

(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2015-126195

(P2015-126195A)

(43) 公開日 平成27年7月6日(2015.7.6)

(51) Int.Cl.

H01S 5/0687 (2006.01)

F I

H01S 5/0687

テーマコード (参考)

5 F 1 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2013-271615 (P2013-271615)  
 (22) 出願日 平成25年12月27日 (2013.12.27)

(71) 出願人 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 宮田 充宜  
 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  
 Fターム(参考) 5F173 SA04 SA06 SA12 SC02 SE01  
 SF09 SF33 SF43 SF46 SF54  
 SF65 SF76

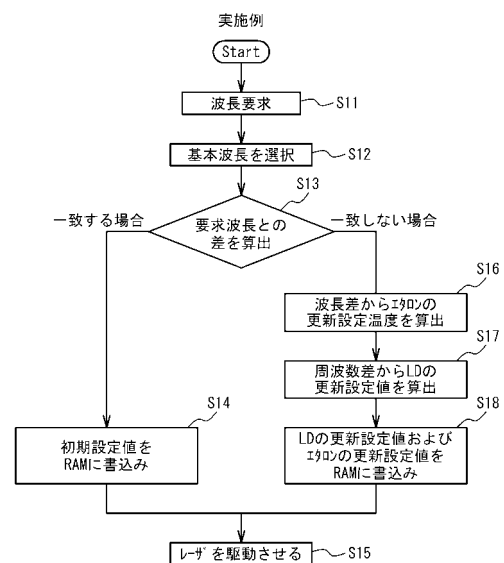
(54) 【発明の名称】 波長可変レーザの制御方法

## (57) 【要約】

【課題】 余計な処理の発生を防止することができる、波長可変レーザの制御方法を提供する。

【解決手段】 波長可変レーザの制御方法は、基本波長での駆動条件を格納する第1メモリからいずれかの駆動条件を読み出して当該駆動条件を用いて波長可変レーザを制御する波長可変レーザの制御方法であって、第1波長を指定する情報を入力する工程と、第1波長が第1メモリに格納されたいずれかの基本波長である第2波長と同じであるか否かを判定する工程と、第1波長と第2波長とが同じであると判定された場合に、第1メモリから第2波長の駆動条件を取得する工程と、第1波長と第2波長とが異なると判定された場合に、第1メモリから第2波長の駆動条件を取得し、第1波長と第2波長との差分に基づいて当該駆動条件を用いて第1波長での駆動条件を算出する工程と、前記取得する工程もしくは前記算出する工程の駆動条件に基づいて、波長可変レーザの発振波長を制御する。

【選択図】 図9



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

基本波長での駆動条件を格納する第 1 メモリからいずれかの駆動条件を読み出して当該駆動条件を用いて波長可変レーザを制御する波長可変レーザの制御方法であって、

第 1 波長を指定する情報を入力する工程と、

前記第 1 波長が前記第 1 メモリに格納されたいずれかの基本波長である第 2 波長と同じであるか否かを判定する工程と、

前記第 1 波長と前記第 2 波長とが同じであると判定された場合に、前記第 1 メモリから前記第 2 波長の駆動条件を取得する工程と、

前記第 1 波長と前記第 2 波長とが異なると判定された場合に、前記第 1 メモリから前記第 2 波長の駆動条件を取得し、前記第 1 波長と前記第 2 波長との差分に基づいて当該駆動条件を用いて前記第 1 波長での駆動条件を算出する工程と、

前記取得する工程もしくは前記算出する工程の駆動条件に基づいて、前記波長可変レーザの発振波長を制御する、波長可変レーザの制御方法。

**【請求項 2】**

エタロンを用いて波長検知を行う波長検知部の検知結果と、駆動条件に含まれる目標値との差に基づいて、前記波長可変レーザの発振波長を制御し、

前記第 1 波長での駆動条件を算出する際に、前記エタロンの設定温度を変更する演算を行う、請求項 1 記載の波長可変レーザの制御方法。

**【請求項 3】**

前記第 1 波長を指定する情報は、基準周波数、グリッド間隔およびチャネル番号を含むパラメータのうち少なくとも 2 つを含む、請求項 1 または 2 記載の波長可変レーザの制御方法。

**【請求項 4】**

前記第 2 波長は、ITU-T グリッドのいずれかの波長である、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の波長可変レーザの制御方法。

**【請求項 5】**

前記第 1 メモリの駆動条件を波長値と紐付するデータを格納する第 2 メモリをさらに備え、

前記第 1 波長を指定する情報は波長値であり、前記第 2 メモリを参照することで、前記第 1 メモリの前記第 2 波長の駆動条件を取得する、請求項 1 に記載の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ものである。

**【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）。特許文献 1 の技術では、ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector) によって定められたグリッド波長を得るための制御条件をメモリに格納し、この格納された制御条件を基にグリッド波長の何れかの波長で発振させる制御を実施するものである。

**【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

20

30

40

50

グリッド波長以外の波長での発振を実現するグリッドレス制御においては、グリッド波長以外の波長が要求波長として要求される。この場合、グリッド波長における駆動条件を基に、グリッド波長以外の波長における駆動条件が算出される。しかしながら、要求波長がグリッド波長と一致する場合においても駆動条件を算出する処理が行われれば、余計な処理が発生することになる。

【 0 0 0 5 】

そこで、余計な処理の発生を防止することができる、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】

【 0 0 0 6 】

本発明に係る波長可変レーザの制御方法は、基本波長での駆動条件を格納する第 1 メモリからいずれかの駆動条件を読み出して当該駆動条件を用いて波長可変レーザを制御する波長可変レーザの制御方法であって、第 1 波長を指定する情報を入力する工程と、前記第 1 波長が前記第 1 メモリに格納されたいずれかの基本波長である第 2 波長と同じであるか否かを判定する工程と、前記第 1 波長と前記第 2 波長とが同じであると判定された場合に、前記第 1 メモリから前記第 2 波長の駆動条件を取得する工程と、前記第 1 波長と前記第 2 波長とが異なると判定された場合に、前記第 1 メモリから前記第 2 波長の駆動条件を取得し、前記第 1 波長と前記第 2 波長との差分に基づいて当該駆動条件を用いて前記第 1 波長での駆動条件を算出する工程と、前記取得する工程もしくは前記算出する工程の駆動条件に基づいて、前記波長可変レーザの発振波長を制御する、波長可変レーザの制御方法である。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

上記発明によれば、余計な処理の発生を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【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表である。

【図 4】格納された温度補正係数 C 1 を示す図である。

【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。

【図 6】グリッドレス制御の原理を示す図である。

【図 7 A】ITU - T グリッド波長に対応する周波数を示す図である。

【図 7 B】ITU - T グリッド波長とは異なるグリッド波長に対応する周波数を示す図である。

【図 8】更新設定値の算出手順（比較例）を表すフローチャートである。

【図 9】更新設定値の算出手順（実施例）を表すフローチャートである。

【図 10】半導体レーザを駆動した後の制御の一例を表すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

[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。

( 1 ) 波長可変レーザの制御方法は、基本波長での駆動条件を格納する第 1 メモリからいずれかの駆動条件を読み出して当該駆動条件を用いて波長可変レーザを制御する波長可変レーザの制御方法であって、第 1 波長を指定する情報を入力する工程と、前記第 1 波長が前記第 1 メモリに格納されたいずれかの基本波長である第 2 波長と同じであるか否かを判定する工程と、前記第 1 波長と前記第 2 波長とが同じであると判定された場合に、前記第 1 メモリから前記第 2 波長の駆動条件を取得する工程と、前記第 1 波長と前記第 2 波長とが異なると判定された場合に、前記第 1 メモリから前記第 2 波長の駆動条件を取得し、前記第 1 波長と前記第 2 波長との差分に基づいて当該駆動条件を用いて前記第 1 波長での駆

動条件を算出する工程と、前記取得する工程もしくは前記算出する工程の駆動条件に基づいて、前記波長可変レーザの発振波長を制御する、波長可変レーザの制御方法である。

(2) エタロンを用いて波長検知を行う波長検知部の検知結果と、駆動条件に含まれる目標値との差に基づいて、前記波長可変レーザの発振波長を制御し、前記第1波長での駆動条件を算出する際に、前記エタロンの設定温度を変更する演算を行ってもよい。

(3) 前記第1波長を指定する情報は、基準周波数、グリッド間隔およびチャネル番号を含むパラメータのうち少なくとも2つを含んでいてもよい。

(4) 前記第2波長は、ITU-Tグリッドのいずれかの波長としてもよい。

(5) 前記第1メモリの駆動条件を波長値と紐付するデータを格納する第2メモリをさらに備え、前記第1波長を指定する情報は波長値であり、前記第2メモリを参照することで、前記第1メモリの前記第2波長の駆動条件を取得してもよい。

10

【0010】

[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制御方法の具体例を、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。

【実施例1】

【0011】

図1は、実施例1に係る波長可変レーザ100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100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30(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30は、レーザ領域に連結してSOA(Semiconductor Optical Amplifier)となる領域が設けられている。このSOAは、光出力制御部として機能する。SOA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100は、検知部50、メモリ60、コントローラ70などを備える。検知部50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70は、波長可変レーザ100の制御を行うものであり、その内部にはRAM(Random Access Memory)を備えている。

20

【0012】

図2は、本実施例における半導体レーザ30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30は、SG-DFB(Sampled Grating Distributed Feedback)領域Aと、CSG-DBR(Chirped Sampled Grating Distributed Bragg Reflector)領域Bと、SOA(Semiconductor Optical Amplifier)領域Cとを備える。すなわち、半導体レーザ30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。

30

【0013】

一例として、半導体レーザ30において、フロント側からリア側にかけて、SOA領域C、SG-DFB領域A、CSG-DBR領域Bがこの順に配置されている。SG-DFB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。CSG-DBR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。SG-DFB領域AおよびCSG-DBR領域Bが図1のレーザ領域に相当し、SOA領域Cが図2のSOA領域に相当する。

40

【0014】

SG-DFB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

50

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。

【0015】

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。

【0016】

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。

【0017】

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。

【0018】

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  $Ga_{0.32}In_{0.68}As_{0.92}P_{0.08}$  (厚さ 5 nm) からなる井戸層と、 $Ga_{0.22}In_{0.78}As_{0.47}P_{0.53}$  (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  $Ga_{0.22}In_{0.78}As_{0.47}P_{0.53}$  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。

【0019】

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  $Ga_{0.35}In_{0.65}As_{0.99}P_{0.01}$  (厚さ 5 nm) の井戸層と  $Ga_{0.15}In_{0.85}As_{0.32}P_{0.68}$  (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  $Ga_{0.44}In_{0.56}As_{0.95}P_{0.05}$  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。

【0020】

コンタクト層 7, 20 は、例えば p 型  $Ga_{0.47}In_{0.53}As$  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、チタタンゲステン (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。

【0021】

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。

【0022】

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

10

20

30

40

50

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。

#### 【0023】

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<sub>0.22</sub>In<sub>0.78</sub>As<sub>0.47</sub>P<sub>0.53</sub>を用いることができる。

#### 【0024】

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。

#### 【0025】

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。

#### 【0026】

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。

#### 【0027】

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。

#### 【0028】

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

10

20

30

40

50

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。

#### 【0029】

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。

10

#### 【0030】

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。

#### 【0031】

20

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。

#### 【0032】

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。

30

#### 【0033】

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。各チャンネルの波長は、波長可変レーザ 100 の波長可変帯域内において、離散的に定められている。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 (50 GHz 間隔) に対応している。または、ITU-T グリッドの間隔よりも狭めた間隔で、初期設定値を用意してもよい。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。

40

#### 【0034】

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表である。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

50

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。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。また、図4に示すようにメモリ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。

#### 【0035】

本実施例に係る波長可変レーザ100は、基本波長と一致しない要求波長を出力することができる。基本波長と異なる要求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。

#### 【0036】

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。

#### 【0037】

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。

#### 【0038】

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 $T_{etln\_A}$ 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 $T_{etln\_B}$ とする。 $T_{etln\_B}$ 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 $T_{etln\_A}$ を求めることができる。

$$T_{etln\_A} = T_{etln\_B} + F / C1 \quad (1)$$

#### 【0039】

第2温度制御装置53の温度を設定温度 $T_{etln\_A}$ 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。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。

#### 【0040】

続いて、要求波長における半導体レーザ30の駆動条件（更新設定値）の算出手順について説明する。一例として、コントローラ70に、要求波長として波長または周波数の実

10

20

30

40

50



数値が入力される。例えば、要求波長は、図示しない外部入出力装置からコントローラ 70 に入力される。典型的には R S 2 3 2 C 規格に対応した入出力装置が採用される。

【 0 0 4 1 】

または、要求波長として、少なくとも 2 種類以上のパラメータを含む間接的な情報が入力される場合がある。例えば、基準周波数（スタートグリッド波長）、チャンネル番号、およびグリッド間隔が入力される場合がある。図 7 A は、ITU - T グリッド波長に対応する周波数を示す図である。図 7 B は、ITU - T グリッド波長とは異なるグリッド波長に対応する周波数を示す図である。図 7 A と図 7 B とで、グリッド間隔が異なるため、図 7 B の各チャンネル周波数は、図 7 A とは一致しない。したがって、要求波長が基本波長と異なることになる。なお、N チャンネル番号では、要求波長と基本波長が同じになる波長が存在する。

10

【 0 0 4 2 】

例えば、基準周波数として、各グリッド波長のうち最も低周波数のものが設定される。この基準周波数のチャンネル番号を 1 とする。この基準周波数から高周波側にグリッド間隔分シフトした周波数が、チャンネル番号 2 のグリッド波長として設定される。同様にして、最も高周波数のものまでチャンネル番号が設定してある。この基準周波数を、以下、基準周波数 F C F ( F i r s t C h a n n e l F r e q u e n c y ) と称する。グリッド間隔を、以下、グリッド間隔 G r i d と称する。チャンネル番号を、以下、チャンネル番号 C H と称する。

【 0 0 4 3 】

20

コントローラ 70 は、基準周波数 F C F 、グリッド間隔 G r i d 、およびチャンネル番号 C H から、要求波長を算出する。具体的には、下記式 ( 2 ) にしたがって、周波数 F を求め、当該周波数 F から要求波長を算出することができる。なお、表 1 は、下記式 ( 2 ) で算出される要求波長 ( 要求周波数 F ) の一例を表す。

$$F = F C F + ( C H - 1 ) \times G r i d \quad ( 2 )$$

【表 1】

波長要求	
基準周波数 FCF	191.0000THz
グリッド間隔 Grid	0.0001THz
チャンネル番号 CH	71
要求周波数 F	191.0070THz

30

【 0 0 4 4 】

40

次に、コントローラ 70 は、要求波長に応じて、基本波長を選択する。例えば、コントローラ 70 は、要求波長に最も近い基本波長を選択する。例えば、コントローラ 70 は、要求波長とスタートグリッド波長との差を求め、これをグリッド波長間隔で除した整数部を、チャンネル番号 C h として採用する。コントローラ 70 は、得られたチャンネル番号 C h に対応する基本波長を選択する。例えば、チャンネル番号 C h として得られた値にグリッド波長間隔を乗じた値をスタートグリッド波長に加算することによって得られる。表 2 は、メモリ 60 に格納されている基本波長の基準周波数 F C F \_ M およびグリッド間隔 G r i d \_ M の一例を表す。表 3 は、表 1 および表 2 の条件で選択される基本波長を表す。

【表 2】

メモリ内の基本波長情報	
基準周波数FCF_M	191.0000THz
グリッド間隔Grid_M	0.0025THz

10

【表 3】

最も近い基本波長	
チャネル番号CH_M	3
基本波長F_M	191.0075THz

20

## 【0045】

次に、コントローラ70は、波長差分 F に基づいて、更新設定値を算出する。まず、コントローラ70は、初期設定値として格納されているエタロン温度  $T_{et1n\_B}$  と波長差分 F とを用いて、上記式(1)に従って設定温度  $T_{et1n\_A}$  を算出する。また、コントローラ70は、グリッドレス制御の要求波長を実現するための半導体レーザ30の設定値を演算する。例えば、コントローラ70は、メモリ60から図示しない補正係数を参照し、初期電流値  $I_{LD}$ 、初期温度値  $T_{LD}$ 、および初期電力値  $P_{Heater1} \sim P_{Heater3}$  と、波長差分 F とから設定値を演算する。次に、コントローラ70は、エタロン72の設定温度  $T_{et1n\_A}$  および半導体レーザ30の設定値を更新設定値として自身のRAMに書き込み、書き込まれた更新設定値を駆動条件として用いて半導体レーザ30を駆動させる。

30

## 【0046】

ここで、要求波長がいずれかの基本波長と一致する場合について検討する。この場合においても、波長差分 F を算出し、波長差分 F を用いて更新設定値を算出したとしても、算出された更新設定値は基本波長の初期設定値と同じである。したがって、更新設定値を算出手順が余計な処理となる。例えば、図8のフローチャートで例示される。

## 【0047】

図8に示すように、コントローラ70は、要求波長の入力を受ける(ステップS1)。入力された情報が間接的な情報であれば、コントローラ70は、上記式(2)などに従って要求波長を算出する。次に、コントローラ70は、要求波長に基づいて、基本波長を選択する(ステップS2)。次に、コントローラ70は、基本波長と要求波長との差を波長差分 F として算出する(ステップS3)。次に、コントローラ70は、ステップS2で選択された基本波長に係る初期設定値およびフィードバック制御目標値をメモリ60から読み出し、波長差分 F を用いてエタロン72の設定温度  $T_{et1n\_A}$  を更新設定値として算出する(ステップS4)。次に、コントローラ70は、波長差分 F を用いて半導体レーザ30の更新設定値を算出する(ステップS5)。次に、コントローラ70は、エタロン72の更新設定値および半導体レーザ30の更新設定値を自身のRAMに書き込む(ステップS6)。次に、コントローラ70は、RAMに書き込んだ更新設定値を駆動条件として用いて半導体レーザ30を駆動する(ステップS7)。このフローチャートによれば、要求波長が基本波長と一致した場合においても、更新設定値を算出する処理が実行

40

50

される。

【0048】

そこで、本実施例においては、要求波長が基本波長と一致した場合には、更新設定値の算出手順を省略する。図9は、この場合のフローチャートの一例である。図9に示すように、コントローラ70は、要求波長の入力を受ける（ステップS11）。受信した情報が間接的な情報であれば、コントローラ70は、上記式（2）などに従って要求波長を算出する。次に、コントローラ70は、要求波長に基づいて、基本波長を選択する（ステップS12）。次に、コントローラ70は、基本波長と要求波長との差を波長差分 F として算出する（ステップS13）。次に、コントローラ70は、F がゼロである場合、ステップS12で選択された基本波長の初期設定値をRAMに書き込む（ステップS14）。その後、コントローラ70は、RAMに書き込んだ初期設定値を用いて半導体レーザ30を駆動する（ステップS15）。SOA領域Cについては、この時点では半導体レーザ30から光が出力されないように制御する。なお、ステップS13において F がゼロでなければ、コントローラ70は、ステップS16～ステップS16として、図8のステップS4～ステップS6と同様の処理を行うことによって、RAMに更新設定値を書き込み、ステップS15を実行する。

10

【0049】

なお、ステップS13においては、波長値をインデックスとし、メモリ60のチャンネル番号と紐付するデータを格納する波長インデックステーブル（図示なし）を参照し、要求波長と同じ波長が波長インデックステーブルにあれば、紐付データからチャンネル番号を取得し、要求波長の設定値をメモリ60から取得する。このことにより、グリッド間隔が等間隔でない波長情報であるチャンネル番号がメモリに格納されている場合であっても、要求波長の設定値をメモリ60から取得することができる。

20

【0050】

本実施例によれば、要求波長が基本波長と一致する場合には、更新設定値の算出が省略される。それにより、余計な処理の発生が防止される。

【0051】

図10は、半導体レーザ30を駆動した後の制御の一例を表すフローチャートである。図10に示すように、コントローラ70は、第1サーミスタ32の検出温度TH1が $T_{LD}$ の範囲内にあるか否かを判定する（ステップS21）。ここで $T_{LD}$ の範囲とは、駆動条件の温度値 $T_{LD}$ を中心とする所定範囲である。ステップS21において「No」と判定された場合、コントローラ70は、第1サーミスタ32の検出温度TH1が温度値 $T_{LD}$ に近づくように第1温度制御装置31に供給される電流値を変更する。

30

【0052】

コントローラ70は、ステップS21と並行して、第2サーミスタ55の検出温度TH2が設定範囲内にあるか否かを判定する（ステップS22）。この場合の設定範囲は、駆動条件に含まれるエタロン72の設定温度に基づいて決定される。例えば、上記設定範囲は、エタロン72の設定温度を中心とする所定範囲とすることができる。ステップS22において「No」と判定された場合、コントローラ70は、第2サーミスタ55の検出温度TH2がエタロン72の設定温度に近づくように第2温度制御装置53に供給される電流値を変更する。

40

【0053】

コントローラ70は、ステップS21およびステップS22の両方で「Yes」と判定されるまで待機する。ステップS21およびステップS22の両方で「Yes」と判定された場合、コントローラ70は、シャッタオープンの動作を行う（ステップS23）。具体的には、SOA領域Cの電極21に供給される電流を初期電流値 $I_{SOA}$ に制御する。それにより、半導体レーザ30から駆動条件に基づく波長のレーザ光が出力される。

【0054】

次に、コントローラ70は、第1温度制御装置31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S24）。次に、コントローラ70は、第1温度制御装

50

置 3 1 による A F C 制御を開始する（ステップ S 2 5）。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。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、A F C ロックフラグを出力する（ステップ S 2 6）。その後、フローチャートの実行が終了する。

10

【符号の説明】

【 0 0 5 5 】

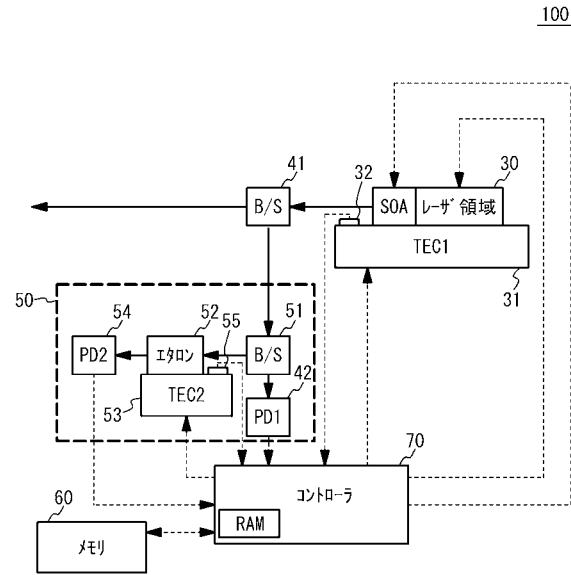
- 1 基板
- 2 下クラッド層
- 3 活性層
- 4 光導波層
- 6 上クラッド層
- 7 コンタクト層
- 8 電極
- 9 絶縁膜
- 1 0 ヒータ
- 1 1 電源電極
- 1 2 グランド電極
- 1 5 裏面電極
- 1 6 端面膜
- 1 7 端面膜
- 1 8 回折格子
- 1 9 光増幅層
- 2 0 コンタクト層
- 2 1 電極
- 3 0 半導体レーザ
- 3 1 第 1 温度制御装置
- 3 2 第 1 サーミスタ
- 4 1 ビームスプリッタ
- 4 2 第 1 受光素子
- 5 0 検知部
- 5 1 ビームスプリッタ
- 5 2 エタロン
- 5 3 第 2 温度制御装置
- 5 5 第 2 サーミスタ
- 6 0 メモリ
- 7 0 コントローラ
- 1 0 0 波長可変レーザ

20

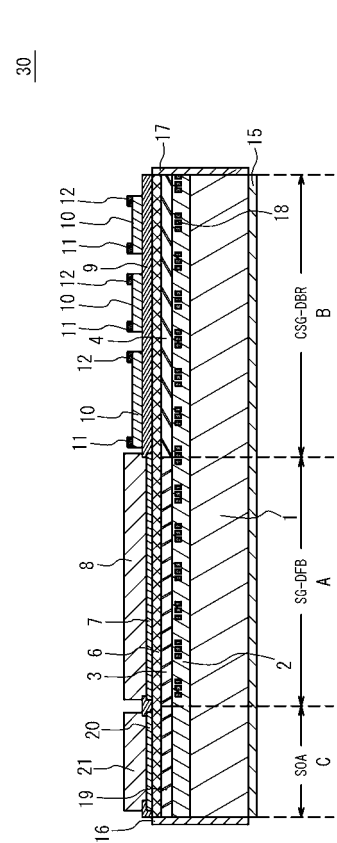
30

40

【 図 1 】



【 図 2 】



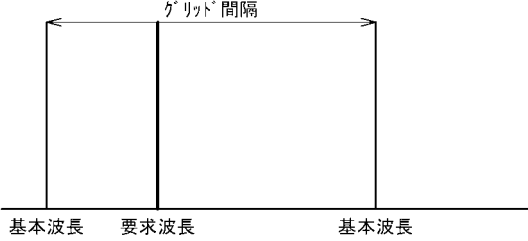
【 図 3 】

Ch	初期設定値						フィードバック制御目標値	
	$I_{LO}$ [mA]	$I_{SOA}$ [mA]	$T_{LO}$ [degC]	$T_{Emission}$ [degC]	$P_{laser1}$ [mW]	$P_{laser2}$ [mW]	$P_{laser3}$ [mW]	$I_{m1}$ [μA]
1	150.00	67.39	52.508	50.000	29.42	57.47	50.69	315.0
2	150.00	47.74	34.533	50.000	64.38	81.31	72.45	317.5
3	150.00	50.86	38.727	50.000	59.05	77.71	69.12	313.0
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
n	150.00	54.77	54.046	50.000	41.24	43.32	11.69	317.2
								1.441

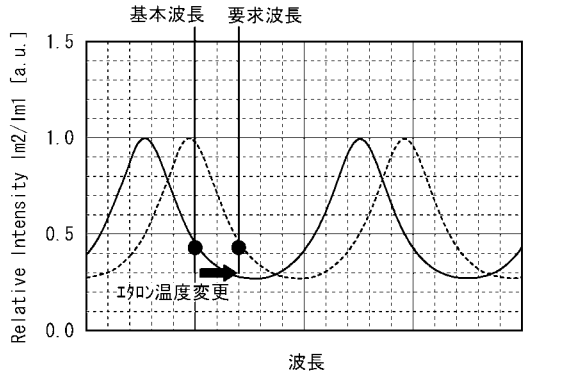
【 図 4 】

温度補正係数
C1
[GHz/°C]
0.7

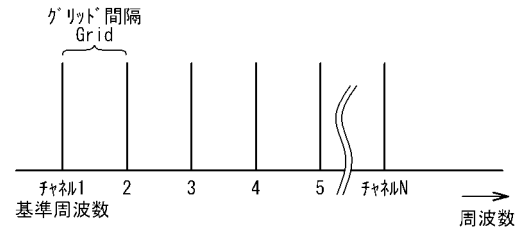
【 図 5 】



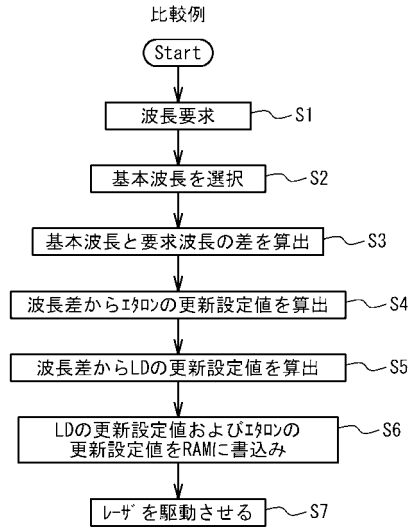
【図 6】



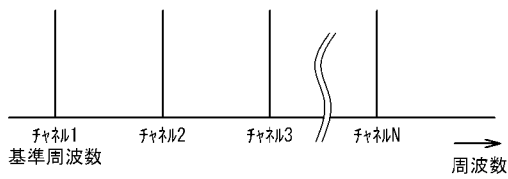
【図 7 B】



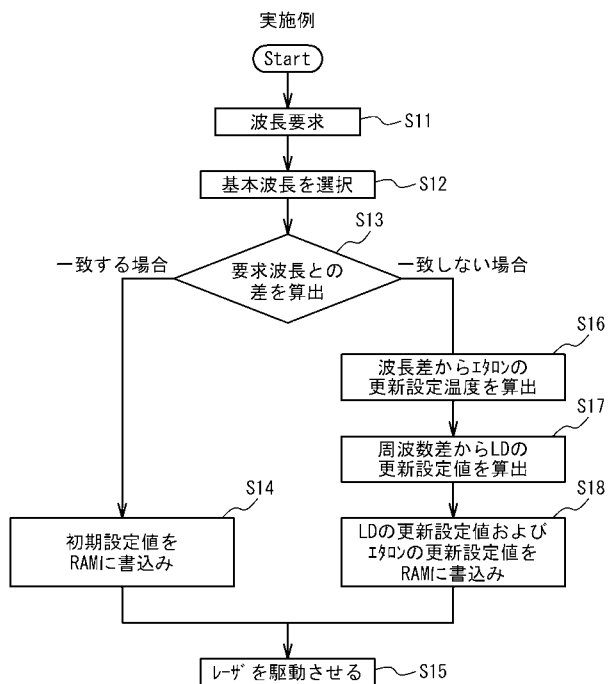
【図 8】



【図 7 A】



【図 9】



【図 10】

