 層とからなる n 側オーミック電極 13 を形成する。そして、電子ビーム加熱蒸着法を用いて、n 側オーミック電極 13 の裏面に接触するように、約 300 nm の厚みを有する Au 層からなる n 側パッド電極 14 を形成する。これにより、図 1 に示したような、第 1 実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が完成される。10

【0048】

(第 2 実施形態)

図 7 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の構造を示した断面図である。図 7 を参照して、この第 2 実施形態では、上記第 1 実施形態と異なり、高 Al 組成層 21a が、AlGaN 基板 21 の表面が変質された変質層からなる場合の構造について説明する。なお、第 2 実施形態の AlGaN 基板 21 および高 Al 組成層 21a 以外の構造は、上記第 1 実施形態と同じであるため、高 Al 組成層 21a 以外の構造については説明を省略する。なお、AlGaN 基板 21 は、本発明の「半導体基板」の一例である。20

【0049】

この第 2 実施形態では、図 7 に示すように、約 100 μm の厚みを有する $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる AlGaN 基板 21 の上面に、高 Al 組成層 21a が形成されている。なお、高 Al 組成層 21a は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。この高 Al 組成層 21a は、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる AlGaN 基板 21 の表面が変質されることにより、Al 組成比が増加された変質層からなる。また、この変質層は、AlGaN 基板 21 と変質層との界面（Al 組成比 7%）から変質層の上面に向かって、Al の組成比が徐々に増加しており、変質層の上面近傍での Al 組成比が最も高くなっている。この変質層の上面近傍の Al 組成比の値は、約 20% である。また、高 Al 組成層 21a の厚みは、約 2 nm である。30

【0050】

第 2 実施形態では、上記のように、高 Al 組成層 21a を、AlGaN 基板 21 の表面が変質された変質層からなるように構成することによって、AlGaN 基板 21 上に高 Al 組成層 21a を結晶成長させることなく、ピットの発生および転位の伝播を抑制可能な高 Al 組成層 21a を形成することができる。

【0051】

なお、第 2 実施形態のその他の効果は、上記第 1 実施形態と同様である。40

【0052】

次に、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。まず、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる AlGaN 基板 21 を、 H_2 および NH_3 雰囲気の反応炉の中に挿入し、窒化物系半導体層の窒素原料である NH_3 ガスを供給した状態で、AlGaN 基板 21 を約 1000 ~ 約 1200 の間の温度（たとえば、約 1150）まで加熱する。この際、 NH_3 流量は AlGaN 成長に必要な流量（約 6 SLM）(SLM (Standard Liter per Minutes : 1 気圧、25 における 1 分間あたりの流量をリットルで表示した単位)) の約 50% の約 3 SLM とする。 NH_3 流量が少ない状態で基板温度を約 1150 にまで上昇することにより、Al 50

$\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 の表面の N および Ga が熱により AlGaN 基板 21 から離脱する一方、 AlGaN の中に熱的に安定な Al が離脱せずに残る。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 の表面が変質されて Al 組成比の高い AlGaN 層（変質層）からなる高 Al 組成層 21a が形成される。

【0053】

次に、 AlGaN 基板 21 を約 1150 の温度に保持した状態で、水素からなるキャリアガスと、 TMGa および TMA1 からなる原料ガスとを用いて、高 Al 組成層 21a 上に、約 1.0 μm の厚みを有するアンドープの $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}$ N からなるバッファ層 3 を成長させる。
10

【0054】

第 2 実施形態のバッファ層 3 の形成後の製造プロセスは、上記第 1 実施形態と同様である。

【0055】

なお、 AlGaN 基板 21 の表面を変質させることによって、 AlGaN 基板 21 の表面に変質層からなる高 Al 組成層 21a を形成する方法としては、上記した第 2 実施形態の方法以外に以下の 3 つの第 1 変形例～第 3 変形例による方法がある。

【0056】

第 2 実施形態の第 1 変形例による方法としては、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 を、 H₂ および NH₃ 雰囲気の反応炉の中に挿入し、窒化物系半導体層の成長に必要な H₂ 流量（約 20SLM）の約 2 倍の約 40SLM の H₂ を流した状態で、 AlGaN 基板 21 を約 1000 ～約 1200 の間の温度（たとえば、約 1150）まで加熱する。H₂ 流量が多い状態で、 AlGaN 基板 21 温度を約 1150 まで上昇することにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 の表面の N および Ga が熱により AlGaN 基板 21 から離脱する一方、 AlGaN の中に熱的に安定な Al が離脱せずに残る。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 の表面が変質されて Al 組成比の高い AlGaN 層（変質層）からなる高 Al 組成層 21a が形成される。
20

【0057】

また、第 2 実施形態の第 2 変形例による方法としては、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 を、 H₂ および NH₃ 雰囲気の反応炉の中に挿入し、 AlGaN 基板 21 を約 1000 ～約 1200 の間の温度（たとえば、約 1150）まで加熱する。 AlGaN 基板 21 温度が約 1150 に達した後、 NH₃ 流量を AlGaN 成長に必要な流量の約 50 % の約 3SLM として約 5 分間保持する。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 表面の N および Ga が熱により AlGaN 基板 21 から離脱する一方、 AlGaN の中に熱的に安定な Al が離脱せずに残る。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 の表面が変質されて Al 組成比の高い AlGaN 層（変質層）からなる高 Al 組成層 21a が形成される。
30

【0058】

また、第 2 実施形態の第 3 変形例による方法としては、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 を、 H₂ および NH₃ 雰囲気の反応炉の中に挿入し、 AlGaN 基板 21 を約 1000 ～約 1200 の間の温度（たとえば、約 1150）まで加熱する。 AlGaN 基板 21 温度が約 1150 に達した後、 AlGaN 基板 21 温度を約 1150 に保持した状態で、 H₂ 流量を AlGaN 層の成長に必要な流量の約 2 倍の約 40SLM として約 5 分間保持する。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 の表面の N および Ga を熱により AlGaN 基板 21 の表面から離脱する一方、 AlGaN の中に熱的に安定な Al が離脱せずに残る。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}$ N からなる AlGaN 基板 21 の表面が変質されて Al 組成比の高い AlGaN 層（変質層）からなる高 Al 組成層 21a が形成される。
40

【0059】

(第3実施形態)

図8は、本発明の第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子(半導体素子)の構造を示した断面図である。図8を参照して、この第3実施形態では、上記第1および第2実施形態とは異なり、InGaN基板31上に変質層からなる高Ga組成層31aを形成した場合について説明する。

【0060】

第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子では、図8に示すように、約100μm～約200μmの厚みを有するIn_{0.15}Ga_{0.85}NからなるInGaN基板31上に、高Ga組成層31aが形成されている。なお、高Ga組成層31aは、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。また、InGaN基板31は、本発明の「半導体基板」の一例である。

【0061】

ここで、第3実施形態では、高Ga組成層31aは、In_{0.15}Ga_{0.85}NからなるInGaN基板31の表面が変質されることによりGa組成比が増加された変質層からなる。また、この変質層は、InGaN基板31と変質層との界面(Ga組成比85%)から変質層の上面に向かってGaの組成比が徐々に増加しており、変質層の上面近傍でのGa組成比が最も高くなっている。この変質層の上面近傍のGa組成比の値は、約92%である。また、高Ga組成層31aの厚みは、約5nmである。また、高Ga組成層31aは、InGaN基板31と同一の構成元素(In、Ga、N)から構成されているとともに、高Ga組成層31aの表面近傍のGa組成比(92%)は、InGaN基板31のGa組成比(85%)に比べて、高くなるように構成されている。

【0062】

また、高Ga組成層31a上には、約1μmの厚みを有するSiがドープされたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるn型クラッド層32が形成されている。n型クラッド層32上には、約50nmの厚みを有するSiがドープされたIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるn型光導波層33が形成されている。n型光導波層33上には、MQW構造を有する活性層34が形成されている。この活性層34は、約2.5nmの厚みを有するIn_{0.3}Ga_{0.7}Nからなる2つの量子井戸層と、約15nmの厚みを有するIn_{0.17}Ga_{0.83}Nからなる3つの量子障壁層とが交互に積層されて構成されている。

【0063】

また、活性層34上には、約50nmの厚みを有するアンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるp型光導波層35が形成されている。p型光導波層35上には、Mgがドープされた約2.5nmの厚みを有するIn_{0.1}Ga_{0.9}N層と約2.5nmの厚みを有するGaN層との60周期の超格子クラッド層36が形成されている。超格子クラッド層36は、図8に示すように、平坦部と凸部とを有している。また、超格子クラッド層36上には、約0.1μmの厚みを有するMgがドープされたGaNからなるp型コンタクト層37が形成されている。超格子クラッド層36の凸部と、p型コンタクト層37とによって、電流通路となるリッジ部38が構成されている。このリッジ部38は、平面的に見て、光の出射方向に延びるストライプ状(細長状)に形成されている。

【0064】

また、リッジ部38の上面の一部および側面と、超格子クラッド層36の平坦部の上面上とに、SiO₂膜からなる電流ブロック層39が形成されている。また、p型コンタクト層37の上面上および電流ブロック層39の上面上には、p型コンタクト層37に近い方からNi層とAu層とからなるp側電極40が形成されている。

【0065】

また、InGaN基板31の裏面上には、図8に示すように、InGaN基板31の裏面に近い方から順に、Ti層と、Au層とからなるn側電極41が形成されている。

【0066】

第3実施形態では、上記のように、高Ga組成層31aのGa組成比を、InGaN基板31のGa組成比より高くすることによって、Gaは、Inに比べて窒素との結合力が

10

20

30

40

50

強い性質を有するため、高GaN組成層31a上に窒化物系半導体レーザ素子を構成するn型クラッド層32を成長させる際に、n型クラッド層32の構成元素である窒素を容易に下層の高GaN組成層31aのGaNに結合させることができる。このため、高GaN組成層31a上に形成する窒化物系半導体レーザ素子を構成するn型クラッド層32中にピットが発生するのを抑制することができる。

【0067】

また、第3実施形態では、高GaN組成層31aを、InGaN基板31の表面が変質された変質層からなるように構成することによって、InGaN基板31上に高GaN組成層31aを結晶成長させることなく、ピットの発生および転位の伝播を抑制可能な高GaN組成層31aを形成することができる。

10

【0068】

なお、第3実施形態のその他の効果は、上記第1実施形態と同様である。

【0069】

図9～図11は、図8に示した第3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8～図11を参照して、第3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。

【0070】

まず、図9に示すように、ハライド気相成長(HVPE)法を用いて、成長用基板としてのGaNAs基板42上に、低温バッファ層43およびGaN層44を順次成長させる。

【0071】

具体的には、GaNAs基板42を約500℃に保持した状態で、約20nmの厚みを有するGaNからなる低温バッファ層43を成長させる。続いて、温度を約1050℃に保持した状態で、約2μmの厚みを有するGaN層44を成長させる。

20

【0072】

次に、プラズマCVD法などを用いて、GaN層44上に、SiO₂膜45を形成する。その後、通常のリソグラフィー技術を用いて、直径2μmの開口部を約10μmの間隔の周期で正方格子状のパターンを形成する。これにより、GaNAs基板42、低温バッファ層43、GaN層44およびSiO₂膜45から構成される選択成長下地46を形成する。

【0073】

その後、図9に示すように、選択成長下地46を約750℃の温度に保持した状態で、GaN層44およびSiO₂膜45上に、約20μmの厚みを有するIn_{0.1}Ga_{0.9}NからなるInGaN層47を選択横方向成長させる。この際、InGaN層47の横方向の成長により、SiO₂膜45間に露出されたGaN層44の表面上に成長した層が互いに合体してInGaN層47の表面が平坦化される。引き続き、約750℃の温度に保持した状態で、約200μmの厚みを有する、SiがドープされたIn_{0.15}Ga_{0.85}NからなるInGaN層31を成長させる。

30

【0074】

次に、研磨によって、GaNAs基板42からなる成長用基板、低温バッファ層43、GaN層44、SiO₂膜45およびInGaN層47を除去し、InGaN層31の裏面を露出させ、これをInGaN基板31とする。その後、InGaN基板31の成長面を化学的機械研磨(CMP)によって、約0.5μmの厚み分だけ研磨する。さらに、InGaN基板31の成長面をCl₂ガスを用いて、RIEエッチングによって約0.5μmの厚み分だけ除去することによって、InGaN基板31の成長面を鏡面にする。そして、このInGaN基板31を窒化物系半導体レーザ素子のInGaN基板31として用いる。

40

【0075】

次に、図10に示すように、In_{0.15}Ga_{0.85}NからなるInGaN基板31の表面(成長面)に約5nmの厚みを有する高GaN組成層31aを形成する。具体的には、In_{0.15}Ga_{0.85}NからなるInGaN基板31を、NH₃(25%)、N₂

50

(65%)およびH₂(10%)からなる雰囲気中に、約900の温度に保持した状態で、約30分間保持する。これにより、InGaN基板31の表面の付着物が脱離するとともに、InGaN基板31の表面のInが脱離する。その結果、In_{0.15}Ga_{0.85}NからなるInGaN基板31の表面に、Ga組成比がInGaN基板31の85%よりも大きい変質層からなる高Ga組成層31aが形成される。さらに、MOVPE法を用いて、InGaN基板31を約750の温度に保持した状態で、NH₃(25%)およびH₂(75%)の雰囲気において、InGaN基板31上に、約1μmの厚みを有するSiがドープされたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるn型クラッド層32を成長させる。続いて、n型クラッド層32上に、SiがドープされたIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるn型光導波層33、MWQ構造を有する活性層34、アンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなるp型光導波層35、Mgがドープされた約2.5nmの厚みを有するIn_{0.1}Ga_{0.9}N層と約2.5nmの厚みを有するGaN層との60周期の超格子クラッド層36および約0.1μmの厚みを有するMgがドープされたGaNからなるp型コンタクト層37を、この順に成長させる。その後、InGaN基板31を、窒素雰囲気中でアニール処理することによって、p型不純物であるMgを活性化させて、p型化を行う。10

【0076】

次に、プラズマCVD法を用いて、p型コンタクト層37上にSiO₂膜39aを形成した後、フォトリソグラフィー技術と、Cl₂ガスによるRIE法とを用いて、p型コンタクト層37および超格子クラッド層36の途中までエッチングを行い、ストライプ状のリッジ部38を形成する。なお、このエッチングによって形成される超格子クラッド層36の平坦部の厚みは、基本横モード発振ができる厚みとする。この後、SiO₂膜39aを除去する。20

【0077】

次に、図11に示すように、プラズマCVD法を用いて、超格子クラッド層36上およびp型コンタクト層37上に、SiO₂膜を形成した後、通常のリソグラフィー技術を用いてリッジ部38上部のSiO₂膜の一部を除去することにより、SiO₂膜からなる電流プロック層39とする。

【0078】

次に、図8に示したように、p型コンタクト層37の上面上および電流プロック層39の上面上に、電子ビーム加熱蒸着法を用いて、NiとAuとからなるp側電極40を形成する。そして、InGaN基板31の裏面を、約100μmの厚みまで研磨した後、InGaN基板31の裏面を、Cl₂によるRIE法を用いてドライエッチングする。その後、電子ビーム加熱蒸着法を用いて、InGaN基板31の裏面に近い側から、Ti層と、Au層とからなるn側電極41を形成する。これにより、図8に示したような、第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子が完成される。30

【0079】

(第4実施形態)

図12は、本発明の第4実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード(LED)素子(半導体素子)の構造を示した断面図である。図13は、図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED素子内部の歪の補償構造を説明するための断面図である。図12および図13を参照して、この第4実施形態では、上記第1~第3実施形態とは異なり、AlGaNからなるn型クラッド層58と活性層56との間に歪補償層57を形成する場合について説明する。40

【0080】

この第4実施形態では、図12に示すように、光出射面61とは反対側に、導電性の支持基板51が設置されている。この導電性の支持基板51は、Cu-Wからなる。また、支持基板51の上面の全面には、支持基板51側から約200nmの厚みを有するAg層と約5nmの厚みを有するAl層とが順次形成されたp側電極52が、半田層51aにより接着されている。なお、半田層51aは、本発明の「接着層」の一例である。また、p50

側電極 5 2 は、反射電極として機能する。なお、p 側電極 5 2 としては、光の吸収の少ない金属を用いるとともに、光を反射させる電極で構成するのがより好ましい。

【 0 0 8 1 】

p 側電極 5 2 上には、約 0 . 3 μm の厚みを有するアンドープの $\text{Ga}_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{N}$ からなる p 型コンタクト層 5 3 が形成されている。p 型コンタクト層 5 3 上には、約 0 . 5 μm の厚みを有する Mg がドープされた単結晶の $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる p 型クラッド層 5 4 が形成されている。p 型クラッド層 5 4 上には、約 10 nm の厚みを有する Mg がドープされた $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる保護層 5 5 が形成されている。保護層 5 5 上には、单一量子井戸 (SQW) 構造を有する活性層 5 6 が形成されている。この活性層 5 6 は、LED 素子の発光層として機能し、約 5 nm の厚みを有するアンドープの $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる井戸層を含む。活性層 5 6 上には、約 5 nm の厚みを有する Si がドープされた単結晶の $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる歪補償層 5 7 が形成されている。なお、歪補償層 5 7 は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。歪補償層 5 7 上には、約 0 . 5 μm の厚みを有する Si がドープされた単結晶の $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 5 8 が形成されている。なお、n 型クラッド層 5 8 は、本発明の「半導体層」の一例である。10

【 0 0 8 2 】

また、図 12 に示すように、n 型クラッド層 5 8 上には、約 3 μm の厚みを有する Si がドープされた GaN からなる n 型コンタクト層 5 9 が形成されている。そして、p 型コンタクト層 5 3 、p 型クラッド層 5 4 、保護層 5 5 、活性層 5 6 、歪補償層 5 7 、n 型クラッド層 5 8 および n 型コンタクト層 5 9 によって、窒化物系半導体素子層 6 0 が構成されている。20

【 0 0 8 3 】

また、窒化物系半導体素子層 6 0 は、図 12 に示すように、支持基板 5 1 側から光出射面 6 1 側に向かって先細り形状になるように構成されている。

【 0 0 8 4 】

また、n 型コンタクト層 5 9 上の所定領域には、n 側電極 6 2 が形成されている。この n 側電極 6 2 は、n 型コンタクト層 5 9 側から順に、オーミック電極、バリア金属およびパッド金属によって構成されている。なお、n 側電極 6 2 を構成するオーミック電極は、約 100 nm の厚みを有する Al からなる。また、n 側電極 6 2 を構成するバリア金属は、約 100 nm の厚みを有するとともに、オーミック電極とパッド金属との反応を抑制する Pt または Ti からなる。また、n 側電極 6 2 を構成するパッド金属は、約 500 nm の厚みを有するとともに、融着し易い金属である Au または Au - Sn からなる。この n 側電極 6 2 は、光出射面 6 1 から出射される光が低減するのを抑制するために、n 型コンタクト層 5 9 上の全面ではなく、n 型コンタクト層 5 9 上の一部の領域に配置されている。30

【 0 0 8 5 】

第 4 実施形態では、上記のように、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 5 8 と $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる活性層 5 6 との間の n 型クラッド層 5 8 の表面に接触するように形成されるとともに、n 型クラッド層 5 8 の構成元素と同一の構成元素である AlGaN 層からなり、かつ、Al 组成比が n 型クラッド層 5 8 の Al 组成比より高い $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる歪補償層 5 7 を設けることによって、図 13 に示すように、n 型コンタクト層 5 9 との格子定数差に起因して、歪補償層 5 7 を構成する層の主表面に沿った方向の引張歪が生じる。一方、n 型コンタクト層 5 9 の格子定数より活性層 5 6 の格子定数が大きいので、活性層 5 6 を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪が生じる。この結果、活性層 5 6 に発生する応力を歪補償層 5 7 に発生する応力によって補償することができる。このため、窒化物系半導体 LED 素子の活性層 5 6 での結晶欠陥の発生を抑制することができるので、窒化物系半導体 LED 素子の発光効率および素子寿命（素子特性）を向上させることができる。40

【 0 0 8 6 】

10

20

30

40

50

また、第4実施形態では、歪補償層57のAl組成比をn型クラッド層58のAl組成比より高くすることによって、歪補償層57を、n型クラッド層58よりも硬くすることができますので、n型クラッド層58と歪補償層57との界面で、n型クラッド層58に存在する転位を曲げることができる。これにより、n型クラッド層58に存在する転位が、歪補償層57を越えて上層の活性層56に伝播するのを抑制することができるので、活性層56の転位を従来に比べて減少することができる。これによっても、窒化物系半導体ダイオード素子の素子特性の低下を抑制することができる。

【0087】

図14～図21は、図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED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12および図14～図21を参照して、第4実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスについて説明する。
10

【0088】

まず、図14に示すように、MOVPE法を用いて、成長用基板としてのサファイア基板63上に、低温バッファ層64、n型コンタクト層59、n型クラッド層58、歪補償層57、活性層56、保護層55、p型クラッド層54およびp型コンタクト層53を順次成長させる。

【0089】

具体的には、サファイア基板63を約400～約700の成長温度に保持した状態で、NH₃およびTMGaからなる原料ガスと、SiH₄からなるドーパントガスとを用いて、サファイア基板63の(0001)面上に、約10nm～約50nmの厚みを有するアンドープGaNからなる低温バッファ層64を成長させる。この際、NH₃およびTMA1からなる原料ガスを用いることにより、n型AlNからなる低温バッファ層64を成長させてもよいし、NH₃、TMGaおよびTMA1からなる原料ガスを用いることにより、n型AlGaNからなる低温バッファ層64を成長させてもよい。
20

【0090】

次に、サファイア基板63を約1000～約1200（たとえば、約1150）の単結晶成長温度に保持した状態で、H₂およびN₂からなるキャリアガス（H₂の含有率は約50%）と、NH₃およびTMGaからなる原料ガスと、SiH₄からなるドーパントガスとを用いて、低温バッファ層64上に、約3μmの厚みを有する不純物濃度約3×10¹⁸cm⁻³のSiがドープされた単結晶のn型GaNからなるn型コンタクト層59を約3μm/hの成長速度で成長させる。この後、キャリアガスをH₂およびN₂（H₂の含有率は約1%～約3%）に変えるとともに、原料ガスをNH₃、TMGaおよびTMA1に変えて、n型コンタクト層59上に、約0.5μmの厚みを有するSiがドープされた単結晶のn型Al_{0.07}Ga_{0.93}Nからなるn型クラッド層58を約1μm/hの成長速度で成長させる。
30

【0091】

次に、TMA1からなる原料ガスの供給量を増加させ、n型クラッド層58上に、約5nmの厚みを有するSiがドープされた単結晶のAl_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる歪補償層57を成長させる。

【0092】

次に、サファイア基板63を約700～約1000（たとえば、約850）の単結晶成長温度に保持した状態で、H₂およびN₂からなるキャリアガス（H₂の含有率は約1%～約5%）と、NH₃、TMGaおよびTMInからなる原料ガスとを用いて、歪補償層57上に、約5nmの厚みを有する単結晶のアンドープのIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる井戸層を約0.1nm/sの成長速度で成長させる。これにより、井戸層を含むSQW構造の活性層56が形成される。次に、活性層56上に、約10nmの厚みを有する単結晶のMgがドープされたAl_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる保護層55を約0.3nm/sの成長速度で成長させる。
40

【0093】

次に、サファイア基板63を約1000～約1200（たとえば、約1150）
50

の単結晶成長温度に保持した状態で、H₂ およびN₂ からなるキャリアガス（H₂ の含有率は約1%～約3%）と、NH₃、TMGa およびTMA1 からなる原料ガスと、Cp₂Mg からなるドーパントガスとを用いて、保護層55上に、約0.5 μmの厚みを有するMgがドープされた単結晶のp型Al_{0.05}Ga_{0.95}N からなるp型クラッド層54 を約1 μm/hの成長速度で成長させる。

【0094】

続いて、サファイア基板63を約700～約1000（たとえば、約850）の单結晶成長温度に保持した状態で、原料ガスをNH₃、TMGa およびTMI_nに変えるとともに、ドーパントガスを用いないで、p型クラッド層54上に、約0.3 μmの厚みを有するアンドドープの单結晶のGa_{0.95}In_{0.05}N からなるコンタクト層53を約0.1 nm/sの成長速度で成長させる。この後、サファイア基板63を約400～約900（たとえば、約800）に保持した状態で、N₂ 雰囲気中においてアニールすることによって、上記した窒化物系半導体各層の水素濃度を約 5×10^{18} cm⁻³以下に低下させる。そして、N₂ からなるキャリアガスと、Cp₂Mg からなるドーパントガスとを用いて、コンタクト層中に約 1×10^{18} cm⁻³～約 1×10^{19} cm⁻³のMgを拡散させることによって、コンタクト層をMgがドープされたp型コンタクト層53にする。このようにして、p型コンタクト層53、p型クラッド層54、保護層55、活性層56、歪補償層57、n型クラッド層58およびn型コンタクト層59によって構成される窒化物系半導体素子層60を形成する。この後、熱処理または電子線処理を行うことにより、p型コンタクト層53およびp型クラッド層54のp型化を行う。なお、上記の各層は、基本的な構成を示しており、LEDとして作用する限りは、各層を追加および削除することは設計変更の範囲内に含まれる。10 20

【0095】

次に、図15に示すように、真空蒸着法などを用いて、p型コンタクト層53上に、Al層とAg層とからなるp側電極52を形成する。この際、約5 nmの厚みを有するAl層を島状に形成した後、全面を覆うように、約200 nmの厚みを有するAg層を形成する。

【0096】

次に、図16に示すように、p側電極52に、Cu-Wからなる導電性の支持基板51を接合する。この際、Au-SnやPd-Snなどからなる半田を介して、p側電極52に支持基板51を接合してもよいし、Agからなる導電性ペーストを介して、p側電極52に支持基板51を接合してもよい。また、p側電極52に支持基板51を直接貼り合せた後、約400～約1000の温度条件下で加圧することによって、p側電極52に支持基板51を接合してもよい。30

【0097】

この後、サファイア基板63に対して研磨やレーザ照射などを行うことによって、サファイア基板63からなる成長用基板を除去する。この際、ドライエッチング技術やウェットエッチング技術を用いて、サファイア基板63を除去してもよい。そして、CF₄ガスなどによるドライエッチング技術または熱リン酸液などによるウェットエッチング技術を用いて、低温バッファ層64を除去する。これにより、図17に示すように、n型コンタクト層59の表面が露出された状態にする。40

【0098】

次に、図18に示すように、n型コンタクト層59の表面上に、n型コンタクト層59とは反対側に向かって先細り形状となる台形状のAlからなるマスク層65を形成する。具体的には、まず、電子ビーム蒸着法を用いて、n型コンタクト層59の表面上に、約2.5 μmの厚みを有するAl層（図示せず）を形成する。この後、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて、n型コンタクト層59とは反対側に向かって先細り形状となる台形状になるようにAl層を加工することによって、マスク層65を形成する。

【0099】

次に、図19に示すように、平行平板型ドライエッチング装置を用いて、エッチング深50

さが p 側電極 5 2 の表面に達するまで、マスク層 6 5 と窒化物系半導体素子層 6 0 とを同時にエッティングする。この際、エッティング条件として、放電出力および圧力を、それぞれ、約 3 0 0 W および約 6.6×10^2 Pa ~ 約 1.3 kPa に設定するとともに、CF₄ からなるエッティングガスを用いる。上記のようなエッティング条件に設定することによって、マスク層 6 5 と窒化物系半導体素子層 6 0 とのエッティングレートを実質的に等しくすることができるので、窒化物系半導体素子層 6 0 は、マスク層 6 5 の形状を反映した形状になる。すなわち、窒化物系半導体素子層 6 0 は、支持基板 5 1 側から n 型コンタクト層 5 9 に向かって先細り形状になるとともに、窒化物系半導体素子層 6 0 の傾斜した側面 6 0 a と n 型コンタクト層 5 9 の表面とがなす角度が鈍角になる。この後、希塩酸を用いて、マスク層 6 5 を除去することによって、図 2 0 に示すような形状になる。

10

【0100】

次に、図 2 1 に示すように、真空蒸着法などを用いて、n 型コンタクト層 5 9 の表面上の所定領域に、n 側電極 6 2 を形成する。この際、n 型コンタクト層 5 9 側から順に、オーミック電極、バリア金属およびパッド金属を形成する。なお、n 側電極 6 2 を構成するオーミック電極は、約 1 0 0 nm の厚みを有する Al からなる。また、n 側電極 6 2 を構成するバリア金属は、約 1 0 0 nm の厚みを有する Pt または Ti からなる。また、n 側電極 6 2 を構成するパッド金属は、約 5 0 0 nm の厚みを有する Au または Au - Sn からなる。

20

【0101】

この後、素子分離領域 6 6 に沿って、素子分離を行う。この際、ダイシングを用いて素子分離領域 6 6 に切込みを入れた後、その切込みに沿って素子を分離してもよい。また、エッティング技術を用いて素子分離領域 6 6 に切込みを入れた後、その切込みに沿って素子を分離してもよい。また、ダイシングにより支持基板 5 1 の素子分離領域 6 6 に切込みを入れるとともに、エッティング技術により窒化物系半導体素子層 6 0 の素子分離領域 6 6 に切込みを入れた後、ダイシングおよびエッティング技術による切込みに沿って素子を分離してもよい。上記のようなダイシングとエッティング技術とを組み合わせた場合には、窒化物系半導体素子層 6 0 に刃物が接触しないので、窒化物系半導体素子層 6 0 へのダメージが低減される。このようにして、図 1 2 に示した第 4 実施形態による窒化物系半導体 LED 素子が形成される。

30

【0102】

なお、本発明の「半導体層」は、上記した第 4 実施形態の構成以外に以下の第 1 変形例および第 2 変形例の構成がある。

【0103】

第 4 実施形態の第 1 変形例は、図 1 2 の n 型クラッド層 5 8 および n 型コンタクト層 5 9 を、n 型コンタクト層を兼ねる約 3.5 μm の厚みを有する Si ドープの Al_{0.07} Ga_{0.93} N からなる n 型クラッド層の単層で構成する。なお、n 型クラッド層の単層は、本発明の「半導体層」の一例である。

40

【0104】

この第 1 変形例では、歪補償層 5 7 を設けることによって、n 型クラッド層の単層との格子定数差に起因して、歪補償層 5 7 を構成する層の主表面に沿った方向の引張歪が生じる。一方、n 型クラッド層の単層の格子定数より活性層 5 6 の格子定数が大きいので、活性層 5 6 を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪が生じる。この結果、活性層 5 6 に発生する応力を歪補償層 5 7 に発生する応力によって補償することができる。

【0105】

第 4 実施形態の第 2 変形例は、図 1 2 の n 型コンタクト層 5 9 を、約 3 μm の厚みを有する Si ドープの Al_{0.01} Ga_{0.99} N で構成し、さらに n 型クラッド層 5 8 と n 型コンタクト層 5 9 との間に、約 5 nm の厚みを有する Si ドープの Al_{0.1} Ga_{0.9} N からなる高 Al 組成層を有する。なお、n 型コンタクト層 5 9 および高 Al 組成層は、それぞれ、本発明の「半導体層」および「窒化物系半導体層」の一例である。

50

【0106】

この第2変形例では、歪補償層57を設けることによって、n型コンタクト層59との格子定数差に起因して、歪補償層57を構成する層の主表面に沿った方向の引張歪が生じる。一方、n型コンタクト層59の格子定数より活性層56の格子定数が大きいので、活性層56を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪が生じる。この結果、活性層56に発生する応力を歪補償層57に発生する応力によって補償することができる。

【0107】

また、この第2変形例では、高A1組成層のA1組成比をn型コンタクト層59のA1組成比より高くすることによって、高A1組成層をn型コンタクト層59より硬くすることができる。n型コンタクト層59と高A1組成層との界面で、n型コンタクト層59に存在する転位が、高A1組成層を越えて上層のn型クラッド層58に伝播するのを抑制することができる。10

【0108】

(第5実施形態)

図22は、本発明の第5実施形態による窒化物系半導体LED素子の構造を示した断面図である。図22を参照して、この第5実施形態では、上記第1～第4実施形態と異なり、n型クラッド層68と活性層56との間に形成された歪補償層68aがn型クラッド層68の変質層からなる場合の構造について説明する。なお、この第5実施形態では、n型クラッド層68および歪補償層68a以外の構造については、上記第4実施形態と同様であるため、n型クラッド層68および歪補償層68a以外の構造については説明を省略する。20

【0109】

この第5実施形態では、図22に示すように、約0.5μmの厚みを有するSiがドープされた単結晶のAl_{0.07}Ga_{0.93}Nからなるn型クラッド層68の活性層56側の表面に、歪補償層68aが形成されている。なお、n型クラッド層68および歪補償層68aは、それぞれ、本発明の「半導体層」および「窒化物系半導体層」の一例である。この歪補償層68aは、Al_{0.07}Ga_{0.93}Nからなるn型クラッド層68の表面が変質されることによりA1組成比が増加された変質層からなる。また、この変質層は、n型クラッド層68と変質層との界面(A1組成比7%)から変質層の表面に向かって、A1の組成比が徐々に増加しており、変質層の表面近傍でのA1組成比が最も高くなっている。この変質層の表面近傍のA1組成比の値は、約15%である。また、歪補償層68aの厚みは、約2nmである。30

【0110】

第5実施形態では、上記のように、歪補償層68aを、n型クラッド層68の活性層56側の表面が変質された変質層からなるように構成することによって、n型クラッド層68上に歪補償層68aを結晶成長させることなく、歪補償層68aを構成する層の主表面に沿った方向の引張歪を有する歪補償層68aを形成できる。一方、n型コンタクト層59の格子定数より活性層56の格子定数が大きいので、活性層56を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪が生じる。この結果、活性層56に発生する応力を歪補償層68aに発生する応力によって補償することができる。

【0111】

なお、第5実施形態のその他の効果は、上記第4実施形態と同様である。40

【0112】

次に、図22を参照して、第5実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスについて説明する。なお、第5実施形態では、歪補償層68aの形成方法以外は、上記第4実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスと同様であるため、説明は省略する。したがって、第5実施形態では、歪補償層68aの形成方法についてのみ説明する。

【0113】

まず、Al_{0.07}Ga_{0.93}Nからなるn型クラッド層68を有する窒化物系LED素子を、H₂およびNH₃雰囲気の反応炉の中に挿入し、窒化物系半導体層の窒素原料50

である NH_3 ガスを供給した状態で n 型クラッド層 6 8 の温度が約 1 0 0 0 ~ 約 1 2 0 0 (たとえば、約 1 1 5 0) になるまで加熱する。この際、 NH_3 流量は AlGaN 成長に必要な流量の約 5 0 % の約 3 SLM とする。 NH_3 流量が少ない状態で n 型クラッド層 6 8 の温度を、約 1 1 5 0 まで上昇することにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面の N および Ga が熱により n 型クラッド層 6 8 から離脱する一方、 AlGaN の中に熱的に安定な Al が脱離せずに残る。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面が変質されて Al 組成比の高い AlGaN 層(変質層)からなる歪補償層 6 8 a が形成される。

【 0 1 1 4 】

第 5 実施形態の歪補償層 6 8 a の形成後の製造プロセスは、上記第 4 実施形態と同様である。

【 0 1 1 5 】

なお、 n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面を変質させることによって、 n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面に変質層からなる歪補償層 6 8 a を形成する方法としては、上記した第 5 実施形態の方法以外に以下の 3 つの第 1 変形例～第 3 変形例による方法がある。

【 0 1 1 6 】

第 5 実施形態の第 1 変形例による方法としては、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 を有する窒化物系 LED 素子を、 H_2 および NH_3 雰囲気の反応炉の中に挿入し、窒化物系半導体層の成長に必要な H_2 流量の約 2 倍の約 4 0 SLM の H_2 を流した状態で、 n 型クラッド層 6 8 の温度が、約 1 0 0 0 ~ 約 1 2 0 0 (たとえば、約 1 1 5 0) になるまで加熱する。 H_2 流量が多い状態で、 n 型クラッド層 6 8 の温度を約 1 1 5 0 まで上昇することにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面の N および Ga が熱により n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面から離脱する一方、 AlGaN の中に熱的に安定な Al が脱離せずに残る。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面が変質されて Al 組成比の高い AlGaN 層(変質層)からなる歪補償層 6 8 a が形成される。

【 0 1 1 7 】

また、第 5 実施形態の第 2 変形例による方法としては、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 上に、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる活性層 5 6 を成長させるために、保持温度を約 1 1 5 0 から約 8 5 0 に下げる際に、 NH_3 流量を AlGaN 成長に必要な流量の約 5 0 % の約 3 SLM とする。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面の N および Ga が熱により n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面から離脱する一方、 AlGaN の中に熱的に安定な Al が脱離せずに残る。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面が変質されて Al 組成比の高い AlGaN 層(変質層)からなる歪補償層 6 8 a が形成される。

【 0 1 1 8 】

また、第 5 実施形態の第 3 変形例による方法としては、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 上に、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ からなる活性層 5 6 を成長させるために、保持温度を約 1 1 5 0 から約 8 5 0 に下げる際に、 H_2 流量を AlGaN 成長に必要な流量の約 2 倍の約 4 0 SLM とする。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面の N および Ga が熱により n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面から離脱する一方、 AlGaN の中に熱的に安定な Al が脱離せずに残る。これにより、 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる n 型クラッド層 6 8 の活性層 5 6 側の表面が変質されて Al 組成比の高い AlGaN 層(変質層)からなる歪補償層 6 8 a が形成される。

【 0 1 1 9 】

10

20

30

40

50

(第6実施形態)

図23は、本発明の第6実施形態による窒化物系半導体LED素子(半導体素子)の構造を示した断面図である。図23を参照して、この第6実施形態では、上記第1~第5実施形態とは異なり、 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなるn型クラッド層77と活性層75との間に歪補償層76を形成する場合について説明する。

【0120】

この第6実施形態では、図23に示すように、光出射面91とは反対側に、導電性の支持基板71が設置されている。この導電性の支持基板71は、Cu-Wからなる。また、支持基板71の上面の全面には、支持基板71側から約200nmの厚みを有するAg層と約5nmの厚みを有するAl層とが順次形成されたp側電極72が、半田層71aにより接着されている。なお、半田層71aは、本発明の「接着層」の一例である。このp側電極72は、反射電極として機能する。なお、p側電極72としては、光の吸収の少ない金属を用いるとともに、光を反射させる電極で構成するのがより好ましい。

【0121】

p側電極72上には、約100nmの厚みを有するMgがドープされたGaNからなるp型コンタクト層を兼ねたp型クラッド層73が形成されている。p型クラッド層73上には、約5nmの厚みを有するMgがドープされた単結晶の $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$ からなる保護層74が形成されている。保護層74上には、MQW構造を有する活性層75が形成されている。この活性層75は、約5nmの厚みを有するアンドープの単結晶の $In_{0.25}Ga_{0.75}N$ からなる2つの量子井戸層と、約20nmの厚みを有するアンドープの単結晶の $In_{0.15}Ga_{0.85}N$ からなる3つの量子障壁層とが交互に積層されて構成されている。活性層75上には、約5nmの厚みを有する不純物濃度約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドープされた単結晶の $In_{0.02}Ga_{0.98}N$ からなる歪補償層76が形成されている。なお、歪補償層76は、本発明の「窒化物系半導体層」の一例である。歪補償層76上には、約 $1.5 \mu\text{m}$ の厚みを有する不純物濃度約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のSiがドープされた単結晶の $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなるn型コンタクト層を兼ねるn型クラッド層77が形成されている。なお、n型クラッド層77は、本発明の「半導体層」の一例である。

【0122】

また、n型クラッド層77上の所定領域には、n側電極78が形成されている。このn側電極78は、n型クラッド層77側から順に、オーミック電極、バリア金属およびパッド金属によって構成されている。なお、n側電極78を構成するオーミック電極は、約100nmの厚みを有するAlからなる。また、n側電極78を構成するバリア金属は、約100nmの厚みを有するとともに、オーミック電極とパッド金属との反応を抑制するPtまたはTiからなる。また、n側電極78を構成するパッド金属は、約500nmの厚みを有するとともに、融着し易い金属であるAuまたはAu-Snからなる。このn側電極78は、光出射面91から出射される光が低減するのを抑制するために、n型クラッド層77上の全面ではなく、n型クラッド層77上的一部の領域に配置されている。

【0123】

第6実施形態では、上記のように、 $In_{0.1}Ga_{0.9}N$ からなるn型クラッド層77と活性層75との間のn型クラッド層77の表面に接触するように形成されるとともに、n型クラッド層77の構成元素と同一の構成元素であるInGaN層からなり、かつ、Ga組成比がn型クラッド層77のGa組成比より高い $In_{0.02}Ga_{0.98}N$ からなる歪補償層76とを備えることによって、n型クラッド層77との格子定数差に起因して、歪補償層76を構成する層の主表面に沿った方向の引張歪が生じる。一方、n型クラッド層77の格子定数より発光層75の格子定数が大きいので、活性層75を構成する層の主表面に沿った方向の圧縮歪が生じる。この結果、活性層75に発生する応力を歪補償層76に発生する応力によって補償することができる。このため、窒化物系半導体LED素子の活性層75での結晶欠陥の発生を抑制することができるので、窒化物系半導体LED素子の発光効率および素子寿命(素子特性)を向上させることができる。

10

20

30

40

50

【0124】

また、第6実施形態では、歪補償層76のGaN組成比をn型クラッド層77のGaN組成比より高くすることによって、歪補償層76を、n型クラッド層77よりも硬くすることができる。n型クラッド層77と歪補償層76との界面で、n型クラッド層77に存在する転位を曲げることができる。これにより、n型クラッド層77に存在する転位が、歪補償層76を越えて下層の活性層75に伝播するのを抑制することができるので、活性層75の転位を従来に比べて減少することができる。これによっても、窒化物系半導体ダイオード素子の素子特定の低下を抑制することができる。

【0125】

なお、第6実施形態のその他の効果は、上記第4実施形態と同様である。

10

【0126】

図24～図28は、図23に示した第6実施形態による窒化物系半導体LED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23～図28を参照して、第6実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスについて説明する。

【0127】

まず、図24に示すように、MOVPE法を用いて、成長用基板としてのサファイア基板79上に、低温バッファ層80、GaN層81、InGaN層82、n型クラッド層(n型コンタクト層)77、歪補償層76、活性層75、保護層74およびp型クラッド層(p型コンタクト層)73を順次成長させる。

【0128】

具体的には、サファイア基板79を約400～約700の成長温度に保持した状態で、NH₃およびTMGa(トリメチルガリウム)からなる原料ガスと、SiH₄からなるドーパントガスとを用いて、サファイア基板79の(0001)面上に、約10nm～約50nmの厚みを有するアンドープGaNからなる低温バッファ層80を成長させる。この際、NH₃およびTMA1からなる原料ガスを用いることにより、n型AlNからなる低温バッファ層80を成長させてもよいし、NH₃、TMGaおよびTMA1からなる原料ガスを用いることにより、n型AlGaNからなる低温バッファ層80を成長させてもよい。

20

【0129】

次に、サファイア基板79を約1000～約1200(たとえば、約1150)の単結晶成長温度に保持した状態で、H₂およびN₂からなるキャリアガス(H₂の含有率は約50%)と、NH₃およびTMGaからなる原料ガスと、SiH₄からなるドーパントガスとを用いて、低温バッファ層80上に、約3μmの厚みを有するアンドープの単結晶のn型GaN層81を約3μm/hの成長速度で成長させる。この後、サファイア基板79を約700の単結晶成長温度に保持した状態で、キャリアガスをN₂に変えるとともに、原料ガスをNH₃、TMGaおよびTMA1に変えて、SiH₄からなるドーパントガスを用いて、GaN層81上に、約50nmの厚みを有するアンドープの単結晶のn型In_{0.4}Ga_{0.6}NからなるInGaN層82を約0.1μm/hの成長速度で成長させる。

30

【0130】

次に、サファイア基板79を約500～約950(たとえば、約800)の単結晶成長温度に保持した状態で、N₂からなるキャリアガスと、NH₃、TMGaおよびTMI_nからなる原料ガスと、SiH₄からなるドーパントガスとを用いて、InGaN層82上に、約1.5μmの厚みを有する不純物濃度約 3×10^{18} cm⁻³のSiがドープされたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nからなるn型コンタクト層を兼ねるn型クラッド層77を約0.8μm/hの成長速度で成長させる。

40

【0131】

次に、サファイア基板79を約500～約950(たとえば、約800)の単結晶成長温度に保持した状態で、H₂およびN₂からなるキャリアガス(H₂の含有率は約1%～約5%)と、NH₃、TEGaおよびTMI_nからなる原料ガスとを用いて、n型

50

クラッド層77上に、約5nmの厚みを有する不純物濃度約 3×10^{18} cm⁻³のSiがドープされた単結晶のIn_{0.02}Ga_{0.98}Nからなる歪補償層76を成長させる。

【0132】

次に、サファイア基板79を約500～約950（たとえば、約750）の単結晶成長温度に保持した状態で、N₂からなるキャリアガスと、NH₃、TEGaおよびTMInからなる原料ガスとを用いて、歪補償層76上に、約20nmの厚みを有するアンドープの単結晶のIn_{0.15}Ga_{0.85}Nからなる3つの量子障壁層と、約5nmの厚みを有するアンドープの単結晶のIn_{0.25}Ga_{0.75}Nからなる2つの量子井戸層とが交互に積層されて構成されるMQW構造を有する活性層75を約0.3μm/hの成長速度で成長させる。さらに、サファイア基板79を約800の単結晶成長温度に保持した状態で、活性層75上に、約5nmの厚みを有するMgがドープされた単結晶のAl_{0.05}Ga_{0.95}Nからなる保護層74を約0.4nm/sの成長速度で成長させる。

【0133】

その後、サファイア基板79を約1000～約1200（たとえば、約1150）の単結晶成長温度に保持した状態で、H₂およびN₂からなるキャリアガス（H₂の含有率は約1%～約3%）と、NH₃、TMGaおよびTMA1からなる原料ガスと、Cp₂Mgからなるドーパントガスとを用いて、保護層74上に、約100nmの厚みを有するMgがドープされた単結晶のp型GaNからなるとともにp型コンタクト層を兼ねるp型クラッド層73を約3μm/hの成長速度で成長させる。

【0134】

次に、サファイア基板79を約400～約900（たとえば、約800）に保持した状態で、N₂雰囲気中においてアニールすることによって、p型クラッド層（p型コンタクト層）73のp型化を行う。なお、上記の各層は、基本的な構成を示しており、LEDとして作用する限りは、各層を追加および削除することは設計変更の範囲内に含まれる。

【0135】

次に、図25に示すように、真空蒸着法などを用いて、p型クラッド層（p型コンタクト層）73上に、p側電極72を形成する。そして、図26に示すように、p側電極72に、半導体、金属、導電性樹脂フィルム、または、金属と金属酸化物との複合材料からなる導電性の支持基板71を接合する。この際、Au-SnやPd-Snなどからなる半田を介して、p側電極72に支持基板71を接合してもよいし、Agからなる導電性ペーストを介して、p側電極72に支持基板71を接合してもよい。また、p側電極72に支持基板71を直接貼り合せた後、約400～約1000の温度条件下で加圧することによって、p側電極72に支持基板71を接合してもよい。

【0136】

この後、約532nmの波長のレーザ光をサファイア基板79側から照射することによってInGaN層82で吸収させ、InGaN層82を蒸発させることにより、サファイア基板79からなる成長用基板、低温バッファ層80、n型GaN層81およびInGaN層82を除去する。この際、研磨、ドライエッティング技術やウェットエッティング技術を用いて、サファイア基板79、低温バッファ層80、n型GaN層81およびInGaN層82を除去してもよい。これにより、図27に示すように、n型コンタクト層を兼ねたn型クラッド層77の表面が露出された状態にする。そして、露出したn型クラッド層77の表面をCMP研磨によって約0.1μmの厚み分だけ研磨する。その後、露出したn型クラッド層77の表面を約0.1μmの厚み分だけ、Cl₂ガスを用いてRIEにより除去する。

【0137】

次に、図28に示すように、真空蒸着法などを用いて、n型クラッド層77の表面上の所定領域に、n側電極78を形成する。この際、n型クラッド層77側から順に、オーミ

10

20

30

40

50

ック電極、バリア金属およびパッド金属を形成する。なお、n側電極78を構成するオームック電極は、約100nmの厚みを有するAlからなる。また、n側電極78を構成するバリア金属は、約100nmの厚みを有するPtまたはTiからなる。また、n側電極78を構成するパッド金属は、約500nmの厚みを有するAuまたはAu-Snからなる。

【0138】

この後、素子分離領域83に沿って、素子分離を行う。この際、ダイシングを用いて素子分離領域83に切込みを入れた後、その切込みに沿って素子を分離してもよい。また、エッチング技術を用いて素子分離領域83に切込みを入れた後、その切込みに沿って素子を分離してもよい。また、エッチング技術により窒化物系半導体LED素子の素子分離領域に沿って切込みを入れた後、ダイシングにより切込みに沿って素子を分離してもよい。上記のようなダイシングとエッチング技術とを組み合わせた場合には、窒化物系半導体LED素子に刃物が接触しないので、窒化物系半導体LED素子へのダメージが低減される。このようにして、図23に示した第6実施形態による窒化物系半導体LED素子が形成される。

【0139】

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。

【0140】

たとえば、上記第1～第3実施形態では、窒化物系半導体基板にAlGaN基板およびInGaN基板を用いた例を示したが、本発明はこれに限らず、AlBN基板、BGaN基板、AlGaNIN基板およびInTIN基板などを用いるようにしてもよい。

【0141】

また、上記第4～第6実施形態では、クラッド層をAlGaN層およびInGaN層で構成する例を示したが、本発明はこれに限らず、クラッド層をAlBN層、BGaN層、AlGaNIN層およびInTIN層で構成してもよい。

【0142】

また、上記第1～第3実施形態では、窒化物系半導体レーザ素子を半導体基板上に形成する製造プロセスにおいて、n型窒化物系半導体基板を用いた例を示したが、本発明はこれに限らず、p型窒化物系半導体基板を用いて、窒化物系半導体レーザ素子を形成するようにしてもよい。

【0143】

また、上記第1～第3実施形態では、窒化物系半導体素子の各層を、MOVPE法を用いて結晶成長させた例を示したが、本発明はこれに限らず、HVPE法を用いて結晶成長させるようにしてもよい。また、TMA1、TMGa、NH₃、ヒドラジン、SiH₄、GeH₄およびMg(C₅H₅)₂などを原料ガスとして用いるガスソースMBE法を用いてもよい。

【0144】

また、上記第1～第6実施形態では、(0001)面を主表面とする発光層を用いた例を示したが、本発明はこれに限らず、窒化物系半導体基板の(1-100)面または(11-20)面などの(H、K、-H-K、0)面を主表面とする活性層または発光層を用いてもよい。この場合、発光層にピエゾ電場が発生しないので、発光層の発光効率を向上させることができる。

【0145】

また、上記第1～第3実施形態では、MQW構造を有する活性層を用いた例を示したが、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SQW構造を有する活性層を用いるようにしてもよい。

【0146】

10

20

20

30

40

50

また、上記第1～第3実施形態では、本発明を半導体レーザ素子に適用する例を示したが、本発明はこれに限らず、LED素子に適用することも可能である。また、トランジスタなどの電子デバイス、受光素子、太陽電池および表面弾性素子などの他の半導体素子に適用することも可能である。

【0147】

また、上記第1および第2実施形態では、AlGaN基板のAl組成比を、n型クラッド層およびp型クラッド層のAl組成比(7%)と同一になるよう構成した例を示したが、本発明はこれに限らず、AlGaN基板のAl組成比は、n型クラッド層およびp型クラッド層のAl組成比に比べて、約2%低い値から約10%高い値までの範囲内であればよい。具体的には、たとえば、n型クラッド層およびp型クラッド層のAl組成比が約7%の場合、AlGaN基板のAl組成比は、約4%～約17%の範囲内であればよい。10

【0148】

また、上記第3実施形態では、InGaN基板上に変質層からなる高Ga組成層を形成した例を示したが、本発明はこれに限らず、InGaN基板上に結晶成長により高Ga組成層を形成するようにしてもよい。

【0149】

また、上記第4～第6実施形態では、p側電極を支持基板の全面に形成した例を示したが、本発明はこれに限らず、p側電極を支持基板の一部に形成するようにしてもよい。なお、支持基板の一部にp側電極を形成する場合は、p側電極が形成される領域以外の領域に光を反射させる層を形成するのが好ましい。また、支持基板との結合力を強くするために、p側電極と支持基板との間にパッド電極を形成するのが好ましい。また、支持基板との接合に半田を用いる場合は、p側電極の半田側の保護膜としてPtやPdなどからなるバリアメタルを形成するのが好ましい。20

【0150】

また、上記第4～第6実施形態では、本発明をLED素子に適用する例を示したが、本発明はこれに限らず、半導体レーザ素子に適用することも可能である。また、トランジスタなどの電子デバイス、受光素子、太陽電池および表面弾性素子などの他の半導体素子に適用することも可能である。

【0151】

また、上記第4～第6実施形態では、支持基板をCu-Wにより構成した例を示したが、本発明はこれに限らず、導電性の支持基板は、半導体、金属、導電性樹脂フィルムまたは金属と金属酸化物との複合材料などの導電性を有する材料から構成されなければならない。支持基板に使用される半導体としては、劈開性を有するSi、SiC、GaAsおよびZnOなどが有る。また、支持基板として使用される金属としては、AlおよびFe-Niでもよい。また、支持基板に使用される導電性樹脂フィルムとしては、金属などの微粒子が分散された樹脂フィルムなどがある。また、支持基板に使用される金属と金属酸化物の複合材料としては、Cu-CuOなどがある。30

【0152】

また、上記第4～第6実施形態では、支持基板とp側電極とを半田層を介して接着した例を示したが、本発明はこれに限らず、半田層以外の接着層を介して、支持基板とp側電極とを接着するようにしてもよい。40

【0153】

また、上記第4～第6実施形態では、成長用基板としてサファイア基板を用いた例を示したが、本発明はこれに限らず、窒化物系半導体の結晶成長の可能な基板であればよい。たとえば、SiC基板、Si基板、GaAs基板、MgO基板、ZnO基板およびスピネル基板などを用いるようにしてもよい。

【0154】

また、上記第1、第2、第4および第5実施形態では、InGaNからなる活性層を用いた例を示したが、本発明はこれに限らず、InGaN以外からなる活性層を用いるようにしてもよい。たとえば、GaN、AlGaNなどからなる活性層を用いるようにしても

10

20

30

40

50

よい。

【0155】

また、上記第3実施形態では、成長用基板としてGaN基板を用いた例を示したが、本発明はこれに限らず、窒化物系半導体の結晶成長の可能な基板であればよい。たとえば、サファイア基板、SiC基板、Si基板、MgO基板、ZnO基板およびスピネル基板などを用いるようにしてもよい。

【0156】

また、上記6実施形態では、InGaNからなるn型クラッド層と活性層との間に結晶成長により歪補償層を形成した例を示したが、本発明はこれに限らず、n型クラッド層の表面を変質させた変質層からなる歪補償層をn型クラッド層の活性層側の表面上に形成するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0157】

【図1】本発明の第1実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造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レーザ素子の活性層の構造を示した断面図である。

【図3】図1に示した第1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4】図1に示した第1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5】図1に示した第1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6】図1に示した第1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7】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の構造を示した断面図である。

【図8】本発明の第3実施形態による窒化物系半導体レーザ素子の構造を示した断面図である。

【図9】図8に示した第3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】図8に示した第3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11】図8に示した第3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12】本発明の第4実施形態による窒化物系半導体発光ダイオード(LED)素子(半導体素子)の構造を示した断面図である。

【図13】図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED素子内部の歪の補償構造を説明するための断面図である。

【図14】図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図15】図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED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12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED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12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED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】図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図19】図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセス

10

20

30

40

50

を説明するための断面図である。

【図20】図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図21】図12に示した第4実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図22】本発明の第5実施形態による窒化物系半導体LED素子の構造を示した断面図である。

【図23】本発明の第6実施形態による窒化物系半導体LED素子の構造を示した断面図である。

【図24】図23に示した第6実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。 10

【図25】図23に示した第6実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図26】図23に示した第6実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図27】図23に示した第6実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【図28】図23に示した第6実施形態による窒化物系半導体LED素子の製造プロセスを説明するための断面図である。

【符号の説明】

【0158】

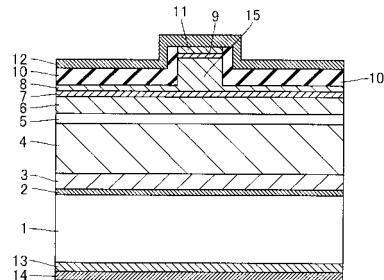
1、21	A1GaN基板（半導体基板）
2、21a	高Al組成層（窒化物系半導体層）
3	バッファ層
43、64、80	低温バッファ層
4、32、58、68、77	n型クラッド層
5、34、56、75	活性層
8、54、73	p型クラッド層
9	p側コンタクト層
37、53	p型コンタクト層
10、39	電流ブロック層
15、38	リッジ部
31	InGaN基板（半導体基板）
31a	高Ga組成層（窒化物系半導体層）
40、52、72	p側電極
41、62、78	n側電極
57、68a、76	歪補償層（窒化物系半導体層）
59	n型コンタクト層

20

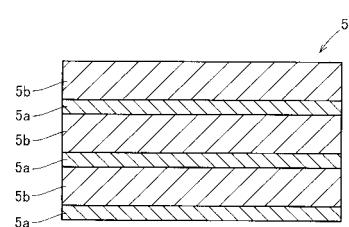
30

40

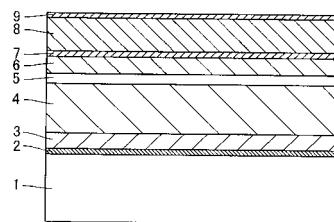
【図1】



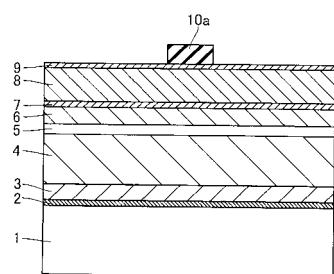
【図2】



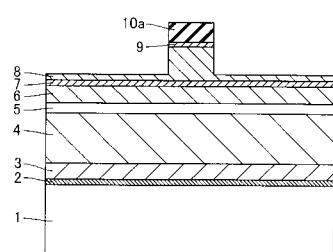
【図3】



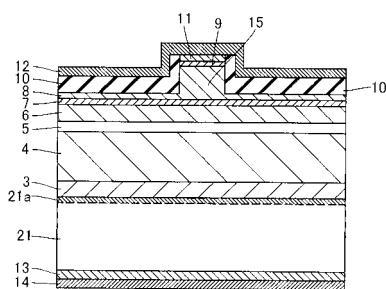
【図4】



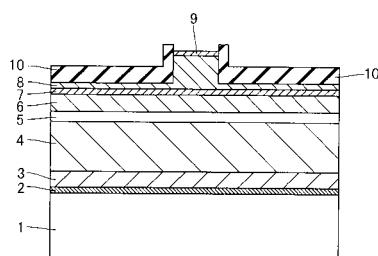
【図5】



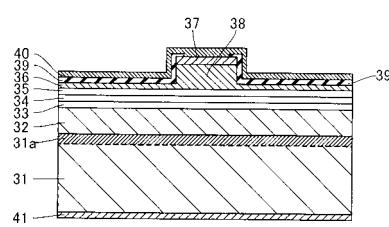
【図7】



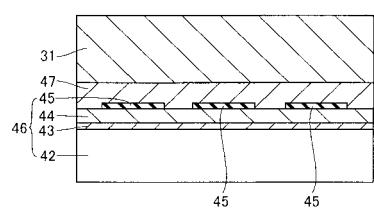
【図6】



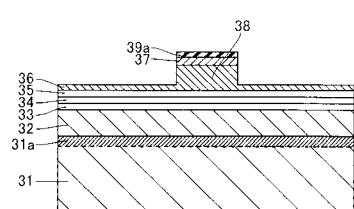
【図8】



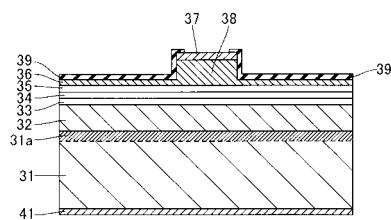
【図9】



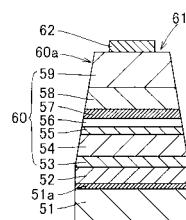
【図10】



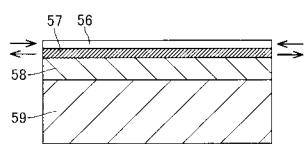
【図11】



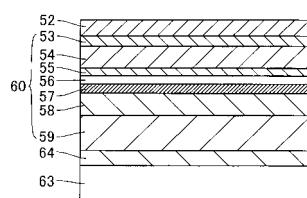
【図12】



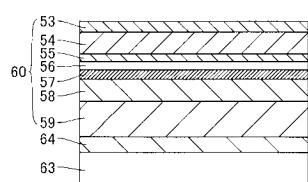
【図13】



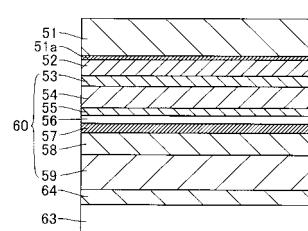
【図15】



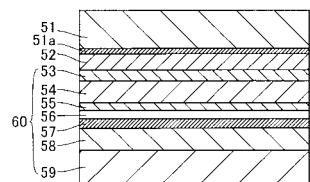
【図14】



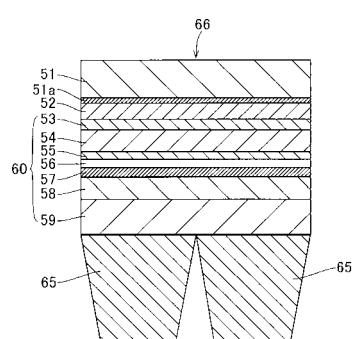
【図16】



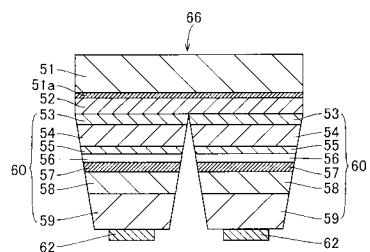
【図17】



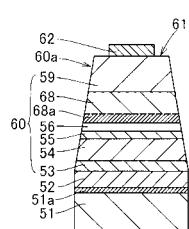
【図18】



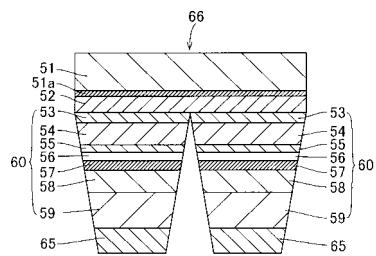
【図21】



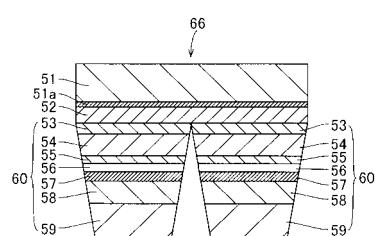
【図22】



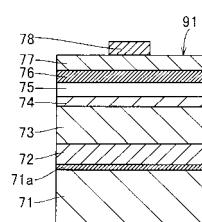
【図19】



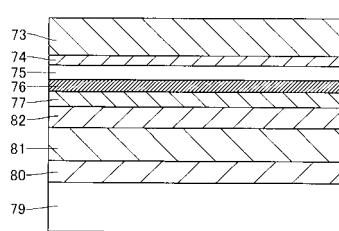
【図20】



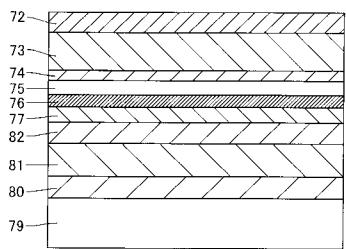
【図23】



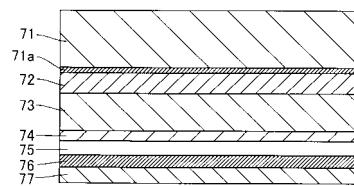
【図24】



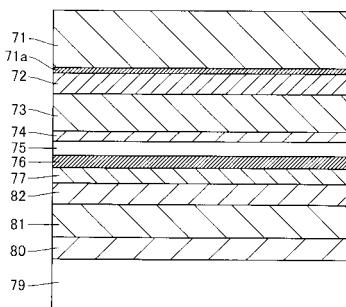
【図25】



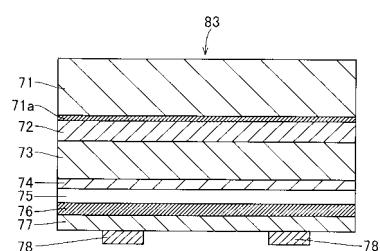
【図27】



【図26】



【図28】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5F041 AA40 CA05 CA12 CA22 CA34 CA64 CA65 CA72 CA73 CA74
CA75 CA85 CA86 CA87 CA92 CA99 CB11
5F173 AA08 AF05 AF22 AF38 AG12 AG13 AG14 AG24 AH22 AJ04
AJ13 AJ15 AK08 AK13 AP04 AP05 AP19 AP33 AP43 AP47
AP53 AP54 AQ02 AQ03 AQ12 AQ13 AQ15 AR82 AR83 AR84