

(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2009-88425

(P2009-88425A)

(43) 公開日 平成21年4月23日(2009.4.23)

(51) Int.Cl.  
H01S 5/22 (2006.01)F I  
H01S 5/22  
H01S 5/22 610テーマコード (参考)  
5F173

審査請求 未請求 請求項の数 43 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2007-259429 (P2007-259429)  
(22) 出願日 平成19年10月3日 (2007.10.3)(71) 出願人 000002185  
ソニー株式会社  
東京都港区港南1丁目7番1号  
(74) 代理人 100098785  
弁理士 藤島 洋一郎  
(74) 代理人 100109656  
弁理士 三反崎 泰司  
(74) 代理人 100130915  
弁理士 長谷部 政男  
(72) 発明者 平田 照二  
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株  
式会社内  
(72) 発明者 朝妻 庸紀  
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株  
式会社内

最終頁に続く

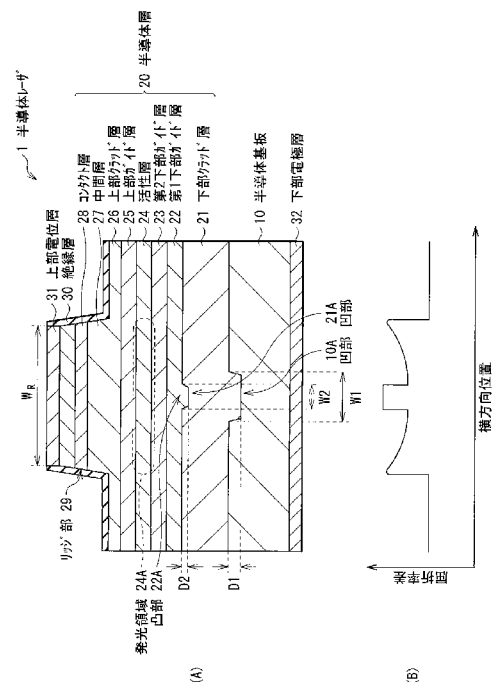
(54) 【発明の名称】 半導体レーザおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 NFPを安定で均一な形状にすることの可能な半導体レーザを提供する。

【解決手段】 半導体層20の上部に帯状のリッジ部24を備え、半導体層20のうちリッジ部24との対応領域に、延在方向に向けて延在する帯状の凸部22Aを有する。これにより、活性層24で発光した光が、リッジ部24および凸部22Aによって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波するので、リッジ部24および凸部22Aの双方の導波機構の相互作用により、横モードを安定化し、フィラメント発光を抑制することができる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

半導体基板上に、活性層と、前記活性層へ注入される電流を狭窄する 1 または複数の帯状の電流狭窄構造と、前記電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する 1 または複数の帯状の凸部とを含む積層構造を備えた

ことを特徴とする半導体レーザ。

## 【請求項 2】

前記積層構造は、第 1 導電型半導体層、前記活性層および第 2 導電型半導体層を前記半導体基板側からこの順に有し、

前記凸部は、前記第 1 導電型半導体層および前記第 2 導電型半導体層の少なくとも一方の内部に形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 3】

前記凸部が、前記第 1 導電型半導体層の内部に形成されている場合には、前記半導体基板側に突出しており、前記第 2 導電型半導体層の内部に形成されている場合には、前記半導体基板とは反対側に突出している

ことを特徴とする請求項 2 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 4】

前記凸部の高さは、50 nm 以上 100 nm 以下であり、

前記凸部の幅は、2  $\mu$ m 以上 5  $\mu$ m 以下である

ことを特徴とする請求項 3 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 5】

前記半導体基板は、前記凸部に対応する領域に、前記凸部の高さよりも深く、かつ前記凸部の幅よりも広い帯状の凹部を有している

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 6】

前記凹部の深さは、100 nm 以上 200 nm 以下であり、

前記凹部の幅は、5  $\mu$ m 以上 10  $\mu$ m 以下である

ことを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 7】

前記活性層は、凹凸の無い平坦な面内に形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 8】

前記凸部は、前記電流狭窄構造の幅方向における中央部分との対向領域に形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 9】

前記凸部が複数形成され、

前記凸部同士の間隔は、前記電流狭窄構造の幅よりも狭い

ことを特徴とする請求項 8 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 10】

前記凸部は、前記電流狭窄構造の幅方向における中央部分との対向領域を挟み込む一対の領域に形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 11】

前記凸部が複数形成されると共に、前記対向領域を挟み込む一対の領域の双方に形成され、

前記一対の領域の一方に形成された前記凸部と、前記一対の領域の他方に形成された前記凸部との間の間隔は、前記電流狭窄構造の幅よりも広い

ことを特徴とする請求項 10 に記載の半導体レーザ。

10

20

30

40

50

## 【請求項 12】

前記凸部が複数形成されると共に、前記対向領域を挟み込む一对の領域の双方に形成され、

前記一对の領域の一方に形成された前記凸部と、前記一对の領域の他方に形成された前記凸部との間の間隔は、前記電流狭窄構造の幅と略等しい

ことを特徴とする請求項 10 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 13】

前記凸部は、前記電流狭窄構造の幅方向の中心軸に関して線対称に形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 14】

前記凸部は、前記電流狭窄構造の延在方向と平行な方向に延在して形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 15】

前記凸部は、前記電流狭窄構造の延在方向と交差する方向に延在して形成されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 16】

前記電流狭窄構造は、リッジ形状となっている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 17】

前記電流狭窄構造は、電流注入領域を一对の高抵抗領域で挟んだ構造となっている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 18】

1 または複数の帯状の凹部を前記半導体基板の表面に形成する凹部形成工程と、

前記凹部の形成された前記半導体基板の前記凹部側の表面上に、第 1 導電型半導体層、活性層および第 2 導電型半導体層を順に形成することにより、前記第 1 導電型半導体層の内部のうち前記活性層側の前記凹部との対応領域に帯状の凸部を形成する凸部形成工程と

、前記第 2 導電型半導体層の上部に、前記活性層へ注入される電流を狭窄する電流狭窄構造を、前記凹部の延在方向に向けて延在して形成する電流狭窄構造形成工程と

を含むことを特徴とする半導体レーザの製造方法。

## 【請求項 19】

前記凹部形成工程において、結晶成長法を用いて前記半導体基板上に前記第 1 導電型半導体層および前記活性層を順に形成したときに前記活性層が凹凸の無い平坦な面内に形成される程度の深さおよび幅を有する 1 または複数の帯状の凹部を前記半導体基板の表面に形成する

ことを特徴とする請求項 18 に記載の半導体レーザの製造方法。

## 【請求項 20】

活性層と、前記活性層へ注入される電流を狭窄する 1 または複数の帯状の電流狭窄構造とを含む積層構造を備え、

前記電流狭窄構造は、リッジ形状となっており、そのリッジ形状の上部に、当該電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する 1 または複数の帯状の凹部を有する

ことを特徴とする半導体レーザ。

## 【請求項 21】

前記凹部の幅は、 $2\ \mu\text{m}$  以上  $5\ \mu\text{m}$  以下である

ことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 22】

前記凹部の深さは、前記電流狭窄構造の高さと略等しいか、またはそれよりも浅い

ことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 23】

前記凹部は、前記電流狭窄構造の幅方向における中央部分に形成されている

ことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体レーザ。

【請求項 24】

前記凹部が複数形成され、

前記凹部同士の間隔は、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下である

ことを特徴とする請求項 23 に記載の半導体レーザ。

【請求項 25】

前記凹部は、前記電流狭窄構造の幅方向における中央部分を除く部分に形成されている

ことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体レーザ。

【請求項 26】

前記凹部が複数形成されると共に、前記中央部分を挟み込む一対の領域の双方に形成され、

前記中央部分を挟み込む一対の領域の一方に形成された前記凹部と、前記電流狭窄構造の上部の幅方向における一方の端縁との間の間隔は、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、

前記中央部分を挟み込む一対の領域の他方に形成された前記凹部と、前記電流狭窄構造の上部の幅方向における他方の端縁との間の間隔は、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下である

ことを特徴とする請求項 25 に記載の半導体レーザ。

【請求項 27】

前記凹部は、前記電流狭窄構造の幅方向の中心軸に関して線対称に形成されている

ことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体レーザ。

【請求項 28】

前記凹部は、前記電流狭窄構造の延在方向と平行な方向に延在して形成されている

ことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体レーザ。

【請求項 29】

前記凹部は、前記電流狭窄構造の延在方向と交差する方向に延在して形成されている

ことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体レーザ。

【請求項 30】

前記凹部が複数形成され、

前記各凹部は、前記電流狭窄構造の幅方向に配列されると共に前記電流狭窄構造の延在方向に配列されている

ことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体レーザ。

【請求項 31】

前記各凹部は、不均一に配置されている

ことを特徴とする請求項 30 に記載の半導体レーザ。

【請求項 32】

活性層と、前記活性層へ注入される電流を狭窄する 1 または複数の帯状の電流狭窄構造とを含む積層構造を備え、

前記電流狭窄構造は、帯状の電流注入領域を一対の高抵抗領域で挟んだ構造となっており、かつ前記電流注入領域の幅方向における中央部分に、前記電流注入領域の延在方向に向けて延在する 1 または複数の帯状の凹部を有する

ことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 33】

前記凹部の幅は、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下である

ことを特徴とする請求項 32 に記載の半導体レーザ。

【請求項 34】

前記凹部が複数形成され、

前記凹部同士の間隔は、 $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以下である

ことを特徴とする請求項 32 に記載の半導体レーザ。

【請求項 35】

前記凹部は、前記電流注入領域の幅方向の中心軸に関して線対称に形成されている

ことを特徴とする請求項 32 に記載の半導体レーザ。

10

20

30

40

50

## 【請求項 36】

前記凹部は、前記電流注入領域の延在方向と平行な方向に延在して形成されていることを特徴とする請求項 32 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 37】

前記凹部は、前記電流注入領域の延在方向と交差する方向に延在して形成されていることを特徴とする請求項 32 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 38】

前記凹部が 2 つ形成され、  
前記凹部同士の間隔は、前記電流注入領域の延在方向において一定となっていることを特徴とする請求項 32 に記載の半導体レーザ。

10

## 【請求項 39】

前記凹部が 2 つ形成され、  
前記凹部同士の間隔は、前記電流注入領域の延在方向において、主として光が射出される方向に向かうにつれて広がっていることを特徴とする請求項 32 に記載の半導体レーザ。

## 【請求項 40】

前記凹部が 2 つ形成され、  
前記凹部同士の間隔は、前記電流注入領域の延在方向において一定となっており、  
前記電流注入領域の幅は、主として光が射出される方向に向かうにつれて広がっていることを特徴とする請求項 32 に記載の半導体レーザ。

20

## 【請求項 41】

活性層と、前記活性層へ注入される電流を狭窄する 1 または複数の帯状の電流狭窄構造とを含む積層構造を備え、  
前記電流狭窄構造は、リッジ形状となっており、そのリッジ形状の上部に、前記電流狭窄構造の上部の幅よりも狭い幅のコンタクト層を有することを特徴とする半導体レーザ。

## 【請求項 42】

前記積層構造は、前記電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する 1 または複数の帯状の凸部を有することを特徴とする請求項 41 に記載の半導体レーザ。

30

## 【請求項 43】

前記電流狭窄構造は、前記コンタクト層および前記コンタクト層の直下の部分に、当該電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する 1 または複数の帯状の凹部を有することを特徴とする請求項 41 に記載の半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、1 または複数の電流狭窄構造を有する半導体レーザに係り、特に高出力の用途に好適なブロードエリア型の半導体レーザおよびその製造方法に関する。

40

## 【背景技術】

## 【0002】

導波路の幅、すなわちストライプ幅を広げた、いわゆるブロードエリア型の半導体レーザは、小型・高信頼性で低コストな高出力レーザ光源として、ディスプレイ、印刷機器、光ディスク初期化装置、材料の加工または医療などさまざまな分野に利用されている。一般に、ブロードエリア型と呼ばれる半導体レーザでは、ストライプ幅が少なくとも  $5\ \mu\text{m}$  以上で、そのほとんどは  $10\ \mu\text{m}$  以上、最大で数百  $\mu\text{m}$  程度となっている。なお、ブロードエリア型の半導体レーザに関する技術としては、例えば、特許文献 1 に記載されたものが知られている。

## 【0003】

50

【特許文献１】特開２００３－６０２８８号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

しかし、ブロードエリア型の半導体レーザでは、任意の高次モードが発生し、さらにフィラメント発光が生じることもあることから、NFPの制御が難しく、安定で均一な形状（トップハット形状）を得ることは容易ではない。そのため、ある条件においてNFPが安定で均一となっていたとしても、温度や、注入電流、パワーなどが変化すると、NFPが揺らぎ易く、不均一な形状となり易い。

【０００５】

従って、安定で均一なNFPが要求される用途、例えばディスプレイに対してブロードエリア型の半導体レーザを適用した場合には、ちらつきが生じたり、明るさが画面内で不均一となるなど、表示品質が低下してしまう虞がある。

【０００６】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、NFPを安定で均一な形状にすることの可能な半導体レーザおよびそ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】

【０００７】

本発明の第１の半導体レーザは、半導体基板上に、活性層と、１または複数の帯状の電流狭窄構造と、電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する１または複数の帯状の凸部とを含む積層構造を備えている。

【０００８】

本発明の第１の半導体レーザでは、電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する１または複数の帯状の凸部が積層構造内に設けられている。これにより、活性層で発光した光が、電流狭窄構造および凸部によって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波する。

【０００９】

本発明の第２半導体レーザは、活性層と、活性層へ注入される電流を狭窄する１または複数の帯状の電流狭窄構造とを含む積層構造を備えたものである。電流狭窄構造は、リッジ形状となっており、そのリッジ形状の上部に、当該電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する１または複数の帯状の凹部を有している。

【００１０】

本発明の第２の半導体レーザでは、リッジ形状となっている電流狭窄構造の上部に、当該電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する１または複数の帯状の凸部が設けられている。これにより、活性層で発光した光が、電流狭窄構造および凸部によって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波する。

【００１１】

本発明の第３半導体レーザは、活性層と、活性層へ注入される電流を狭窄する１または複数の帯状の電流狭窄構造とを含む積層構造を備えたものである。電流狭窄構造は、帯状の電流注入領域を一对の高抵抗領域で挟んだ構造となっており、かつ電流注入領域の幅方向における中央部分に、電流注入領域の延在方向に向けて延在する１または複数の帯状の凹部を有している。

【００１２】

本発明の第３の半導体レーザでは、電流狭窄構造が帯状の電流注入領域を一对の高抵抗領域で挟んだ構造となっており、また、電流注入領域の幅方向における中央部分に、電流注入領域の延在方向に向けて延在する１または複数の帯状の凹部が設けられている。これにより、活性層で発光した光が、電流狭窄構造および凹部によって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波する。

【００１３】

本発明の第４半導体レーザは、活性層と、活性層へ注入される電流を狭窄する１または

10

20

30

40

50

複数の帯状の電流狭窄構造とを含む積層構造を備えたものである。電流狭窄構造は、リッジ形状となっており、そのリッジ形状の上部に、電流狭窄構造の上部の幅よりも狭い幅のコンタクト層を有している。

【 0 0 1 4 】

本発明の第 4 の半導体レーザでは、リッジ形状となっている電流狭窄構造の上部に、電流狭窄構造の上部の幅よりも狭い幅のコンタクト層が設けられている。これにより、活性層で発光した光が、電流狭窄構造と、コンタクト層を介して注入される電流分布とによって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波する。

【 0 0 1 5 】

本発明の半導体レーザの製造方法は、以下の ( A ) ~ ( C ) の各工程を含むものである

10

( A ) 1 または複数の帯状の凹部を半導体基板の表面に形成する凹部形成工程

( B ) 凹部の形成された半導体基板の凹部側の表面上に、第 1 導電型半導体層、活性層および第 2 導電型半導体層を順に形成することにより、第 1 導電型半導体層の内部のうち活性層側の凹部との対応領域に帯状の凸部を形成する凸部形成工程

( C ) 第 2 導電型半導体層の上部に、活性層へ注入される電流を狭窄する電流狭窄構造を、凹部の延在方向に向けて延在して形成する電流狭窄構造形成工程

【 0 0 1 6 】

本発明の半導体レーザの製造方法では、電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する 1 または複数の帯状の凸部が、半導体基板の表面に形成された凹部を利用して第 1 導電型半導体層内に形成される。これにより、活性層で発光した光が、電流狭窄構造および凸部によって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波する。

20

【 発明の効果 】

【 0 0 1 7 】

本発明の第 1 および第 2 の半導体レーザならびに半導体レーザの製造方法によれば、活性層で発光した光が、電流狭窄構造および凸部によって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波するようにしたので、電流狭窄構造および凸部の双方の導波機構の相互作用により、横モードを安定化し、フィラメント発光を抑制することができる。これにより、NFP を安定で均一な形状にすることができる。

【 0 0 1 8 】

30

本発明の第 3 の半導体レーザによれば、活性層で発光した光が、電流狭窄構造および凹部によって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波するようにしたので、電流狭窄構造および凹部の双方の導波機構の相互作用により、横モードを安定化し、フィラメント発光を抑制することができる。これにより、NFP を安定で均一な形状にすることができる。

【 0 0 1 9 】

本発明の第 4 の半導体レーザによれば、活性層で発光した光が、電流狭窄構造と、コンタクト層を介して注入される電流分布とによって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって導波するようにしたので、電流狭窄構造と、コンタクト層を介して注入される電流分布との双方の導波機構の相互作用により、横モードを安定化し、フィラメント発光を抑制することができる。これにより、NFP を安定で均一な形状にすることができる。

40

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 0 】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【 0 0 2 1 】

[ 第 1 の実施の形態 ]

図 1 ( A ) は、本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体レーザ 1 の断面構成を表したものである。図 1 ( B ) は、図 1 の半導体レーザ 1 の屈折率分布を表したものである。図 2 は、図 1 の半導体レーザ 1 の上面構成の一例を表したものである。なお、図 1 ( A ) は、図 2 の A - A 矢視方向の断面構成図に対応している。この半導体レーザ 1 は、半導体基板

50

10 上に形成された半導体層 20 (積層構造) の上部にリッジ部 29 (電流狭窄構造) を備えたインデックスガイド型のレーザであり、リッジ部 29 の幅  $W_R$  の広い (少なくとも  $5\mu\text{m}$  以上の) ブロードエリア型のレーザである。

【0022】

半導体層 20 は、下部クラッド層 21、第 1 下部ガイド層 22、第 2 下部ガイド層 23、活性層 24、上部ガイド層 25、上部クラッド層 26、中間層 27、コンタクト層 28 を半導体基板 10 側からこの順に積層して構成されている。リッジ部 29 は、半導体層 20 の上部、具体的には、上部クラッド層 26 の上部、中間層 27 およびコンタクト層 28 に設けられており、レーザ光の射出方向 (軸方向) に延在するストライプ状の凸形状を有している。なお、以下では、上記半導体層 20 を構成する各層を積層した方向を縦方向と称し、軸方向および縦方向に垂直な方向を横方向と称する。

10

【0023】

ここで、半導体基板 10 は、例えば n 型 GaAs からなり、半導体層 20 側の表面に凹部 10A を有する加工基板である。なお、n 型不純物は、例えばケイ素 (Si) またはセレン (Se) などである。

【0024】

凹部 10A は、リッジ部 29 との対応領域 (対向領域) 内に、リッジ部 29 の延在方向に向けて延在して形成されている。この凹部 10A は、後述の製造工程において結晶成長法を用いて半導体基板 10 上に下部クラッド層 21、第 1 下部ガイド層 22、第 2 下部ガイド層 23、活性層 24 を順に形成したときに活性層 24 が凹凸の無い平坦な面内に形成される程度の深さおよび幅を有していることが好ましく、 $100\text{nm}$  以上  $200\text{nm}$  以下の深さ  $D_1$  を有すると共に、 $5\mu\text{m}$  以上  $10\mu\text{m}$  以下の幅  $W_1$  (開口部分の幅) を有していることが好ましい。また、凹部 10A は、図 2 に示したように、リッジ部 29 の延在方向 (軸方向) と平行な方向に延在して形成されていることが好ましいが、図 3 に示したように、リッジ部 29 との対向領域において、リッジ部 29 の延在方向 (軸方向) と交差する方向に延在して形成されていてもよい。また、凹部 10A は、図 2 に示したように、リッジ部 29 の幅方向 (横方向) における中央部分との対向領域に形成されていることが好ましいが、リッジ部 29 の幅方向 (横方向) における中央部分との対向領域以外の領域に形成されていてもよい。

20

【0025】

下部クラッド層 21 は、例えば n 型 AlInP からなり、半導体基板 10 の凹部 10A に対応する領域に、凹部 10A の深さ  $D_1$  よりも浅く、かつ凹部 10A の幅  $W_1$  よりも狭い帯状の凹部 21A を有している。凹部 21A は、後述の凸部 22A と共に構成されるリブ (rib) 構造によって、リッジ部 29 による横方向の実効的な屈折率分布に変化を生じさせる深さ  $D_2$  および幅  $W_2$  となっており、深さ  $D_2$  が  $50\text{nm}$  以上  $100\text{nm}$  以下、幅  $W_1$  (開口部分の幅) が  $5\mu\text{m}$  以上  $10\mu\text{m}$  以下となっていることが好ましい。

30

【0026】

ここで、凹部 21A は、後述の製造工程において半導体基板 10 上に半導体材料を結晶成長させたときに、凹部 10A の影響を受けて形成されたものであることから、凹部 21A の深さ  $D_1$  および幅  $W_2$  は、下部クラッド層 21 の厚さを調整したり、凹部 10A の深さ  $D_1$  および幅  $W_1$  を調整することにより所望の範囲内に設定することが可能である。なお、凹部 10A の深さ  $D_1$  を  $100\text{nm}$  以上  $200\text{nm}$  以下、幅  $W_1$  を  $5\mu\text{m}$  以上  $10\mu\text{m}$  以下とした場合には、下部クラッド層 21 を、半導体基板 10 に凹部 10A を設けていない従来タイプのもので同等の厚さにすることが可能である。

40

【0027】

また、凹部 21A は、上記したように、凹部 10A の影響を受けて形成されることから、凹部 10A の延在方向と平行な方向に延在して形成されている。従って、凹部 10A が、図 2 に示したように、リッジ部 29 の幅方向における中央部分との対向領域に形成されている場合には、凹部 21A もリッジ部 29 の幅方向における中央部分との対向領域に形成され、凹部 10A が、図 3 に示したように、リッジ部 29 との対向領域において、リッ

50



ジ部 2 9 の延在方向と交差する方向に延在して形成されている場合には、凹部 2 1 A もリッジ部 2 9 の延在方向と交差する方向に延在して形成されることになる。

【 0 0 2 8 】

第 1 下部ガイド層 2 2 は、例えば n 型 A l G a I n P からなり、半導体基板 1 0 の凹部 1 0 A に対応する領域に、凹部 1 0 A の深さ  $D_1$  よりも低く、かつ凹部 1 0 A の幅  $W_1$  よりも狭い帯状の凸部 2 2 A を有している。凸部 2 2 A は、下部クラッド層 2 1 の凹部 2 1 A を埋め込むようにして形成されている。そのため、凸部 2 2 A は、半導体基板 1 0 側（活性層 2 4 とは反対側）に突出した凸形状となっており、凹部 1 0 A の延在方向と平行な方向に延在して形成されている。また、凸部 2 2 A は、凹部 2 1 A と共に構成されるリブ構造によって、リッジ部 2 9 による横方向の実効的な屈折率分布に変化を生じさせる高さ（ $= D_2$ ）および幅（ $= W_2$ ）となっており、高さが 5 0 n m 以上 1 0 0 n m 以下、幅（凸形状の付け根部分の幅）が 5  $\mu$  m 以上 1 0  $\mu$  m 以下となっていることが好ましい。また、リブ構造において、下部クラッド層 2 1 側の屈折率と第 1 下部ガイド層 2 2 側の屈折率との差（屈折率差）は、0 . 1 以上となっていることが好ましい。

10

【 0 0 2 9 】

第 2 下部ガイド層 2 3 は、例えば n 型 A l G a I n P からなり、凸部 2 2 A の直上においても凹凸のほとんど無い平坦な形状となっている。

【 0 0 3 0 】

活性層 2 4 は、例えばアンドープの G a I n P からなり、後述の製造工程において平坦な第 2 下部ガイド層 2 3 上に形成されたものである。従って、活性層 2 4 についても凹凸のほとんど無い平坦な形状となっている。この活性層 2 4 において、リッジ部 2 9 との対向領域が発光領域 2 4 A となる。発光領域 2 4 A は、対向するリッジ部 2 9 の底部（上部クラッド層 2 6 の部分）と同等の大きさのストライプ幅を有しており、リッジ部 2 9 で狭窄された電流が注入される電流注入領域に対応している。

20

【 0 0 3 1 】

上部ガイド層 2 5 は、例えば p 型 A l G a I n P からなり、活性層 2 4 と同様、凹凸のほとんど無い平坦な形状となっている。なお、p 型不純物は、亜鉛（Z n）、マグネシウム（M g）、ベリリウム（B e）などである。

【 0 0 3 2 】

上部クラッド層 2 6 は、例えば p 型 A l I n P からなる。中間層 2 7 は、例えば p 型 G a I n P からなる。また、コンタクト層 2 8 は、例えば p 型 G a A s からなる。ここで、上記したように、上部クラッド層 2 6 の上部、中間層 2 7 およびコンタクト層 2 8 によってリッジ部 2 9 が構成されており、リッジ部 2 9 の上面全体に渡ってコンタクト層 2 8 が形成されている。

30

【 0 0 3 3 】

また、この半導体レーザ 1 には、リッジ部 2 9（コンタクト層 2 8）の上面に上部電極層 3 1 が形成されており、リッジ部 2 9 の側面と、上部クラッド層 2 6 のうちリッジ部 2 9 の形成されていない表面とに渡って絶縁層 3 0 が形成されている。なお、上部電極層 3 1 は、絶縁層 3 0 の表面上にまで延在して形成されていてもよい。また、半導体基板 1 0 の裏面（半導体層 2 0 とは反対側の表面）には、下部電極層 3 2 が形成されている。

40

【 0 0 3 4 】

ここで、絶縁層 3 0 は、例えばシリコン酸化物（S i O<sub>2</sub>）からなる。上部電極層 3 1 は、例えば、チタン（T i）、白金（P t）および金（A u）をコンタクト層 2 8 上にこの順に積層したものであり、コンタクト層 2 8 と電氣的に接続されている。また、下部電極層 3 2 は、例えば、金（A u）とゲルマニウム（G e）との合金、ニッケル（N i）および金（A u）とを n 型コンタクト層 3 8 側からこの順に積層した構造を有しており、半導体基板 1 0 と電氣的に接続されている。

【 0 0 3 5 】

このような構成の半導体レーザ 1 は、例えば次のようにして製造することができる。

【 0 0 3 6 】

50

まず、半導体基板 10 の表面に、所定の幅および深さを有する帯状の凹部 10 A を形成する。次に、結晶成長法を用いて、半導体基板 10 の凹部 10 A 側の表面上に、下部クラッド層 21、第 1 下部ガイド層 22、第 2 下部ガイド層 23、活性層 24、上部ガイド層 25、上部クラッド層 26、中間層 27、コンタクト層 28 を半導体基板 10 側からこの順に積層する。これにより、活性層 24 直下の第 1 下部ガイド層 22 に、凹部 10 A との対応領域（対向領域）に帯状の凸部 22 A が形成されると共に、平坦な第 2 下部ガイド層 23 上に活性層 24 が形成される。次に、例えばドライエッチング法を用いて、上部クラッド層 26 の上部、中間層 27 およびコンタクト層 28 を選択的にエッチングする。これにより、半導体層 20 の上部にリッジ部 29 が形成される。その後、絶縁層 30、上部電極層 31、下部電極層 32 を形成したのち、半導体基板 10 をリッジ部 29 の延在方向と直交する方向にへき開して前端面  $S_1$  および後端面  $S_2$  を形成する。このようにして、本実施の形態の半導体レーザ 1 が製造される。

10

#### 【0037】

次に、本実施の形態の半導体レーザ 1 の作用について説明する。半導体レーザ 1 では、下部電極層 32 と上部電極層 31 との間に所定の電圧が印加されると、リッジ部 29 により電流狭窄され、活性層 24 の電流注入領域（発光領域 24 A）に電流が注入され、これにより電子と正孔の再結合による発光が生じる。この光は、リッジ部 29 および凸部 22 A によって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって半導体層 20 内を導波すると共に、リッジ部 29 の延在方向（軸方向）において対向する、一對のへき開面（前端面  $S_1$ 、後端面  $S_2$ ）（図 2 参照）により反射される。そして、一對のへき開面の間を往復するうちに所定の波長でレーザ発振が生じ、レーザビームとしてへき開面から外部に射出される。

20

#### 【0038】

ところで、リッジ構造を備えた一般的な半導体レーザでは、活性層の発光領域で発光した光は、リッジ構造による横方向の屈折率差によって、光導波路内に横方向から閉じ込められる。このとき、リッジ幅の狭い（ $5\mu\text{m}$  未満の）ナローストライプ型の場合には、横方向の屈折率分布はインデックスガイド型（図 25（A）参照）となる。しかし、リッジ幅の広いブロードエリア型の場合には、図 25（B）に示したように、発光領域への電流注入によるプラズマ効果によって、リッジ構造によって形成された横方向の屈折率分布の中央領域の屈折率が減少し、屈折率分布の中央領域が下に湾曲してしまう。そのため、この場合には、横方向の屈折率分布は全領域においてインデックスガイド型とはならず、中央領域において弱いアンチガイド的な要素のあるゲインガイド型となっている。このように、導波機構が、インデックスガイド型の中央領域にゲインガイド型が複合された導波型（ブロードエリア型の導波型）となっている場合には、両端におけるインデックスモードと、中央領域におけるゲインモードとによって形成される横モードの協同的な相互作用によって NFP が決定されるので、双方のモードを適切に調和させながら全体的なモードをスムーズに確立させることが重要となる（T.Asatsuma et al., Proceedings of SPIE, Vol. 61040C(2006) 参照）。

30

#### 【0039】

例えば、リッジ構造の横方向における両端の屈折率差を所定の範囲内（例えば 0.005 程度）とすることにより、NFP をトップハット形状に近づける方策が知られている。しかし、この方策では、広い中央領域のゲイン領域を十分に制御することができないので、注入電流や温度の変化によって横モードが変化してしまう場合がある（D.Imanishi et al., Electronics Letters, 41 (2005) pp1172 参照）。

40

#### 【0040】

一方、本実施の形態では、リッジ部 29 の延在方向に向けて延在する帯状の凸部 22 A が半導体層 20 の光導波領域内（第 2 下部ガイド層 23）に設けられている。これにより、図 1（B）に示したように、広い中央領域のゲイン領域に、凸部 22 A によって形成されるナローストライプのインデックスガイドが導入されるので、凸部 22 A によってインデックスガイド的な横モードが生じると、ゲイン領域において横モードが誘起され、凸部

50

22Aによって形成される中央領域のインデックス領域において生じる横モードが、ゲイン領域において誘起される横モードと融合し、中央領域のインデックスガイドがゲイン領域において誘起される横モードを制御する。また、両端のインデックス領域において横モードが生じると、ゲイン領域の横モードと融合し、両端のインデックスガイドが全体のNFPの幅を所定の範囲内に規定する。このようにして、凸部22Aに対応したインデックス領域で生じた横モード、ゲイン領域で生じた横モード、および両端のインデックス領域で生じた横モードとが互いに協同的に融合するので、ゲイン領域において生じる横モードが自由度を失い、規定され易くなり、その結果、全体として安定かつ均一なNPFを形成することができる。

#### 【0041】

また、凸部22Aが、図2に示したように、リッジ部29の幅方向（横方向）における中央部分との対向領域に形成されている場合には、インデックスガイド誘起モードのストライプとゲインガイド誘起モードのストライプとが互いに並行となるので、これらのモードがスムーズにつながりやすいという利点がある。また、凸部22Aが、図3に示したように、リッジ部29との対向領域において、リッジ部29の延在方向（軸方向）と交差する方向に延在して形成されている場合には、全体の横モードで特定の空間周期のピークが発生することが抑制され、多くのモードが共存することにより全体としてトップハット形状を形成し易くなることもある。

#### 【0042】

#### [第1の実施の形態の変形例]

上記実施の形態では、凸部22A（凹部21A、凹部10A）が1つだけ形成されていたが、例えば図4（A）に示したように中央領域内に2つ形成されていてもよいし、3つ以上形成されていてもよい。なお、凸部22A（凹部21A、凹部10A）を中央領域内に2つ形成した場合の屈折率分布は、例えば図4（B）のようになる。

#### 【0043】

また、上記実施の形態では、凸部22Aが半導体基板10側に突出して形成されていたが、半導体基板10上に凹部10Aの代わりに凸部を設け、それに対応して第1下部ガイド層22の半導体基板10側の界面に凹部を設けてもよい。この場合には、第1下部ガイド層22の凹部に対応して下部クラッド層21の第1下部ガイド層22側の界面に、活性層24側に突出した凸形成を形成することができる。

#### 【0044】

#### [第2の実施の形態]

図5（A）は、本発明の第2の実施の形態の半導体レーザ2の断面構成の一例を表したものである。図5（B）は、図1の半導体レーザ2の屈折率分布を表したものである。図6は、図5の半導体レーザ2の上面構成の一例を表したものである。なお、図5（A）は、図6のA-A矢視方向の断面構成図に対応している。この半導体レーザ2は、上記実施の形態と同様、半導体基板10上に形成された半導体層20（積層構造）の上部にリッジ部29（電流狭窄構造）を備えたインデックスガイド型のレーザであり、リッジ部29の幅 $W_R$ の広い（少なくとも $5\mu\text{m}$ 以上の）ブロードエリア型のレーザである。

#### 【0045】

この半導体レーザ2は、上記実施の形態において、凸部22A、凹部21Aおよび凹部10Aを設ける代わりに、リッジ部29に一对の凹部33を設けた点で、上記実施の形態の構成と相違する。そこで、以下では、上記実施の形態との相違点について詳細に説明し、上記実施の形態との共通点についての説明を適宜省略するものとする。

#### 【0046】

本実施の形態では、リッジ部29には、上記したように、一对の凹部33が形成されており、リッジ部29の上部が3分割されている。なお、以下では、三分割された部分のうちリッジ部29の幅方向の両端に対応する部分をリッジ部29A、29Cと称し、これらリッジ部29A、29Cで挟まれた部分をリッジ部29Bと称するものとする。

#### 【0047】

凹部 33 は、リッジ部 29 の上面から所定の深さにまで達する溝であり、さらにリッジ部 29 の延在方向に向けて延在して形成されている。従って、リッジ部 29 A , 29 B , 29 C についても、リッジ部 29 の延在方向に向けて延在して形成されている。凹部 33 の深さ  $D_3$  および凹部 33 の横方向の幅  $W_3$  は、各リッジ部 29 A , 29 B , 29 C が全体として一つの導波機構を形成するような範囲内であればよく、例えば、深さ  $D_3$  がリッジ部 29 の高さ  $D_4$  と等しいか、またはそれよりも浅くなっていることが好ましく、幅  $W_3$  が  $2\ \mu\text{m}$  以上  $5\ \mu\text{m}$  以下となっていることが好ましい。

#### 【0048】

凹部 33 は、図 5 (A)、図 6 に示したように、リッジ部 29 の延在方向と平行な方向に延在して形成されていることが好ましいが、図 7 に示したように、リッジ部 29 の延在方向と交差する方向に延在して形成されていてもよい。また、凹部 33 は、図 5 (A) に示したように、リッジ部 29 の幅方向における中央部分に形成されていてもよいが、リッジ部 29 の幅方向における中央部分以外の部分に形成されていてもよい。例えば、図 8 (A) に示したように、リッジ部 29 の幅方向においておおむね三等分する位置に形成されていてもよいし、例えば、図 9 (A) に示したように、リッジ部 29 の幅方向の両端部近傍に形成されていてもよい。なお、図 8 (B) は図 8 (A) の半導体レーザの屈折率分布を、図 9 (B) は図 9 (A) の半導体レーザの屈折率分布をそれぞれ表したものである。

#### 【0049】

ところで、各リッジ部 29 A , 29 B , 29 C は凹部 33 によって分離されており、各リッジ部 29 A , 29 B , 29 C から活性層 24 に対して狭窄電流を注入するようになっている。また、リッジ部 29 A , 29 B , 29 C の各上面には、上部電極層 31 が設けられており、リッジ部 29 A , 29 B , 29 C の各上面が上部電極層 31 を介して電氣的に接続されている。従って、リッジ部 29 A , 29 B , 29 C は回路的には上部電極層 31 と下部電極層 32 との間に並列接続されていると言える。しかし、各リッジ部 29 A , 29 B , 29 C は上で例示したように深さ  $D_3$  が浅く幅  $W_3$  が狭い凹部 33 で分離されているだけなので、各リッジ部 29 A , 29 B , 29 C の電流注入領域の一部が互いに重なり合っており、結果的に一つの発光領域 24 A を構成する。従って、リッジ部 29 A , 29 B , 29 C は、全体として一つの導波機構を半導体層 20 内に形成する。

#### 【0050】

例えば、凹部 33 が、図 5 (A) に示したように、リッジ部 29 の幅方向における中央部分に形成されている場合には、リッジ部 29 の中央領域に形成されたリッジ部 29 B の幅  $W_5$  は、ナローストライプ型の半導体レーザのストライプ幅と同等の幅 ( $5\ \mu\text{m}$  未満) となり、リッジ部 29 の中央領域以外の領域に形成されたリッジ部 29 A , 29 C の幅  $W_4$  ,  $W_6$  は、ブロードエリア型の半導体レーザのストライプ幅と同等の幅 (少なくとも  $5\ \mu\text{m}$  以上) となる。これにより、図 5 (B) に示したように、リッジ部 29 A の外側の端部とリッジ部 29 C の外側の端部とにより形成される幅  $W_R$  のブロードエリア型の導波型の間に、リッジ部 29 B によって形成されるナローストライプのインデックスガイドが導入されるので、リッジ部 29 B によって形成される中央領域のインデックス領域において生じる横モードが、幅  $W_R$  のブロードエリア型の導波型に含まれるゲイン領域において生じる横モードと融合し、中央領域のインデックスガイドがゲイン領域において生じる横モードを制御する。また、両端のインデックス領域において横モードが生じると、ゲイン領域の横モードと融合し、両端のインデックスガイドが全体の NFP の幅を所定の範囲内に規定する。このようにして、各リッジ部 29 A , 29 B , 29 C で生じた横モードが互いに協同的に融合するので、ゲイン領域において生じる横モードが自由度を失い、規定され易くなり、その結果、全体として安定かつ均一な NFP を形成することができる。

#### 【0051】

また、例えば、凹部 33 が、図 8 (A) に示したように、リッジ部 29 の幅方向においておおむね三等分する位置に形成されている場合には、三等分された各リッジ部 29 A , 29 B , 29 C の幅  $W_4$  ,  $W_5$  ,  $W_6$  は、幅の比較的狭いブロードエリア型の半導体レーザのストライプ幅と同等の幅 ( $10\ \mu\text{m}$  以上  $30$  以下程度の幅) となる。これにより、図

8 ( B ) に示したように、各リッジ部 2 9 A , 2 9 B , 2 9 C に対応して、比較的狭いブロードエリアのインデックスガイドが形成されるので、各リッジ部 2 9 A , 2 9 B , 2 9 C によって形成される横モードが互いに融合し、全体として安定かつ均一な N P F を形成することができる。

【 0 0 5 2 】

なお、各リッジ部 2 9 A , 2 9 B , 2 9 C の幅  $W_4$  ,  $W_5$  ,  $W_6$  を上記したように等間隔にしなくてもよく、例えば、リッジ部 2 9 B を相対的にやや狭くして、横モードのピッチを複数存在させ、それらの干渉 ( ビート周期 ) によって、全体として安定かつ均一な N P F を形成することも可能である。

【 0 0 5 3 】

また、例えば、凹部 3 3 が、図 9 ( A ) に示したように、リッジ部 2 9 の幅方向の両端部近傍に形成されている場合には、リッジ部 2 9 の中央領域に形成されたリッジ部 2 9 B の幅  $W_5$  は、ブロードエリア型の半導体レーザのストライプ幅と同等の幅 ( 少なくとも  $5 \mu m$  以上 ) となり、リッジ部 2 9 の中央領域以外の領域に形成されたリッジ部 2 9 A , 2 9 C の幅  $W_4$  ,  $W_6$  は、ナローストライプ型の半導体レーザのストライプ幅と同等の幅 (  $5 \mu m$  未満 ) となる。

【 0 0 5 4 】

ここで、一般に、リッジ部によってインデックスガイド構造を形成したブロードエリア型の半導体レーザでは、リッジ部の幅方向の両端のインデックス領域の横モードが中央領域のゲイン領域の横モードよりも先に発振する傾向があり、発振の初期 ( 注入電流量の小さな時期 ) には、両端のインデックス領域の横モードが強い、両角モードとなることが多い。また、単独のリッジ部によってインデックスガイド構造が形成されている場合には、インデックスガイドの実効的な幅は、中央領域のプラズマ効果の強度に応じて変化するので、この変化によって、両端のインデックスモードと中央領域のゲインモードとの調和がずれてきて、注入電流の大きさによってモードに大きなうねりが生じることがある。

【 0 0 5 5 】

しかし、本実施の形態では、凹部 3 3 を、リッジ部 2 9 の幅方向の両端部近傍に形成し、ブロードエリアのリッジ部 2 9 B の両脇に、ナローストライプのリッジ部 2 9 A , 2 9 C を設けたので、ブロードエリアのリッジ部 2 9 B から中央領域のゲイン領域に積極的に電流注入が行われ、ナローストライプのリッジ部 2 9 A , 2 9 C から両端のインデックス領域に注入する電流量が削減されるので、中央領域のゲイン領域の横モードの強度と、両端のインデックス領域の横モードの強度とのバランスを良くすることができる。これにより、両モード間の融合がよりスムーズとなるので、両端のインデックス領域の横モードがいびつになることを低減することができ、かつ、中央領域のゲインを大きくすることができる。また、両端のインデックスガイドによって、全体の N P F の幅を所定の範囲内に規定することもできる。その結果、全体として安定かつ均一な N P F を形成することができる。

【 0 0 5 6 】

[ 第 2 の実施の形態の変形例 ]

上記第 2 の実施の形態において、凹部 3 3 を、リッジ部 2 9 の幅方向の両端部近傍に形成し、ブロードエリアのリッジ部 2 9 B の両脇に、ナローストライプのリッジ部 2 9 A , 2 9 C を設けることにより、中央領域のゲイン領域の横モードの強度と、両端のインデックス領域の横モードの強度とのバランスを良くしていたが、例えば、図 1 0 ( A ) の半導体レーザ 3 に示したように、凹部 3 3 を設ける代わりに、リッジ部 2 9 のうちリッジ部 2 9 B の設けられている中央領域の上面にだけ帯状の電極 ( 上部電極 3 1 ) を設けるようにしてもよい。なお、図 1 0 ( A ) の半導体レーザ 3 の屈折率分布を図 8 ( B ) に示した。このようにした場合であっても、上部電極 3 1 から中央領域のゲイン領域に積極的に電流注入を行うと共に、かつ、両端のインデックス領域に注入する電流量を削減することができるので、全体として安定かつ均一な N P F を形成することができる。

【 0 0 5 7 】

なお、上記変形例において、図 1 1 ( 図 1 0 の上面構成の一例 ) に示したように、電極をリッジ部 2 9 の延在方向に平行に延在して形成してもよいし、図 1 2 ( 図 1 0 の上面構成の他の例 ) に示したように、電極をリッジ部 2 9 の延在方向と交差する方向に延在して形成してもよい。

【 0 0 5 8 】

[ 第 3 の実施の形態 ]

図 1 3 ( A ) は、本発明の第 3 の実施の形態に係る半導体レーザ 4 の断面構成を表したものである。図 1 3 ( B ) は、図 1 3 ( A ) の半導体レーザ 4 の屈折率分布を表したものである。図 1 4 は、図 1 3 ( A ) の半導体レーザ 4 の上面構成の一例を表したものである。なお、図 1 3 ( A ) は、図 1 4 の A - A 矢視方向の断面構成図に対応している。この半導体レーザ 4 は、上記第 1 の実施の形態のリッジ部 2 9 の代わりに、半導体層 2 0 ( 積層構造 ) の上部に、帯状の電極層 3 4 ( 電流注入領域 ) と、この電極層 3 4 を上部電極層 3 4 の幅方向から挟み込んだ一対の絶縁層 3 5 ( 高抵抗領域 ) とを備えたゲインガイド型のレーザであり、上部電極層 3 4 の幅  $W_s$  の広い ( 少なくとも  $5 \mu m$  以上の ) ブロードエリア型のレーザである。

10

【 0 0 5 9 】

この上部電極層 3 4 は、例えば、チタン ( Ti ) , 白金 ( Pt ) および金 ( Au ) をコンタクト層 2 8 上にこの順に積層したものであり、コンタクト層 2 8 と電氣的に接続されている。また、上部電極層 3 4 は、レーザ光の射出方向 ( 軸方向 ) に延在するストライプ状の平面形状となっており、一対の絶縁層 3 5 と共に電流狭窄構造をなしている。また、絶縁層 3 5 は、例えばシリコン酸化物 (  $SiO_2$  ) からなる。

20

【 0 0 6 0 】

また、本実施の形態において、凹部 1 0 A は、上部電極層 3 4 との対向領域 ( 対向領域 ) 内に、上部電極層 3 4 の延在方向に向けて延在して形成されている。この凹部 1 0 A は、図 1 4 に示したように、上部電極層 3 4 の延在方向 ( 軸方向 ) と平行な方向に延在して形成されていることが好ましいが、図 1 5 に示したように、上部電極層 3 4 との対向領域において、上部電極層 3 4 の延在方向と交差する方向に延在して形成されていてもよい。また、凹部 1 0 A は、図 1 4 に示したように、上部電極層 3 4 の幅方向 ( 横方向 ) における中央部分との対向領域に形成されていることが好ましいが、上部電極層 3 4 の幅方向 ( 横方向 ) における中央部分との対向領域以外の領域に形成されていてもよい。

30

【 0 0 6 1 】

下部クラッド層 2 1 の凹部 2 1 A は、凸部 2 2 A と共に構成されるリブ ( rib ) 構造によって、電流狭窄構造による横方向の実効的な屈折率分布に変化を生じさせる深さ  $D_2$  および幅  $W_2$  となっており、深さ  $D_2$  が  $50 nm$  以上  $100 nm$  以下、幅  $W_1$  ( 開口部分の幅 ) が  $5 \mu m$  以上  $10 \mu m$  以下となっていることが好ましい。

【 0 0 6 2 】

また、凹部 2 1 A は、図 1 4 に示したように、上部電極層 3 4 の幅方向における中央部分との対向領域に形成されている場合には、凹部 2 1 A も上部電極層 3 4 の幅方向における中央部分との対向領域に形成され、凹部 1 0 A が、図 1 5 に示したように、上部電極層 3 4 との対向領域において、上部電極層 3 4 の延在方向と交差する方向に延在して形成されている場合には、凹部 2 1 A も上部電極層 3 4 の延在方向と交差する方向に延在して形成されることになる。

40

【 0 0 6 3 】

第 1 下部ガイド層 2 2 の凸部 2 2 A は、凹部 2 1 A と共に構成されるリブ構造によって、電流狭窄構造による横方向の実効的な屈折率分布に変化を生じさせる高さ (  $= D_2$  ) および幅 (  $= W_2$  ) となっており、高さが  $50 nm$  以上  $100 nm$  以下、幅 ( 凸形状の付け根部分の幅 ) が  $5 \mu m$  以上  $10 \mu m$  以下となっていることが好ましい。また、リブ構造において、下部クラッド層 2 1 側の屈折率と第 1 下部ガイド層 2 2 側の屈折率との差 ( 屈折率差 ) は、 $0.1$  以上となっていることが好ましい。

【 0 0 6 4 】

50

活性層 2 4 において、上部電極層 3 4 との対向領域が発光領域 2 4 A となる。発光領域 2 4 A は、対向する上部電極層 3 4 と同等の大きさのストライプ幅を有しており、電流狭窄構造で狭窄された電流が注入される電流注入領域に対応している。

【 0 0 6 5 】

上部クラッド層 2 6、中間層 2 7 およびコンタクト層 2 8 は、凹凸の無い平坦な平面形状となっており、平坦なコンタクト層 2 8 の表面に、上部電極層 3 4 および絶縁層 3 5 が形成されている。なお、上部電極層 3 4 は、絶縁層 3 5 の表面上にまで延在して形成されていてもよい。ただし、この場合には、上部電極層 3 4 のうちコンタクト層 2 8 との接触部分が、絶縁層 3 5 と共に電流狭窄構造を構成することになる。

【 0 0 6 6 】

本実施の形態の半導体レーザ 4 では、下部電極層 3 2 と上部電極層 3 4 との間に所定の電圧が印加されると、上部電極層 3 4 と一对の絶縁層 3 5 とにより構成された電流狭窄構造（以下、単に電流狭窄構造と称する。）により電流狭窄され、活性層 2 4 の電流注入領域（発光領域 2 4 A）に電流が注入され、これにより電子と正孔の再結合による発光が生じる。この光は、電流狭窄構造および凸部 2 2 A によって形成される屈折率分布に対応した導波機構によって半導体層 2 0 内を導波すると共に、電流狭窄構造の延在方向（軸方向）において対向する、一对のへき開面（前端面  $S_1$ 、後端面  $S_2$ ）（図 1 4 参照）により反射される。そして、一对のへき開面の間を往復するうちに所定の波長でレーザ発振が生じ、レーザビームとしてへき開面から外部に射出される。

【 0 0 6 7 】

ところで、ゲインガイド構造を備えた一般的な半導体レーザでは、活性層の発光領域で発光した光は、電流狭窄構造による横方向の屈折率差によって、光導波路内に横方向から閉じ込められる。このとき、発振閾値電流以上その 2 倍程度以下の範囲内の電流が活性層に注入される場合には、エルミートガウシアンモードがモード次数の低いものからの重ね合わせとして順次現れてくる（T.Asatsuma et al., Proceedings of SPIE, Vol.6104, 61040C(2006)参照）。この場合には、横モードの均一性はインデックスガイド型のそれと比べて優れており、NFP は比較的トップハット形状となっている。しかし、発振閾値電流の 2 倍を超える電流を活性層に注入すると、横モードが乱れ、NFP はトップハット形状から崩れた形状となる。さらに、フィラメント発光が生じたり、モードの揺らぎが生じることもある。

【 0 0 6 8 】

一方、本実施の形態では、電流狭窄構造の延在方向に向けて延在する帯状の凸部 2 2 A が半導体層 2 0 の光導波領域内（第 2 下部ガイド層 2 3）に設けられている。これにより、図 1 3（B）示したように、広いゲイン領域の一部に、凸部 2 2 A によって形成されるナローストライプのインデックスガイドが導入されるので、凸部 2 2 A によってインデックスガイド的な横モードが生じると、ゲイン領域において横モードが誘起され、凸部 2 2 A によって形成される中央領域のインデックス領域において生じる横モードが、ゲイン領域において誘起される横モードと融合し、インデックスガイドがゲイン領域において誘起される横モードを制御する。

【 0 0 6 9 】

全体的な横モードはゲインガイド性となっているので、エルミートガウシアンモードがモード次数の低いものからの重ね合わせとして順次現れてくる。しかし、横モードの「種」となるところは、凸部 2 2 A によって形成されるインデックスガイドによって固定されているので、横モードは比較的安定しており、横モードの乱れや、モードの揺らぎが抑制されている。そのため、発振閾値電流の 2 倍を超える電流を活性層に注入した場合であっても、ゲインガイドの整った横モードを維持することができ、その結果、全体として安定かつ均一な NFP を形成することができる。

【 0 0 7 0 】

また、凸部 2 2 A が、図 1 4 に示したように、上部電極層 3 4 の幅方向（横方向）における中央部分との対向領域に形成されている場合には、インデックスガイド誘起モードの

10

20

30

40

50

ストライプとゲインガイド誘起モードのストライプとが互いに並行となるので、これらのモードがスムーズにつながりやすいという利点がある。また、凸部 2 2 A が、図 1 5 に示したように、上部電極層 3 4 との対向領域において、上部電極層 3 4 の延在方向（軸方向）と交差する方向に延在して形成されている場合には、全体の横モードで特定の空間周期のピークが発生することが抑制され、多くのモードが共存することにより全体としてトップハット形状を形成し易くなることもある。

#### 【 0 0 7 1 】

##### [ 第 3 の実施の形態の変形例 ]

上記実施の形態では、凸部 2 2 A（凹部 2 1 A、凹部 1 0 A）が 1 つだけ形成されていたが、2 つ以上形成されていてもよい。また、例えば、2 つの凸部 2 2 A を設けた場合に、図 1 6（A）に示したように、凸部 2 0 A と凸部 2 0 A との間の間隔  $W_i$  が、上部電極層 3 4 の幅（上部電極層 3 4 のうちコンタクト層 2 8 と接している部分の幅）よりも広くなっている。なお、図 1 6（A）の半導体レーザの屈折率分布を図 1 6（B）に示した。

#### 【 0 0 7 2 】

このようにした場合には、横モードの幅が間隔  $W_i$  に規定され、間隔  $W_i$  よりも広がるのを抑制することができる。また、例えば、2 つの凸部 2 2 A を設けた場合に、凸部 2 0 A と凸部 2 0 A との間の間隔  $W_i$  が、上部電極層 3 4 の幅（上部電極層 3 4 のうちコンタクト層 2 8 と接している部分の幅）とほぼ等しくなっている。このようにした場合には、リッジ型のインデックスガイドに近い横モードを形成することができる。また、例えば、2 つの凸部 2 2 A を設けた場合に、間隔  $W_i$  が、上部電極層 3 4 の幅（上部電極層 3 4 のうちコンタクト層 2 8 と接している部分の幅）よりも狭くなっている。このようにした場合には、2 本のインデックスガイドがゲイン領域において誘起される横モードを制御する。このようにして、双方の横モードが互いに協同的に融合するので、ゲイン領域において生じる横モードが自由度を失い、規定され易くなり、その結果、全体として安定かつ均一な N P F を形成することができる。

#### 【 0 0 7 3 】

また、上記実施の形態では、凸部 2 2 A、凹部 2 1 A および凹部 1 0 A を設けていたが、上記第 2 の実施の形態と同様、上記第 3 の実施の形態において、凸部 2 2 A、凹部 2 1 A および凹部 1 0 A を設ける代わりに、図 1 7（A）、図 1 8（または図 1 9）の半導体レーザ 5 に示したように、上部電極層 3 4 の直下に 1 つの凹部 3 3 を設けるようにしてもよい。なお、図 1 7（A）の半導体レーザの屈折率分布を図 1 7（B）に示した。この場合には、図 1 7（B）に示したように、ゲインガイドモードが 1 つの凹部 3 3 によって形成されるアンチガイディングの効果で固定されるので、ゲイン領域において生じる横モードが自由度を失い、規定され易くなり、その結果、全体として安定かつ均一な N P F を形成することができる。

#### 【 0 0 7 4 】

また、上記第 3 の実施の形態において、凸部 2 2 A、凹部 2 1 A および凹部 1 0 A を設ける代わりに、図 2 0（A）に示したように、上部電極層 3 4 の直下に 2 つの凹部 3 3 を設けるようにしてもよい。なお、図 2 0（A）の半導体レーザの屈折率分布を図 2 0（B）に示した。この場合には、図 2 0（B）に示したように、広い中央領域のゲイン領域に、2 つの凹部 3 3 で挟まれたリッジ形状によって形成されるナローストライプのインデックスガイドが導入されるので、そのリッジ形状によってインデックスガイド的な横モードが生じると、ゲイン領域において横モードが誘起され、リッジ形状によって形成される中央領域のインデックス領域において生じる横モードが、ゲイン領域において誘起される横モードと融合し、リッジ形状のインデックスガイドがゲイン領域において誘起される横モードを制御する。このようにして、双方の横モードが互いに協同的に融合するので、ゲイン領域において生じる横モードが自由度を失い、規定され易くなり、その結果、全体として安定かつ均一な N P F を形成することができる。

#### 【 0 0 7 5 】



ただし、この場合には、図 2 1 に示したように、上部電極層 3 4 の延在方向（軸方向）と平行な方向に延在して形成されていることが好ましい。また、図 2 2 に示したように、上部電極層 3 4 との対向領域において、前端面 S 1 から後端面 S 2 に向かうにつれて上部電極層 3 4 の幅が狭くなるようにしてもよいし、また、図 2 3 に示したように、上部電極層 3 4 との対向領域において、前端面 S 1 から後端面 S 2 に向かうにつれて凹部 3 3 同士の間隔が狭くなるようにしてもよい。これら図 2 2 および図 2 3 の場合には、共振器長方向で横モードの形成状態が変調されるので、電流の増加につれて特定の領域の光強度だけが増す虞がなくなり、空間的なホールバーニングやフィラメント発光が生じるのを抑制することができる。

【 0 0 7 6 】

10

また、上記第 3 の実施の形態において、凸部 2 2 A、凹部 2 1 A および凹部 1 0 A を設ける代わりに、図 2 4 に示したように、上部電極層 3 4 の直下に、複数の凹部 3 3 A を、上部電極層 3 4 の延在方向に配列すると共に、上部電極層 3 4 の幅方向に配列してもよい。このとき、各凹部 3 3 A を均一に 2 次元配置してもよいし、不均一に 2 次元配置してもよい。

【 0 0 7 7 】

以上、実施の形態および変形例を挙げて本発明を説明したが、本発明は上記の実施の形態等に限定されるものではなく、種々変形可能である。

【 0 0 7 8 】

例えば、上記実施の形態等では、AlGaInP 系の化合物半導体レーザを例にして本発明を説明したが、他の化合物半導体レーザ、例えば AlInP 系、GaInAsP 系などの赤色半導体レーザ、GaInN 系および AlGaInN 系などの窒化ガリウム系の半導体レーザ、ZnCdMgSSeTe などの III-VI 族の半導体レーザにも適用可能である。また、AlGaAs 系、InGaAs 系、InP 系、GaInAsNP 系などの、発振波長が可視域とは限らないような半導体レーザにも適用可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 9 】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体レーザの断面構成図の一例である。

【図 2】図 1 の半導体レーザの上面構成図の一例である。

【図 3】図 1 の半導体レーザの上面構成図の他の例である。

30

【図 4】図 1 の半導体レーザの一変形例の断面構成図である。

【図 5】本発明の第 2 の実施の形態に係る半導体レーザの断面構成図の一例である。

【図 6】図 5 の半導体レーザの上面構成図の一例である。

【図 7】図 5 の半導体レーザの上面構成図の他の例である。

【図 8】図 5 の半導体レーザの一変形例の断面構成図である。

【図 9】図 5 の半導体レーザの他の変形例の断面構成図である。

【図 10】図 5 の半導体レーザのその他の変形例の断面構成図である。

【図 11】図 10 の半導体レーザの上面構成図の一例である。

【図 12】図 10 の半導体レーザの上面構成図の他の例である。

【図 13】本発明の第 3 の実施の形態に係る半導体レーザの断面構成図の一例である。

40

【図 14】図 13 の半導体レーザの上面構成図の一例である。

【図 15】図 13 の半導体レーザの上面構成図の他の例である。

【図 16】図 13 の半導体レーザの一変形例の断面構成図である。

【図 17】図 13 の半導体レーザの他の変形例の断面構成図である。

【図 18】図 17 の半導体レーザの上面構成図の一例である。

【図 19】図 17 の半導体レーザの上面構成図の他の例である。

【図 20】図 13 の半導体レーザのその他の変形例の断面構成図である。

【図 21】図 20 の半導体レーザの上面構成図の一例である。

【図 22】図 20 の半導体レーザの上面構成図の他の例である。

【図 23】図 20 の半導体レーザの上面構成図のその他の例である。

50

【図 2 4】図 1 3 の半導体レーザのその他の変形例の断面構成図である。

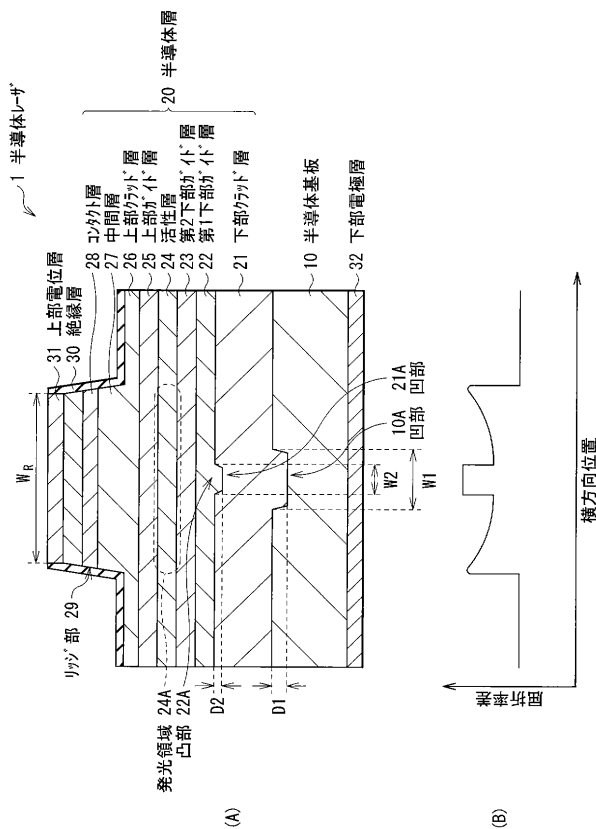
【図 2 5】従来の半導体レーザの屈折率分布図の一例である。

【符号の説明】

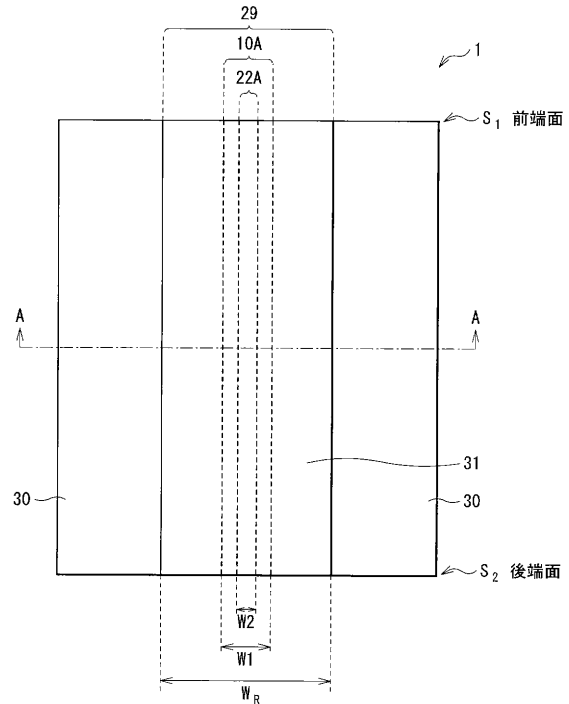
【0080】

1 ... 半導体レーザ、2 ... 駆動回路、10 ... 基板、11 ... n 型クラッド層、12 ... 活性層、12-1 ~ 12-6 ... 発光領域、13 ... p 型クラッド層、14 ... p 型コンタクト層、15-1 ~ 15-6 ... リッジ部、16A ~ 16C ... グループ、17A ~ 17C ... p 側電極、18 ... 溝、19 ... n 側電極、d1 ~ d5 ... 3 dB 帯域幅、H ... ヒートシンク、RA ~ RC ... 抵抗器、W<sub>1</sub> ~ W<sub>6</sub> ... ストライプ幅、WA ~ WC ... ストライプ幅の平均値。

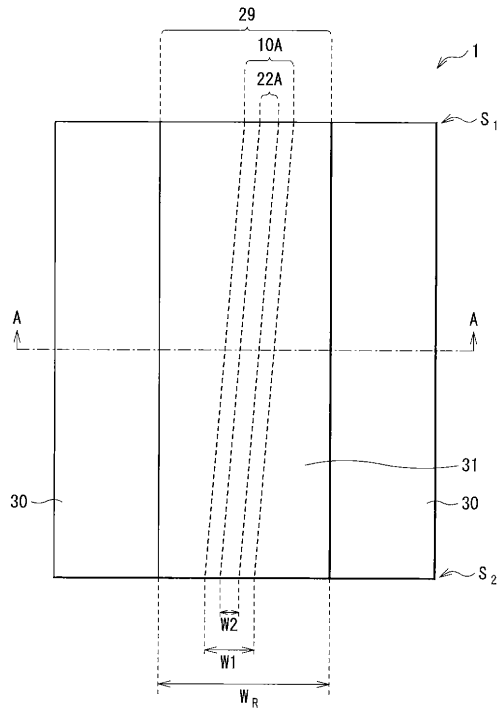
【図 1】



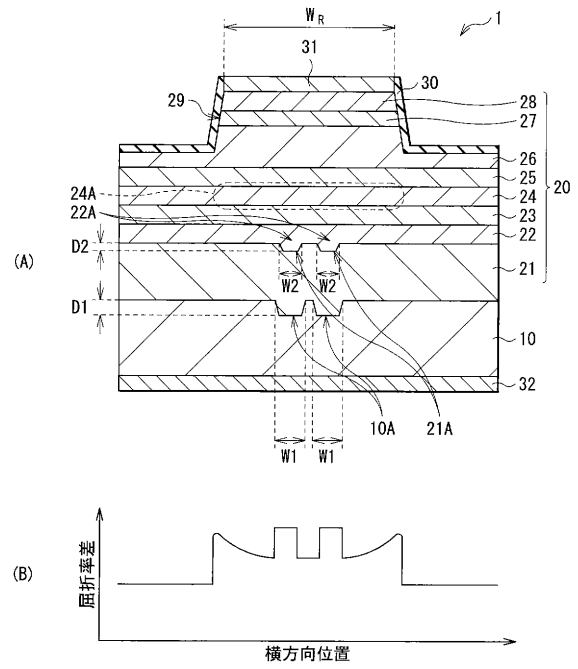
【図 2】



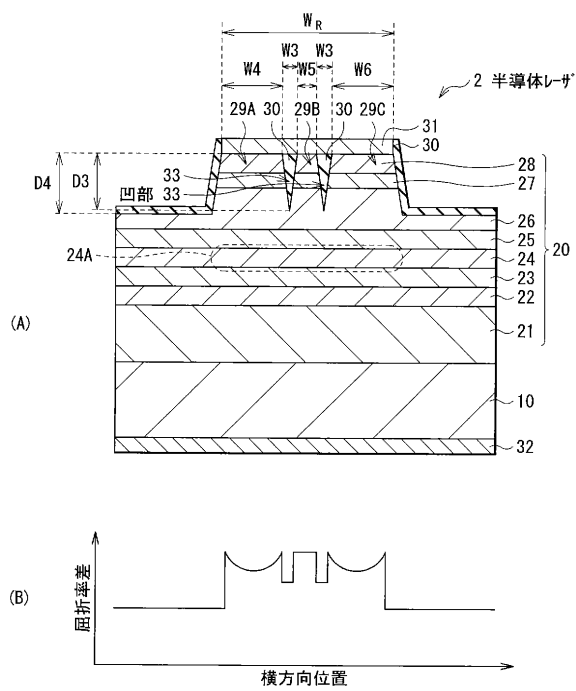
【図 3】



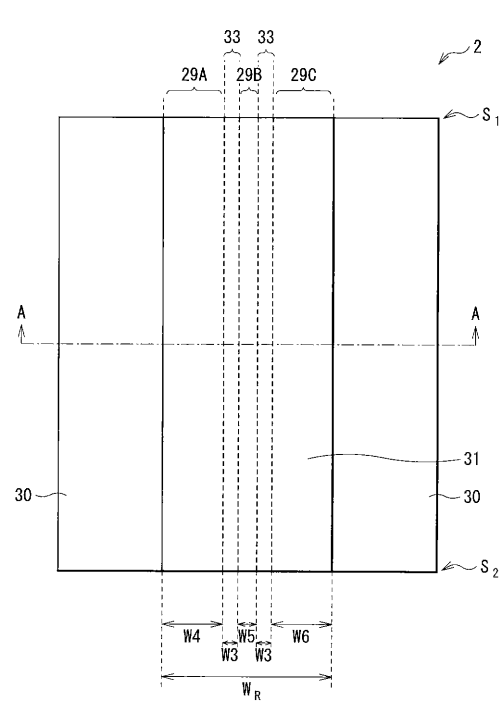
【図 4】



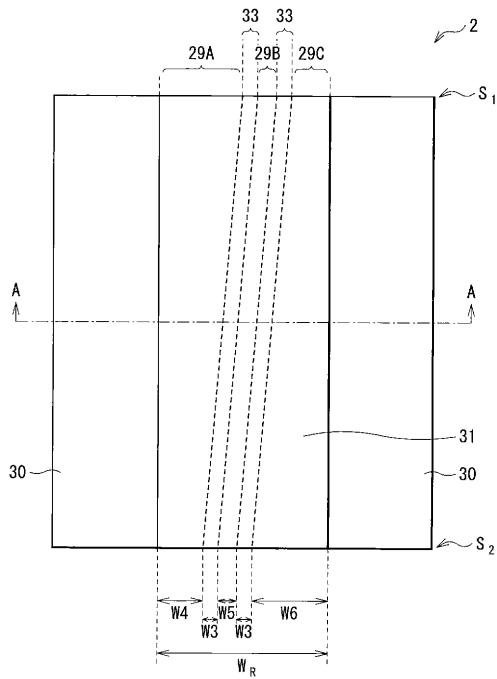
【図 5】



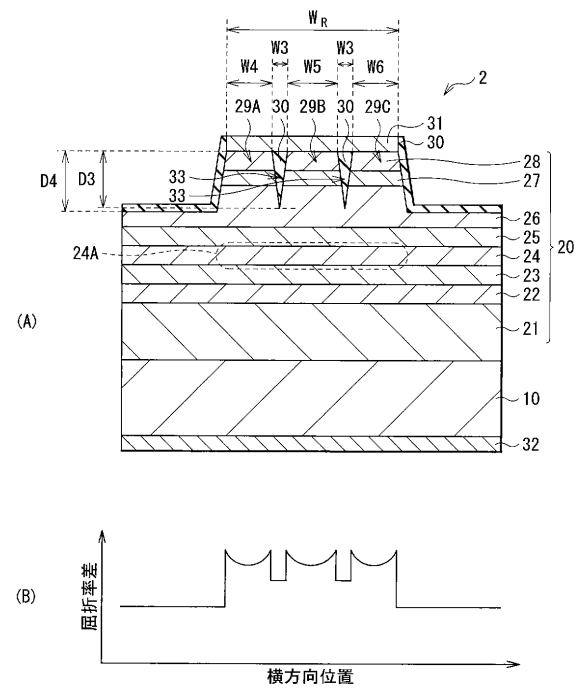
【図 6】



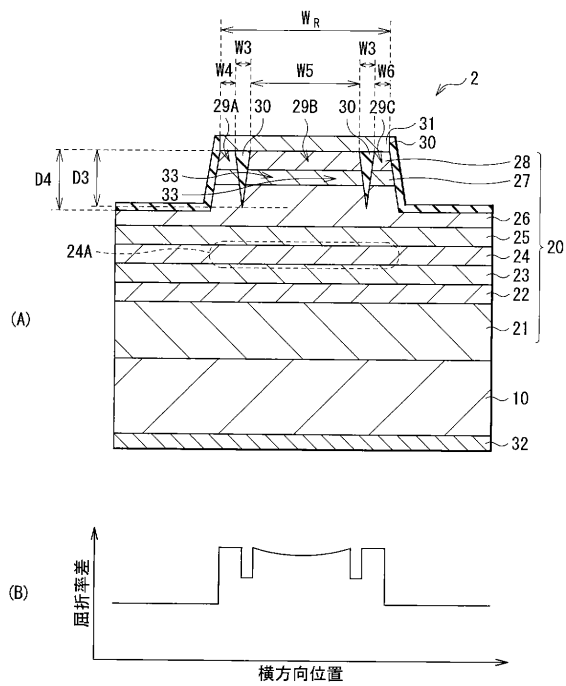
【図 7】



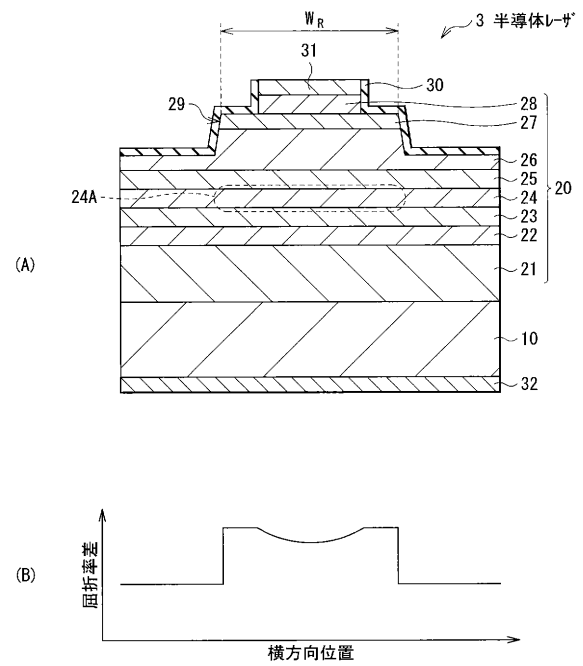
【図 8】



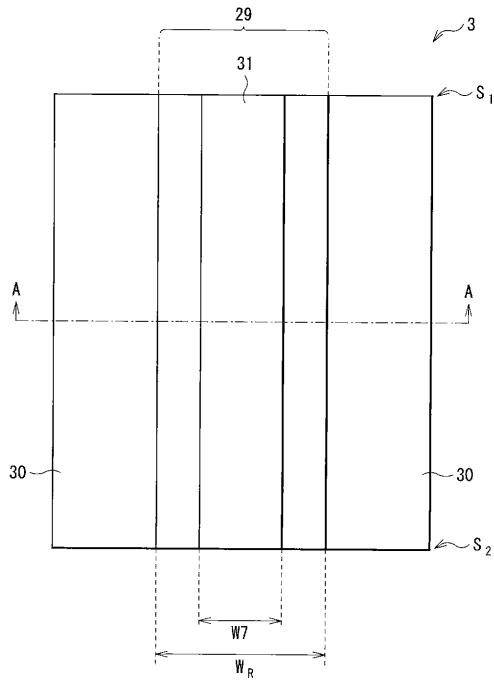
【図 9】



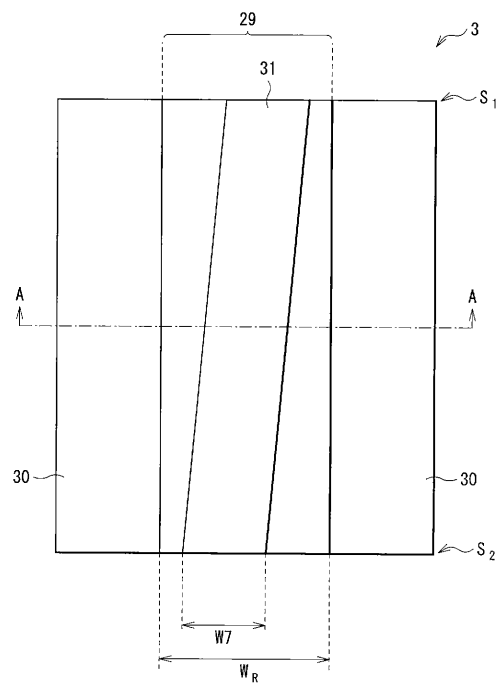
【図 10】



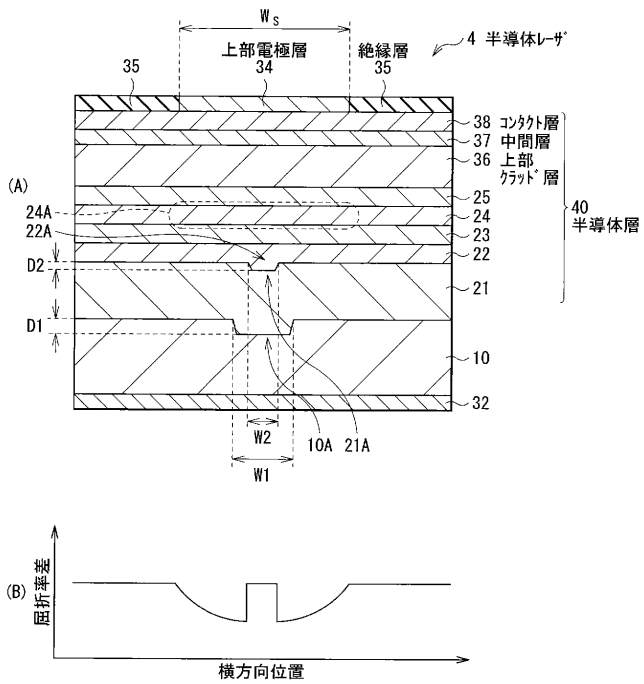
【図 1 1】



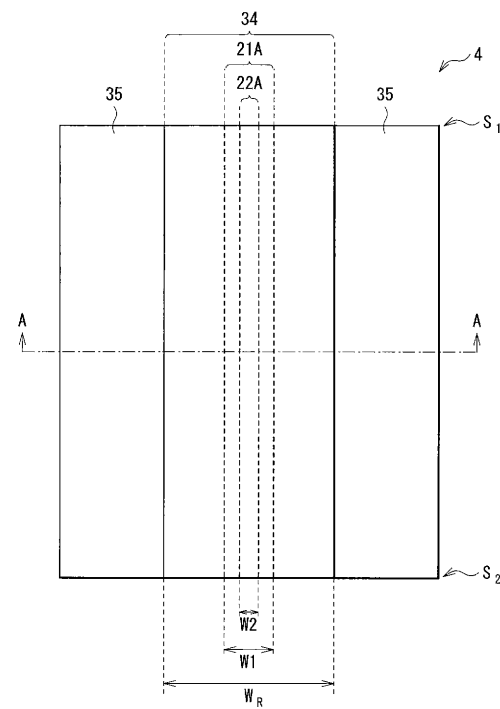
【図 1 2】



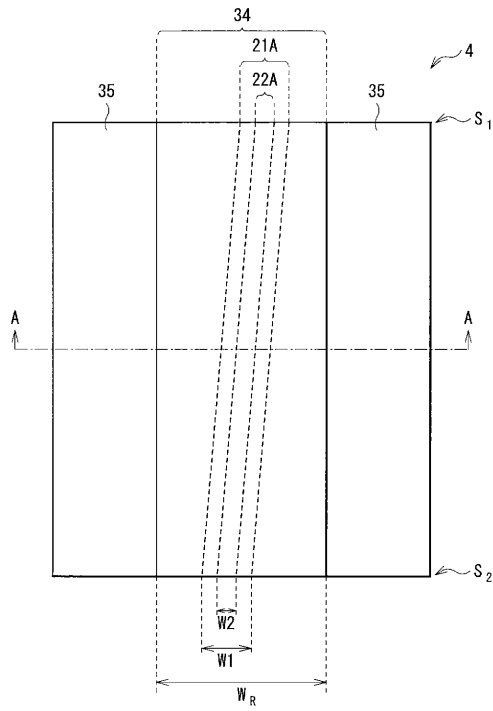
【図 1 3】



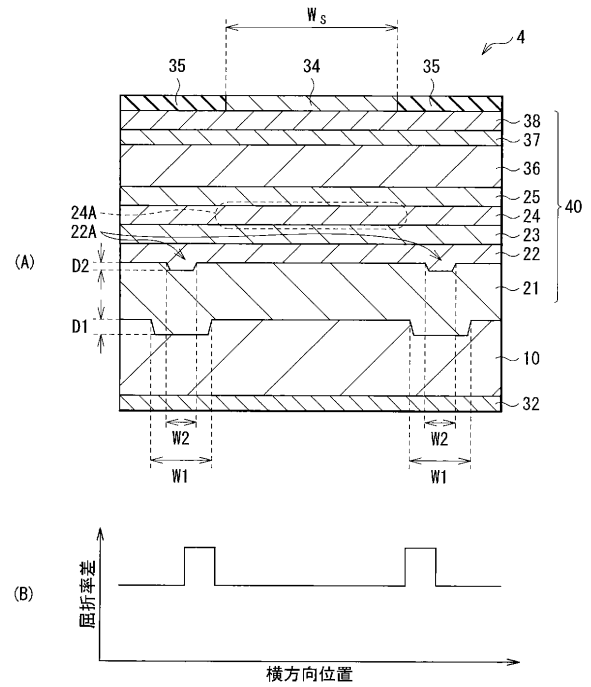
【図 1 4】



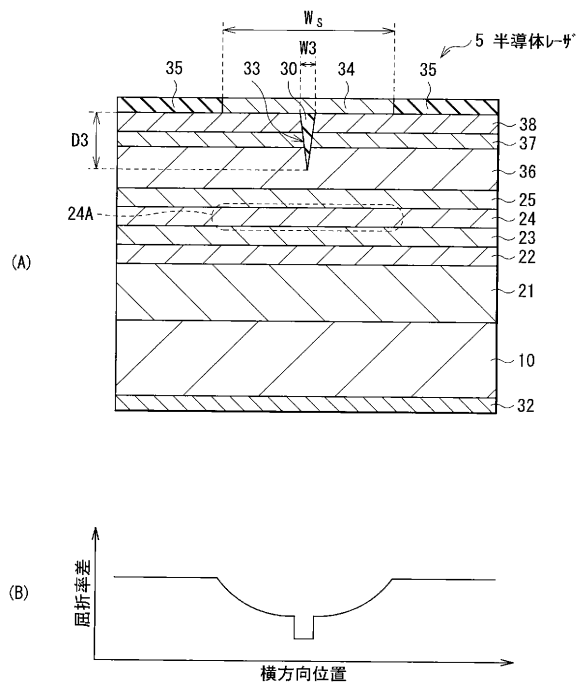
【図 15】



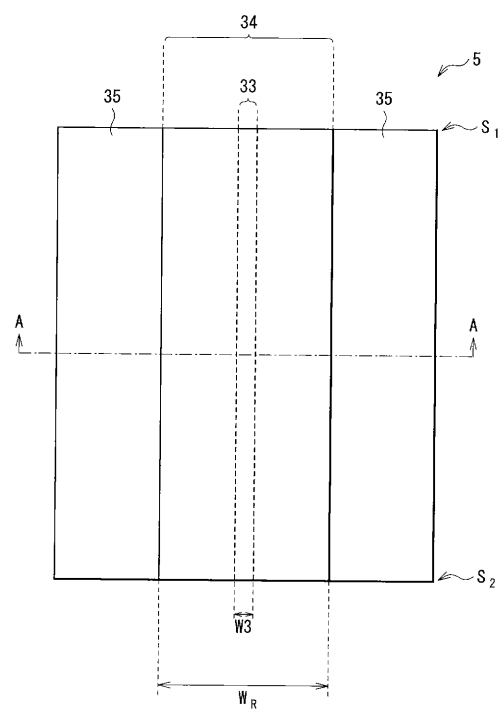
【図 16】



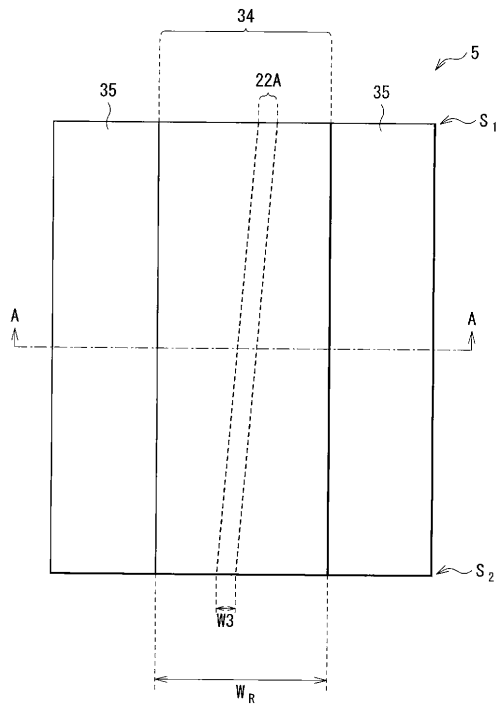
【図 17】



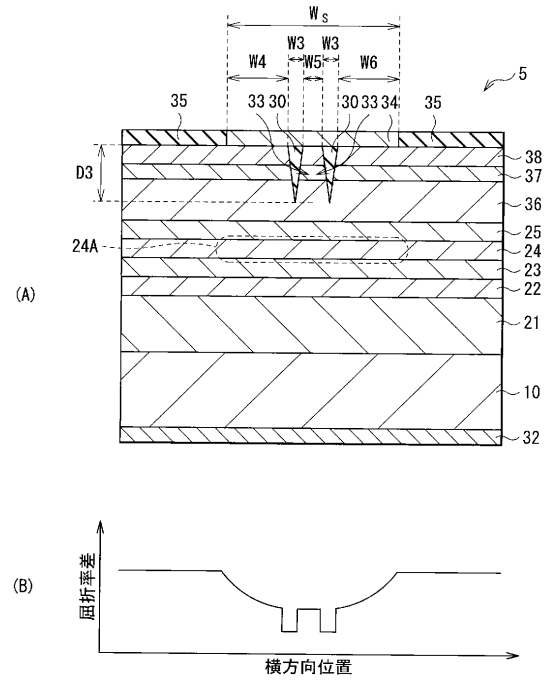
【図 18】



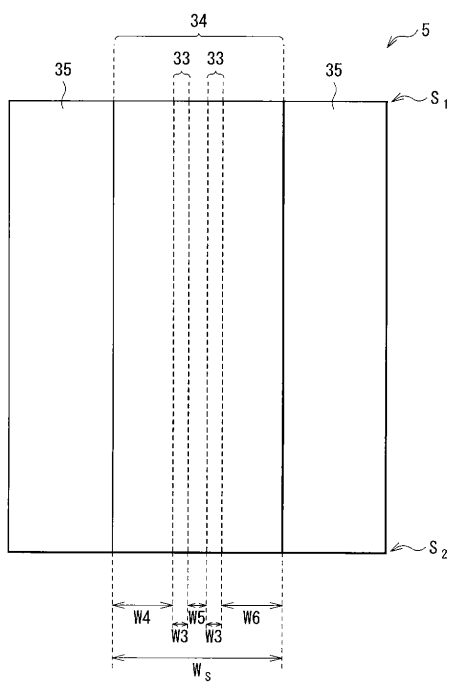
【図 19】



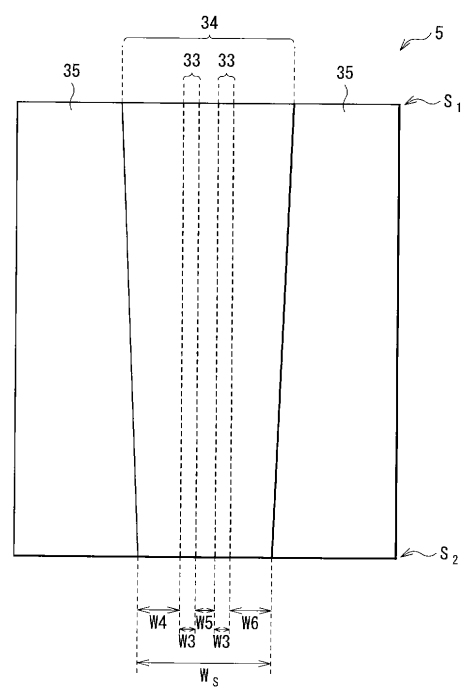
【図 20】



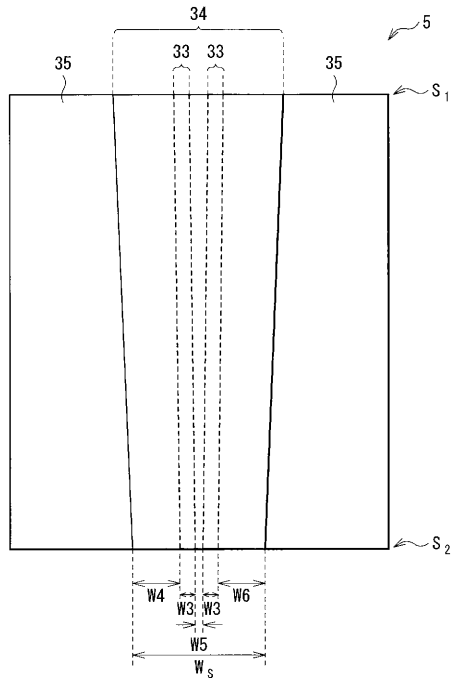
【図 21】



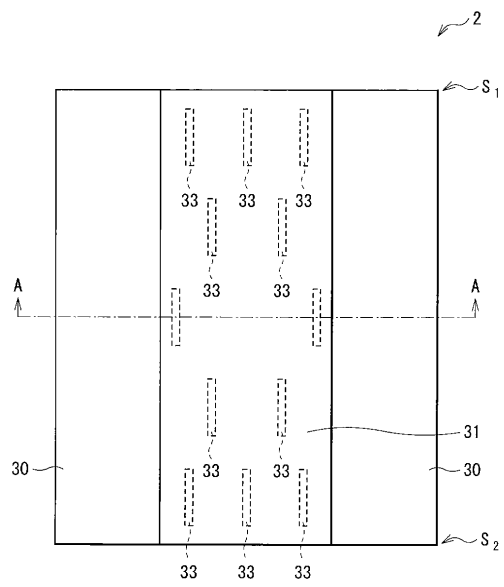
【図 22】



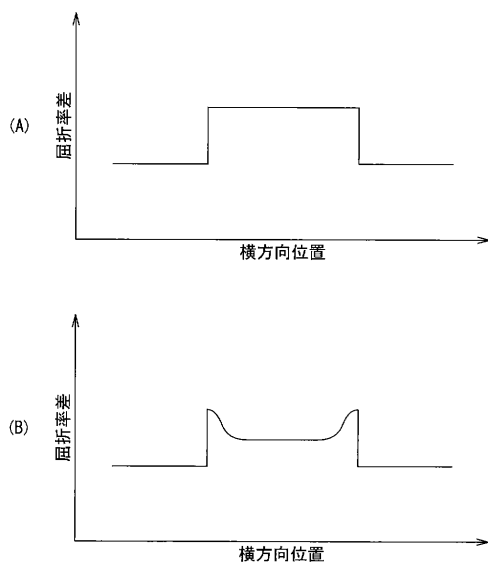
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】





---

フロントページの続き

(72)発明者 滝口 由朗

東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内

F ターム(参考) 5F173 AA08 AA16 AF32 AF33 AF44 AF52 AG22 AH08 AK21 AL07  
AL13 AP33 AP82 AR32 AR52