

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4622225号  
(P4622225)

(45) 発行日 平成23年2月2日(2011.2.2)

(24) 登録日 平成22年11月12日(2010.11.12)

(51) Int.Cl. F I  
H O I S 5/22 (2006.01) H O I S 5/22

請求項の数 15 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2003-346625 (P2003-346625)	(73) 特許権者	000002185
(22) 出願日	平成15年10月6日(2003.10.6)		ソニー株式会社
(65) 公開番号	特開2005-116659 (P2005-116659A)		東京都港区港南1丁目7番1号
(43) 公開日	平成17年4月28日(2005.4.28)	(74) 代理人	100094363
審査請求日	平成18年5月25日(2006.5.25)		弁理士 山本 孝久
		(72) 発明者	藤本 強
			東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	池田 昌夫
			東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(72) 発明者	竹谷 元伸
			東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を少なくとも備えており、  
 該上部クラッド層は、下層、及び、リッジ構造を有する上層の2層構造を有し、  
 該下部クラッド層、該活性層、及び、上部クラッド層の該下層は、メサ構造を有し、  
 上部クラッド層の該上層は、該メサ構造の幅よりも狭い幅のリッジ構造を有し、  
 該上部クラッド層の上層の上には電極が形成されており、  
 該上部クラッド層の上層の両側面、及び、該側面のそれぞれから延在する上部クラッド層の下層の頂面上には、絶縁膜が形成されており、  
 該電極と接し、且つ、該絶縁膜上を延在する金属層及びパッド電極が形成されており、  
 該メサ構造の側面から、該絶縁膜上を経て、該パッド電極及び該金属層の側部近傍に互  
 り、保護膜が形成されているリッジ導波路型の半導体レーザ素子であって、  
 該絶縁膜は、シリコン膜を含む多層構造膜から構成されており、  
 該絶縁膜全体の厚さは、 $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ であり、  
 該パッド電極及び該金属層の幅は、 $1.0 \times 10^{-5} \text{m}$ 乃至 $1.4 \times 10^{-4} \text{m}$ であることを特徴とする半導体レーザ素子。

10

【請求項2】

下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を少なくとも備えており、  
 該上部クラッド層は、下層、及び、リッジ構造を有する上層の2層構造を有し、  
 該下部クラッド層、該活性層、及び、上部クラッド層の該下層は、メサ構造を有し、

20

上部クラッド層の該上層は、該メサ構造の幅よりも狭い幅のリッジ構造を有し、  
 該上部クラッド層の上層の上には電極が形成されており、  
 該上部クラッド層の上層の両側面、及び、該側面のそれぞれから延在する上部クラッド層の下層の頂面上には、絶縁膜が形成されており、  
 該電極と接し、且つ、該絶縁膜上を延在する金属層及びパッド電極が形成されており、  
該メサ構造の側面から、該絶縁膜上を経て、該パッド電極及び該金属層の側部近傍に互  
り、保護膜が形成されているリッジ導波路型の半導体レーザ素子であって、  
 該絶縁膜は、シリコン膜を含む多層構造膜から構成されており、  
 該絶縁膜全体の厚さは、 $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ であり、  
 該パッド電極及び該金属層の面積は、 $6 \times 10^{-9} \text{m}^2$ 乃至 $1.3 \times 10^{-7} \text{m}^2$ であること  
 を特徴とする半導体レーザ素子。

10

## 【請求項3】

前記絶縁膜は、下から、酸化シリコン膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、  
 酸化シリコン膜の厚さは、 $2 \times 10^{-8} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であり、  
 シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であることを特徴とする請求項1  
 又は請求項2に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項4】

前記絶縁膜は、下から、窒化シリコン膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、  
 窒化シリコン膜の厚さは、 $2 \times 10^{-8} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であり、  
 シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であることを特徴とする請求項1  
 又は請求項2に記載の半導体レーザ素子。

20

## 【請求項5】

前記絶縁膜は、下から、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、  
 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 膜の厚さは、 $2 \times 10^{-8} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であり、  
 シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であることを特徴とする請求項1  
 又は請求項2に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項6】

前記絶縁膜は、下から、 $\text{ZrO}_2$ 膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、  
 $\text{ZrO}_2$ 膜の厚さは、 $2 \times 10^{-8} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であり、  
 シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であることを特徴とする請求項1  
 又は請求項2に記載の半導体レーザ素子。

30

## 【請求項7】

下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層は、GaN系材料から成ることを特徴  
 とする請求項1乃至請求項6のいずれか1項に記載の半導体レーザ素子。

## 【請求項8】

下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を少なくとも備えており、  
 該上部クラッド層は、下層、及び、リッジ構造を有する上層の2層構造を有し、  
該下部クラッド層、該活性層、及び、上部クラッド層の該下層は、メサ構造を有し、  
上部クラッド層の該上層は、該メサ構造の幅よりも狭い幅のリッジ構造を有し、  
 該上部クラッド層の上層の上には電極が形成されており、  
 該上部クラッド層の上層の両側面、及び、該側面のそれぞれから延在する上部クラッド層の下層の頂面上には、絶縁膜が形成されており、  
 該電極と接し、且つ、該絶縁膜上を延在する金属層及びパッド電極が形成されているリ  
ッジ導波路型の半導体レーザ素子の製造方法であって、

40

(a) 基板上に、少なくとも、下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を順次、  
 形成する工程と、

(b) 該上部クラッド層の上に電極を形成する工程と、

(c) 該上部クラッド層の上部をエッチングして、該上部クラッド層の上部にリッジ構

50

造を有する上層を形成し、該上層の上に電極を残す工程と、

(d) 該上部クラッド層の上層の両側面、及び、該側面のそれぞれから延在する上部クラッド層の下層の頂面上に、絶縁膜を形成する工程と、

(e) 絶縁膜の頂面から電極の頂面に互り、形成すべきメサ構造の幅と実質的に同じ幅を有する金属層を形成し、次いで、金属層をエッチング用マスクとして、上部クラッド層の下層、活性層、下部クラッド層の一部をエッチングしてメサ構造を得る工程と、

(f) 該絶縁膜及び該電極上にパッド電極を形成する工程と、

(g) 該パッド電極及び該金属層を所望の幅にエッチングする工程と、

(h) 該メサ構造の側面から、絶縁膜上を経て、該パッド電極及び該金属層の側部近傍に互り、保護膜を形成する工程、

を具備することを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 9】

前記絶縁膜は、シリコン膜を含む多層構造膜から構成されており、

該絶縁膜全体の厚さは、 $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ であり、

前記パッド電極の幅は、 $1.0 \times 10^{-5} \text{m}$ 乃至 $1.4 \times 10^{-4} \text{m}$ であることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 10】

前記絶縁膜は、シリコン膜を含む多層構造膜から構成されており、

該絶縁膜全体の厚さは、 $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ であり、

前記パッド電極の面積は、 $6 \times 10^{-9} \text{m}^2$ 乃至 $1.3 \times 10^{-7} \text{m}^2$ であることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 11】

前記絶縁膜は、下から、酸化シリコン膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、

酸化シリコン膜の厚さは、 $2 \times 10^{-8} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であり、

シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であることを特徴とする請求項 9 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 12】

前記絶縁膜は、下から、窒化シリコン膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、

窒化シリコン膜の厚さは、 $2 \times 10^{-8} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であり、

シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であることを特徴とする請求項 9 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 13】

前記絶縁膜は、下から、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、

$\text{Ta}_2\text{O}_5$ 膜の厚さは、 $2 \times 10^{-8} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であり、

シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であることを特徴とする請求項 9 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 14】

前記絶縁膜は、下から、 $\text{ZrO}_2$ 膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、

$\text{ZrO}_2$ 膜の厚さは、 $2 \times 10^{-8} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であり、

シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2 \times 10^{-7} \text{m}$ であることを特徴とする請求項 9 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 15】

下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層は、Ga N系材料から成ることを特徴とする請求項 8 乃至請求項 14 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体レーザ素子及びその製造方法に関する。

10

20

30

40

50

## 【背景技術】

## 【0002】

サファイア基板やGaN基板、SiC基板上にGaN系化合物半導体層の積層構造が形成されたGaN系半導体レーザ素子が、紫外線領域から緑色に至る短波長域の光を発光する発光素子として注目されている。

## 【0003】

ところで、光ディスク等からの情報の読出し、あるいは、光ディスク等への情報の書込みのための光源として半導体レーザ素子を使用する場合、通常、半導体レーザ素子は駆動ドライバ回路によって駆動される。具体的には、駆動ドライバ回路から出力された、例えば10ナノ秒乃至30ナノ秒程度の矩形波形のパルス電圧が、半導体レーザ素子に印加される。

10

## 【0004】

以下、従来のインデックス・ガイド型の窒化物系半導体レーザ素子の一例を、特開2002-314197に添付された図1に基づき説明する。

## 【0005】

この特開2002-314197に開示されたリッジ導波路型の窒化物系半導体レーザ素子10は、基本的には、例えばサファイア基板12上に形成された、GaN横方向成長層14、n-GaNコンタクト層16、n-AlGaNクラッド層18、活性層20、p-AlGaNクラッド層22、及び、p-GaNコンタクト層24の積層構造を備えている。ここで、リッジ導波路型の半導体レーザ素子は、インデックス・ガイド（屈折率導波型）半導体レーザ素子の一種であり、上部クラッド層の上部及びコンタクト層をストライプ状リッジとして形成し、リッジ両側面及びリッジ両脇の上部クラッド層上を絶縁膜で被覆して電流狭窄層にすると共に横方向の実効屈折率差を設け、モード制御を行う。そして、積層構造のうち、p-AlGaNクラッド層22の上部及びp-GaNコンタクト層24は、ストライプ状リッジ26として形成されている。また、n-GaNコンタクト層16の上部、n-AlGaNクラッド層18、活性層20、及び、p-AlGaNクラッド層22の残り層22aは、リッジ26と同じ方向に延在するメサ構造として形成されている。リッジ26のリッジ幅Wは例えば1.7 $\mu\text{m}$ 、リッジ26の両脇のp-AlGaNクラッド層22の残り層22aの厚さTは例えば0.17 $\mu\text{m}$ である。リッジ26の両脇の上部クラッド層22上の電流狭窄層として、発振波長に対して実質的に透明なSiO<sub>2</sub>蒸着膜42（膜厚600 $\text{\AA}$ ）と、SiO<sub>2</sub>蒸着膜42上に積層され、発振波長を吸収するアモルファスSi蒸着膜44（膜厚300 $\text{\AA}$ ）との積層膜が、リッジ26の両側面及びリッジ両脇のp-AlGaNクラッド層22上に設けられている。

20

30

## 【0006】

【特許文献1】特開2002-314197

【特許文献2】特開2002-335048

## 【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

このような半導体レーザ素子の駆動特性を向上させるためには、駆動ドライバ回路の設計の最適化のみならず、駆動の際の時定数を小さくすることが重要である。ここでは、抵抗と容量の積に比例するので、半導体レーザ素子の寄生容量を低減させることが駆動の際の時定数を小さくするために効果的である。半導体レーザ素子の寄生容量が大きい場合、半導体レーザ素子に印加される矩形波形のパルス電圧の立上りや立下りに急峻性が失われるといった問題が生じる。

40

## 【0008】

特開2002-314197あるいは特開2002-335048には、リッジの両側面及びリッジ両脇のp-AlGaNクラッド層（あるいは第2クラッド層）上に、下からSiO<sub>2</sub>層/Si層を形成する技術が開示されているものの、半導体レーザ素子の寄生容量を低減させることに関しては、何ら言及されていない。

50

## 【 0 0 0 9 】

従って、本発明の目的は、寄生容量の低減を可能とする構造を有する半導体レーザ素子、及び、係る半導体レーザ素子の製造方法を提供することにある。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 1 0 】

上記の目的を達成するための本発明の第 1 の態様及び第 2 の態様に係る半導体レーザ素子は、

下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を少なくとも備えて、

該上部クラッド層は、下層、及び、リッジ構造を有する上層の 2 層構造を有し、

該上部クラッド層の上層の上には電極が形成されており、

該上部クラッド層の上層の両側面、及び、該側面のそれぞれから延在する上部クラッド層の下層の頂面上には、絶縁膜が形成されており、

該電極と接し、且つ、該絶縁膜上を延在するパッド電極が形成されているリッジ導波路型の半導体レーザ素子であって、

該絶縁膜は、シリコン膜を含む多層構造膜から構成されている。

## 【 0 0 1 1 】

そして、本発明の第 1 の態様に係る半導体レーザ素子は、絶縁膜全体の厚さが  $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$  乃至  $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$  であり、パッド電極の幅が  $1.0 \times 10^{-5} \text{m}$  乃至  $1.4 \times 10^{-4} \text{m}$  であることを特徴とする。

## 【 0 0 1 2 】

また、本発明の第 2 の態様に係る半導体レーザ素子は、絶縁膜全体の厚さが  $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$  乃至  $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$  であり、パッド電極の面積が  $6 \times 10^{-9} \text{m}^2$  乃至  $1.3 \times 10^{-7} \text{m}^2$  であることを特徴とする。

## 【 0 0 1 3 】

尚、本発明の第 1 の態様及び第 2 の態様に係る半導体レーザ素子において、上部クラッド層の上層と電極との間に上部コンタクト層が形成されている場合がある。このような場合には、電極は上部クラッド層の上方に形成されるが（即ち、電極は上部コンタクト層の頂面に形成されるが）、このような形態も、電極が上部クラッド層の上層の上に形成されているといった構成に包含される。尚、上部コンタクト層が形成される場合には、上部コンタクト層は、上部クラッド層の上層と同様にリッジ構造を有する。

## 【 0 0 1 4 】

上記の目的を達成するための本発明の第 1 の態様～第 3 の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法は、

下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を少なくとも備えており、

該上部クラッド層は、下層、及び、リッジ構造を有する上層の 2 層構造を有し、

該上部クラッド層の上層の上には電極が形成されており、

該上部クラッド層の上層の両側面、及び、該側面のそれぞれから延在する上部クラッド層の下層の頂面上には、絶縁膜が形成されており、

該電極と接し、且つ、該絶縁膜上を延在するパッド電極が形成されているリッジ導波路型の半導体レーザ素子の製造方法であって、

(a) 基板上に、少なくとも、下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層を順次、形成する工程と、

(b) 該上部クラッド層の上に電極を形成する工程と、

(c) 該上部クラッド層の上部をエッチングして、該上部クラッド層の上部にリッジ構造を有する上層を形成し、該上層の上に電極を残す工程と、

(d) 該上部クラッド層の上層の両側面、及び、該側面のそれぞれから延在する上部クラッド層の下層の頂面上に、絶縁膜を形成する工程と、

(e) 該絶縁膜及び該電極上にパッド電極を形成する工程、を具備している。

## 【 0 0 1 5 】

そして、本発明の第1の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあつては、前記工程(e)に続き、

(f)該パッド電極を所望の幅にエッチングする工程、を具備していることを特徴とする。

【0016】

尚、本発明の第1の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあつては、絶縁膜はシリコン膜を含む多層構造膜から構成されており、絶縁膜全体の厚さは $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ であり、パッド電極の幅は $1.0 \times 10^{-5} \text{m}$ 乃至 $1.4 \times 10^{-4} \text{m}$ であることが好ましい。

【0017】

あるいは又、本発明の第1の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあつては、絶縁膜はシリコン膜を含む多層構造膜から構成されており、絶縁膜全体の厚さは $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ であり、パッド電極の面積は $6 \times 10^{-9} \text{m}^2$ 乃至 $1.3 \times 10^{-7} \text{m}^2$ であることが好ましい。

【0018】

また、本発明の第2の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあつては、前記絶縁膜は、シリコン膜を含む多層構造膜から構成されており、該絶縁膜全体の厚さは、 $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ であり、前記パッド電極の幅は、 $1.0 \times 10^{-5} \text{m}$ 乃至 $1.4 \times 10^{-4} \text{m}$ であることを特徴とする。

【0019】

一方、本発明の第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあつては、前記絶縁膜は、シリコン膜を含む多層構造膜から構成されており、該絶縁膜全体の厚さは、 $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ であり、前記パッド電極の面積は、 $6 \times 10^{-9} \text{m}^2$ 乃至 $1.3 \times 10^{-7} \text{m}^2$ であることを特徴とする。

【0020】

尚、本発明の第1の態様～第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法において、上部クラッド層の上層と電極との間に上部コンタクト層を形成する場合がある。このような場合には、電極は上部クラッド層の上方に形成されるが(即ち、電極は上部コンタクト層の頂面に形成されるが)、このような形態も、電極が上部クラッド層の上層の上に形成されているといった構成に包含される。尚、上部コンタクト層が形成される場合には、上部コンタクト層は、上部クラッド層の上層と同様にリッジ構造を有する。より具体的には、前記工程(a)においては、基板上に、少なくとも、下部クラッド層、活性層、上部クラッド層、及び、上部コンタクト層を順次、形成し；前記工程(b)においては、上部コンタクト層の頂面に電極を形成し；前記工程(c)においては、上部コンタクト層及び上部クラッド層の上部をエッチングして、上部コンタクト層にリッジ構造を形成し、更には、上部クラッド層の上部にリッジ構造を有する上層を形成し、上部コンタクト層の頂面に電極を残す。

【0021】

本発明の第1の態様若しくは第2の態様に係る半導体レーザ素子、あるいは又、本発明の第1の態様の好ましい形態に係る半導体レーザ素子の製造方法、本発明の第2の態様若しくは第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあつては、絶縁膜全体の厚さ $T_{TOTAL}$ は $1.2 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ ( $1.2 \times 10^{-7} \text{m} < T_{TOTAL} < 2.0 \times 10^{-6} \text{m}$ )であるが、好ましくは $1.5 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $1.0 \times 10^{-6} \text{m}$ ( $1.5 \times 10^{-7} \text{m} < T_{TOTAL} < 1.0 \times 10^{-6} \text{m}$ )、一層好ましくは $1.8 \times 10^{-7} \text{m}$ 乃至 $4.0 \times 10^{-7} \text{m}$ ( $1.8 \times 10^{-7} \text{m} < T_{TOTAL} < 4.0 \times 10^{-7} \text{m}$ )であることが望ましい。絶縁膜全体の厚さ $T_{TOTAL}$ は、上部クラッド層の上層の両側面近傍以外の、上部クラッド層の下層の頂面上における絶縁膜の厚さの平均値とする。

【0022】

10

20

30

40

50

また、本発明の第1の態様に係る半導体レーザ素子、あるいは又、本発明の第1の態様の好ましい形態に係る半導体レーザ素子の製造方法、本発明の第2の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあつては、パッド電極の幅 $W_{PAD}$ は $1.0 \times 10^{-5}m$ 乃至 $1.4 \times 10^{-4}m$  ( $1.0 \times 10^{-5}m < W_{PAD} < 1.4 \times 10^{-4}m$ )であるが、好ましくは $1.0 \times 10^{-5}m$ 乃至 $1.2 \times 10^{-4}m$  ( $1.0 \times 10^{-5}m < W_{PAD} < 1.2 \times 10^{-4}m$ )、一層好ましくは $1.0 \times 10^{-5}m$ 乃至 $6.0 \times 10^{-5}m$  ( $1.0 \times 10^{-5}m < W_{PAD} < 6.0 \times 10^{-5}m$ )であることが望ましい。パッド電極に凹凸が存在する場合には、パッド電極の幅 $W_{PAD}$ は、パッド電極の凹凸に沿った長さ(幅)とする。また、半導体レーザ素子のレーザ光射出方向をX軸、半導体レーザ素子の厚さ方向(例えば基板表面に対する法線方向)をZ軸としたとき、パッド電極の幅 $W_{PAD}$ とはY軸方向における(場合によっては、YZ平面における)長さを意味する。

10

## 【0023】

また、本発明の第2の態様に係る半導体レーザ素子、あるいは又、本発明の第1の態様の好ましい形態に係る半導体レーザ素子の製造方法、本発明の第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあつては、パッド電極の面積 $S_{PAD}$ は $6 \times 10^{-9}m^2$ (例えば、幅 $10 \mu m \times$ 長さ $600 \mu m$ )乃至 $1.3 \times 10^{-7}m^2$ (例えば、幅 $140 \mu m \times$ 長さ $900 \mu m$ ) ( $6 \times 10^{-9}m^2 < S_{PAD} < 1.3 \times 10^{-7}m^2$ )であるが、好ましくは $6 \times 10^{-9}m^2$ (例えば、幅 $10 \mu m \times$ 長さ $600 \mu m$ )乃至 $1.1 \times 10^{-7}m^2$ (例えば、幅 $120 \mu m \times$ 長さ $900 \mu m$ ) ( $6 \times 10^{-9}m^2 < S_{PAD} < 1.1 \times 10^{-7}m^2$ )、一層好ましくは $6 \times 10^{-9}m^2$ (例えば、幅 $10 \mu m \times$ 長さ $600 \mu m$ )乃至 $5.4 \times 10^{-8}m^2$ (例えば、幅 $60 \mu m \times$ 長さ $900 \mu m$ ) ( $6 \times 10^{-9}m^2 < S_{PAD} < 5.4 \times 10^{-8}m^2$ )であることが望ましい。パッド電極に凹凸が存在する場合には、パッド電極の凹凸に沿った長さ(幅 $W_{PAD}$ )とパッド電極の長さとの積が、パッド電極の面積 $S_{PAD}$ である。

20

## 【0024】

本発明の第1の態様若しくは第2の態様に係る半導体レーザ素子、あるいは又、好ましい形態を含む本発明の第1の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法、本発明の第2の態様若しくは第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法(以下、これらを総称して、単に、本発明と呼ぶ場合がある)にあつては、絶縁膜は、下から、酸化シリコン膜( $SiO_x$ 膜)及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、酸化シリコン膜の厚さは $2 \times 10^{-8}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ であり、シリコン膜の厚さは $1 \times 10^{-7}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ である構成とすることができる。尚、下から、酸化シリコン膜/シリコン膜/酸化シリコン膜の多層構造膜、酸化シリコン膜/シリコン膜/酸化シリコン膜/シリコン膜の多層構造膜とすることもできる。

30

## 【0025】

あるいは又、本発明にあつては、絶縁膜は、下から、窒化シリコン膜( $SiN_x$ 膜)及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、窒化シリコン膜の厚さは $2 \times 10^{-8}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ であり、シリコン膜の厚さは $1 \times 10^{-7}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ である構成とすることができる。尚、下から、窒化シリコン膜/シリコン膜/窒化シリコン膜の多層構造膜、窒化シリコン膜/シリコン膜/窒化シリコン膜/シリコン膜の多層構造膜とすることもできる。

40

## 【0026】

あるいは又、本発明にあつては、絶縁膜は、下から、 $Ta_2O_5$ 膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、 $Ta_2O_5$ 膜の厚さは $2 \times 10^{-8}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ であり、シリコン膜の厚さは $1 \times 10^{-7}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ である構成とすることができる。尚、下から、 $Ta_2O_5$ 膜/シリコン膜/ $Ta_2O_5$ 膜の多層構造膜、 $Ta_2O_5$ 膜/シリコン膜/ $Ta_2O_5$ 膜/シリコン膜の多層構造膜とすることもできる。

## 【0027】

あるいは又、本発明にあつては、絶縁膜は、下から、 $ZrO_2$ 膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、 $ZrO_2$ 膜の厚さは $2 \times 10^{-8}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ であり、シリコン膜の厚さは $1 \times 10^{-7}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ である構成とすることができる。尚、

50

下から、 $ZrO_2$ 膜/シリコン膜/ $ZrO_2$ 膜の多層構造膜、 $ZrO_2$ 膜/シリコン膜/ $ZrO_2$ 膜/シリコン膜の多層構造膜とすることもできる。

【0028】

あるいは又、本発明にあつては、絶縁膜は、下から、 $AlN$ 膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、 $AlN$ 膜の厚さは $2 \times 10^{-8}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ であり、シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ である構成とすることができる。尚、下から、 $AlN$ 膜/シリコン膜/ $AlN$ 膜の多層構造膜、 $AlN$ 膜/シリコン膜/ $AlN$ 膜/シリコン膜の多層構造膜とすることもできる。

【0029】

あるいは又、本発明にあつては、絶縁膜は、下から、 $Al_2O_3$ 膜及びシリコン膜の多層構造膜から構成されており、 $Al_2O_3$ 膜の厚さは $2 \times 10^{-8}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ であり、シリコン膜の厚さは、 $1 \times 10^{-7}m$ 乃至 $2 \times 10^{-7}m$ である構成とすることができる。尚、下から、 $Al_2O_3$ 膜/シリコン膜/ $Al_2O_3$ 膜の多層構造膜、 $Al_2O_3$ 膜/シリコン膜/ $Al_2O_3$ 膜/シリコン膜の多層構造膜とすることもできる。

【0030】

あるいは又、酸化シリコン膜( $SiO_x$ 膜)、窒化シリコン膜( $SiN_x$ 膜)、 $Ta_2O_5$ 膜、 $ZrO_2$ 膜、 $AlN$ 膜及び $Al_2O_3$ 膜から成る群から選択された第1番目の膜/シリコン膜/酸化シリコン膜( $SiO_x$ 膜)、窒化シリコン膜( $SiN_x$ 膜)、 $Ta_2O_5$ 膜、 $ZrO_2$ 膜、 $AlN$ 膜及び $Al_2O_3$ 膜から成る群から選択された第2番目の膜(但し、第1番目の膜を構成する材料と異なる)といった多層構造膜、あるいは又、酸化シリコン膜( $SiO_x$ 膜)、窒化シリコン膜( $SiN_x$ 膜)、 $Ta_2O_5$ 膜、 $ZrO_2$ 膜、 $AlN$ 膜及び $Al_2O_3$ 膜から成る群から選択された第1番目の膜/シリコン膜/酸化シリコン膜( $SiO_x$ 膜)、窒化シリコン膜( $SiN_x$ 膜)、 $Ta_2O_5$ 膜、 $ZrO_2$ 膜、 $AlN$ 膜及び $Al_2O_3$ 膜から成る群から選択された第2番目の膜(但し、第1番目の膜を構成する材料と異なる)/シリコン膜といった多層構造膜を採用することもできる。

【0031】

尚、絶縁膜の形成時に下地層としての上部クラッド層の部分に損傷が発生することを防止するために、 $SiO_x$ 、 $SiN_x$ 、 $Al_2O_3$ 又は $ZrO_2$ から成る絶縁膜を真空蒸着法によって形成し、あるいは又、 $AlN$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 又は $ZrO_2$ から成る絶縁膜をスパッタリング法によって形成することが望ましいが、これらの方法に限定するものではない。

【0032】

あるいは又、絶縁膜は、下から、 $ZnO$ 、 $SiON$ 、 $HfO_2$ 、 $Sc_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $MgO$ 、 $ThO_2$ 、及び、 $Bi_2O_3$ から成る群から選択された少なくとも1種類の材料から成る膜と、シリコン膜との多層構造膜から構成することもできる。

【0033】

シリコン膜( $Si$ 膜。具体的には、例えばアモルファスシリコン膜)は、例えば真空蒸着法やスパッタリング法といったPVD法、あるいは、CVD法にて形成することができる。

【0034】

半導体レーザ素子のレーザ光射出方向をX軸、半導体レーザ素子の厚さ方向(例えば基板表面に対する法線方向)をZ軸としたとき、上部クラッド層の上層の側面とは、上部クラッド層の上層の外表面であつてY軸と交差する面を意味する。また、本発明における「上部」、「下部」、「上層」、「下層」とは、基板を基準とした概念であり、一般的には、基板に近いものを「下部」あるいは「下層」で表し、基板から遠いものを「上部」あるいは「上層」で表す。

【0035】

本発明にあつては、下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層は、窒化物系化合物半導体から成る構成とすることができる。ここで、窒化物系化合物半導体として、V族として窒素元素を有するIII-V族化合物半導体、例えば、 $GaN$ 系材料( $AlGaN$

10

20

30

40

50

混晶あるいはAlInGa<sub>n</sub>N混晶、BAInGa<sub>n</sub>N混晶、InGa<sub>n</sub>N混晶を含む)、InN、AlNを挙げることができる。そして、窒化物系化合物半導体層を、例えば、有機金属化学的気相成長法(MOCVD法)や分子線エピタキシー法(MBE法)、ハロゲンが輸送あるいは反応に寄与するハイドライド気相成長法等によって堆積、形成することができる。本発明の第1の態様あるいは第2の態様に係る半導体レーザ素子、あるいは、本発明の第1の態様～第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法によって得られる半導体レーザ素子を窒化物系半導体レーザ素子とする場合、窒化物系化合物半導体層の積層構造をレーザ構造として有する限り、窒化物系化合物半導体の種類、組成に特に制約は無いし、窒化物系化合物半導体層の構造、構成にも特に制約は無い。

【0036】

本発明の第1の態様あるいは第2の態様に係る半導体レーザ素子の一層具体的な構造として、

(A) c面を主面として有するサファイヤ基板から成る基板上に形成された下部コンタクト層、

(B) 下部コンタクト層上に形成された下部電極、あるいは、下部パッド電極、あるいは、下部電極と下部パッド電極の積層構造体、

(C) 下部コンタクト層上に形成された下部クラッド層、

(D) 下部クラッド層上に形成された活性層、

(E) 活性層上に形成された上部クラッド層、

(F) 上部クラッド層上に形成された上部コンタクト層、

(G) 上部コンタクト層上に形成された電極(以下、便宜上、上部電極と呼ぶ場合がある)、及び、

(H) パッド電極(以下、上部パッド電極と呼ぶ場合がある)、

から成る構造を挙げることができる。尚、このような構造を有する半導体レーザ素子を、便宜上、第1の構造を有する半導体レーザ素子と呼ぶ。

【0037】

そして、このような第1の構造を有する半導体レーザ素子にあっては、

上部クラッド層は、先に説明したとおり、下層及び上層から構成され、

下部コンタクト層、下部クラッド層、活性層、上部クラッド層、及び、上部コンタクト層は、窒化物系化合物半導体層(例えば、Ga<sub>n</sub>N系材料層)から成り、

下部クラッド層、活性層、及び、上部クラッド層の下層は、メサ構造を有し、

上部クラッド層の上層及び上部コンタクト層は、メサ構造の幅よりも狭い幅のリッジ構造を有し、

メサ構造の頂面に相当する上部クラッド層の下層の部分の上には、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれの少なくとも一部分を被覆した絶縁膜が形成されており、

更に、幅 $W_{PAD}$ 、面積 $S_{PAD}$ を有するパッド電極(上部パッド電極)は、絶縁膜の頂面から電極(上部電極)の頂面に互り形成されている。

【0038】

尚、下部コンタクト層の表面、及び、メサ構造の側面からパッド電極(上部パッド電極)の側部近傍に互り、保護膜(パッシベーション膜)が形成され、下部コンタクト層の表面に形成された保護膜の一部には開口部が形成され、この開口部の底部に露出した下部コンタクト層上に下部電極、あるいは、下部パッド電極、あるいは、下部電極と下部パッド電極の積層構造体が形成されている構成とすることができる。

【0039】

ここで、保護膜を構成する材料として、 $SiO_2$ 、 $SiN_x$ 、AlN、 $Al_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 及び $ZrO_2$ 、ZnO、SiON、 $HfO_2$ 、 $Sc_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、MgOを挙げることができる。

【0040】

あるいは又、本発明の第1の態様あるいは第2の態様に係る半導体レーザ素子の一層具体的な構造として、

10

20

30

40

50

- (A) GaN基板やSiC基板から成る基板の裏面に形成された下部電極、
- (B) 基板の表面に形成された下部クラッド層、
- (C) 下部クラッド層上に形成された活性層、
- (D) 活性層上に形成された上部クラッド層、
- (E) 上部クラッド層上に形成された上部コンタクト層、
- (F) 上部コンタクト層上に形成された電極(上部電極)、及び、
- (G) パッド電極(上部パッド電極)、

から成る構造を挙げることができる。尚、このような構造を有する半導体レーザ素子を、便宜上、第2の構造を有する半導体レーザ素子と呼ぶ。

【0041】

そして、このような第2の構造を有する半導体レーザ素子にあっては、上部クラッド層は、先に説明したとおり、下層及び上層から構成され、下部クラッド層、活性層、上部クラッド層、及び、上部コンタクト層は、窒化物系化合物半導体層(例えば、GaN系材料層)から成り、上部クラッド層の上層及び上部コンタクト層はリッジ構造を有し、上部クラッド層の下層の部分の上には、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれの少なくとも一部分を被覆した絶縁膜が形成されており、更に、幅 $W_{PAD}$ 、面積 $S_{PAD}$ を有するパッド電極(上部パッド電極)は、絶縁膜の頂面から電極(上部電極)の頂面に互り形成されている。

【0042】

本発明において、絶縁膜は、上部クラッド層の上層が設けられていない上部クラッド層の下層の部分の上に形成され、且つ、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれの少なくとも一部分を被覆するように形成されていればよく、具体的には、

- (1) 絶縁膜が、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれの下部を被覆する形態、及び、
- (2) 絶縁膜が、少なくとも上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれを被覆している形態、

を挙げることができる。ここで、『(2) 絶縁膜が、少なくとも上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれを被覆している形態』をより具体的に説明すれば、上部クラッド層の上層と上部電極との間に上部コンタクト層が形成されていると想定して、

- (2-1) 絶縁膜が、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれを被覆している形態、
- (2-2) 絶縁膜が、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれを被覆し、且つ、上部コンタクト層の両側面のそれぞれの下部を被覆している形態、並びに、
- (2-3) 絶縁膜が、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれを被覆し、且つ、上部コンタクト層の両側面のそれぞれを被覆している形態、

を挙げることができる。ここで、上部クラッド層の上層の両側面近傍以外の、上部クラッド層の上層が設けられていない上部クラッド層の下層の部分の上に形成された絶縁膜の厚さは、概ね均一の厚さであることが望ましい。

【0043】

本発明の第1の態様～第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法においては、前記工程(d)において、これらの各種の形態に対応して絶縁膜を形成すればよい。即ち、例えば、絶縁膜が少なくとも上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれを被覆している形態の場合、前記工程(d)において、上部クラッド層の上層が形成されていない上部クラッド層の下層の部分の上に、少なくとも上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれを被覆する絶縁膜を形成すればよい。

【0044】

また、本発明の第1の態様～第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法にあっては、前記工程(d)において、全面に絶縁膜を形成した後、上部電極の上方が薄く、且つ、上部クラッド層の上層が設けられていない上部クラッド層の下層の部分の上方が厚くなるように、絶縁膜上にフォトリソ膜を形成し、次いで、フォトリソ膜、及び、少な

10

20

30

40

50

くとも上部電極の上の絶縁膜をエッチングして、少なくとも上部電極の頂面（上部パッド電極とのコンタクト面）を露出させることが好ましい。即ち、上部電極と上部クラッド層の下層の段差を利用し、且つ、上部電極をエッチング停止層として機能させることにより、少なくとも上部電極の頂面（上部パッド電極とのコンタクト面）を露出させることが好ましい。これによって、上部クラッド層の上層の両側面に厚い絶縁膜を形成することが可能となる。

【0045】

本発明において、オーミック接合電極としての電極（上部電極）は、パラジウム（Pd）、白金（Pt）、ニッケル（Ni）及び金（Au）から成る群から選択された少なくとも1種類の金属を含む、単層構成又は多層構成を有していることが好ましい。上部電極の膜厚は、 $1 \times 10^{-8}$  m乃至 $1 \times 10^{-6}$  mとすることが好ましい。

10

【0046】

具体的には、上部クラッド層の上層と上部電極との間に上部コンタクト層が形成されていると想定して、上部電極を、例えば厚さ $0.05 \mu\text{m}$ のPd（パラジウム）から成る単層構成とすれば、上部電極の上部コンタクト層に対する密着性の向上を特に図ることができるし、上部コンタクト層内部の窒素原子を吸引して上部電極直下の上部コンタクト層における窒素空孔を無くし、更には、水素貯蔵合金を形成するが故に、例えばp型不純物を含む上部コンタクト層から水素を奪い、p型不純物（p型ドーパント）を活性化させて高キャリア濃度のp型の上部コンタクト層を得ることができる。また、上部電極を、例えば厚さ $0.1 \mu\text{m}$ のPt（白金）から成る単層構成とすれば、上部電極を外部の電極あるいは回路と電気的に接続するためにハンダを使用する場合、ハンダ中の錫（Sn）原子が上部コンタクト層に拡散することを特に防止することができる。あるいは又、上部電極を、Ni（ニッケル）あるいは金（Au）を含む合金から成る単層構成とすることもできる。更には、上部電極を、Pd/Ptの多層構成、Pd/Niの多層構成、Pd/Auの多層構成、Pt/Pdの多層構成、Pt/Niの多層構成、Pt/Auの多層構成、Ni/Pdの多層構成、Ni/Ptの多層構成、Ni/Auの多層構成に例示される多層構成とすることもできる。尚、多層構成において、「/」の前の材料が下側の層を構成し、「/」の後ろの材料が上側の層を構成する。以下の説明においても同様である。

20

【0047】

下部コンタクト層に対するオーミック接合電極としての下部電極は、金（Au）、Al（アルミニウム）、Ti（チタン）、タングステン（W）、Cu（銅）、Zn（亜鉛）、錫（Sn）及びインジウム（In）から成る群から選択された少なくとも1種類の金属を含む、単層構成又は多層構成を有することが望ましく、例えば、Ti/Al、Ti/Pt/Auを例示することができる。また、下部電極をTi/Pt/Auの多層構成とする場合の各層の膜厚として、Ti層 $5 \sim 10 \text{ nm}$ 、Pt層 $1 \times 10^{-7}$  m、Au層 $2 \times 10^{-7}$  m $\sim 3 \times 10^{-7}$  mを例示することができる。

30

【0048】

パッド電極（上部パッド電極）は、Ti（チタン）、アルミニウム（Al）、Pt（白金）、Au（金）から成る群から選択された少なくとも1種類の金属を含む、単層構成又は多層構成を有することが望ましい。上部パッド電極を、例えば厚さ $10 \text{ nm}$ のTi（チタン）から成る単層構成とすれば、上部パッド電極の上部電極に対する密着性の向上を特に図ることができる。また、上部パッド電極を、例えば厚さ $0.1 \mu\text{m}$ のPt（白金）から成る単層構成とすれば、上部電極を外部の電極あるいは回路と電気的に接続するためにハンダを使用する場合、ハンダ中の錫（Sn）原子が上部コンタクト層に拡散することを特に防止することができる。更には、上部パッド電極を、例えば厚さ $0.3 \mu\text{m}$ のAu（金）から成る単層構成とすれば、上部電極を外部の電極あるいは回路と電気的に接続するためにハンダを使用する場合、ハンダ中の錫（Sn）原子と合金を生成させることができる。上部パッド電極を、Ti/Pt/Auの多層構成、Ti/Auの多層構成に例示される多層構成とすることもできる。

40

【0049】

50

以上に説明した上部電極及び上部パッド電極を構成する材料の好ましい組合せとして、上部電極を、

P d の単層構成

P t の単層構成

N i の単層構成

P d / P t の多層構成

P d / N i の多層構成

P d / A u の多層構成

の6ケースのいずれかとし、上部パッド電極を、

A u の単層構成

T i / A u の多層構成

T i / P t / A u の多層構成

の3ケースのいずれか（即ち、組合せのケース数として、 $6 \times 3 = 18$  ケースであり、上部電極：上部パッド電極を構成する材料の組合せとしてこれら18ケースのいずれか1つ）とすればよいが、中でも、（上部電極：上部パッド電極）を構成する材料の組合せとして、（P d : A u）の組合せ、（P d / P t : T i / P t / A u）の組合せとすることが一層好ましい。

【0050】

下部パッド電極は、T i（チタン）、P t（白金）、A u（金）から成る群から選択された少なくとも1種類の金属を含む、単層構成又は多層構成を有することが望ましい。

【0051】

本発明の半導体レーザ素子あるいはその製造方法において、リッジ構造の幅を $1.0 \mu\text{m}$ 以上 $2.0 \mu\text{m}$ 以下とすることが、半導体レーザ素子の消費電力の低下といった観点から望ましい。また、リッジ構造の平面形状として、ストライプ形状、テーパ形状、フレア形状を挙げることができる。

【0052】

基板として、先に述べたように、c面を主面として有するサファイヤ基板、あるいは、GaN基板、SiC基板を挙げることができる。

【0053】

本発明において、上部クラッド層（上部コンタクト層が形成されている場合には上部コンタクト層も）はp型不純物を含み、下部クラッド層（下部コンタクト層が形成されている場合には下部コンタクト層も）はn型不純物を含んでいる構成とすることができる。あるいは又、本発明において、

上部クラッド層（上部コンタクト層が形成されている場合には上部コンタクト層も）はn型不純物を含み、下部クラッド層（下部コンタクト層が形成されている場合には下部コンタクト層も）はp型不純物を含んでいる構成とすることができる。p型不純物としてMg、Zn、Cd、Be、Ca、Ba、Oを挙げることができる。一方、n型不純物としてSi、Ge、Se、Sn、C、Tiを挙げることができる。

【発明の効果】

【0054】

インデックス・ガイド型半導体レーザ素子の一種であるリッジ導波路型の半導体レーザ素子にあっては、一般に、一種のコンデンサが形成され、係るコンデンサによって寄生容量が生成される。ここで、このコンデンサは、パッド電極、上部クラッド層（これらはコンデンサを構成する一種の電極とみなすことができる）、並びに、パッド電極と上部クラッド層との間に挟まれた誘電体層としての絶縁膜から成る。

【0055】

本発明の第1の態様あるいは第2の態様に係る半導体レーザ素子、本発明の第2の態様あるいは第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法によって得られる半導体レーザ素子にあっては、誘電体層としての絶縁膜全体の厚さが規定され、しかも、コンデンサを構成するパッド電極の幅あるいは面積が規定されている。また、本発明の第1の態様に係る

10

20

30

40

50

半導体レーザ素子の製造方法によっては、パッド電極を所望の幅にエッチングする工程を備えている。コンデンサの容量Cは、パッド電極の面積に比例し、絶縁膜の厚さに反比例する。それ故、従来の半導体レーザ素子と比較して、寄生容量であるコンデンサの容量Cを小さくすることができる結果、半導体レーザ素子に印加される矩形波形のパルス電圧の立上りや立下りに急峻性が失われるといった問題が生じ難く、半導体レーザ素子の駆動特性を向上させることができる。

【0056】

しかも、絶縁膜は、シリコン膜を含む多層構造膜から構成されている。ところで、シリコン膜は、コンデンサを構成する誘電体層として機能するだけでなく、半導体レーザ素子の発振する光を吸収する層としても機能する。即ち、シリコン膜を設けることによって、1次モードの光に対する吸収が大きくなり、横モードを安定させることができ、電流 - 光出力特性における折れ曲り（キック）の発生を抑制することができる。

【0057】

また、本発明の半導体レーザ素子においては、上部クラッド層の上層を挟むようにして、上部クラッド層の下層上に絶縁膜が形成されているので、即ち、浅い埋め込み構造となっているので、電流狭窄効果が大きく、半導体レーザ素子は優れた光出力 - 注入電流特性を有する。更には、横方向の実効屈折率差  $n$  [ 図1の線A - Aに沿った実効屈折率  $n_{EFF1}$  と、線B - Bに沿った実効屈折率  $n_{EFF2}$  の差 (  $n = n_{EFF1} - n_{EFF2}$  ) ] を大きくすることができる結果、横モードの制御性が高くなり、優れた横モード安定性を達成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0058】

以下、図面を参照して、実施例に基づき本発明を説明する。

【実施例1】

【0059】

実施例1の半導体レーザ素子は、本発明の第1の態様及び第2の態様に係る半導体レーザ素子に関し、更には、本発明の第1の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法に関する。実施例1の半導体レーザ素子は、インデックス・ガイド型の窒化物系半導体レーザ素子（以下、半導体レーザ素子10と呼ぶ）である。

【0060】

この実施例1のリッジ導波路型の半導体レーザ素子10は、下部クラッド層16、活性層20、及び、上部クラッド層24を少なくとも備えており、上部クラッド層24は、下層24A、及び、リッジ構造を有する上層24Bの2層構造を有し、上部クラッド層24の上層24Bの上には電極（上部電極30）が形成されており、上部クラッド層24の上層24Bの両側面、及び、これらの側面のそれぞれから延在する上部クラッド層24の下層24Aの頂面上には絶縁膜40が形成されており、電極（上部電極30）と接し、且つ、絶縁膜40上を延在するパッド電極（上部パッド電極32）が形成されている。

【0061】

より具体的には、実施例1の半導体レーザ素子10は、第1の構造を有する半導体レーザ素子であり、図1に模式的な断面図を示すように、

(A) c面を主面として有するサファイヤ基板から成る基板12上に形成された、n型GaNから成る下部コンタクト層14、

(B) 下部コンタクト層14上に形成された下部パッド電極34、

(C) 下部コンタクト層14上に形成された、n型AlGaNから成る下部クラッド層16、

(D) 下部クラッド層16上に形成された、GaN/InGaNの多重量子井戸構造を有する活性層20、

(E) 活性層20上に形成された、p型AlGaNから成る上部クラッド層24、

(F) 上部クラッド層24上に形成された、p型GaNから成る上部コンタクト層26、

、

10

20

30

40

50

(G) Pd膜/Pt膜から成る多層金属膜から構成され、上部コンタクト層26上に形成された電極(上部電極30)、及び、

(H) Ti層/Pt層/Au層の多層構成を有するパッド電極(上部パッド電極32)から成る。尚、上部電極30及び上部パッド電極32を図面においては1層で表した。

【0062】

下部クラッド層16と活性層20の間には、n型InGa<sub>N</sub>から成る下部光ガイド層18が形成され、活性層20と上部クラッド層24の間には、活性層20の劣化を防止するAlGa<sub>N</sub>から成る劣化防止層21、及び、p型InGa<sub>N</sub>から成る上部光ガイド層22が形成されているが、これらの各層は設けなくともよい場合がある。

10

【0063】

また、ほぼc軸に沿って延びる貫通転位がサファイヤ基板から成る基板12の基板面から上方に発生し得るので、基板12上に低温成長のGa<sub>N</sub>から成るバッファ層を形成し、次いで、バッファ層の上に、ELO(Epitaxial Lateral Overgrowth)法などの横方向にエピタキシャル成長させる方法を用いて、横方向成長によりGa<sub>N</sub>から成る下地層を成長させた後、下部コンタクト層14を成長させることにより、貫通転位密度を低減させることが好ましい。但し、これらの各層は設けなくともよい場合がある。また、図面には、バッファ層及び下地層の図示を省略した。

【0064】

更には、上部クラッド層24は、下層(上部クラッド層24の下層24A)と、リッジ構造を有する上層(上部クラッド層24の上層24B)から構成されている。

20

【0065】

下部クラッド層16、下部光ガイド層18、活性層20、劣化防止層21、上部光ガイド層22、及び、上部クラッド層24は、上述のとおり、窒化物系化合物半導体層(より具体的にはGa<sub>N</sub>系材料層)から構成されている。

【0066】

更には、下部クラッド層16、下部光ガイド層18、活性層20、劣化防止層21、上部光ガイド層22、及び、上部クラッド層の下層24Aは、メサ構造を有する。即ち、実施例1にあっては、これらの各層は、実質的に同一幅のストライプ形状を有する。一方、上部クラッド層の上層24B及び上部コンタクト層26は、メサ構造の幅よりも狭い幅のリッジ構造を有する。即ち、実施例1にあっては、これらの各層は、実質的に同一幅のストライプ形状を有し、メサ構造が延びる方向と同じ方向に延びている。

30

【0067】

また、メサ構造の頂面に相当する上部クラッド層24の下層24Aの部分の上には、上部クラッド層24の上層24Bの両側面のそれぞれの少なくとも一部分(実施例1の半導体レーザ素子10にあっては、より具体的には、上部クラッド層の上層24Bの両側面のそれぞれ、及び、上部コンタクト層26の両側面のそれぞれ)を被覆した絶縁膜40が形成されている。この絶縁膜40は、酸化シリコン膜(SiO<sub>x</sub>膜)41及びシリコン膜(より具体的には、アモルファスシリコン膜)42の多層構造膜から構成されている。このシリコン膜42は光吸収層として機能し、シリコン膜42を設けることによって、横方向の実効屈折率差  $n$  を大きくすることが可能となる。

40

【0068】

ここで、絶縁膜全体の厚さ $T_{TOTAL}$ (上部クラッド層24の上層24Bの両側面近傍以外の、上部クラッド層24の下層24Aの頂面上における絶縁膜40の厚さの平均値)を $2.0 \times 10^{-7}m$ (200nm)とした。また、酸化シリコン膜41の厚さ(上部クラッド層24の上層24Bの両側面近傍以外の、上部クラッド層24の下層24Aの頂面上における酸化シリコン膜41の厚さの平均値)を $5 \times 10^{-8}m$ (50nm)とし、シリコン膜42の厚さ(上部クラッド層24の上層24Bの両側面近傍以外の、上部クラッド層24の下層24Aの頂面上におけるシリコン膜42の厚さの平均値)を $1.5 \times 10^{-7}m$ (150nm)とした。絶縁膜40は、上部クラッド層24の上層24Bを挟み込み、浅い

50

埋め込み構造を形成するように、即ち、上部クラッド層の上層を厚く、且つ、上部クラッド層の下層を薄くすることができるように、メサ構造の頂面に相当する上部クラッド層 24 の下層 24 A の部分の上に形成されている。尚、上部クラッド層 24 の総厚は例えば  $0.65 \mu\text{m}$  であり、上部クラッド層 24 の上層 24 B の厚さは例えば  $0.15 \mu\text{m}$  である。

#### 【0069】

上部コンタクト層 26 上には、上部コンタクト層 26 に対するオーミック接合電極としての電極（上部電極 30）が形成されており、上部電極 30 は、上部コンタクト層 26 の頂面と実質的に同じ形状、寸法の  $Pd/Pt$ （ $Pd$  が下層であり、 $Pt$  が上層である）から成る多層構成を有する。電極（上部電極 30）の幅は、例えば、 $1.4 \mu\text{m}$  乃至  $2.0 \mu\text{m}$  である。

10

#### 【0070】

更には、幅  $W_{PAD}$ 、面積  $S_{PAD}$  を有するパッド電極（上部パッド電極 32）が、絶縁膜 40 の頂面から電極（上部電極 30）の頂面に互り形成されている。ここで、上部パッド電極 32 の幅  $W_{PAD}$  を  $1.2 \times 10^{-4} \text{m}$ （ $120 \mu\text{m}$ ）、パッド電極 32 の長さを  $9 \times 10^{-4} \text{m}$ （ $900 \mu\text{m}$ ）とした。即ち、面積  $S_{PAD}$  は  $1.1 \times 10^{-7} \text{m}^2$  である。ここで、上部パッド電極 32 は、下から  $Ti/Pt/Au$  の各層から成る多層構成を有する。

#### 【0071】

更には、下部コンタクト層 14 の表面、メサ構造の側面から上部パッド電極 32 及び上部電極 30 の側部近傍に互り（より具体的には、下部コンタクト層 14 の表面、下部クラッド層 16 の側面、下部光ガイド層 18 の側面、活性層 20 の側面、劣化防止層 21 の側面、上部光ガイド層 22 の側面、上部クラッド層 24 の下層 24 A の側面、絶縁膜 40 の側面及び頂面の上、並びに、上部パッド電極 32 及び上部電極 30 の側部近傍には）、 $SiO_2$  から成る保護膜（パッシベーション膜）44 が形成されている。そして、下部コンタクト層 14 の表面に形成された保護膜 44 の一部分には開口部 45 が形成されており、この開口部 45 の底部に露出した下部コンタクト層 14 上に、 $Ti/Pt/Au$ （ $Ti$  が下層、 $Au$  が上層）といった多層構成を有する下部パッド電極 34 が形成されている。尚、図面においては、下部パッド電極 34 を 1 層で表した。

20

#### 【0072】

以下、実施例 1 の半導体レーザ素子 10 の製造方法を、基板等の模式的な一部断面図である図 2 の（A）、（B）、図 3 の（A）、（B）、図 4 の（A）、（B）、図 5 の（A）、（B）、図 6 の（A）、（B）、及び、図 7 を参照して説明する。

30

#### 【0073】

##### [工程 - 100]

先ず、基板 12 上に、少なくとも、下部クラッド層 16、活性層 20、及び、上部クラッド層 24 を順次、形成する。具体的には、基板 12 上に、下部コンタクト層 14、下部クラッド層 16、活性層 20、上部クラッド層 24、及び、上部コンタクト層 26 を順次、堆積させる。より具体的には、従来と同様にして、図 2 の（A）に示すように、c 面を主面として有するサファイヤ基板から成る基板 12 上に、MOCVD 法等によって、n 型  $GaN$  から成る下部コンタクト層 14、n 型  $AlGaN$  から成る下部クラッド層 16、n 型  $InGaN$  から成る下部光ガイド層 18、 $GaN/InGaN$  の多重量子井戸構造を有する活性層 20、活性層 20 の劣化を防止する  $AlGaN$  から成る劣化防止層 21、p 型  $InGaN$  から成る上部光ガイド層 22、p 型  $AlGaN$  から成る上部クラッド層 24、及び、p 型  $GaN$  から成る上部コンタクト層 26 が、順次積層された積層構造を形成（堆積）する。尚、基板 12 上に、先ず、低温成長の  $GaN$  から成るバッファ層（図示せず）を形成し、バッファ層の上に横方向成長により  $GaN$  から成る下地層（図示せず）を成長させた後、下部コンタクト層 14 を成長させてもよい。

40

#### 【0074】

バッファ層及び活性層 20 以外の各種の窒化物系化合物半導体層の成膜温度を約  $1000^\circ\text{C}$  とし、活性層 20 の成膜温度を、 $In$  の分解を抑えるために、 $700 \sim 800^\circ\text{C}$

50

とし、バッファ層の成膜温度を約 $560^{\circ}\text{C}$ とすればよい。また、MOCVD法における各窒化物系化合物半導体層の形成においては、Ga源としてトリメチルガリウム(TMG)ガスを用い、N源としてアンモニアガスを用いればよい。更には、n型窒化物系化合物半導体層の形成においては、例えば、n型不純物としてケイ素(Si)を添加すればよいし、p型窒化物系化合物半導体層の形成においては、例えば、p型不純物としてマグネシウム(Mg)を添加すればよい。また、Al源としてトリメチルアルミニウム(TMA)ガスを用いればよいし、In源としてトリメチルインジウム(TMI)ガスを用いればよいし、Si源としてモノシランガス( $\text{SiH}_4$ ガス)を用い、Mg源として、シクロペンタジエニルマグネシウムガスを用いればよい。

【0075】

[工程 - 110]

次いで、上部クラッド層24の上に電極(上部電極30)を形成する。具体的には、先ず、形成すべき上部コンタクト層26と実質的に同じ幅を有する上部電極30を上部コンタクト層26上に形成する。

【0076】

より具体的には、上部コンタクト層26上に、膜厚 $0.3\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ から成るマスク層60を形成する。次いで、マスク層60上にフォトレジスト層62を成膜し、フォトリソグラフィ技術に基づき、ストライプ状の開口を有するフォトレジスト層62を形成する。続いて、このフォトレジスト層62をエッチング用マスクとして、フッ酸系エッチング液によるウエットエッチング法によりマスク層60をエッチングする。こうして、上部コンタクト層26の頂面が露出した開口64を得ることができる(図2の(B)参照)。その後、フォトレジスト層62上及び開口64の底部に位置する上部コンタクト層26上に、膜厚 $50\text{nm}$ のPd膜、及び、膜厚 $0.1\mu\text{m}$ のPt膜から成る多層金属膜30Aを真空蒸着法にて、順次、形成する。尚、図面においては、多層金属膜30Aを1層で表した。続いて、アッシング法によりフォトレジスト層62を除去し、更に、フッ酸によるウエットエッチング法によってマスク層60を除去する。これによって、フォトレジスト層62上の多層金属膜30Aが除去され、開口64の底部に位置した上部コンタクト層26の部分の上のみ多層金属膜30Aが残され(図3の(A)参照)、上部クラッド層24の上(より具体的には上部クラッド層24の上方)に電極(上部電極30)を形成することができる。ストライプ形状を有する多層金属膜30Aが電極(上部電極30)に相当する。上部電極30が形成された領域以外の領域の上部コンタクト層26は、頂面が露出された状態となる。上部コンタクト層26を堆積させた後の工程で、直ちに上部電極30を形成するので、上部電極30とのコンタクト面である上部コンタクト層26の頂面が汚染されることを、効果的に防止することができる。

【0077】

[工程 - 120]

次に、上部クラッド層24の上部をエッチングして、上部クラッド層24の上部にリッジ構造を有する上層24Bを形成し、上層24Bの上(より具体的には、上部コンタクト層26の頂面)に電極(上部電極30)を残す。

【0078】

具体的には、上部電極30をエッチング用マスクとして、上部コンタクト層26をエッチングし、更に、上部クラッド層24を厚さ方向に一部分エッチングして、ストライプ形状を有する上部コンタクト層26及び上部クラッド層24の上層24Bを形成し、併せて、上部クラッド層24の上層24Bの両側に頂面が露出した部分を有する上部クラッド層24の下層24Aを形成する。

【0079】

より具体的には、上部電極30をマスクとし、塩素系のエッチングガスを使ったドライエッチング法により上部コンタクト層26及び上部クラッド層24の上層の部分のエッチングして、上部コンタクト層26及び上部クラッド層24の上層24Bから成るストライプ状のリッジ構造50を形成する(図3の(B)参照)。上部電極30、上部コンタクト

10

20

30

40

50

層 2 6 及び上部クラッド層 2 4 の上層 2 4 B は、ストライプ形状を有する。上部電極 3 0 をエッチング用マスクとして、セルフ・アライン方式にてリッジ構造を形成するが故に、上部コンタクト層 2 6 の頂面（上部電極 3 0 とのコンタクト面）と実質的に同じ形状、寸法で上部コンタクト層 2 6 上に上部電極 3 0 を設けることができるし、上部電極 3 0 と上部コンタクト層 2 6 との位置ずれが生じない。しかも、上部電極 3 0 をエッチング用マスクとしてエッチングしてリッジ構造を形成するので、即ち、セルフ・アライン方式にてリッジ構造を形成することができるので、リッジ構造の形成に必要なエッチング用マスクの形成及び除去工程を省略することができる。

【 0 0 8 0 】

[ 工程 - 1 3 0 ]

次に、上部クラッド層 2 4 の上層 2 4 B の両側面、及び、これらの側面のそれぞれから延在する上部クラッド層 2 4 の下層 2 4 A の頂面上に、絶縁膜 4 0 を形成する。

【 0 0 8 1 】

具体的には、上部クラッド層 2 4 の上層 2 4 B が形成されていない上部クラッド層 2 4 の下層 2 4 A の部分の上に、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれの少なくとも一部分（実施例 1 にあっては、より具体的には、上部クラッド層の上層 2 4 B の両側面のそれぞれ、及び、上部コンタクト層 2 6 の両側面のそれぞれ）を被覆する絶縁膜 4 0 を形成する。絶縁膜 4 0 の形成前に上部コンタクト層 2 6 上に上部電極 3 0 を形成しているので、絶縁膜 4 0 の形成によって上部コンタクト層 2 6 と上部電極 3 0 とのコンタクト面に損傷は発生しない。

【 0 0 8 2 】

より具体的には、先ず、全面に、厚さ 5 0 n m の酸化シリコン膜（ $S i O_x$  膜）4 1 を形成し、その上に、厚さ 1 5 0 n m のシリコン膜 4 2 を形成する。続いて、絶縁膜 4 0 上にフォトレジスト膜 6 6 を形成（塗布）する（図 4 の（A）参照）。上部電極 3 0 の上方、及び、上部クラッド層 2 4 の上層 2 4 B が設けられていない上部クラッド層 2 4 の下層 2 4 A の上方のフォトレジスト膜 6 6 の頂面の高さはほぼ同じ高さである。次いで、上部電極 3 0 をエッチング停止層として、フォトレジスト膜 6 6、及び、少なくとも上部電極 3 0 の上の絶縁膜 4 0 をエッチングして（より具体的には、フォトレジスト膜 6 6 及び絶縁膜 4 0 をエッチバックして）、少なくとも上部電極 3 0 の頂面（実施例 1 においては、より具体的には、上部電極 3 0 の頂面及び両側面）を露出させた後、フォトレジスト膜 6 6 を除去する（図 4 の（B）参照）。つまり、リッジ構造 5 0 の段差を利用し、上部電極 3 0 をエッチング停止層として、上部電極 3 0 の頂面を露出させる。絶縁膜 4 0 は、上部クラッド層の上層 2 4 B の両側面のそれぞれを被覆し、且つ、上部コンタクト層 2 6 の両側面のそれぞれを被覆した状態で残される。

【 0 0 8 3 】

[ 工程 - 1 4 0 ]

その後、絶縁膜 4 0 の頂面から上部電極の頂面に互り、形成すべきメサ構造の幅と実質的に同じ幅を有するアイソレーション用の金属層 4 3 を形成する。具体的には、ストライプ形状を有する金属層 4 3 を形成する。

【 0 0 8 4 】

即ち、フォトレジスト膜 6 8 を全面に形成（塗布）し、ストライプ形状を有する開口 7 0 をフォトレジスト膜 6 8 に形成する。開口 7 0 の底部には、上部電極 3 0、及び、絶縁膜 4 0 の一部分が露出した状態となる。続いて、スパッタリング法によって、 $T i / P t / N i$  から成る多層構成を有する金属層 4 3 を全面に形成する（図 5 の（A）参照）。即ち、厚さ 1 0 n m の  $T i$  膜、厚さ 0 . 1  $\mu m$  の  $P t$  膜、厚さ 0 . 1  $\mu m$  の  $N i$  膜を、順次、スパッタリング法によって堆積させる。尚、図においては、金属層 4 3 を 1 層で表す。次いで、フォトレジスト膜 6 8 をアッシング法により除去して、フォトレジスト膜 6 8 上の金属層 4 3 の部分を除去し、開口 7 0 の底部に位置した上部電極 3 0 及び絶縁膜 4 0 の部分の上に金属層 4 3 を残す（図 5 の（B）参照）。

【 0 0 8 5 】

10

20

30

40

50

## [ 工程 - 150 ]

次に、金属層 43 をエッチング用マスクとして、絶縁膜 40、上部クラッド層 24 の下層 24A、上部光ガイド層 22、劣化防止層 21、活性層 20、下部光ガイド層 18、下部クラッド層 16、及び、下部コンタクト層 14 の一部分をエッチングする。こうして、図 6 の (A) に示すようなメサ構造 52 を得ることができる。金属層 43 をメサ構造形成の際のエッチング用マスクとしているので、メサ構造形成のためのエッチング用マスクの形成工程は不要である。

## 【 0086 】

## [ 工程 - 160 ]

その後、絶縁膜 40 及び電極 (上部電極 30) 上にパッド電極 (上部パッド電極 32) を形成する。

10

## 【 0087 】

具体的には、全面にレジスト層 (図示せず) を形成し、上部パッド電極 32 及び下部パッド電極 34 を形成すべき領域のレジスト層の部分に開口部を形成する。そして、開口部内を含むレジスト層上に、下から、厚さ 10 nm の Ti 層 / 厚さ 0.1  $\mu\text{m}$  の Pt 層 / 厚さ 0.3  $\mu\text{m}$  の Au 層 / 厚さ 10 nm の Ti 層の多層構成膜を形成した後、レジスト層を除去する。こうして、上部電極 30 の上に上部パッド電極 32 を形成し、下部コンタクト層 14 の上に下部パッド電極 34 を形成することができる (図 6 の (B) 参照)。

## 【 0088 】

## [ 工程 - 170 ]

次いで、パッド電極 (上部パッド電極 32) を所望の幅  $W_{\text{PAD}}$  にエッチングする。

20

## 【 0089 】

具体的には、再び、全面にレジスト層 (図示せず) を形成し、上部パッド電極 32 の幅を狭めるように、リソグラフィ技術に基づき、上部パッド電極 32 の一部分の上にストライプ状のレジスト層を残す。そして、レジスト層によって覆われていない上部パッド電極 32 の部分をエッチングし、更に、金属層 43 をエッチングする。こうして、図 7 に示すように、幅  $W_{\text{PAD}}$  へと狭められた上部パッド電極 32 を得ることができる。

## 【 0090 】

## [ 工程 - 180 ]

次いで、全面に、具体的には、下部コンタクト層 14 の表面、メサ構造の側面から上部パッド電極 32 の頂面に互り (より具体的には、下部コンタクト層 14 の表面、下部クラッド層 16 の側面、下部光ガイド層 18 の側面、活性層 20 の側面、劣化防止層 21 の側面、上部光ガイド層 22 の側面、上部クラッド層 24 の下層 24A の側面、絶縁膜 40 の側面及び頂面、並びに、上部パッド電極 32 の上に)、膜厚 0.3  $\mu\text{m}$  の  $\text{SiO}_2$  から成る保護膜 (パッシベーション膜) 44 を形成する。その後、リソグラフィ技術及びエッチング技術に基づき、下部コンタクト層 14 の表面に形成された保護膜 44 の一部分に開口部 45 を形成し、下部パッド電極 34 を露出させ、併せて、上部パッド電極 32 の上の保護膜 44 を除去する。こうして、図 1 に示した半導体レーザ素子 10 を作製することができる。その後、劈開処理、ペレット化、ダイ・ボンディングやワイヤ・ボンディング、キャップ・シール処理を行うことで、半導体レーザ素子 10 を完成させる。

30

40

## 【 0091 】

実施例 1 において得られた半導体レーザ素子における寄生容量を測定したところ、33.8 pF であり、パルス動作特性に全く問題は認められなかった。具体的には、パルス立上り時間は 1.5 ナノ秒以下であった。比較のために、絶縁膜全体の厚さ  $T_{\text{TOTAL}}$  (上部クラッド層 24 の上層 24B の両側面近傍以外の、上部クラッド層 24 の下層 24A の頂面上における絶縁膜 40 の厚さの平均値) を  $9.0 \times 10^{-8} \text{m}$  (90 nm)、酸化シリコン膜 41 の厚さ (上部クラッド層 24 の上層 24B の両側面近傍以外の、上部クラッド層 24 の下層 24A の頂面上における酸化シリコン膜 41 の厚さの平均値) を  $5 \times 10^{-8} \text{m}$  (50 nm) とし、シリコン膜 42 の厚さ (上部クラッド層 24 の上層 24B の両側面近傍以外の、上部クラッド層 24 の下層 24A の頂面上におけるシリコン膜 42 の厚さの平

50

均値)を $4.0 \times 10^{-8} \text{ m}$  (40 nm)とした半導体レーザ素子を、実施例1と全く同様にして作製した。この半導体レーザ素子における寄生容量を測定したところ、47.1 pFであり、パルス状の印加電圧に対する発光にタイムラグが発生し、且つ、パルス立上り時間が2秒以上と長くなり、動作特性に問題が認められた。

#### 【0092】

実施例1においては、上部コンタクト層26に対する位置ずれの無い上部電極30を形成することができるので、半導体レーザ素子の動作電圧が上昇することもない。更には、実施例1の半導体レーザ素子の製造方法においては、上部コンタクト層26を堆積させた次の工程で、上部コンタクト層26上に上部電極30を形成するが故に、上部コンタクト層26の頂面(上部電極30とのコンタクト面)の汚れ発生が抑制され、半導体レーザ素子の動作電圧が所望の値や設計値から外れることを防止できる。また、絶縁膜40の形成前に上部コンタクト層26上に上部電極30を形成しているため、いずれの方法によって絶縁膜40を形成しても、上部コンタクト層26の頂面(上部電極30とのコンタクト面)に対する損傷は発生しない。更には、上部電極30をエッチング用マスクとして、セルフ・アライン方式にて、上部コンタクト層26をエッチングし、更に、上部クラッド層24を厚さ方向に一部分エッチングして、リッジ構造を形成するが故に、上部コンタクト層26の頂面(上部電極30とのコンタクト面)と実質的に同じ形状、寸法で上部コンタクト層26上に上部電極30を設けることができるし、従来の技術のように、上部電極30と上部コンタクト層26との位置ずれが生じない。従って、従来のような、動作電圧が所望の値や設計値から外れることがない。しかも、上部電極30をリッジ構造形成の際のエッチング用マスクとしているため、リッジ構造形成のためのエッチング用マスクの形成及び除去工程が不要であり、半導体レーザ素子の製造プロセス工程数が従来の製造方法に比べて少なく、生産性の向上を図ることができる。

#### 【実施例2】

#### 【0093】

実施例2の半導体レーザ素子は、本発明の第1の態様及び第2の態様に係る半導体レーザ素子に関し、更には、本発明の第2の態様及び第3の態様に係る半導体レーザ素子の製造方法に関する。実施例2の半導体レーザ素子も、インデックス・ガイド型の窒化物系半導体レーザ素子(以下、半導体レーザ素子10Aと呼ぶ)である。

#### 【0094】

この実施例2のリッジ導波路型の半導体レーザ素子10Aも、下部クラッド層16、活性層20、及び、上部クラッド層24を少なくとも備えており、上部クラッド層24は、下層24A、及び、リッジ構造を有する上層24Bの2層構造を有し、上部クラッド層24の上層24Bの上には電極(上部電極30)が形成されており、上部クラッド層24の上層24Bの両側面、及び、これらの側面のそれぞれから延在する上部クラッド層24の下層24Aの頂面上には絶縁膜40が形成されており、電極(上部電極30)と接し、且つ、絶縁膜40上を延在するパッド電極(上部パッド電極32)が形成されている。

#### 【0095】

より具体的には、実施例2の半導体レーザ素子10Aは、第2の構造を有する半導体レーザ素子であり、図8に模式的な断面図を示すように、

- (A) GaN基板から成る基板12Aの裏面に形成された下部電極36、
- (B) 基板12Aの表面(おもてめん)に形成された、n型AlGaNから成る下部クラッド層16、
- (C) 下部クラッド層16上に形成された、GaN/InGaNの多重量子井戸構造を有する活性層20、
- (D) 活性層上に形成された、p型AlGaNから成る上部クラッド層24、
- (E) 上部クラッド層上に形成された、p型GaNから成る上部コンタクト層26、
- (F) Pd膜/Pt膜から成る多層金属膜から構成され、上部コンタクト層26上に形成された電極(上部電極30)、及び、
- (G) Ti層/Pt層/Au層の多層構成を有するパッド電極(上部パッド電極32)

から成る。尚、上部電極 30 及び上部パッド電極 32 を図面においては 1 層で表した。

【0096】

尚、実施例 1 と同様に、下部クラッド層 16 と活性層 20 との間には、n 型 InGa<sub>N</sub> から成る下部光ガイド層 18 が形成され、活性層 20 と上部クラッド層 24 との間には、活性層 20 の劣化を防止する AlGa<sub>N</sub> から成る劣化防止層 21、及び、p 型 InGa<sub>N</sub> から成る上部光ガイド層 22 が形成されているが、これらの各層は設けなくともよい場合がある。

【0097】

上部クラッド層 24 は、下層（上部クラッド層 24 の下層 24A）と上層（上部クラッド層 24 の上層 24B）から構成されている。下部クラッド層 16、下部光ガイド層 18、活性層 20、劣化防止層 21、上部光ガイド層 22、及び、上部クラッド層 24 は、上述のとおり、窒化物系化合物半導体層（より具体的には Ga<sub>N</sub> 系材料層）から構成されている。上部クラッド層の上層 24B 及び上部コンタクト層 26 は、リッジ構造を有する。即ち、実施例 2 にあっては、上部クラッド層の上層 24B 及び上部コンタクト層 26 は、実質的に同一幅のストライプ形状を有する。

【0098】

また、上部クラッド層 24 の下層 24A の部分の上には、上部クラッド層 24 の上層 24B の両側面のそれぞれの少なくとも一部分（実施例 2 の半導体レーザ素子 10A にあっては、より具体的には、上部クラッド層の上層 24B の両側面のそれぞれ、及び、上部コンタクト層 26 の両側面のそれぞれ）を被覆した絶縁膜 40 が形成されている。この絶縁膜 40 は、実施例 1 と同様に、酸化シリコン膜（SiO<sub>x</sub>膜）41 及びシリコン膜 42 の多層構造膜から構成されている。ここで、絶縁膜全体の厚さ T<sub>TOTAL</sub>（上部クラッド層 24 の上層 24B の両側面近傍以外の、上部クラッド層 24 の下層 24A の頂面上における絶縁膜 40 の厚さの平均値）を  $2.0 \times 10^{-7} \text{m}$ （200 nm）とした。また、酸化シリコン膜 41 の厚さ（上部クラッド層 24 の上層 24B の両側面近傍以外の、上部クラッド層 24 の下層 24A の頂面上における酸化シリコン膜 41 の厚さの平均値）を  $5 \times 10^{-8} \text{m}$ （50 nm）とし、シリコン膜 42 の厚さ（上部クラッド層 24 の上層 24B の両側面近傍以外の、上部クラッド層 24 の下層 24A の頂面上におけるシリコン膜 42 の厚さの平均値）を  $1.5 \times 10^{-7} \text{m}$ （150 nm）とした。絶縁膜 40 は、上部クラッド層 24 の上層 24B を挟み込み、浅い埋め込み構造を形成するように、即ち、上部クラッド層の上層を厚く、且つ、上部クラッド層の下層を薄くすることができるように、メサ構造の頂面に相当する上部クラッド層 24 の下層 24A の部分の上に形成されている。尚、上部クラッド層 24 の総厚は例えば 0.65 μm であり、上部クラッド層 24 の上層 24B の厚さは例えば 0.15 μm である。

【0099】

上部コンタクト層 26 上には、上部コンタクト層 26 に対するオーミック接合電極としての電極（上部電極 30）が形成されており、上部電極 30 は、上部コンタクト層 26 の頂面と実質的に同じ形状、寸法の Pd/Pt（Pd が下層であり、Pt が上層である）から成る多層構成を有する。電極（上部電極 30）の幅は、例えば、1.4 μm 乃至 2.0 μm である。

【0100】

更には、幅 W<sub>PAD</sub>、面積 S<sub>PAD</sub> を有するパッド電極（上部パッド電極 32）が、絶縁膜 40 の頂面から電極（上部電極 30）の頂面に互り形成されている。ここで、上部パッド電極 32 の幅 W<sub>PAD</sub> を  $6.0 \times 10^{-5} \text{m}$ （60 μm）、パッド電極 32 の長さを  $9 \times 10^{-4} \text{m}$ （900 μm）とした。即ち、面積 S<sub>PAD</sub> は  $5.4 \times 10^{-8} \text{m}^2$  である。ここで、上部パッド電極 32 は、下から Ti/Pt/Au の各層から成る多層構成を有する。

【0101】

更には、絶縁膜 40 の上には、SiO<sub>2</sub> から成る保護膜（パッシベーション膜）44A が形成されている。また、基板 12A の裏面には、Ti/Pt/Au（Ti が下層、Au

10

20

30

40

50

が上層)といった多層構成を有する下部電極36が形成されている。尚、図面においては、下部電極36を1層で表した。

【0102】

以下、実施例2の半導体レーザ素子10Aの製造方法を、基板等の模式的な一部断面図である図2の(A)、(B)、図3の(A)、(B)、図4の(A)、(B)、及び、図9を参照して説明する。

【0103】

[工程-200]

先ず、基板12A上に、少なくとも、下部クラッド層16、活性層20、及び、上部クラッド層24を順次、形成する。具体的には、実施例1の[工程-100]と同様にして、基板12A上に、下部クラッド層16、活性層20、上部クラッド層24、及び、上部コンタクト層26を順次、堆積させる。この状態は、下部コンタクト層14が形成されていないことを除き、実質的に、図2の(A)に示した状態と同じである。

10

【0104】

[工程-210]

次いで、上部クラッド層24の上に電極(上部電極30)を形成する。具体的には、実施例1の[工程-110]と同様にして、形成すべき上部コンタクト層26と実質的に同じ幅を有する上部電極30を上部コンタクト層26上に形成する。この状態は、下部コンタクト層14が形成されていないことを除き、実質的に、図2の(B)及び図3の(A)に示した状態と同じである。

20

【0105】

[工程-220]

次に、上部クラッド層24の上部をエッチングして、上部クラッド層24の上部にリッジ構造を有する上層24Bを形成し、上層24Bの上に電極(上部電極30)を残す。具体的には、実施例1の[工程-120]と同様にして、上部電極30をエッチング用マスクとして、上部コンタクト層26をエッチングし、更に、上部クラッド層24を厚さ方向に一部分エッチングして、ストライプ形状を有する上部コンタクト層26及び上部クラッド層24の上層24Bを形成し、併せて、上部クラッド層24の上層24Bの両側に頂面が露出した部分を有する上部クラッド層24の下層24Aを形成する。この状態は、下部コンタクト層14が形成されていないことを除き、実質的に、図3の(B)に示した状態と同じである。

30

【0106】

[工程-230]

その後、上部クラッド層24の上層24Bの両側面、及び、これらの側面のそれぞれから延在する上部クラッド層24の下層24Aの頂面上に、絶縁膜40を形成する。

【0107】

具体的には、実施例1の[工程-130]と同様にして、上部クラッド層24の上層24Bが形成されていない上部クラッド層24の下層24Aの部分の上に、上部クラッド層の上層の両側面のそれぞれの少なくとも一部分(実施例2にあつては、より具体的には、上部クラッド層の上層24Bの両側面のそれぞれ、及び、上部コンタクト層26の両側面のそれぞれ)を被覆する絶縁膜40を形成する。絶縁膜40の形成前に上部コンタクト層26上に上部電極30を形成しているので、絶縁膜40の形成によって上部コンタクト層26と上部電極30とのコンタクト面に損傷は発生しない。この状態は、下部コンタクト層14が形成されていないことを除き、実質的に、図4の(A)及び図4の(B)に示した状態と同じである。

40

【0108】

[工程-240]

次いで、絶縁膜40及び電極(上部電極30)上にパッド電極(上部パッド電極32)を形成する。具体的には、フォトレジスト膜68Aを全面に形成(塗布)し、ストライプ形状を有する開口70Aをフォトレジスト膜68Aに形成する。開口70Aの底部には、

50

上部電極 30、及び、絶縁膜 40 の一部分が露出した状態となる。続いて、スパッタリング法によって、下から、厚さ 10 nm の Ti 層 / 厚さ 0.1 μm の Pt 層 / 厚さ 0.3 μm の Au 層の多層構成膜を形成した後 (図 9 の (A) 参照)、レジスト膜 68A を除去する。こうして、上部電極 30 の上に上部パッド電極 32 を形成することができる (図 9 の (B) 参照)。

【0109】

[工程 - 250]

その後、基板 12A の裏面に下部電極 36 を形成する。

【0110】

[工程 - 260]

次いで、全面に、膜厚 0.3 μm の SiO<sub>2</sub> から成る保護膜 (パッシベーション膜) 44A を形成する。その後、リソグラフィ技術及びエッチング技術に基づき、上部パッド電極 32 の上の保護膜 44A を除去する。こうして、図 8 に示した半導体レーザ素子 10A を作製することができる。その後、劈開処理、ペレット化、ダイ・ボンディングやワイヤ・ボンディング、キャップ・シール処理を行うことで、半導体レーザ素子 10A を完成させる。

【0111】

以上、本発明を、好ましい実施例に基づき説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。実施例で説明した基板、窒化物系化合物半導体層の種類、組成、膜厚、構成、構造等は例示であり、適宜変更することができる。また、実施例において説明した条件や各種数値、使用した材料等は例示であり、適宜変更することができる。窒化物系化合物半導体から成る各層の堆積 (成膜) 方法は、MOCVD 法に限定されず、MBE 法、ハロゲンが輸送あるいは反応に寄与するハイドライド気相成長法等によって行うこともできる。

【図面の簡単な説明】

【0112】

【図 1】図 1 は、実施例 1 の半導体レーザ素子の模式的な一部断面図である。

【図 2】図 2 の (A) 及び (B) は、実施例 1 における半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【図 3】図 3 の (A) 及び (B) は、図 2 の (B) に引き続き、実施例 1 における半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【図 4】図 4 の (A) 及び (B) は、図 3 の (B) に引き続き、実施例 1 における半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【図 5】図 5 の (A) 及び (B) は、図 4 の (B) に引き続き、実施例 1 における半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【図 6】図 6 の (A) 及び (B) は、図 5 の (B) に引き続き、実施例 1 における半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【図 7】図 7 は、図 6 の (B) に引き続き、実施例 1 における半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【図 8】図 8 は、実施例 2 の半導体レーザ素子の模式的な一部断面図である。

【図 9】図 9 は、実施例 2 における半導体レーザ素子の製造方法を説明するための基板等の模式的な一部断面図である。

【符号の説明】

【0113】

10, 10A・・・半導体レーザ素子、12, 12A・・・基板、14・・・下部コンタクト層、16・・・下部クラッド層、18・・・下部光ガイド層、20・・・活性層、21・・・劣化防止層、22・・・上部光ガイド層、24・・・上部クラッド層、24A・・・上部クラッド層の下層、24B・・・上部クラッド層の上層、26・・・上部コンタクト層、30・・・電極 (上部電極)、30A・・・多層金属膜、32・・・上部パッド電極、34・・・下部パッド電極、36・・・下部電極、40・・・絶縁膜、41・・・

10

20

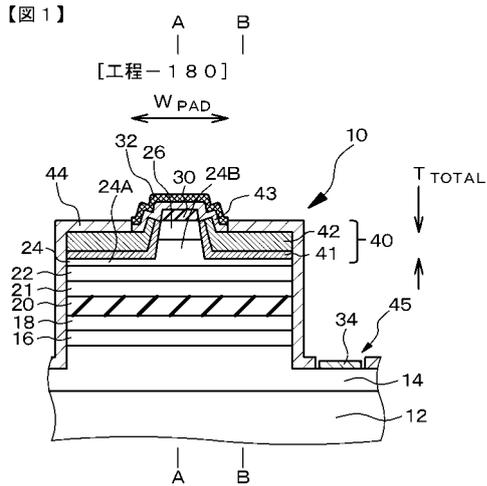
30

40

50

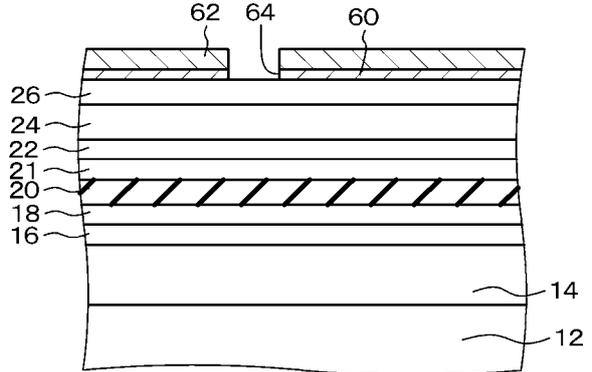
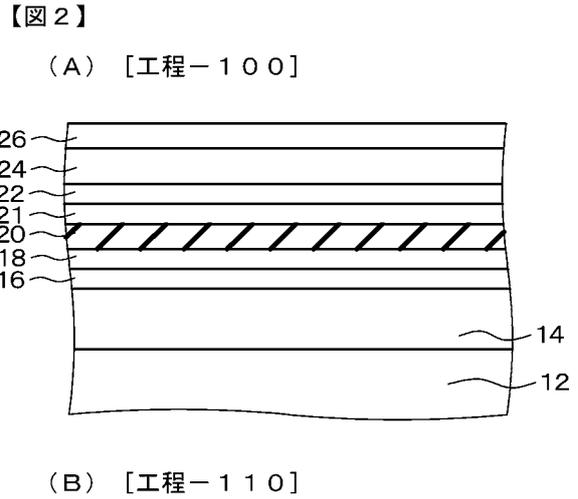
酸化シリコン膜 (SiO<sub>x</sub>膜)、42・・・シリコン膜、43・・・金属層、44・・・  
 保護膜 (パッシベーション膜)、45・・・開口部、50・・・リッジ構造、52・・・  
 メサ構造、60・・・マスク層、62・・・フォトリソスト層、64, 70, 70A・・・  
 ・開口、66, 68, 68A・・・フォトリソスト膜

【図1】



- |                |              |
|----------------|--------------|
| 10 半導体レーザ素子    | 26 上部コンタクト層  |
| 12 基板          | 30 電極 (上部電極) |
| 14 下部コンタクト層    | 32 上部パッド電極   |
| 16 下部クラッド層     | 34 下部パッド電極   |
| 18 下部光ガイド層     | 40 絶縁膜       |
| 20 活性層         | 41 酸化シリコン膜   |
| 21 劣化防止層       | 42 シリコン膜     |
| 22 上部光ガイド層     | 43 金属層       |
| 24 上部クラッド層     | 44 保護膜       |
| 24A 上部クラッド層の下層 |              |
| 24B 上部クラッド層の上層 |              |

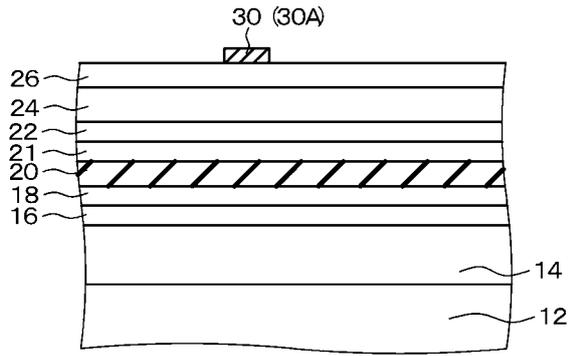
【図2】



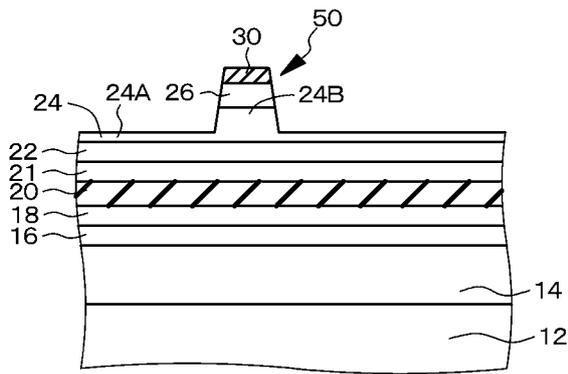
【図3】

【図3】

(A) [工程-110] (続き)



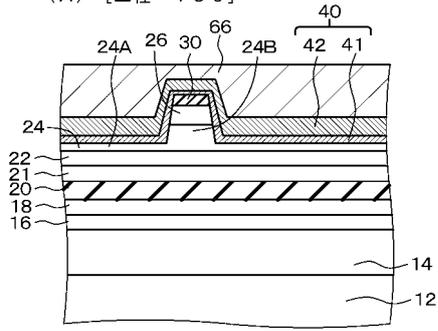
(B) [工程-120]



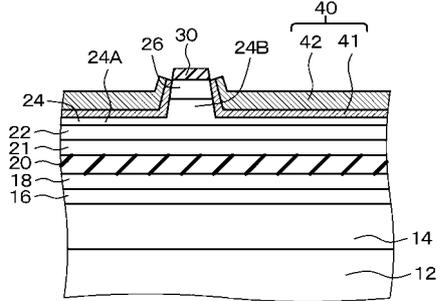
【図4】

【図4】

(A) [工程-130]



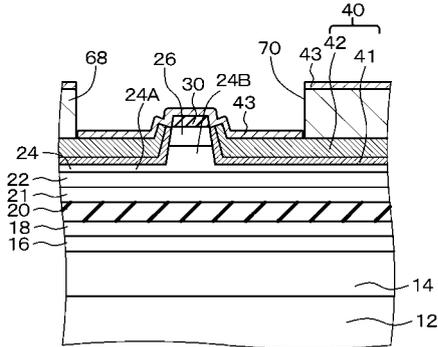
(B) [工程-130] (続き)



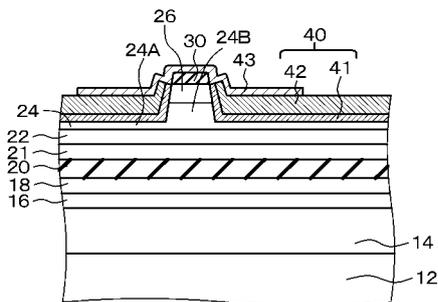
【図5】

【図5】

(A) [工程-140]



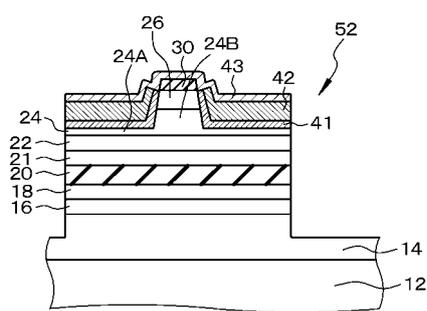
(B) [工程-140] (続き)



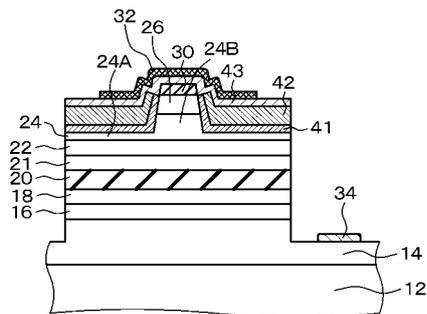
【図6】

【図6】

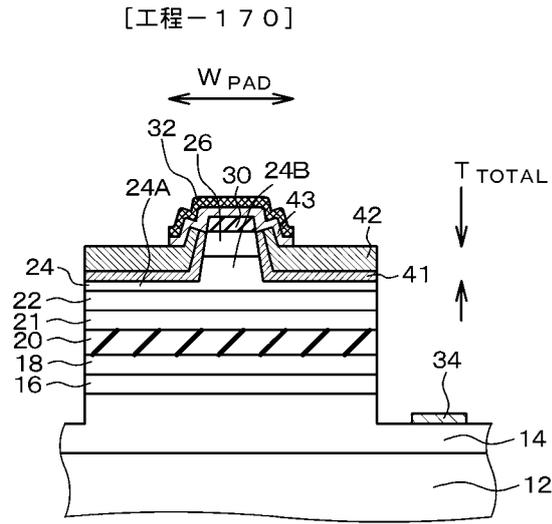
(A) [工程-150]



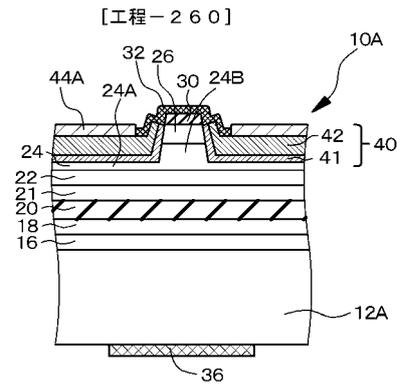
(B) [工程-160]



【図7】  
【図7】

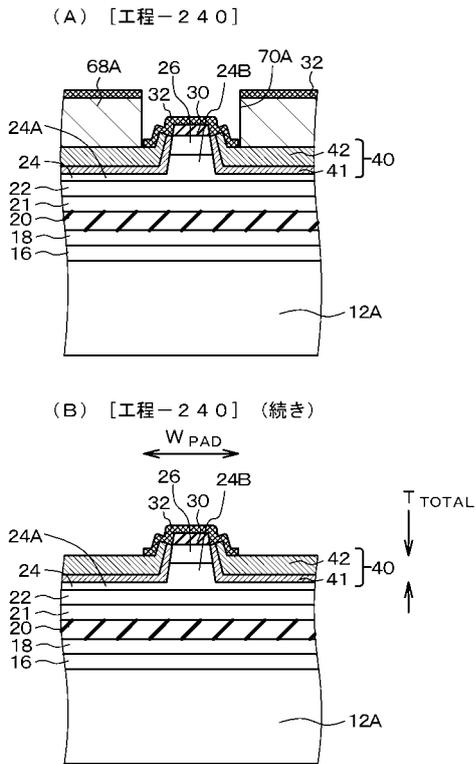


【図8】  
【図8】



- |     |            |     |           |
|-----|------------|-----|-----------|
| 10A | 半導体レーザー素子  | 26  | 上部コンタクト層  |
| 12A | 基板         | 30  | 電極 (上部電極) |
| 16  | 下部クラッド層    | 32  | 上部パッド電極   |
| 18  | 下部光ガイド層    | 36  | 下部電極      |
| 20  | 活性層        | 40  | 絶縁膜       |
| 21  | 劣化防止層      | 41  | 酸化シリコン膜   |
| 22  | 上部光ガイド層    | 42  | シリコン膜     |
| 24  | 上部クラッド層    | 44A | 保護膜       |
| 24A | 上部クラッド層の下層 |     |           |
| 24B | 上部クラッド層の上層 |     |           |

【図9】  
【図9】



---

フロントページの続き

(72)発明者 阿河 圭吾  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

審査官 松崎 義邦

(56)参考文献 特開2005-051137(JP,A)  
特開2002-164622(JP,A)  
特開平09-036484(JP,A)  
特開平08-051256(JP,A)  
特開2002-314197(JP,A)  
特開2003-101147(JP,A)  
特開2001-230494(JP,A)  
特開平10-041583(JP,A)  
特開平07-131117(JP,A)  
特開2000-323795(JP,A)  
特開2002-335048(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01S5/00-5/50