

(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2017-204600

(P2017-204600A)

(43) 公開日 平成29年11月16日(2017.11.16)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1S 5/125 (2006.01)	HO1S 5/125	5F173
HO1S 5/12 (2006.01)	HO1S 5/12	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2016-96820 (P2016-96820)  
 (22) 出願日 平成28年5月13日 (2016.5.13)

(71) 出願人 000004226  
 日本電信電話株式会社  
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号  
 (74) 代理人 100098394  
 弁理士 山川 茂樹  
 (74) 代理人 100153006  
 弁理士 小池 勇三  
 (74) 代理人 100064621  
 弁理士 山川 政樹  
 (72) 発明者 碓塚 孝明  
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日  
 本電信電話株式会社内  
 (72) 発明者 西 英隆  
 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日  
 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

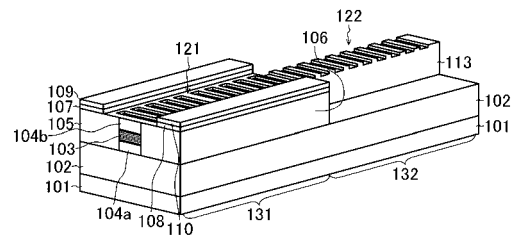
(54) 【発明の名称】 半導体レーザ

(57) 【要約】

【課題】 DRレーザにおける安定な単一モード発振が、容易に実現できるようにする。

【解決手段】 分布帰還活性領域131と、分布帰還活性領域131に連続して配置された分布ブラッグ反射鏡領域132とを備える。分布帰還活性領域131の活性層103に分布ブラッグ反射鏡領域132のコア層113とが連続して形成されている。活性層103の上に形成された第1回折格子121の結合係数は、分布帰還活性領域131の中央部分から両端部分にかけて増大している。

【選択図】 図1A



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板の上に形成された活性層と、  
 前記活性層の上に形成された第 1 回折格子と、  
 前記活性層に接して形成された p 型半導体層および n 型半導体層と、  
 前記 n 型半導体層に接続する n 型電極と、  
 前記 p 型半導体層に接続する p 型電極と  
 を有する分布帰還活性領域と、  
 前記活性層に連続して形成されたコア層と、  
 前記コア層の上に形成された第 2 回折格子と  
 を有して前記分布帰還活性領域に連続して配置された分布ブラッグ反射鏡領域と  
 を備え、  
 前記第 1 回折格子の結合係数は、分布帰還活性領域の中央部分から両端部分にかけて増  
 大している  
 ことを特徴とする半導体レーザ。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 記載の半導体レーザにおいて、  
 前記分布帰還活性領域のブラッグ波長は、中央部分から両端部分にかけて増大している  
 ことを特徴とする半導体レーザ。

20

## 【請求項 3】

請求項 1 記載の半導体レーザにおいて、  
 前記分布帰還活性領域のブラッグ波長は、中央部分から両端部分にかけて減少している  
 ことを特徴とする半導体レーザ。

## 【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザにおいて、  
 前記第 2 回折格子の結合係数は、前記第 1 回折格子の結合係数よりも高い状態とされて  
 いることを特徴とする半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、光送信器用光源などに利用される半導体レーザに関する。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

インターネットの普及に伴うネットワークトラフィック量の爆発的な増大により、光ファイバ伝送の高速・大容量化が著しい。半導体レーザは、光ファイバ通信を支える光源デバイスとして発展を続けてきた。特に、分布帰還型(Distributed Feedback: DFB)レーザによる単一モード光源の実現は、時分割多重方式、および波長分割多重(Wavelength Division Multiplexing: WDM)方式による光ファイバ通信の高速化、大容量化に大きく寄与してきた。

## 【0003】

近年、光通信はコアネットワークやメトロネットワーク等のテレコム領域に限らず、データセンタ間、ラック間、さらにはボード間の短距離のデータ通信にも適用されている。100Gbイーサネット(登録商標)は、WDM型の多波長アレイ光源の構成を用いて標準化されており、データ通信用の大容量化は急速に進んでいる。

40

## 【0004】

データ通信用途においては、低消費電力化が必須である。低消費電力な変調光源としては、直接変調半導体レーザが有望であり、低消費電力化に向けては、小型化とそれに伴う共振器の適切な高Q値化が設計指針となる。このことから、小型かつ高Q値な共振器を有する半導体レーザが検討されてきた。データ通信用の小型レーザとしては、活性層の上下に周期的な屈折率構造を有する誘電体多層膜からなるブラッグ反射鏡を形成し、素子の表

50

面から光を取り出す面発光レーザー (Vertical Cavity Surface Emitting Laser: VCSEL) が実用化されている。反射率の高い反射鏡を形成し、活性層体積を小さくすることにより、閾値電流が 1 mA 程度の消費電力の小さいレーザーが実現されている。

【0005】

しかし、VCSEL は結晶成長を用いた反射鏡の膜厚制御により発振波長の制御を行うため、同一基板上に作製したレーザー毎の波長制御が困難であるという課題がある。以上の背景から、モノリシック集積型のアレイ光源を実現するには、導波路型の波長多重変調光源が重要な役割を果たすと期待される。

【0006】

導波路型の WDM 用光源として代表的なレーザーは先述した DFB レーザーである (非特許文献 1)。単一モード化に向けては、 $\pi/4$  シフト構造が実用化されてきた。回折格子の位相シフトのパターンは電子ビーム露光等で形成することができ、簡易に単一モード発振を得られるため、これまで WDM システムを始め、単一モード光源として多く実用化されてきている。この他、短共振器化により 50 Gbit/s で高速動作する DFB レーザー (非特許文献 2) や、電界変調器を集積したアレイ型光源も報告されている (非特許文献 3)。今後はこれらを更に進展させた、データ通信に適用可能な超小型・低消費電力のレーザーの実現が望まれる。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献 1】H. SODA and H. IMAI, "Analysis of the Spectrum Behavior Below the Threshold in DFB Lasers", IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. QE-22, no. 5, pp. 637-641, 1986.

20

【非特許文献 2】W. Kobayashi et al., "50-Gb/s Direct Modulation of a 1.3- $\mu$ m InGaAs-Based DFB Laser With a Ridge Waveguide Structure", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, vol. 19, no. 4, pp. 1500908-1500908, 2013.

【非特許文献 3】T. Fujisawa et al., "Ultracompact, 160-Gbit/s transmitter optical subassembly based on 40-Gbit/s  $\times$  4 monolithically integrated light source", OPTICS EXPRESS, vol. 21, no. 1, pp. 182-189, 2013.

【非特許文献 4】M. Matsuda et al., "1.3- $\mu$ m-Wavelength AlGaInAs Multiple-Quantum-Well Semi-Insulating Buried-Heterostructure Distributed-Reflector Laser Arrays on Semi-Insulating InP Substrate", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 21, no. 6, 1502307, 2015.

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

DFB レーザーの更なる小型化に向けては、回折格子の結合係数の値を増大させて共振器の Q 値を上げることが重要となる。しかし、従来型の  $\pi/4$  シフト DFB レーザーは、Q 値を増大させると発振モードが不安定となる課題があった。 $\pi/4$  シフト DFB レーザーにおいては、位相シフト領域がいわゆる欠陥モードとして働くため、回折格子の結合係数を高くすると位相シフト位置付近に光が局在化する。この状態においては、キャリア密度が活性層中央部で減少する、いわゆる空間ホールバーニングが生じる。回折格子内に屈折率分布が発生すると、共振器内のブラッグ波長が不均一化し、モード選択性が著しく低下して発振が不安定になる。

40

【0009】

これらの問題を解決して短共振器かつ高 Q 値を実現するため、DFB レーザーの前後に分布ブラッグ反射 (DBR) 鏡を形成して高反射率を得る、いわゆる分布反射型 (DR) レーザーが提案されている (非特許文献 4)。以下、図 15A, 図 15B, 図 15C, 図 15D に、DBR 領域と DFB 領域からなる DR レーザーの構成、動作原理などを説明する。

【0010】

50

図15Aは、レーザの構成を示す構成図であり、断面を模式的に示している。このレーザは、後側のDBR領域と、前側のDFB領域から構成されている。DFB領域およびDBR領域は、各々均一な回折格子を有している。

【0011】

図15Bは、上記レーザにおける素子内の位置に対する回折格子のバンド図を示す。一般に、活性層内に電流注入を行うと、キャリアプラズマ効果により屈折率が低下する。従って、DFB領域のブラッグ波長が短波長化し、DBRのブラッグ波長に対して短波長側にシフトする。このことにより、DBRによりDFBの長波長側のストップバンド端のみが選択され、単一モード発振が得られる。

【0012】

次に、図15Cおよび図15Dを用いて発光スペクトルの概念を説明する。図15Cは、DFB領域の発光スペクトルとDBRの反射スペクトルを示す特性図である。図15Cに示すように、DFBの長波長側のストップバンド発光のみがDBR反射鏡による帰還を受けるため、図15Dに示すように、DFB側のみから、長波長側ストップバンドからの発光を取り出すことができる。このように、DRレーザにおいては光出力の非対称化と、単一モード発振を共に実現することができる。

【0013】

しかし、従来型のDRレーザにおいて安定な単一モード発振を得るためには、DBR領域とDFB領域のブラッグ波長を正確に制御する必要がある。DBR領域とDFB領域の相対的な波長関係は、電流注入に伴うキャリアプラズマ効果や発熱により変化する。また、製造誤差によっても変動する。従って、従来では、DRレーザにおいて安定な単一モード発振を得ることが容易ではないという問題があった。

【0014】

本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、DRレーザにおける安定な単一モード発振が、容易に実現できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明に係る半導体レーザは、基板の上に形成された活性層と、活性層の上に形成された第1回折格子と、活性層に接して形成されたp型半導体層およびn型半導体層と、n型半導体層に接続するn型電極と、p型半導体層に接続するp型電極とを有する分布帰還活性領域と、活性層に連続して形成されたコア層と、コア層の上に形成された第2回折格子とを有して分布帰還活性領域に連続して配置された分布ブラッグ反射鏡領域とを備え、第1回折格子の結合係数は、分布帰還活性領域の中央部分から両端部分にかけて増大している。

【0016】

上記半導体レーザにおいて、分布帰還活性領域のブラッグ波長は、中央部分から両端部分にかけて増大しているようにしてもよい。

【0017】

上記半導体レーザにおいて、分布帰還活性領域のブラッグ波長は、中央部分から両端部分にかけて減少しているようにしてもよい。

【0018】

上記半導体レーザにおいて、第2回折格子の結合係数は、第1回折格子の結合係数よりも高い状態とされているとよい。

【発明の効果】

【0019】

以上説明したことにより、本発明によれば、DRレーザにおける安定な単一モード発振が、容易に実現できるという優れた効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1A】図1Aは、本発明の実施の形態1における半導体レーザの斜視図である。

10

20

30

40

50

【図 1 B】図 1 B は、本発明の実施の形態 1 における半導体レーザの構成を示す断面図である。

【図 1 C】図 1 C は、本発明の実施の形態 1 における半導体レーザの構成を示す断面図である。

【図 2 A】図 2 A は、分布帰還活性領域 1 3 1 の活性層 1 0 3 (DFB) および分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 のコア層 1 1 3 (DBR) におけるストップバンドの分布を示す説明図である。

【図 2 B】図 2 B は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振における分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 (DBR) の反射スペクトルおよび分布帰還活性領域 1 3 1 (DFB) の発光スペクトルを示す特性図である。

10

【図 2 C】図 2 C は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振における分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 (DBR) の発光強度および分布帰還活性領域 1 3 1 (DFB) の発光強度を示す特性図である。

【図 3 A】図 3 A は、分布帰還活性領域 1 3 1 の活性層 1 0 3 (DFB) および分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 のコア層 1 1 3 (DBR) における、他の構成におけるストップバンドの分布を示す説明図である。

【図 3 B】図 3 B は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振における分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 (DBR) の反射スペクトルおよび分布帰還活性領域 1 3 1 (DFB) の発光スペクトルを示す特性図である。

【図 3 C】図 3 C は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振における分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 (DBR) の発光強度および分布帰還活性領域 1 3 1 (DFB) の発光強度を示す特性図である。

20

【図 4】図 4 は、80  $\mu$ m 長の DFB を有する DR レーザにおいて、ストップバンド端を変調した場合の閾値利得の変化を示す特性図である。

【図 5】図 5 は、回折格子の結合係数が両端にかけて増大する DFB および DBR におけるストップバンドの分布を示す説明図である。

【図 6】図 6 は、DFB の短波長側のストップバンド端が曲率を有している場合の DFB および DBR におけるストップバンドの分布を示す説明図である。

【図 7 A】図 7 A は、分布帰還活性領域 1 3 1 の活性層 1 0 3 (DFB) および分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 のコア層 1 1 3 (DBR) における、他の構成におけるストップバンドの分布を示す説明図である。

30

【図 7 B】図 7 B は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振における分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 (DBR) の反射スペクトルおよび分布帰還活性領域 1 3 1 (DFB) の発光スペクトルを示す特性図である。

【図 7 C】図 7 C は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振における分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 (DBR) の発光強度および分布帰還活性領域 1 3 1 (DFB) の発光強度を示す特性図である。

【図 8】図 8 は、第 1 回折格子 1 2 1 の構成例を説明するための説明図である。

【図 9 A】図 9 A は、活性層中央部分よりも活性層両側領域のブラッグ波長が長い、連続的なブラッグ波長分布を示す特性図である。

40

【図 9 B】図 9 B は、図 9 A のブラッグ波長分布を式 (2) に従って導出した位相分布の例を示す特性図である。

【図 10】図 10 は、位相関数を位相シフト量に応じて離散化して活性層を複数領域に分割し、各領域間に位相シフトを設けた状態を示す説明図である。

【図 11 A】図 11 A は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振モードの閾値利得を示す特性図である。

【図 11 B】図 11 B は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振モードと高次モードの閾値利得差を示す特性図である。

【図 11 C】図 11 C は、実施の形態 1 における半導体レーザの発振波長を示す特性図である。

50

【図 1 2】図 1 2 は、素子分割の他の例を説明するための説明図である。

【図 1 3 A】図 1 3 A は、本発明の他の実施の形態における半導体レーザの斜視図である。

【図 1 3 B】図 1 3 B は、本発明の他の実施の形態における半導体レーザの断面図である。

【図 1 3 C】図 1 3 C は、本発明の他の実施の形態における半導体レーザの断面図である。

【図 1 4 A】図 1 4 A は、本発明の他の実施の形態における半導体レーザの斜視図である。

【図 1 4 B】図 1 4 B は、本発明の他の実施の形態における半導体レーザの断面図である。

【図 1 4 C】図 1 4 C は、本発明の他の実施の形態における半導体レーザの断面図である。

【図 1 5 A】図 1 5 A は、従来の DR レーザの構成を示す構成図である。

【図 1 5 B】図 1 5 B は、図 1 5 A に示す DR レーザにおける素子内の位置に対する回折格子のバンド図を示す特性図である。

【図 1 5 C】図 1 5 C は、図 1 5 A に示す DR レーザにおける DFB の発光スペクトルと DBR の反射スペクトルを示す特性図である。

【図 1 5 D】図 1 5 D は、図 1 5 A に示す DR レーザにおける DBR の発光強度および DFB の発光強度を示す特性図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。

【0022】

[実施の形態 1]

はじめに、本発明の実施の形態 1 について説明する。図 1 A は、本発明の実施の形態 1 における半導体レーザの斜視図である。図 1 B, 図 1 C は、本発明の実施の形態 1 における半導体レーザの構成を示す断面図であり、光出射方向に垂直な断面を示している。

【0023】

この半導体レーザは、分布帰還活性領域 131 と、分布帰還活性領域 131 に連続して配置された分布ブラッグ反射鏡領域 132 とを備える。この半導体レーザは、いわゆる DR レーザである。

【0024】

分布帰還活性領域 131 は、基板 101 の上に形成された活性層 103 と、活性層 103 の上に形成された第 1 回折格子 121 と、活性層 103 に接して形成された n 型半導体層 105 および p 型半導体層 106 と、n 型半導体層 105 に接続する n 型電極 109 と、p 型半導体層 106 に接続する p 型電極 110 とを備える。

【0025】

分布ブラッグ反射鏡領域 132 は、活性層 103 に連続して形成されたコア層 113 と、コア層 113 の上に形成された第 2 回折格子 122 とを備える。

【0026】

上記構成とした実施の形態 1 における半導体レーザは、第 1 回折格子 121 の結合係数は、分布帰還活性領域 131 の中央部分から両端部分にかけて増大しているところに大きな特徴がある。

【0027】

なお、基板 101 の上には、下部クラッド層 102 が形成され、この上に、活性層 103 が形成されている。コア層 113 も下部クラッド層 102 の上に形成されている。また、活性層 103 は、基板 101 から見て上下の方向に、半導体層 104 a, 半導体層 104 b に挟まれている。また、半導体層 104 a, 活性層 103, 半導体層 104 b の積層構造が、n 型半導体層 105 および p 型半導体層 106 に挟まれている。p 型半導体層 1

10

20

30

40

50

06およびn型半導体層105は、基板101の平面に平行な方向で活性層103を挟んで形成されている。

【0028】

ここでは、半導体層104aの上に接して活性層103が形成され、活性層103の上に接して半導体層104bが形成されている。また、半導体層104a、活性層103、半導体層104bの積層構造の側部に接し、n型半導体層105およびp型半導体層106が形成されている。なお、分布ブラッグ反射鏡領域132において、n型半導体層105およびp型半導体層106は形成していない。

【0029】

また、n型電極109は、n型半導体層105にコンタクト層107を介して接続し、p型電極110は、p型半導体層106にコンタクト層108を介して接続する。この構成では、活性層103には、基板101の平面に平行な方向で電流が注入される。なお、分布ブラッグ反射鏡領域132において、n型電極109およびp型電極110は形成していない。

【0030】

また、活性層103は、光出射方向に所定の長さで延在し、この延在方向の分布帰還活性領域131において、活性層103の上に第1回折格子121が形成されている。なお、ここでは、半導体層104bの上面に第1回折格子121を形成している。また、このように延在している活性層103に連続してコア層113が形成されている。第2回折格子122は、コア層113の上面に形成している。

【0031】

また、図1Aでは省略しているが、コンタクト層107とコンタクト層108との間の半導体層104b、n型半導体層105、p型半導体層106の上面は、絶縁膜111により保護されている。また、半導体レーザは、出力端面に、図示しない無反射膜が形成されている。

【0032】

基板101は、例えば、シリコンから構成され、下部クラッド層102は、例えば、酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )から構成されている。また、活性層103は、 $\text{InGaAsP}$ からなる井戸層とバリア層が交互に積層された厚さ100nmの量子井戸構造とされている。また、活性層103は、幅0.8 $\mu\text{m}$ 程度とされている。また、半導体層104a、活性層103、半導体層104bを合わせた厚さは、250nmとされている。なお、n型半導体層105およびp型半導体層106も、各々厚さ250nmとされている。量子井戸構造とされている活性層103の発光波長は、1.55 $\mu\text{m}$ である。また、第1回折格子121は、ブラッグ波長が1.55 $\mu\text{m}$ とされている。

【0033】

また、例えば、半導体層104a、半導体層104bは、アンドープの $\text{InP}$ ( $i\text{-InP}$ )から構成されている。また、活性層103を挟む、一方のn型半導体層105は、 $\text{Si}$ が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度ドーピングされたn型の $\text{InP}$ ( $n\text{-InP}$ )から構成され、他方のp型半導体層106は、 $\text{Zn}$ が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度ドーピングされたp型の $\text{InP}$ ( $p\text{-InP}$ )から構成されている。

【0034】

また、コンタクト層107は、 $\text{Si}$ が $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 程度ドーピングされたn型の $\text{InGaAs}$ ( $n\text{-InGaAs}$ )から構成され、コンタクト層108は、 $\text{Zn}$ が $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 程度ドーピングされた $\text{InGaAs}$ ( $p\text{-InGaAs}$ )から構成されている。また、絶縁膜111は、例えば、 $\text{SiO}_2$ から構成されている。

【0035】

また、コア層113は、アンドープの $\text{InP}$ ( $i\text{-InP}$ )から構成され、幅2 $\mu\text{m}$ 程度とされ、厚さは、250nmとされている。

【0036】

例えば、まず、酸化シリコンから構成された下部クラッド層102を備える基板(シリ

10

20

30

40

50

コン基板) 101を用意する。

【0037】

一方で、InP基板の上に、InGaAsからなる犠牲層、半導体層104b、活性層103、半導体層104a、コア層113となる化合物半導体の層をエピタキシャル成長させる。例えば、よく知られた有機金属気相成長法により、各層を成長させれば良い。次いで、このエピタキシャル成長した基板の半導体層104a面と、前述したシリコン基板101の酸化シリコン面を公知のウエハ接合技術により直接接合し、この後、InP基板と犠牲層を除去する。次いで、公知のフォトリソグラフィ技術により作成したレジストパターンをマスクとしたウエットエッチングおよびドライエッチングなどにより、成長させた各化合物半導体の層をパターンニングし、半導体層104b、活性層103、半導体層104a、コア層113からなるストライプ構造を形成する。

10

【0038】

次に、形成した半導体層104b、活性層103、半導体層104aの両脇に、n型のInPとInGaAs層、p型のInPとInGaAs層を再成長させ、n型半導体層105とコンタクト層107、およびp型半導体層106とコンタクト層108を形成する。なお、半導体層104b、活性層103、半導体層104aの両脇に、アンドープのInPとInGaAsを再成長させた後、イオン注入や熱拡散などによりn型の不純物、p型の不純物を導入することで、n型半導体層105とコンタクト層107、p型半導体層106とコンタクト層108を形成してもよい。

20

【0039】

次に、半導体層104bの表面に、第1回折格子121を形成する。例えば、電子ビーム露光によるリソグラフィで形成したレジストパターンをマスクとし、所定のエッチングによりパターンニングすることで、第1回折格子121を形成すれば良い。同様に、コア層113の表面に第2回折格子122を形成する。

【0040】

次に、形成した第1回折格子121を覆うように、絶縁膜111を形成する。例えば、よく知られたスパッタ法やプラズマCVD法などによりSiO<sub>2</sub>を堆積することで、絶縁膜111を形成すれば良い。半導体と、誘電体(絶縁体)もしくは空気間の高い屈折率差を用いることで、高い結合係数を有する回折格子を得ることができる。回折格子の値に分布を設けるには、回折格子のデューティ比を変えればよい。回折格子の山と谷の比率が1:1の場合が最大であり、この比率を変えると結合係数が低下するため、電子ビーム露光のパターンによって結合係数に分布を設けることができる。また、エッチングの深さを場所によって変えることでも結合係数に分布を設けることができることは言うまでもない。また、コンタクト層107の上にn型電極109を形成し、コンタクト層108の上にp型電極110を形成する。

30

【0041】

上述した実施の形態1における半導体レーザによれば、第1回折格子121の結合係数を、分布帰還活性領域131の中央部分から両端部分にかけて増大させるようにしたので、DRレーザにおける安定な単一モード発振が、容易に実現できるようになる。

【0042】

次に、実施の形態1における半導体レーザについて、図2A、図2B、図2Cを用いてより詳細に説明する。図2Aは、分布帰還活性領域131の活性層103(DFB)および分布ブラッグ反射鏡領域132のコア層113(DBR)におけるストップバンドの分布を示す説明図である。

40

【0043】

前述したように、DFBの領域(分布帰還活性領域131)は、両側の結合係数が中央領域よりも高くなっており、さらにDBR(分布ブラッグ反射鏡領域132)のブラッグ波長は、DFBよりも長く設定されている。この構成とした実施の形態1における半導体レーザの発振モードについて説明する。

【0044】

50

D F B の中央部分は、回折格子がなく、かつ両端に D F B 反射層を有する構造と等価である。このため、光が D F B の中央付近に強く局在し、均一な回折格子を有する D F B 構造と比較して高い Q 値を実現できる。D B R は、長波長側のストップバンド端のみを反射するため、長波長側のストップバンド端を主モードとして発振する。この発振における D B R の反射スペクトルおよび D F B の発光スペクトルを図 2 B に示す。D F B 側の発光スペクトルは、長波長側のストップバンド端のみからの発光となる。後段の D B R は、D F B の長波長側のストップバンド端の発光を反射するため、図 2 C に示すように、長波長側のみの安定な発振、かつ D F B 側からのみの光出力を得ることができる。

**【 0 0 4 5 】**

上述では、結合係数を中央領域より両側を高くしたが、さらに、第 1 回折格子 1 2 1 を、ブラッグ波長が中央部分から両端部分にかけて増大する変調回折格子としてもよい。この構成について、図 3 A、図 3 B、図 3 C を用いてより詳細に説明する。図 3 A は、第 1 回折格子 1 2 1 を変調回折格子とした分布帰還活性領域 1 3 1 の活性層 1 0 3 ( D F B ) および分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 のコア層 1 1 3 ( D B R ) におけるストップバンドの分布を示す説明図である。ここで、第 2 回折格子 1 2 2 の結合係数は、第 1 回折格子 1 2 1 よりも高くしている。言い換えると、D B R のストップバンド幅が、D F B のストップバンド幅よりも広い。

**【 0 0 4 6 】**

D F B 領域においては、ブラッグ波長は波長に対して下に凸となるように分布する。この状態における実施の形態 1 の半導体レーザの発振モードについて説明する。長波長側のストップバンド端に着目すると、D F B の中央付近は、回折格子がなく、かつ両端に D F B 反射層を有する構造と等価である。このことにより、長波長側のストップバンド端は短波長側のストップバンド端と比較して高い Q 値を有する共振器となり、D F B 中央付近に光が局在するモードを主モードとして発振する。

**【 0 0 4 7 】**

この発振においても、図 3 B に示すように、D F B 側の発光スペクトルは、長波長側のストップバンド端のみからの発光となる。後段の D B R は、D F B の長波長側のストップバンド端の発光を反射するため、図 3 C に示すように、長波長側のみの安定な発振、かつ D F B 側からのみの光出力を得ることができる。

**【 0 0 4 8 】**

図 4 は、80  $\mu$ m 長の D F B を有する D R レーザにおいて、ストップバンド端を変調した場合の閾値利得の変化を示す特性図である。変調幅がゼロの場合はバンド端が平坦な場合に対応する。この結果より、変調によって閾値利得が低下することがわかる。従って、図 5 に示すように、平坦なバンド端と曲率を有したバンド端がある場合、曲率を有したバンド端のみの選択的な発振を行うことができる。また、分布帰還活性領域 1 3 1 の一端側(後段)に分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2 を設けることにより、光を分布帰還活性領域 1 3 1 の側のみから取り出すことができる。

**【 0 0 4 9 】**

図 6 に示すように、D F B (分布帰還活性領域 1 3 1) の短波長側のストップバンド端が曲率を有している場合、D B R (分布ブラッグ反射鏡領域 1 3 2) と D F B との間で欠陥モードを発生する可能性がある。しかしながら、実施の形態 1 の構成のように、短波長側のストップバンド端を平坦化することにより、欠陥モードの発生を抑制することができる。

**【 0 0 5 0 】**

図 3 B は、上述した状態における D B R の反射スペクトルおよび D F B の発光スペクトルを示している。D F B 側の発光スペクトルは長波長側のストップバンド端のみからの発光となる。D B R は、D F B の両端のストップバンド端の発光を反射するが、閾値利得の差により、図 3 C に示すように、長波長側のみの安定な発振、かつ D F B 側からのみの光出力を得ることができる。

**【 0 0 5 1 】**

また、DFBの両側のブラッグ波長を短波長化した場合についても同様の効果が得られる。分布ブラッグ反射鏡領域132の第2回折格子122は、均一回折格子とし、分布帰還活性領域131の第1回折格子121は、両側の結合係数が中央領域よりも高く、さらにブラッグ波長が中央部分から両端部分にかけて減少する変調回折格子とする。また、第2回折格子122の結合係数は、第1回折格子121よりも高くする。この構成とすることで、DBRのストップバンド幅がDFBのストップバンド幅よりも広い状態となる。

【0052】

上述した構成について図7A、図7B、図7Cを用いてより説明する。図7Aは、上述した構造におけるストップバンドの分布を示す。DFB領域においては、ブラッグ波長は波長に対して上に凸となるように分布する。この構成とした実施の形態1の半導体レーザの発振モードは、先述と同様の原理により、短波長側のストップバンド端でDFB中央付近に光の局在モードが生じ、主モードとして発振する。一方、長波長側のストップバンド端の発振は抑制される。さらに、DFBの後段、左側にDBRを設けることによって光をDFB側のみから取り出すことができる。

10

【0053】

図7Bは、上記構成とした半導体レーザの分布ブラッグ反射鏡領域132(DBR)の透過スペクトルと、分布帰還活性領域131(DFB)の発光スペクトルを示す特性図である。DFB側の発光スペクトルは、短波長側のストップバンド端のみからの発光となり、さらにDBRは、DFBの短波長側のストップバンドのみを反射する。このことにより、図7Cに示すように、短波長側のみの安定な発振、かつDFB側からのみの光出力を得ることができる。DFBとDBRの波長ずれに対する耐性向上の効果も先述の場合と同様である。

20

【0054】

次に、第1回折格子121の構成例について、図8を用いて説明する。第1回折格子121の周期は、全領域にわたり均一周期で形成し、5つの領域に分割する。領域長は、各々22 $\mu\text{m}$ 、12 $\mu\text{m}$ 、12 $\mu\text{m}$ 、12 $\mu\text{m}$ 、22 $\mu\text{m}$ とする。また、第1回折格子121の結合係数は、5つの領域各々について、1200 $\text{cm}^{-1}$ 、1100 $\text{cm}^{-1}$ 、1000 $\text{cm}^{-1}$ 、1100 $\text{cm}^{-1}$ 、1200 $\text{cm}^{-1}$ とする。また、各領域間には、0.2の位相シフトを設ける。

【0055】

次に、領域分割および位相シフトの構成方法について図9A、図9Bを用いて詳細に説明する。図9Aは、活性層中央部分よりも活性層両側領域のブラッグ波長が長い、連続的なブラッグ波長分布である。ブラッグ波長 $\lambda_b$ は、実効屈折率 $n_{eq}$ 、位相 $\phi_i$ 、位置の関数 $z$ を用いて、以下の式(1)のように表される。従って、素子内の位相分布を以下の式(2)で示されるように設計すれば、所望のブラッグ波長分布が得られる。

30

【0056】

【数1】

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial z} = \frac{4\pi n_{eq}}{\lambda_b(z)} \dots (1)$$

40

$$\Delta \phi_i(z) = \frac{4\pi n_{eq}}{\lambda_{b0}} z - 4\pi n_{eq} \int \frac{1}{\lambda_b(z)} dz \dots (2)$$

【0057】

図9Bは、図9Aのブラッグ波長分布を式(2)に従って導出した位相分布の例である。図8を用いて説明した第1回折格子121の構成例は、ブラッグ波長の変調幅が4nm、放物線形状のブラッグ波長分布関数に対応する。実際の素子の作製にあたっては、連続的な位相シフトを行わなくとも、素子を領域分割して離散的に位相シフトを挿入すること

50

で所望の位相分布を作製することができる。具体的には、図10に示すように、位相関数を位相シフト量に応じて離散化し、活性層を複数領域に分割して、各領域間に位相シフトを設ければよい。この構成は、位相シフト量を0.2で離散化した例である。

【0058】

また、ここではDFBの両側のブラッグ波長を中央部に対して長波長化した場合の例を示したが、DFBの両側のブラッグ波長を中央部に対して短波長化した場合も同様に構成できる。

【0059】

次に、図11A、図11B、図11Cを用いて実施の形態1における半導体レーザによる効果について説明する。実施の形態1における半導体レーザ(図中「本発明」と、DFBにおける回折格子を均一としたDRレーザ(図中「均一回折格子」と)について、DBRとDFBのブラッグ波長差に対する発振モードの安定性を比較した。DBR(第2回折格子122)は、結合係数が $2000\text{ cm}^{-1}$ である。また、DFB(第1回折格子)は上記の構造である。DFBのブラッグ波長は $1.55\text{ }\mu\text{m}$ であり、DBRのブラッグ波長を $1.51\text{ }\mu\text{m}$ から $1.59\text{ }\mu\text{m}$ まで変化させた。

10

【0060】

図11Aは、発振モードの閾値利得を示し、図11Bは、発振モードと高次モードの閾値利得差を示し、図11Cは、発振波長を示している。図11Aに示すように、本発明の構成によれば、共振器が高Q値化され、閾値利得が低下する。また、図11B、図11Cに示すように、均一回折格子構造では、DBRの波長ずれによりモード跳びが生じる可能性があるのに対し、本発明の構成においては、全てのDBR波長において長波長側のストップバンド端が基底モードとなることがわかる。このように、本発明によって、低消費電力、かつ安定な単一モード発振可能なレーザを実現することができる。

20

【0061】

[実施の形態2]

次に、本発明の実施の形態2について説明する。実施の形態2における半導体レーザは、前述した実施の形態1と基本的な構成は共通である。実施の形態2では、第1回折格子121の両端における周期長を、活性層中央部における周期長より長くする。

【0062】

実施の形態1では、ブラッグ波長分布を位相シフトにより形成したが、ブラッグ波長分布形成は、他の回折格子構造でも可能である。回折格子のブラッグ波長は、回折格子の周期長(一周期分の長さ)により規定できる。従って、回折格子の周期長を所望のブラッグ波長分布に応じて変えればよい。

30

【0063】

活性層103両側のブラッグ波長を長波長化するためには、第1回折格子121の両端における周期長を、活性層中央部における周期長より長く(大きく)すればよい。周期長は連続的に変えていくことが理想的であるが、離散的でもよい。

【0064】

図12に、素子分割の例を示す。活性層103(回折格子132)を、複数の均一周期長回折格子からなる領域に分割する。導波方向に分割する。分割した領域毎にブラッグ波長を離散的に変化させている。この構成によっても、所望のブラッグ波長分布を得ることができ、前述した実施の形態1と同様に、安定な単一モード発振を得ることができる。

40

【0065】

以上に説明したように、本発明では、分布帰還活性領域と、分布帰還活性領域に連続して配置された分布ブラッグ反射鏡領域を備える半導体レーザ(DRレーザ)において、分布帰還活性領域の第1回折格子の結合係数は、分布帰還活性領域の中央部分から両端部分にかけて増大する構成とした。この結果、本発明によれば、DRレーザにおける安定な単一モード発振が、容易に実現できるようになる。

【0066】

なお、本発明は以上に説明した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的

50

思想内で、当分野において通常の知識を有する者により、多くの変形および組み合わせが実施可能であることは明白である。

【0067】

例えば、上述では、回折格子の形状が矩形である場合を示したが、回折格子の形状は台形やサイン関数などの他の形状でも構わない。

【0068】

また、本発明は、次に示す構成の半導体レーザに適用することもできる。図13Aの斜視図、図13B、図13Cの断面図に示すように、分布帰還活性領域231と、分布帰還活性領域231に連続して配置された分布ブラッグ反射鏡領域232とを備えるようにしてもよい。図13Bは、分布帰還活性領域231の断面を示し、図13Cは、分布ブラッグ反射鏡領域232の断面を示している。

10

【0069】

分布帰還活性領域231は、基板201の上に形成された活性層203と、活性層203の上に形成された第1回折格子221と、活性層203に接して形成されたn型半導体層205およびp型半導体層206と、n型半導体層205に接続するn型電極209と、p型半導体層206に接続するp型電極210とを備える。第1回折格子221は、結合係数が分布帰還活性領域131の中央部分から両端部分にかけて増大している。

【0070】

分布ブラッグ反射鏡領域232は、活性層203に連続して形成されたコア層213と、コア層213の上に形成された第2回折格子222とを備える。

20

【0071】

この半導体レーザは、例えば鉄をドーブすることで高抵抗とした半絶縁性のInPからなる基板201の上に形成されている。活性層203は、基板201から見て上下の方向に、キャリア分離閉じ込め層202a、202bに挟まれている。また、これらは、基板201から見て上下の方向に、半導体層204a、半導体層204bに挟まれている。

【0072】

また、半導体層204a、キャリア分離閉じ込め層202a、活性層203、キャリア分離閉じ込め層202b、半導体層204bの積層構造が、n型半導体層205およびp型半導体層206に挟まれている。p型半導体層206およびn型半導体層205は、基板201の平面に平行な方向で活性層203を挟んで形成されている。なお、分布ブラッグ反射鏡領域232において、n型半導体層205およびp型半導体層206は形成していない。分布ブラッグ反射鏡領域232においては、例えば、基板201の上に再成長したアンドープのInPの層201aによりコア層213が埋め込まれている。

30

【0073】

また、n型電極209は、n型半導体層205にコンタクト層207を介して接続し、p型電極210は、p型半導体層206にコンタクト層208を介して接続する。この構成では、活性層203には、基板201の平面に平行な方向で電流が注入される。なお、分布ブラッグ反射鏡領域232において、n型電極209およびp型電極210は形成していない。

【0074】

また、活性層203は、光出射方向に所定の長さで延在し、この延在方向の分布帰還活性領域231において、活性層203の上に第1回折格子221が形成されている。半導体層204bの上面に第1回折格子221を形成している。また、このように延在している活性層203に連続してコア層213が形成されている。第2回折格子222は、コア層213を埋め込んでいるInPの層のコア層213上部の上面に形成している。

40

【0075】

また、図13Aでは省略しているが、コンタクト層207とコンタクト層208との間の半導体層204b、n型半導体層205、p型半導体層206の上面は、絶縁膜211により保護されている。

【0076】

50

活性層 203 は、例えば、InGaAsP からなる井戸層とバリア層が交互に積層された厚さ 220 nm の量子井戸構造とされている。また、活性層 203 は、幅 0.8 μm 程度とされている。活性層 203 (量子井戸層) の発光波長は 1.55 μm である。また、キャリア分離閉じ込め層 202a, 202b は、バンドギャップ波長 1.2 μm の InGaAsP から構成され、厚さ 130 nm 程度とされている。

【0077】

また、例えば、半導体層 204a, 半導体層 204b は、アンドープの InP から構成され、n 型半導体層 205 は、Si が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  程度ドーピングされた n 型の InP から構成され、p 型半導体層 206 は、Zn が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  程度ドーピングされた p 型の InP から構成されている。

10

【0078】

また、コンタクト層 207 は、Si が  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  程度ドーピングされた n 型の InGaAs から構成され、コンタクト層 208 は、Zn が  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  程度ドーピングされた InGaAs から構成されている。また、絶縁膜 211 は、例えば、SiO<sub>2</sub> から構成されている。また、半導体レーザは、レーザ出射端面に、図示しない無反射膜が形成されている。

【0079】

この半導体レーザの第 1 回折格子 221 に、本発明の構成を提供することによっても、安定な単一モード発振が、容易に実現できる。

【0080】

また、図 14A, 図 14B, 図 14C に示す垂直方向電流注入型の埋め込み型レーザに、本発明の構成を提供することによっても、安定な単一モード発振が、容易に実現できる。図 14A は、半導体レーザの構成を示す斜視図、図 14B, 図 14C は、半導体レーザの構成を示す断面図である。

20

【0081】

このレーザは、分布帰還活性領域 331 と、分布帰還活性領域 331 に連続して配置された分布ブラッグ反射鏡領域 332 とを備える。図 14B は、分布帰還活性領域 331 の断面を示し、図 14C は、分布ブラッグ反射鏡領域 332 の断面を示している。

【0082】

分布帰還活性領域 331 は、n 型の InP からなる基板 301 の上に形成された n 型 InP からなるクラッド層 302 と、この上に形成された活性層 303 と、活性層 303 の上に形成された第 1 回折格子 321 とを備える。活性層 303 は、光出射方向に延在するストライプ状に形成されている。また、活性層 303 の両脇は、高抵抗な InP からなる電流阻止層 306 に埋め込まれている。また、活性層 303 の上には、p 型の InP からなるクラッド層 304 が形成されている。第 1 回折格子 321 は、活性層 303 とクラッド層 304 との間に形成されている。

30

【0083】

また、クラッド層 304 の上には、p 型の InGaAs からなるコンタクト層 305 が形成され、コンタクト層 305 の上には、SiO<sub>2</sub> からなる絶縁膜 307 が形成されている。また、絶縁膜 307 の開口部でコンタクト層 305 に接続する p 型電極 311 が形成され、基板 301 の裏面には、n 型電極 312 が形成されている。第 1 回折格子 321 は、結合係数が分布帰還活性領域 131 の中央部分から両端部分にかけて増大している。

40

【0084】

分布ブラッグ反射鏡領域 332 は、活性層 303 に連続して形成されたコア層 313 と、コア層 313 の上に形成された第 2 回折格子 322 とを備える。コア層 313 も、光出射方向に延在するストライプ状に形成されている。また、コア層 313 の両脇も、電流阻止層 306 に埋め込まれている。また、コア層 313 の上にも、クラッド層 304 が形成されている。第 2 回折格子 322 は、コア層 313 とクラッド層 304 との間に形成されている。

【0085】

50

この構成では、活性層 303 には、基板 301 の平面に垂直な方向で電流が注入される。なお、分布ブラッグ反射鏡領域 332 において、p 型電極 311 は形成していない。この半導体レーザの第 1 回折格子 221 に、本発明の構成を提供することによっても、安定な単一モード発振が、容易に実現できる。

【0086】

また、上述では、InGaAsP 系の半導体を用いたが、InGaAlAs 系や GaAs 系など、他の化合物半導体材料を用いることもできることは言うまでも無い。

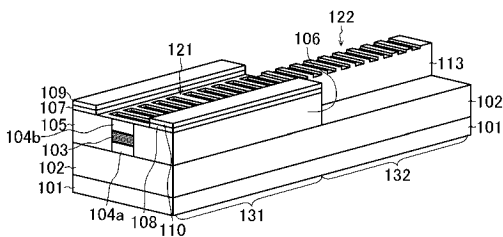
【符号の説明】

【0087】

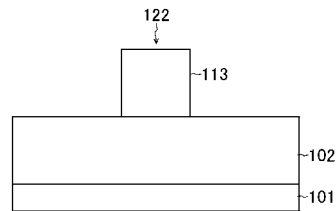
101 ... 基板、102 ... 下部クラッド層、103 ... 活性層、104a ... 半導体層、104b ... 半導体層、105 ... n 型半導体層、106 ... p 型半導体層、107 ... コンタクト層、108 ... コンタクト層、109 ... n 型電極、110 ... p 型電極、111 ... 絶縁膜、113 ... コア層、121 ... 第 1 回折格子、122 ... 第 2 回折格子、131 ... 分布帰還活性領域、132 ... 分布ブラッグ反射鏡領域。

10

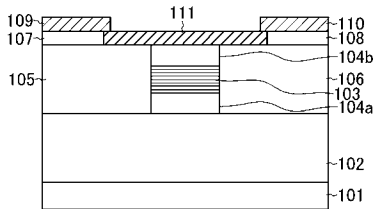
【図 1 A】



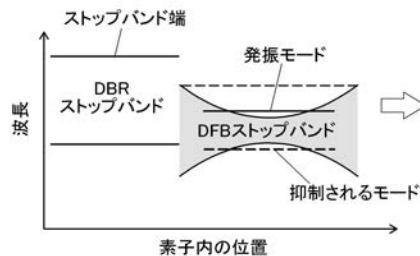
【図 1 C】



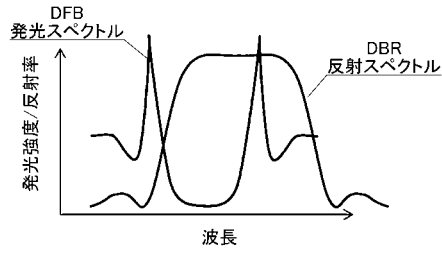
【図 1 B】



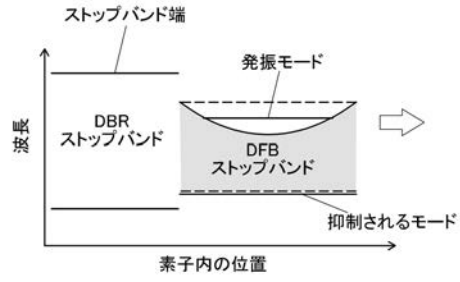
【図 2 A】



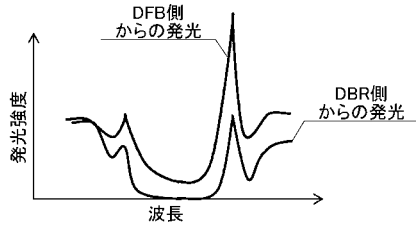
【図 2 B】



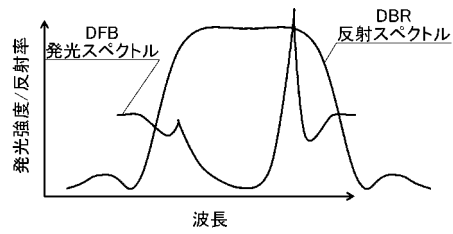
【図 3 A】



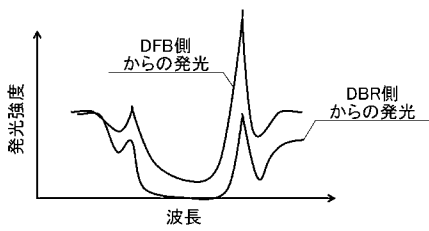
【図 2 C】



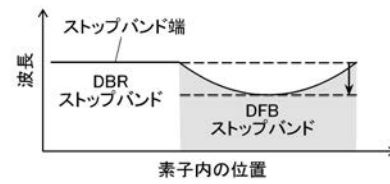
【図 3 B】



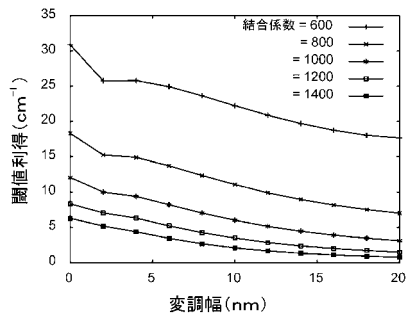
【図 3 C】



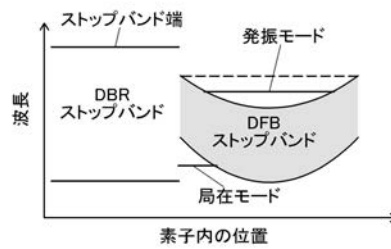
【図 5】



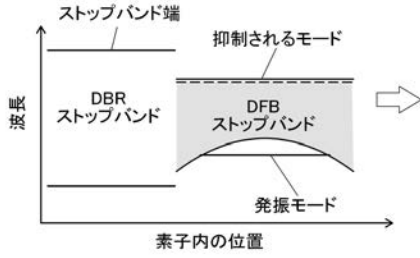
【図 4】



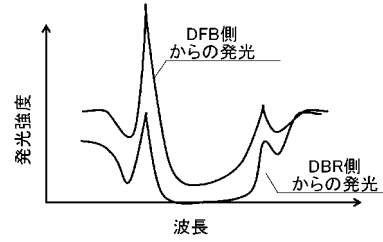
【図 6】



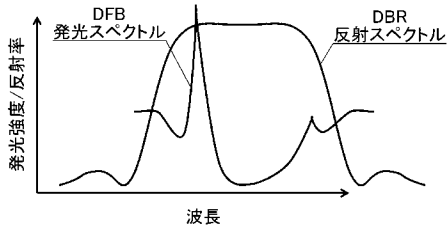
【図 7 A】



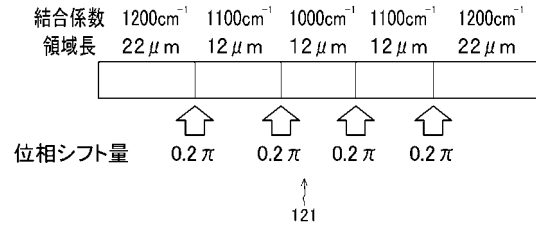
【図 7 C】



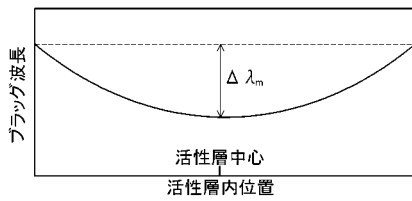
【図 7 B】



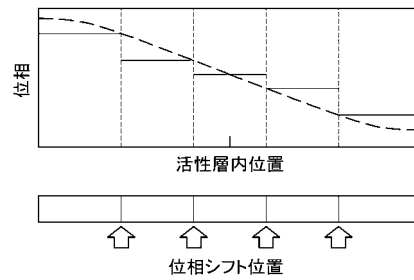
【図 8】



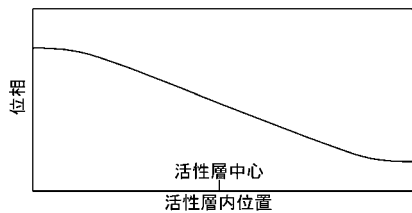
【図 9 A】



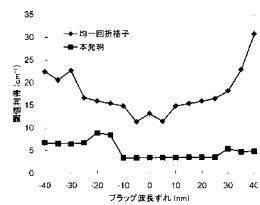
【図 10】



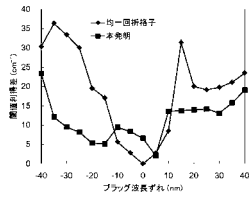
【図 9 B】



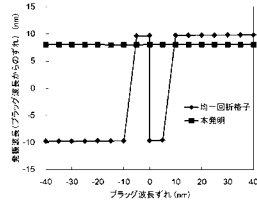
【図 11 A】



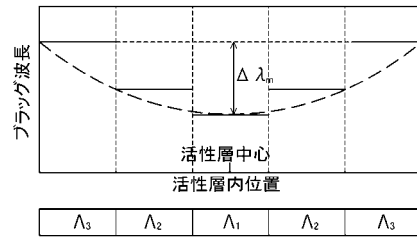
【図 1 1 B】



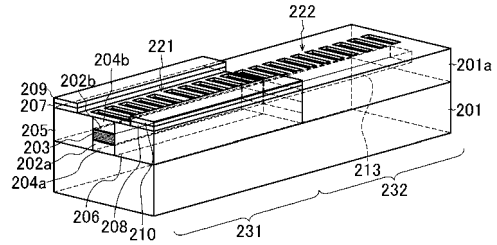
【図 1 1 C】



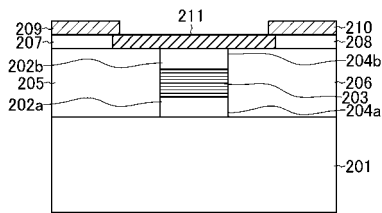
【図 1 2】



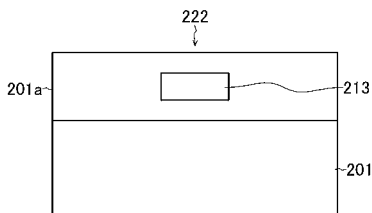
【図 1 3 A】



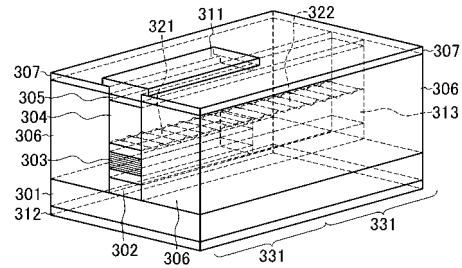
【図 1 3 B】



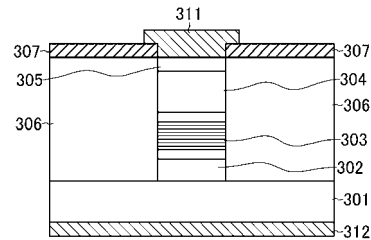
【図 1 3 C】



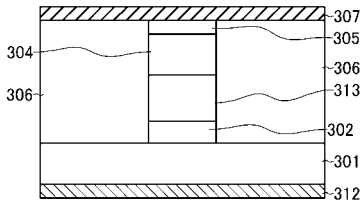
【図 1 4 A】



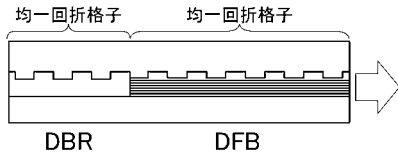
【図 1 4 B】



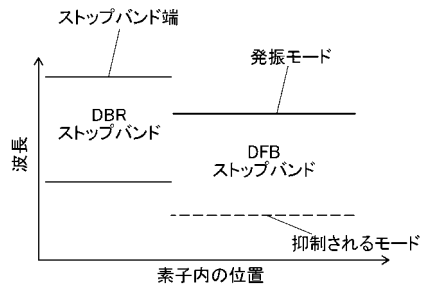
【図 1 4 C】



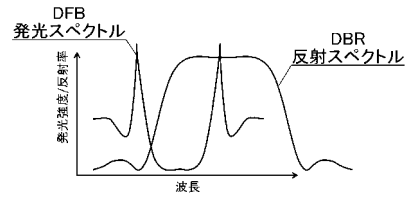
【図 1 5 A】



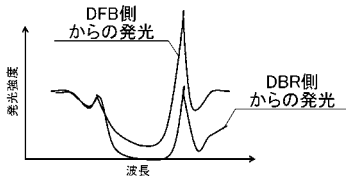
【図 1 5 B】



【図 1 5 C】



【図 1 5 D】



---

フロントページの続き

(72)発明者 松尾 慎治  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 藤井 拓郎  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 武田 浩司  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 長谷部 浩一  
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5F173 AA26 AA40 AB03 AB13 AB24 AF52 AH14 AK22 AP05 AP16  
AR04