

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6256746号
(P6256746)

(45) 発行日 平成30年1月10日 (2018. 1. 10)

(24) 登録日 平成29年12月15日 (2017. 12. 15)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 S 5/0687 (2006. 01)

H O 1 S 5/0687

H O 1 S 5/024 (2006. 01)

H O 1 S 5/024

請求項の数 1 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2013-227590 (P2013-227590)
 (22) 出願日 平成25年10月31日 (2013. 10. 31)
 (65) 公開番号 特開2015-88676 (P2015-88676A)
 (43) 公開日 平成27年5月7日 (2015. 5. 7)
 審査請求日 平成28年10月27日 (2016. 10. 27)

(73) 特許権者 000154325
 住友電工デバイス・イノベーション株式会
 社
 神奈川県横浜市栄区金井町 1 番地
 (74) 代理人 100087480
 弁理士 片山 修平
 (72) 発明者 柴田 雅央
 神奈川県横浜市栄区金井町 1 番地 住友電
 工デバイス・イノベーション株式会社内
 審査官 吉野 三寛

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長可変レーザの制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光導波路の温度を駆動条件として含む波長可変レーザの制御方法であって、
要求波長を指定する情報を入力し、メモリから、前記要求波長を挟むように隣接する 2
つの基本波長のいずれかである第 1 波長でレーザ発振させるための前記波長可変レーザの
第 1 駆動条件を取得する第 1 ステップと、

前記第 1 駆動条件と、前記第 1 波長と前記第 1 ステップで入力された要求波長である前
 記第 1 波長とは異なる第 2 波長との波長差分とを参照して、前記第 2 波長で前記波長可変
 レーザを駆動するための第 2 駆動条件を算出する第 2 ステップと、

前記第 2 ステップによって得られた第 2 駆動条件に基づいて、前記波長可変レーザを駆
 動する第 3 ステップと、を含み、

前記第 2 ステップにおいて、前記光導波路の温度が、前記第 1 駆動条件において示され
 る前記光導波路の温度よりも常に低い条件において、前記第 2 駆動条件を算出し、

前記第 3 ステップにおいて、前記光導波路の温度が前記第 2 駆動条件に達したと判定し
 た後、前記光導波路の温度を前記波長可変レーザの発振波長が前記第 2 波長を維持するよ
 うに制御する、波長可変レーザの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長可変レーザの制御方法に関する。

10

20

【背景技術】

【0002】

出力波長を選択可能な波長可変レーザが開示されている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2009-026996号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

10

特許文献1の技術では、予め設定されたグリッド波長を得るための駆動条件をメモリに格納し、この格納された駆動条件を基にグリッド波長の何れかで発振させる制御を実施する。ある温度範囲で発振波長が周期的に変化する波長可変レーザでは、当該温度範囲外で発振波長を制御しようすると、光出力に影響するおそれがある。

【0005】

そこで、光出力の劣化を抑制することができる波長可変レーザの制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本願1の発明は、

20

（1）光導波路の温度を駆動条件として含む波長可変レーザの制御方法であって、メモリから、第1波長でレーザ発振させるための前記波長可変レーザの第1駆動条件を取得する第1ステップと、前記第1駆動条件と、前記第1波長と前記第1波長とは異なる第2波長との波長差分とを参照して、前記第2波長で前記波長可変レーザを駆動するための第2駆動条件を算出する第2ステップと、前記第2ステップによって得られた第2駆動条件に基づいて、前記波長可変レーザを駆動する第3ステップと、を含み、前記第2ステップにおいて、前記光導波路の温度が、前記第1駆動条件において示される前記光導波路の温度よりも常に低い条件において、前記第2駆動条件を算出する、波長可変レーザの制御方法である。

【発明の効果】

30

【0007】

上記発明によれば、光出力の劣化を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】実施例1に係る波長可変レーザの全体構成を示すブロック図である。

【図2】本実施例における半導体レーザの全体構成を示す模式的断面図である。

【図3】初期設定値およびフィードバック制御目標値を示す図である。

【図4A】ヒータの温度と半導体レーザの発振波長との関係を表す図である。

【図4B】ヒータの温度と半導体レーザの発振波長との関係を表す図である。

【図5】グリッドレス制御における要求波長と基本波長との関係を表す図である。

40

【図6】グリッドレス制御の原理を示す図である。

【図7】半導体レーザの温度と、SG-DFB領域Aに供給される電流と、半導体レーザの光出力との関係を表す図である。

【図8】実施例の効果の説明する図である。

【図9】波長可変レーザの起動手順を説明するためのフローチャートである。

【図10】レーザデバイスの他の例を開示するものである。

【発明を実施するための形態】

【0009】

[本願発明の実施形態の説明]

最初に本願発明の実施形態の内容を列記して説明する。

50

【 0 0 1 0 】

本願発明は、(1) 光導波路の温度を駆動条件として含む波長可変レーザの制御方法であって、メモリから、第 1 波長でレーザ発振させるための前記波長可変レーザの第 1 駆動条件を取得する第 1 ステップと、前記第 1 駆動条件と、前記第 1 波長と前記第 1 波長とは異なる第 2 波長との波長差分とを参照して、前記第 2 波長で前記波長可変レーザを駆動するための第 2 駆動条件を算出する第 2 ステップと、前記第 2 ステップによって得られた第 2 駆動条件に基づいて、前記波長可変レーザを駆動する第 3 ステップと、を含み、前記第 2 ステップにおいて、前記光導波路の温度が、前記第 1 駆動条件において示される前記光導波路の温度よりも常に低い条件において、前記第 2 駆動条件を算出する、波長可変レーザの制御方法である。この構成によれば、光出力の劣化を抑制することができる。

10

(2) 前記波長可変レーザの温度を、ペルチェ素子を含む温度制御装置によって制御してもよい。

(3) 前記波長可変レーザは、複数の D F B レーザを備えるアレー型レーザであってもよい。

(4) 前記波長可変レーザは、S G - D F B を備えていてもよい。

【 0 0 1 1 】

[本願発明の実施形態の詳細]

本発明の実施形態に係る波長可変レーザの具体例を、以下に図面を参照しつつ説明する。なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

20

【実施例 1】

【 0 0 1 2 】

図 1 は、実施例 1 に係る波長可変レーザ 1 0 0 の全体構成を示すブロック図である。図 1 に示すように、波長可変レーザ 1 0 0 は、レーザデバイスとして、波長を制御可能な半導体レーザ 3 0 (チューナブル半導体レーザ) を備えている。本実施例の半導体レーザ 3 0 は、レーザ領域に連結して S O A (S e m i c o n d u c t o r O p t i c a l A m p l i f i e r) となる領域が設けられている。この S O A は、光出力制御部として機能する。S O A は光出力の強度を任意に増減させることができる。また光出力の強度を実質的にゼロに制御することもできる。さらに波長可変レーザ 1 0 0 は、検知部 5 0 、メモリ 6 0 、コントローラ 7 0 などを備える。検知部 5 0 は、出力検知部および波長ロッカ部として機能する。コントローラ 7 0 は、波長可変レーザ 1 0 0 の制御を行うものであり、その内部には R A M (R a n d o m A c c e s s M e m o r y) を備えている。

30

【 0 0 1 3 】

図 2 は、本実施例における半導体レーザ 3 0 の全体構成を示す模式的断面図である。図 2 に示すように、半導体レーザ 3 0 は、S G - D F B (S a m p l e d G r a t i n g D i s t r i b u t e d F e e d b a c k) 領域 A と、C S G - D B R (C h i r p e d S a m p l e d G r a t i n g D i s t r i b u t e d B r a g g R e f l e c t o r) 領域 B と、S O A (S e m i c o n d u c t o r O p t i c a l A m p l i f i e r) 領域 C とを備える。すなわち、半導体レーザ 3 0 は、半導体構造内に波長選択ミラーを有するレーザである。

40

【 0 0 1 4 】

一例として、半導体レーザ 3 0 において、フロント側からリア側にかけて、S O A 領域 C、S G - D F B 領域 A、C S G - D B R 領域 B がこの順に配置されている。S G - D F B 領域 A は、利得を有しサンプルドグレーティングを備える。C S G - D B R 領域 B は、利得を有せずにサンプルドグレーティングを備える。S G - D F B 領域 A および C S G - D B R 領域 B が図 1 のレーザ領域に相当し、S O A 領域 C が図 1 の S O A 領域に相当する。

【 0 0 1 5 】

S G - D F B 領域 A は、基板 1 上に、下クラッド層 2、活性層 3、上クラッド層 6、コ

50

ンタクト層 7、および電極 8 が積層された構造を有する。CSG-DBR 領域 B は、基板 1 上に、下クラッド層 2、光導波層 4、上クラッド層 6、絶縁膜 9、および複数のヒータ 10 が積層された構造を有する。各ヒータ 10 には、電源電極 11 およびグランド電極 12 が設けられている。SOA 領域 C は、基板 1 上に、下クラッド層 2、光増幅層 19、上クラッド層 6、コンタクト層 20、および電極 21 が積層された構造を有する。

【0016】

SG-DFB 領域 A、CSG-DBR 領域 B および SOA 領域 C において、基板 1、下クラッド層 2、および上クラッド層 6 は、一体的に形成されている。活性層 3、光導波層 4、および光増幅層 19 は、同一面上に形成されている。SG-DFB 領域 A と CSG-DBR 領域 B との境界は、活性層 3 と光導波層 4 との境界と対応している。

10

【0017】

SOA 領域 C 側における基板 1、下クラッド層 2、光増幅層 19 および上クラッド層 6 の端面には、端面膜 16 が形成されている。本実施例では、端面膜 16 は AR (Anti Reflection) 膜である。端面膜 16 は、半導体レーザ 30 のフロント側端面として機能する。CSG-DBR 領域 B 側における基板 1、下クラッド層 2、光導波層 4、および上クラッド層 6 の端面には、端面膜 17 が形成されている。本実施例では、端面膜 17 は AR 膜である。端面膜 17 は、半導体レーザ 30 のリア側端面として機能する。

【0018】

基板 1 は、例えば、n 型 InP からなる結晶基板である。下クラッド層 2 は n 型、上クラッド層 6 は p 型であり、それぞれ例えば InP によって構成される。下クラッド層 2 および上クラッド層 6 は、活性層 3、光導波層 4、および光増幅層 19 を上下で光閉込めしている。

20

【0019】

活性層 3 は、利得を有する半導体により構成されている。活性層 3 は、例えば量子井戸構造を有しており、例えば $\text{Ga}_{0.32}\text{In}_{0.68}\text{As}_{0.92}\text{P}_{0.08}$ (厚さ 5 nm) からなる井戸層と、 $\text{Ga}_{0.22}\text{In}_{0.78}\text{As}_{0.47}\text{P}_{0.53}$ (厚さ 10 nm) からなる障壁層が交互に積層された構造を有する。光導波層 4 は、例えばバルク半導体層で構成することができ、例えば $\text{Ga}_{0.22}\text{In}_{0.78}\text{As}_{0.47}\text{P}_{0.53}$ によって構成することができる。本実施例においては、光導波層 4 は、活性層 3 よりも大きいエネルギーギャップを有する。

30

【0020】

光増幅層 19 は、電極 21 からの電流注入によって利得が与えられ、それによって光増幅をなす領域である。光増幅層 19 は、例えば量子井戸構造で構成することができ、例えば $\text{Ga}_{0.35}\text{In}_{0.65}\text{As}_{0.99}\text{P}_{0.01}$ (厚さ 5 nm) の井戸層と $\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.85}\text{As}_{0.32}\text{P}_{0.68}$ (厚さ 10 nm) の障壁層が交互に積層された構造とすることができる。また、他の構造として、例えば $\text{Ga}_{0.44}\text{In}_{0.56}\text{As}_{0.95}\text{P}_{0.05}$ からなるバルク半導体を採用することもできる。なお、光増幅層 19 と活性層 3 とを同じ材料で構成することもできる。

【0021】

コンタクト層 7、20 は、例えば p 型 $\text{Ga}_{0.47}\text{In}_{0.53}\text{As}$ 結晶によって構成することができる。絶縁膜 9 は、窒化シリコン膜 (SiN) または酸化シリコン膜 (SiO) からなる保護膜である。ヒータ 10 は、チタンタングステン (TiW) で構成された薄膜抵抗体である。ヒータ 10 のそれぞれは、CSG-DBR 領域 B の複数のセグメントにまたがって形成されていてもよい。

40

【0022】

電極 8、21、電源電極 11 およびグランド電極 12 は、金 (Au) 等の導電性材料からなる。基板 1 の下部には、裏面電極 15 が形成されている。裏面電極 15 は、SG-DFB 領域 A、CSG-DBR 領域 B および SOA 領域 C にまたがって形成されている。

【0023】

端面膜 16 および端面膜 17 は、1.0% 以下の反射率を有する AR 膜であり、実質的

50

にその端面が無反射となる特性を有する。AR膜は、例えば MgF_2 および $TiON$ からなる誘電体膜で構成することができる。なお、本実施例ではレーザの両端がAR膜であったが、端面膜17を有意の反射率を持つ反射膜で構成する場合もある。図2における端面膜17に接する半導体に光吸収層を備えた構造を設けた場合、端面膜17に有意の反射率を持たせることで、端面膜17から外部に漏洩する光出力を抑制することができる。有意の反射率としては、たとえば10%以上の反射率である。なお、ここで反射率とは、半導体レーザ内部に対する反射率を指す。

【0024】

回折格子（コルゲーション）18は、SG-DFB領域AおよびCSG-DBR領域Bの下クラッド層2に所定の間隔を空けて複数箇所に形成されている。それにより、SG-DFB領域AおよびCSG-DBR領域Bにサンプルドグレーティングが形成される。SG-DFB領域AおよびCSG-DBR領域Bにおいて、下クラッド層2に複数のセグメントが設けられている。ここでセグメントとは、回折格子18が設けられている回折格子部と回折格子18が設けられていないスペース部とが1つずつ連続する領域のことをいう。すなわち、セグメントとは、両端が回折格子部によって挟まれたスペース部と回折格子部とが連結された領域のことをいう。回折格子18は、下クラッド層2とは異なる屈折率の材料で構成されている。下クラッド層2がInPの場合、回折格子を構成する材料として、例えば $Ga_{0.22}In_{0.78}As_{0.47}P_{0.53}$ を用いることができる。

【0025】

回折格子18は、2光束干渉露光法を使用したパターンングにより形成することができる。回折格子18の間に位置するスペース部は、回折格子18のパターンをレジストに露光した後、スペース部に相当する位置に再度露光を施すことで実現できる。SG-DFB領域Aにおける回折格子18のピッチと、CSG-DBR領域Bにおける回折格子18のピッチとは、同一でもよく、異なってもよい。本実施例においては、一例として、両ピッチは同一に設定してある。また、各セグメントにおいて、回折格子18は同じ長さを有していてもよく、異なる長さを有していてもよい。また、SG-DFB領域Aの各回折格子18が同じ長さを有し、CSG-DBR領域Bの各回折格子18が同じ長さを有し、SG-DFB領域AとCSG-DBR領域Bとで回折格子18の長さが異なってもよい。

【0026】

SG-DFB領域Aにおいては、各セグメントの光学長が実質的に同一となっている。CSG-DBR領域Bにおいては、少なくとも2つのセグメントの光学長が、互いに異なって形成されている。それにより、CSG-DBR領域Bの波長特性のピーク同士の強度は、波長依存性を有するようになる。SG-DFB領域Aのセグメントの平均光学長とCSG-DBR領域Bのセグメントの平均光学長は異なっている。このように、SG-DFB領域A内のセグメントおよびCSG-DBR領域Bのセグメントが半導体レーザ30内において共振器を構成する。

【0027】

SG-DFB領域AおよびCSG-DBR領域Bそれぞれの内部においては、反射した光が互いに干渉する。SG-DFB領域Aには活性層3が設けられており、キャリア注入されると、ピーク強度がほぼ揃った、所定の波長間隔を有する離散的な利得スペクトルが生成される。また、CSG-DBR領域Bにおいては、ピーク強度が異なる、所定の波長間隔を有する離散的な反射スペクトルが生成される。SG-DFB領域AおよびCSG-DBR領域Bにおける波長特性のピーク波長の間隔は異なっている。これら波長特性の組み合わせによって生じるバーニア効果を利用して、発振条件を満たす波長を選択することができる。

【0028】

図1に示すように、半導体レーザ30は、第1温度制御装置31上に配置されている。第1温度制御装置31は、ペルチェ素子を含み、TEC（Thermoelectric cooler）として機能する。第1サーミスタ32は、第1温度制御装置31上に配

10

20

30

40

50

置されている。第1サーミスタ32は、第1温度制御装置31の温度を検出する。第1サーミスタ32の検出温度に基づいて、半導体レーザ30の温度を特定することができる。

【0029】

波長可変レーザ100においては、検知部50が半導体レーザ30のフロント側に配置されている。検知部50が波長ロッカ部として機能することから、波長可変レーザ100は、フロントロッカタイプと呼ぶことができる。検知部50は、第1受光素子42、ビームスプリッタ51、エタロン52、第2温度制御装置53、第2受光素子54、および第2サーミスタ55を備える。

【0030】

ビームスプリッタ41は、半導体レーザ30のフロント側からの出力光を分岐する位置に配置されている。ビームスプリッタ51は、ビームスプリッタ41からの光を分岐する位置に配置されている。第1受光素子42は、ビームスプリッタ51によって分岐された2つの光の一方を受光する位置に配置されている。エタロン52は、ビームスプリッタ51によって分岐された2つの光の他一方を透過する位置に配置されている。第2受光素子54は、エタロン52を透過した透過光を受光する位置に配置されている。

【0031】

エタロン52は、入射光の波長に応じて透過率が周期的に変化する特性を有する。本実施例においては、エタロン52としてソリッドエタロンを用いる。なお、ソリッドエタロンの当該周期的な波長特性は、温度が変化することによって変化する。エタロン52は、ビームスプリッタ51によって分岐された2つの光の他方を透過する位置に配置されている。また、エタロン52は、第2温度制御装置53上に配置されている。第2温度制御装置53は、ペルチェ素子を含み、TEC (Thermoelectric cooler) として機能する。

【0032】

第2受光素子54は、エタロン52を透過した透過光を受光する位置に配置されている。第2サーミスタ55は、エタロン52の温度を特定するために設けられている。第2サーミスタ55は、例えば第2温度制御装置53上に配置されている。本実施例では、第2温度制御装置53の温度を第2サーミスタ55で検出することで、エタロン52の温度を特定している。

【0033】

メモリ60は、書き換え可能な記憶装置である。書き換え可能な記憶装置としては、典型的にはフラッシュメモリが挙げられる。コントローラ70は、中央演算処理装置 (CPU: Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory)、電源などを備える。RAMは、中央演算処理装置が実行するプログラム、中央演算処理装置が処理するデータなどを一時的に記憶するメモリである。

【0034】

メモリ60は、波長可変レーザ100の各部の初期設定値およびフィードバック制御目標値をチャンネルに対応させて記憶している。チャンネルとは、半導体レーザ30の発振波長に対応する番号である。例えば、各チャンネルは、ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) のグリッド波長に対応している。本実施例においては、各チャンネルの波長が基本波長と定義される。

【0035】

図3は、上記初期設定値およびフィードバック制御目標値を示す図である。なお、以下の説明では、初期設定値およびフィードバック制御目標値を駆動条件とも称する。図3に示すように、上記初期設定値は、SG-DFB領域Aの電極8に供給される初期電流値 I_{LD} 、SOA領域Cの電極21に供給される初期電流値 I_{SOA} 、半導体レーザ30の初期温度値 T_{LD} 、エタロン52の初期温度値 T_{etalon} 、および各ヒータ10に供給される初期電力値 $P_{Heater1} \sim P_{Heater3}$ を含む。これら初期設定値は、チャンネルごとに定められている。上記フィードバック制御目標値は、コントローラ70のフ

10

20

30

40

50

ィードバック制御を行う際の目標値である。フィードバック制御目標値は、第1受光素子42が出力する光電流の目標値 I_{m1} 、および第1受光素子42が出力する光電流 I_{m1} に対する第2受光素子54が出力する光電流 I_{m2} の比の目標値 I_{m2}/I_{m1} を含む。制御目標値も、チャンネルごとに定められている。また、メモリ60には、温度補正係数C1が格納されている。温度補正係数C1の詳細については後述する。本実施例においては、温度補正係数C1は、各チャンネルに共通の値である。なお、これらの各値は、波長可変レーザ100の出荷前に、波長計を使ったチューニングによって個体ごとに取得される。

【0036】

図4(a)は、ヒータ10の温度と、半導体レーザ30の発振波長との関係を表す図である。図4(a)では、第1温度制御装置31によって半導体レーザ30の温度が一定に維持されているものとする。横軸はヒータ10の平均温度を示し、縦軸は半導体レーザ30の発振波長を示す。半導体レーザ30は、SG-DFB領域Aの利得スペクトルとCSG-DBR領域Bの反射スペクトルとのうち2つの反射ピークが重なった波長でレーザ光を発振する。したがって、半導体レーザ30の発振波長は、所定の波長間隔で分布する。すなわち、半導体レーザ30は、飛び飛びの波長特性を有している。

【0037】

基本波長の1つである基本波長2を選択するためには、ヒータ10の平均温度を範囲Rに設定し、第1温度制御装置31の温度を所定の温度に設定することによって、波長変化が微小のほぼ平坦な部分（以下、テラス部分と称する）を選択する。このテラスにおいて、第1温度制御装置31の温度を制御することによって、テラスの中央Tにおいて基本波長2を選択することができる。

【0038】

図4(b)に示すように、この状態で、第1温度制御装置31の温度をT(Low)からT(High)($>T(Low)$)の範囲で変化させることによって、発振波長を基本波長0~4から選択することができる。基本波長0~4以外の波長を選択する場合には、ヒータ10の温度を上昇させるか低下させ、第1温度制御装置31の温度をT(Low)からT(High)の範囲で変化させればよい。図4(b)の例では、ヒータ10の温度を上昇させ、第1温度制御装置31の温度をT(Low)からT(High)の範囲で変化させることによって、基本波長5~9から発振波長を選択することができる。

【0039】

このように、波長可変レーザ100においては、半導体レーザ30の基本波長に対応した駆動条件が、基本波長が所定の波長間隔となるように複数設定されており、基本波長は、第1温度制御装置31の所定の温度範囲で周期的に配置されている。ヒータ10の温度と第1温度制御装置31の温度とを組み合わせることで制御することによって、各基本波長での発振を実現することができる。なお、本実施例においては、T(Low)からT(High)の範囲で基本波長が5つ設定されているが、この数は特に限定されるものではない。

【0040】

ところで、本実施例に係る波長可変レーザ100は、要求波長が基本波長と一致しなくても、当該要求波長を出力することができる。基本波長と異なる波長での出力を可能とする制御のことを、以下、グリッドレス制御と称する。図5は、グリッドレス制御における要求波長と基本波長との関係を表す図である。図5に示すように、グリッドレス制御においては、要求波長は、基本波長と隣接する他の基本波長との間の波長である。なお、要求波長は、基本波長と一致していてもよい。

【0041】

図6は、グリッドレス制御の原理を示す図である。図6において、横軸は波長を示し、縦軸は比 I_{m2}/I_{m1} （エタロン52の透過率）の正規化値を示す。図6において、実線は、エタロン52の初期温度値 T_{etalon} に対応する波長特性である。また、点線は、エタロン52の温度を第2温度制御装置53によって上昇させた場合の波長特性である。ここで、実線上の黒丸における比 I_{m2}/I_{m1} がフィードバック目標値として採用

10

20

30

40

50

されている場合、エタロン 52 が初期温度値 T_{Etalon} であると、基本波長で発振することになる。一方、エタロン 52 が点線で示される波長特性に対応した温度であると、比 I_{m2} / I_{m1} が基本波長を得るための値（点線上の黒丸）であっても、実際の発振波長はエタロン特性の変更分だけ、その基本波長からシフトする。つまり、要求波長と基本波長との波長差だけエタロン特性をシフトすることで、フィードバック目標値である比 I_{m2} / I_{m1} はそのまま、要求波長を実現することができる。すなわち、要求波長と基本波長との波長差分 F に基づき、エタロン温度を変更するための演算をし、これをエタロン温度として適用することで、要求波長を実現することができる。なお、本実施例のエタロン 52 の FSR （自由スペクトル領域）は、例えば、50 GHz 間隔等で構成されている。

10

【0042】

上記したように、エタロン 52 の波長特性は、その温度にしたがってシフトする。エタロン 52 における周波数変動量 / 温度変化量 $[GHz /]$ を、エタロン 52 の温度補正係数 $C1$ と称する。なお、ここでは波長を周波数で表現している。温度補正係数 $C1$ は、波長可変レーザの駆動条件の波長変化に対する変化率に相当する。

【0043】

要求波長の制御を実現するためのエタロン 52 の設定温度を $T_{\text{etln_A}} []$ とする。またエタロン 52 の初期温度、すなわち選択された基本波長に対応したエタロン 52 の温度を $T_{\text{etln_B}} []$ とする。 $T_{\text{etln_B}}$ は T_{Etalon} に相当し、メモリ 60 から取得される。さらに、基本波長と要求波長との波長差分（絶対値）を $F [GHz]$ とする。この場合、各パラメータの関係は、下記式（1）のように表すことができる。式（1）に基づいて要求波長を得るために必要な設定温度 $T_{\text{etln_A}}$ を求めることができる。

20

$$T_{\text{etln_A}} = T_{\text{etln_B}} + F / C1 \quad (1)$$

第 2 温度制御装置 53 の温度を設定温度 $T_{\text{etln_A}}$ に制御することによって、比 I_{m2} / I_{m1} をそのまま利用して、要求波長を得ることが可能となる。

【0044】

以上の動作を実行することにより、図 6 に示すように、エタロン 52 の特性がシフトした分だけ、基本波長からシフトした波長（要求波長）によって半導体レーザ 30 をレーザ発振させることができる。なお、上述したように、比 I_{m2} / I_{m1} をそのまま利用することはできるが、第 1 温度制御装置 31 およびヒータ 10 の温度制御によって、半導体レーザ 30 の発振波長を連続的に変化させることになる。

30

【0045】

上記グリッドレス制御を行うためには、図 4（b）で説明したように、ヒータ 10 の温度と第 1 温度制御装置 31 の温度とを組み合わせで制御すればよい。例えば、ヒータ 10 の平均温度を所定の温度とし、第 1 温度制御装置 31 の温度を $T(\text{Low})$ から $T(\text{High})$ の範囲で制御することによって、基本波長 0 から基本波長 4 の範囲で、基本波長に限らず任意の波長を選択することができる。また、基本波長 0 ~ 4 を実現した場合よりもヒータ 10 の平均温度を上昇させることによって、発振波長を基本波長 5 ~ 9 の範囲で任意の波長を選択することができる。

40

【0046】

ここで、発振波長を基本波長 4 と基本波長 5 との間の波長に変化させる場合について検討する。すなわち、基本波長の周期性を実現するための第 1 温度制御装置 31 の温度範囲外で波長を制御する場合について検討する。この場合、基本波長 4 の駆動条件から第 1 温度制御装置 31 の温度を $T(\text{High})$ よりもさらに上昇させる制御と、基本波長 5 の駆動条件から第 1 温度制御装置 31 の温度を $T(\text{Low})$ よりもさらに低下させる制御とが考えられる。第 1 温度制御装置 31 の温度が高くなると、半導体レーザ 30 の温度も高くなる。

【0047】

図 7 は、半導体レーザ 30 の温度（ TLD ）と、SG-DFB 領域 A の電極 8 に供給さ

50

れる電流（LD電流）と、半導体レーザ30の光出力との関係を表す図である。図5に示すように、半導体レーザ30の温度が高くなると、しきい値電流の増加に伴って光出力が小さくなる。すなわち、半導体レーザ30の温度が高くなると、半導体レーザ30の光出力が劣化する。

【0048】

そこで、本実施例においては、基本波長の周期性を実現するための第1温度制御装置31の温度範囲外で波長を制御する場合、発振波長を基本波長から任意の波長に設定する際に、第1温度制御装置31の温度を高温から低温への一方向に制御する。具体的には、発振波長を基本波長4と基本波長5との間の波長に変化させる場合、基本波長4（第1基本波長）と、隣接する基本波長5（第2基本波長）との間の任意の波長に発振波長を設定する際に、第1温度制御装置31の温度が高い方の基本波長から連続的に発振波長を変化させる。

10

【0049】

この場合の効果について説明する。図8に示すように、基本波長5と基本波長6との間の波長に発振波長を制御する際に、第1温度制御装置31が基本波長6を実現する温度から第1温度制御装置31の温度を低下させる。また、基本波長4と基本波長5との間の波長に発振波長を制御する際にも、第1温度制御装置31が基本波長5を実現する温度（ $T(Low)$ ）から第1温度制御装置31の温度を低下させる。この場合、第1温度制御装置31の温度が $T(Low)$ と $T(High)$ との範囲外に制御される場合に、当該範囲よりも低い温度に第1温度制御装置31が制御される。それにより、第1温度制御装置31の温度を $T(Low) \sim T(High)$ の範囲外に制御する際の半導体レーザ30の光出力の劣化を抑制することができる。これによって、半導体レーザ30の光出力を高出力で出力することができる。

20

【0050】

本実施例においては、半導体レーザ30のSG-DFB領域の温度を下げることで、半導体レーザ30の光出力を高出力で出力することができる。これは、SG-DFB領域の温度を下げることで、SG-DFB領域の利得が上昇するためである。SG-DFB領域の活性層とは、MQW活性層で形成されているが、バルク導波路活性層でも同様に温度を下げることで、半導体レーザ30の光出力を高出力で出力することができる。また、本実施例のSG-DFB領域に位相調整部が形成された半導体レーザであっても、SG-DFB領域の温度を下げることで、半導体レーザの光出力を高出力で出力することができる。さらに、SOAにおいても同様に温度を下げることで、光出力を高出力で出力することができる。例えば、両側のSG-DBR領域の間にSOA領域を配置する半導体レーザにおいてもSOA領域の温度を下げることで、半導体レーザの光出力を高出力で出力することができる。

30

【0051】

なお、本実施例においては、第1温度制御装置31の温度を $T(Low) \sim T(High)$ の範囲外の場合について述べているが、第1温度制御装置31の温度を $T(Low) \sim T(High)$ の範囲内で制御する際にも光出力の劣化を抑制することができる。ただし、第1温度制御装置31の温度を $T(Low) \sim T(High)$ の範囲外の場合においては、光出力の劣化を抑制する効果は大きい。

40

【0052】

図9は、波長可変レーザ100の起動手順を説明するためのフローチャートである。図9に示すように、コントローラ70は、波長要求を受ける（ステップS1）。この要求波長は、図示しない外部入出力装置からの入力によるものである。典型的にはRS232C規格に対応した入出力装置が採用される。次に、コントローラ70は、一例として、要求波長を挟む基本波長のうち、第1温度制御装置31の温度の高い基本波長を選択する（ステップS2）。

【0053】

次に、コントローラ70は、基本波長と要求波長との波長差分Fを算出する（ステッ

50

プ S 3)。次に、コントローラ 7 0 は、エタロン 5 2 の更新設定温度を算出する (ステップ S 4)。次に、コントローラ 7 0 は、半導体レーザ 3 0 の更新設定値を算出する (ステップ S 5)。この場合に、第 1 温度制御装置 3 1 の温度が高い基本波長から第 1 温度制御装置 3 1 の温度を低下させるように、上記更新設定値を算出する。

【 0 0 5 4 】

次に、コントローラ 7 0 は、ステップ S 4 およびステップ S 5 で算出した更新設定温度および更新設定値を自身の R A M に書き込む (ステップ S 6)。次に、コントローラ 7 0 は、R A M に書き込まれた更新設定温度および更新設定値を用いて半導体レーザ 3 0 を駆動させる (ステップ S 7)。なお、S O A 領域 C については、この時点では半導体レーザ 3 0 から光が出力されないように制御する。

【 0 0 5 5 】

次に、コントローラ 7 0 は、第 1 サーミスタ 3 2 の検出温度 T_{H1} が T_{LD} の範囲内になるように、A T C (A u t o m a t i c T e m p e r a t u r e C o n t r o l) 制御を行う。また、第 1 サーミスタ 3 2 の検出温度 T_{H1} が T_{LD} の範囲内にあるか否かを判定する (ステップ S 8)。ここで T_{LD} の範囲とは、更新設定値の温度値 T_{LD} を中心とする所定範囲である。ステップ S 8 において「N o」と判定された場合、コントローラ 7 0 は、第 1 サーミスタ 3 2 の検出温度 T_{H1} が温度値 T_{LD} 近づくように第 1 温度制御装置 3 1 に供給される電流値を変更する。

【 0 0 5 6 】

コントローラ 7 0 は、ステップ S 8 と並行して、第 2 サーミスタ 5 5 の検出温度 T_{H2} が設定範囲内になるように、A T C (A u t o m a t i c T e m p e r a t u r e C o n t r o l) 制御を行う。また、第 2 サーミスタ 5 5 の検出温度 T_{H2} が設定範囲内にあるか否かを判定する (ステップ S 9)。この場合の設定範囲は、更新設定値に含まれる設定温度 T_{et1n_A} に基づいて決定される。例えば、上記設定範囲は、設定温度 T_{et1n_A} を中心とする所定範囲とすることができる。ステップ S 9 において「N o」と判定された場合、コントローラ 7 0 は、第 2 サーミスタ 5 5 の検出温度 T_{H2} が設定温度 T_{et1n_A} に近づくように第 2 温度制御装置 5 3 に供給される電流値を変更する。なお、ステップ S 9 において「Y e s」と判定された場合においても、上記の第 2 温度制御装置 5 3 による A T C 制御の動作は継続する。

【 0 0 5 7 】

コントローラ 7 0 は、ステップ S 8 およびステップ S 9 の両方で「Y e s」と判定されるまで待機する。ステップ S 8 およびステップ S 9 の両方で「Y e s」と判定された場合、コントローラ 7 0 は、シャッタオープンの動作を行う (ステップ S 1 0)。具体的には、S O A 領域 C の電極 2 1 に供給される電流を初期電流値 I_{SOA} に制御する A P C (A u t o m a t i c P o w e r C o n t r o l) 制御を動作する。それにより、半導体レーザ 3 0 から更新波長のレーザ光が出力される。なお、ステップ S 1 0 においても、A P C (A u t o m a t i c P o w e r C o n t r o l) 制御の動作は継続する。

【 0 0 5 8 】

次に、コントローラ 7 0 は、第 1 温度制御装置 3 1 による温度値 T_{LD} を制御目標とした温度制御を終了する (ステップ S 1 1)。次に、コントローラ 7 0 は、第 1 温度制御装置 3 1 による A F C 制御を開始する (ステップ S 1 2)。つまり、第 1 温度制御装置 3 1 の温度が、フィードバック制御目標値の比 I_{m2} / I_{m1} を満たすようにフィードバック制御される。エタロン 5 2 の入力光と出力光の比 (前後比) は、半導体レーザ 3 0 の発振波長を示している。また、第 1 温度制御装置 3 1 は半導体レーザ 3 0 の波長を制御するパラメータである。すなわちステップ S 2 1 では、前後比が I_{m2} / I_{m1} になるように第 1 温度制御装置 3 1 の温度をフィードバック制御することで、半導体レーザ 3 0 の波長を制御する A F C 制御が動作される。それにより、要求波長が実現される。コントローラ 7 0 は、比 I_{m2} / I_{m1} がステップ S 2 で選択された基本波長における目標値 I_{m2} / I_{m1} を中心とする所定範囲内にあることを確認すると、ロックフラグを出力する (ステップ S 1 3)。その後、フローチャートの実行が終了する。

【 0 0 5 9 】

本実施例によれば、発振波長を制御する際に、第 1 温度制御装置 3 1 の温度が高温から低温へ一方に制御される。それにより、第 1 温度制御装置 3 1 の温度が T (L o w) から T (H i g h) の範囲よりも高くない。それにより、半導体レーザ 3 0 の光出力の劣化を抑制することができる。

【 0 0 6 0 】

なお、本実施例を適用することができる光源は、図 2 の半導体レーザ 3 0 に限られない。波長選択部を温度制御することによって出力波長を選択することができる半導体レーザであればよい。例えば、D F B レーザ、S G - D F B レーザ、D F B アレイレーザなどが挙げられる。

10

【 0 0 6 1 】

図 1 0 は、半導体レーザ 3 0 に代えて使用可能なレーザデバイスの他の例を開示するものである。図 1 0 に示すように、レーザモジュール 3 0 a は、複数の D F B レーザ 7 1、光カプラ 7 2、光増幅器 7 3 を備える。複数の D F B レーザ 7 1 は、それぞれコルゲーションのピッチが異なっている。あるいは活性層を構成する半導体材料を異ならせる場合もある。このような構成により、それぞれの D F B レーザ 7 1 は同じ温度・駆動電流において、異なる発振波長を実現する。各 D F B レーザ 7 1 の出力は、光カプラ 7 2 に結合される。光カプラ 7 2 は、入射された光を光増幅器 7 3 に接続する。光増幅器 7 3 は、入射された光を増幅して外部に出力する。出力波長の選択にあたっては、まず、目的とする波長の帯域をカバーする D F B レーザ 7 1 を 1 つ選択する。そして、選択された D F B レーザ 7 1 の温度を第 1 温度制御装置 3 1 によって制御することで、所望の発振波長を実現する。したがって、D F B レーザ 7 1 の数は、レーザモジュール 3 0 a に要求される波長帯域全体をカバーする分だけ、用意される。なお、選択されなかった D F B レーザ 7 1 は、駆動電力が与えられずオフしている。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 6 2 】

- 1 基板
- 2 下クラッド層
- 3 活性層
- 4 光導波層
- 6 上クラッド層
- 7 コンタクト層
- 8 電極
- 9 絶縁膜
- 1 0 ヒータ
- 1 1 電源電極
- 1 2 グランド電極
- 1 5 裏面電極
- 1 6 端面膜
- 1 7 端面膜
- 1 8 回折格子
- 1 9 光増幅層
- 2 0 コンタクト層
- 2 1 電極
- 3 0 半導体レーザ
- 3 0 a レーザモジュール
- 3 1 第 1 温度制御装置
- 3 2 第 1 サーミスタ
- 4 1 ビームスプリッタ
- 4 2 第 1 受光素子

30

40

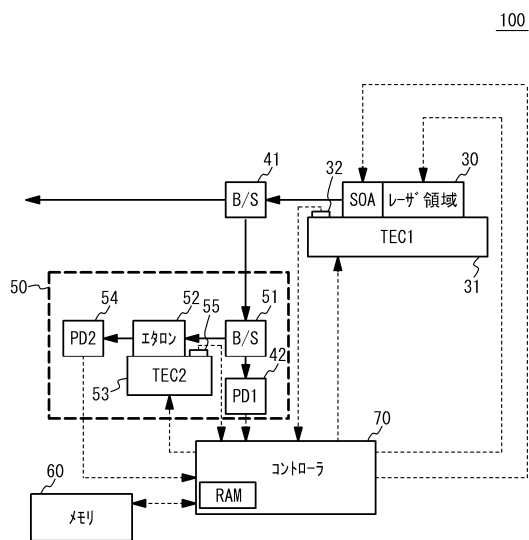
50

- 5 0 検知部
- 5 1 ビームスプリッタ
- 5 2 エタロン
- 5 3 第2温度制御装置
- 5 4 第2受光素子
- 5 5 第2サーミスタ
- 6 0 メモリ
- 7 0 コントローラ
- 7 1 DFBレーザ
- 7 2 光カプラ
- 7 3 光増幅器
- 1 0 0 波長可変レーザ

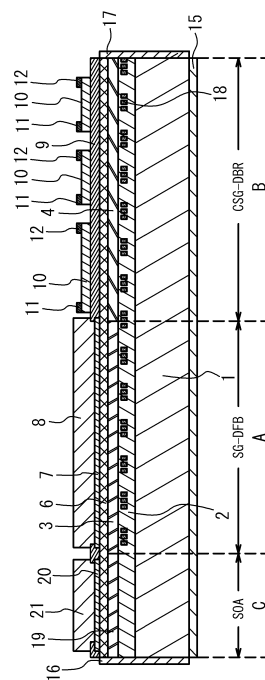
10

【図1】

【図2】



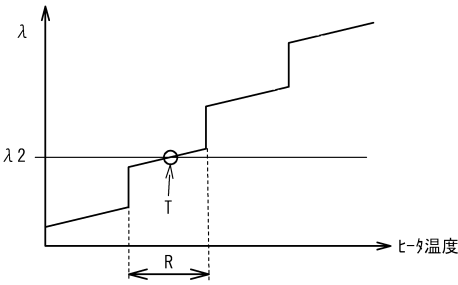
30



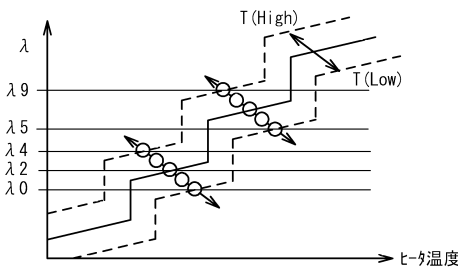
【図 3】

Ch	I _{LD} [mA]	I _{SOA} [mA]	T _{LD} [degC]	T _{SOA} [degC]	T _{Ealon} [degC]	初期設定値				フィードバック 制御目標値	温度補正 係数 C1 [GHz/°C]
						P _{Heater1} [mW]	P _{Heater2} [mW]	P _{Heater3} [mW]	I _{m1} [μA]	I _{m2} /I _{m1} A. U.	
1	150.00	67.39	52.508	50.000	50.000	50.69	57.47	50.69	315.0	1.175	-1.87
2	150.00	47.74	34.533	50.000	50.000	72.45	81.31	72.45	317.5	1.518	
3	150.00	50.86	38.727	50.000	50.000	69.12	77.71	69.12	313.0	1.229	
n	150.00	54.77	54.046	50.000	50.000	11.69	43.32	11.69	317.2	1.441	

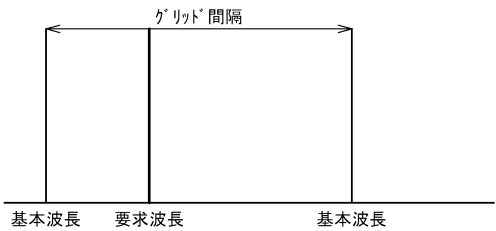
【図 4 A】



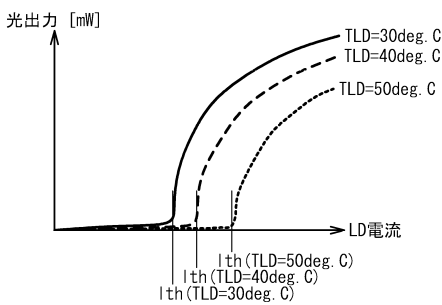
【図 4 B】



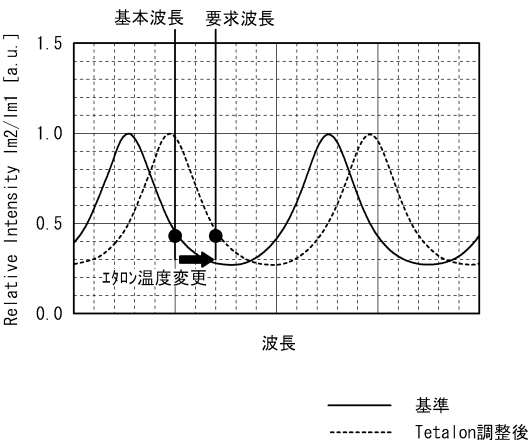
【図 5】



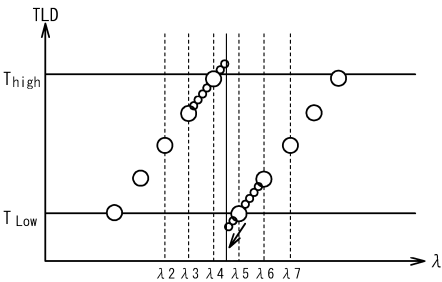
【図 7】



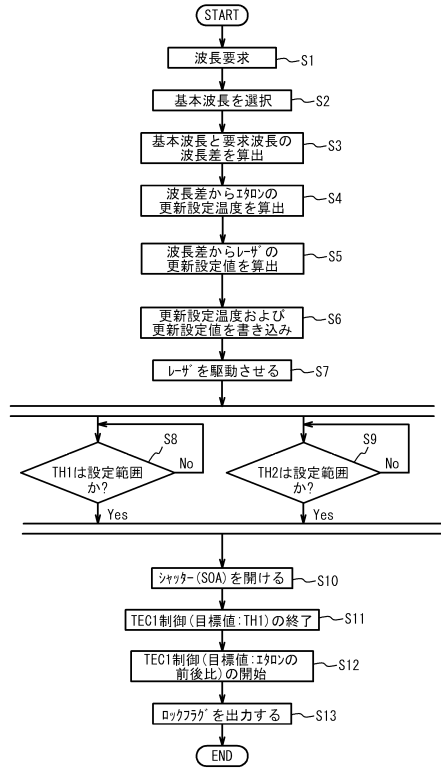
【図 6】



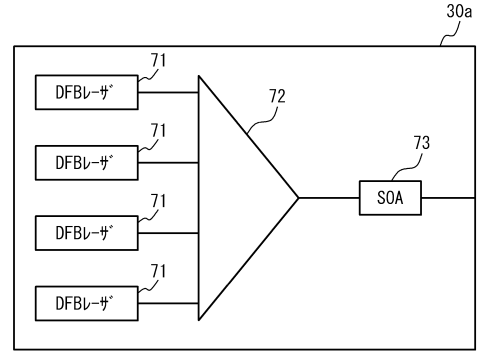
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-054714(JP,A)
特開2011-108910(JP,A)
特開2009-044024(JP,A)
特表2007-523494(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 5/00-5/50