

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6308456号  
(P6308456)

(45) 発行日 平成30年4月11日 (2018. 4. 11)

(24) 登録日 平成30年3月23日 (2018. 3. 23)

(51) Int. Cl.

H 0 1 S 5/0687 (2006.01)

F I

H 0 1 S 5/0687

請求項の数 2 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2014-16908 (P2014-16908)	(73) 特許権者	000154325
(22) 出願日	平成26年1月31日 (2014. 1. 31)		住友電工デバイス・イノベーション株式会
(65) 公開番号	特開2015-46563 (P2015-46563A)		社
(43) 公開日	平成27年3月12日 (2015. 3. 12)		神奈川県横浜市栄区金井町 1 番地
審査請求日	平成29年1月30日 (2017. 1. 30)	(74) 代理人	100087480
(31) 優先権主張番号	特願2013-159800 (P2013-159800)		弁理士 片山 修平
(32) 優先日	平成25年7月31日 (2013. 7. 31)	(72) 発明者	田中 宏和
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		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
		(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
		(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
			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】

エタロンを有する波長検知部と、複数の基本波長に対応する複数の駆動条件を格納するメモリと、を備え、前記複数の駆動条件のそれぞれは、波長可変レーザの出力光が前記エタロン透過前に分岐された光を受光する受光素子が出力する第 1 光電流と、前記エタロン透過後の光を受光する受光素子が出力する第 2 光電流との比を目標値として含む、波長可変レーザの制御方法であって、

前記波長可変レーザを指示された要求波長に最も近い前記基本波長である第 1 波長でレーザ発振させるための第 1 の駆動条件を前記メモリから取得する第 1 ステップと、

前記第 1 の駆動条件と、前記第 1 波長と前記要求波長である第 2 波長との波長差分に基づいて、前記第 1 波長の制御で用いるエタロンスロープおよび反転させたエタロンスロープのいずれか一方のエタロンスロープを選択し、選択されたエタロンスロープにおいて前記第 2 波長と、前記第 1 光電流と前記第 2 光電流との比と、を対応させるエタロン温度を含む第 2 の駆動条件を算出する第 2 ステップと、

前記エタロンの温度を前記第 2 の駆動条件に含まれる前記エタロン温度にフィードバック制御し、前記第 2 の駆動条件に基づいて駆動された前記波長可変レーザの出力波長を前記波長検知部によって検知し、その結果に基づいて、前記第 2 駆動条件に含まれる前記第 1 光電流と前記第 2 光電流との比が実現されるように前記波長可変レーザの温度をフィードバック制御する第 3 ステップと、を含む、波長可変レーザの制御方法。

【請求項 2】

10

20

前記波長差分が前記エタロンのF S Rの4分の1よりも小さい場合に、前記第1波長の制御で用いるエタロンスロープと同じ傾きのエタロンスロープを選択し、

前記波長差分が前記エタロンF S Rの4分の1以上の場合、前記第1波長の制御で用いるエタロンスロープと反対の傾きのエタロンスロープを選択する、請求項1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）。例えば、ITU-Tグリッドを実現するために、このような波長可変レーザが用いられる。

【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】

ITU-Tグリッドなどを実現するためには、所定の波長間隔で透過強度を有するエタロンが用いられる。例えば、50GHzの波長間隔のITU-Tグリッドを実現するためには、50GHzのF S R（自由スペクトル領域）を有するエタロンが必要となるとともに、25GHz間隔のITU-T情報が必要となる。この場合、膨大な試験時間が必要となり、チャンネルデータの増大に伴ってメモリ容量が増大化してしまう。

【0005】

本発明は上記課題に鑑みなされたものであり、試験時間の短縮化およびメモリ容量の抑制が可能とな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】

本発明に係る波長可変レーザの制御方法は、エタロンを有する波長検知部を備える波長可変レーザの制御方法であって、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駆動条件を取得する第1ステップと、前記第1波長の前記駆動条件と、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に基づき、前記波長検知部における前記第2波長の波長特性の制御値あるいは目標値を算出し、前記波長可変レーザを駆動するための駆動条件を算出する第2ステップと、前記波長検知部による波長の検出結果と前記目標値との差に基づいて、発振波長のフィードバック制御を行う第3ステップと、を含み、前記第2ステップは、前記波長差分に基づき、前記第1波長の制御で用いるエタロンスロープと同じ傾きのエタロンスロープおよび反対の傾きのエタロンスロープのいずれか一方のエタロンスロープを選択するステップを含む。本発明に係る波長可変レーザの制御方法によれば、試験時間の短縮化およびメモリ容量の抑制が可能となる。

【0007】

前記波長差分が前記エタロンのF S Rの4分の1よりも小さい場合、前記第1波長の制御で用いるエタロンスロープと同じ傾きのエタロンスロープを選択し、前記波長差分が前記エタロンF S Rの4分の1以上の場合、前記第1波長の制御で用いるエタロンスロープと反対の傾きのエタロンスロープを選択してもよい。前記波長差分は、前記波長差分が前記エタロンのF S Rの4分の1よりも小さい場合、下記式(1)で求められ、前記波長差分が前記エタロンのF S Rの4分の1以上の場合、下記式(2)で求められてもよい。

$F = F' - F$  (1)、 $F = F' - (F - FSR/2)$  (2)、F：基本チャネル、

10

20

30

40

50

$F'$  : 要求波長、  $F$  : 波長差分。

【 0 0 0 8 】

本発明に係る他の波長可変レーザの制御方法は、エタロンの波長特性のいずれかのスロープを用いて波長を検知する波長検知部を備える波長可変レーザの制御方法であって、前記エタロンの複数の波長特性の一方側のスロープに、基本波長が設定されており、要求波長が前記基本波長のいずれかであれば、前記基本波長と同じ傾きのスロープを波長制御に用い、要求波長が前記基本波長と異なる場合には、前記基本波長と反対の傾きのスロープを波長制御に用いる。本発明に係る他の波長可変レーザの制御方法によれば、試験時間の短縮化およびメモリ容量の抑制が可能となる。

【 0 0 0 9 】

本発明に係る他の波長可変レーザの制御方法は、エタロンを有する波長検知部を備えた波長可変レーザの制御方法であって、前記波長可変レーザを第 1 波長でレーザ発振させるための第 1 の駆動条件をメモリから取得する第 1 ステップと、前記第 1 の駆動条件と、前記第 1 波長と第 2 波長との波長差分と、を参照して、前記波長可変レーザを第 2 波長で発振させるための第 2 の駆動条件を算出する第 2 ステップと、前記第 2 の駆動条件に基づいて駆動された前記波長可変レーザの出力波長を前記波長検知部によって検出し、その結果に基づいて、前記波長可変レーザの駆動条件を訂正するフィードバック制御をなす第 3 ステップとを備え、さらに、前記第 3 ステップに先立ち、前記フィードバック制御において前記訂正をなすにおける訂正の符号を前記第 1 の駆動条件における訂正の符号に対して反転させるか否かの判定をなすステップが実施されることを特徴とするものである。本発明に係る他の波長可変レーザの制御方法によれば、試験時間の短縮化およびメモリ容量の抑制が可能となる。

【 0 0 1 0 】

前記波長差分が前記エタロンの  $F S R$  の 4 分の 1 よりも小さい場合に、前記訂正の符号を反転させず、前記波長差分が前記エタロン  $F S R$  の 4 分の 1 以上の場合に、前記訂正の符号を反転させてもよい。前記波長差分は、前記波長差分が前記エタロンの  $F S R$  の 4 分の 1 よりも小さい場合、下記式 ( 1 ) で求められ、前記波長差分が前記エタロンの  $F S R$  の 4 分の 1 以上の場合、下記式 ( 2 ) で求められてもよい。  $F = F' - F$  ( 1 )、 $F = F' - ( F - F S R / 2 )$  ( 2 )、 $F$  : 基本チャネル、  $F'$  : 要求波長、  $F$  : 波長差分。

【 0 0 1 1 】

本発明に係る他の波長可変レーザの制御方法は、スロープの傾きの符号が交互に反転する波長特性を有するエタロンを有する波長検知部を備えた波長可変レーザの制御方法であって、一方の符号のスロープの波長領域に基本波長が設定されており、前記基本波長のいずれかが要求された場合には、当該波長で前記波長可変レーザをレーザ発振させるための駆動条件をメモリから取得し、前記駆動条件に基づいて駆動された前記波長可変レーザの出力波長を前記波長検知部によって検出し、その結果に基づいて、前記波長可変レーザの駆動条件を訂正するフィードバック制御を行い、他方の符号のスロープの波長領域の波長が要求された場合には、前記フィードバック制御において前記訂正をなすにおける訂正の符号を前記駆動条件における訂正の符号に対して反転させることを特徴とするものである。本発明に係る他の波長可変レーザの制御方法によれば、試験時間の短縮化およびメモリ容量の抑制が可能となる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

本発明に係る波長可変レーザの波長制御方法によれば、試験時間の短縮化およびメモリ容量の抑制が可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 3 】

【 図 1 】 エタロンの特性を表す図である。

【 図 2 】 実施例 1 に係るレーザ装置の全体構成を示すブロック図である。

【図 3】半導体レーザの全体構成を示す模式的断面図である。

【図 4】基本波長および中間波長を表す図である。

【図 5】(a) は初期設定値およびフィードバック制御目標値であり、(b) は R A M に記憶される更新設定値である。

【図 6】波長制御方法の原理を示す図である。

【図 7】波長制御方法の原理を示す図である。

【図 8】半導体レーザの要求波長を実現するため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】半導体レーザの要求波長を実現するための起動手順を説明するためのフローチャートである。

10

【図 10】半導体レーザの要求波長を実現するための起動手順を説明するためのフローチャートである。

【図 11】半導体レーザの要求波長を実現するための起動手順を説明するためのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

実施例の説明に先立って、エタロンの F S R (自由スペクトル領域) について説明する。任意波長で波長可変レーザを発振させるために、エタロンを用いた A F C (Automatic Frequency Control) 制御が行われる。任意の波長を設定するためのグリッドレス制御では、エタロンの温度を変化させることによって、発振波長を制御することができる。

20

【0015】

グリッドレス制御では、温度変化によりエタロンの波長特性を変化させて所望の波長特性を得るため、温度変化によりエタロンの波長特性が大きく変化するグリッドレス制御用エタロンが望まれている。当該グリッドレス制御用エタロンは、波長の合わせ精度等を考慮すると、温度に対する波長の変化幅が  $15 \text{ pm} /$  程度に抑えられていることが好ましい。

【0016】

しかしながら、このグリッドレス制御用エタロンでは、一例として、 $\text{FSR} = 100 \text{ GHz}$ 、両側スロープを用いた場合では  $50 \text{ GHz}$  間隔を実現することができ、かつ、グリッドレス制御およびファインチューン制御では、1 チャンネルあたり、 $\pm 35 \text{ GHz}$  程度がサポートされていることが好ましい。これは、グリッド制御用エタロンを用いた場合に  $38$  程度の温度可変幅が必要となることを意味する。使用時の環境温度  $80$  のサポートを考慮すると、消費電力が高くなるなどの問題が発生する。

30

【0017】

この問題を解決するために、温度に対する波長の変化幅を  $15 \text{ pm} /$  に抑え、 $\text{FSR} = 50 \text{ GHz}$  のグリッド制御用エタロンの両側スロープを用いることで  $25 \text{ GHz}$  間隔を実現し、1 チャンネルあたりのグリッドレスの可変範囲を  $\pm 12.5 \text{ GHz}$  にすることにより温度可変範囲を  $14$  程度とすることができる。 $\text{FSR} = 25 \text{ GHz}$  のエタロンを用いることも考えられるが、パッケージへの実装を考慮すると、 $\text{FSR} = 50 \text{ GHz}$  のエタロンを用いることが好ましい。 $\text{FSR} = 1/2$  倍でエタロンサイズが 2 倍となるためである。

40

【0018】

図 1 は、 $\text{FSR} = 100 \text{ GHz}$ 、 $50 \text{ GHz}$  のエタロン特性を示す図である。従来であれば、 $\text{FSR} = 100 \text{ GHz}$  の両側のスロープである  $50 \text{ GHz}$  間隔 (黒丸) で試験を行っていた。 $\text{FSR} = 50 \text{ GHz}$  で両側のスロープである  $25 \text{ GHz}$  間隔で試験を行うと、試験時間が 2 倍必要となり、さらに i T L A (波長可変レーザアセンブリ) においてもチャンネルデータが 2 倍になるため、大容量のメモリが必要となる。そこで、以下の実施例では、試験時間の短縮化およびメモリ容量の抑制が可能となる波長可変レーザの制御方法について説明する。

【実施例 1】

50

## 【0019】

図2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2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、出力検知部40、波長ロッカ部50、メモリ60、コントローラ70などを備える。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。

10

## 【0020】

図3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3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。

## 【0021】

20

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2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。

## 【0022】

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、基板上1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。

30

## 【0023】

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。

## 【0024】

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。

40

## 【0025】

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。

50

## 【0026】

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5nm）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10nm）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。

## 【0027】

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5nm）の井戸層と $\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.85}\text{As}_{0.32}\text{P}_{0.68}$ （厚さ10nm）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。

## 【0028】

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。

## 【0029】

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。

## 【0030】

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 $\text{MgF}_2$ 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3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。

## 【0031】

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つつ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 $\text{Ga}_{0.22}\text{In}_{0.78}\text{As}_{0.47}\text{P}_{0.53}$ を用いることができる。

## 【0032】

回折格子18は、2光束干渉露光法を使用したパターンニ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

10

20

30

40

50

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。

#### 【0033】

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。

10

#### 【0034】

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。

20

#### 【0035】

図 2 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。

30

#### 【0036】

波長可変レーザ 100 においては、波長ロッカ部 50 が半導体レーザ 30 のフロント側に配置されており、フロントロッカタイプと呼ぶことができる。波長ロッカ部 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。

#### 【0037】

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。

40

#### 【0038】

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。

50

## 【0039】

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。

## 【0040】

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。

## 【0041】

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)のグリッドに対応している。

## 【0042】

ここで、基本波長とは、1つおきのチャンネルに対応し、例えばチャンネル1, 3, 5...n-1に対応する。中間波長とは、隣り合う2つの基本波長間の波長を表し、例えばチャンネル2, 4, 6...nに対応する。本実施例では、奇数番号のチャンネルを基本波長とする。メモリ60は、基本波長のチャンネルの初期設定値およびフィードバック制御目標値を記憶している。

## 【0043】

図4は、基本波長および中間波長を表す図である。図4において、横軸はエタロン52への入力波長(周波数)を示し、縦軸はエタロン52の透過率を示す。図4に示すように、エタロン52の透過率は、波長に対して周期的に変化する。図4を参照して、基本チャンネルおよび中間チャンネルは、エタロン52の透過特性のいずれかのスロープの途中に設定されている。エタロン52の透過特性のスロープとは、最も透過強度の低い点(ボトム)と最も透過強度の高い点(ピーク)とを結ぶ曲線のことである。本実施例においては、最も透過強度の高いピークの周波数と、ピークの周波数よりも高い周波数側の最も透過強度の低いボトムの周波数の中間の周波数(波長)が基本波長Fとして設定されている。すなわち、基本波長は、右側(ピークよりも高周波側)のスロープに設定されている。最も透過強度の低いボトムの周波数と、ボトムの周波数よりも高い周波数側の最も透過強度の高いピークの周波数の中間の周波数(波長)が中間波長Mとして設定されている。本実施例では、中間波長は、左側(ピークよりも低周波側)のスロープに設定されている。本実施例においては、基本波長におけるエタロンの透過率と中間波長におけるエタロンの透過率とが等しい値に設定される。なお、基本波長Fのサポート範囲を基本波長Fの存在するスロープのボトムから中間波長Mの存在するスロープのボトムまでの範囲として説明しているが、基本波長Fのサポート範囲を基本波長Fの互いに隣り合う中間波長Mの間の範囲とすることもできる。前述したそれぞれの範囲は、エタロン52のFSR(自由スペクトル領域)と一致する。

## 【0044】

図5(a)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。図5(a)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、基本波長に対応した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、基本波長に対応した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。

#### 【0045】

続いて、要求波長を出力するための波長可変レーザ 100 の動作について説明する。まず、コントローラ 70 は、外部から要求波長を示す情報を取得する。コントローラ 70 は、要求波長を示す情報に基づいて、メモリ 60 から要求波長に最も近い基本波長を選択する。そして、選択された基本波長に対応したチャンネルの初期設定値およびフィードバック制御目標値を更新設定値として、内蔵された RAM に読み出す。図 5 (b) は、RAM に読み出された更新設定値を表している。更新設定値には、基本波長または中間波長を表すフラグが含まれている。基本波長または中間波長を表すフラグの設定手順については後述する。

#### 【0046】

次に、コントローラ 70 は、半導体レーザ 30 の電極 8 に、初期電流値  $I_{LD}$  に応じた電流を供給する。また、コントローラ 70 は、初期温度値  $T_{LD}$  が実現されるように、第 1 温度制御装置 31 に電力を供給する。それにより、半導体レーザ 30 の温度が初期値に制御される。また、コントローラ 70 は、各ヒータ 10 に、チャンネルに対応する初期電力値  $P_{Heater1} \sim P_{Heater3}$  の電力を供給する。このように設定された各初期値に基づき、半導体レーザ 30 はレーザ発振する。ただし、基本波長と発振波長とが一致していることを保証できない。このため、波長および出力光強度のフィードバック制御が実施される。

#### 【0047】

このようなフィードバック制御のためにコントローラ 70 は、自動出力制御 (APC: Auto Power Control) および自動波長制御 (AFC: Auto Frequency Control) を行う。具体的には、コントローラ 70 は、自動出力制御として、第 1 受光素子 42 が出力する光電流値がチャンネルに対応する目標値  $I_{m1}$  となるように、SOA 領域 C の電極 21 に供給する電流  $I_{SOA}$  をフィードバック制御する。これにより、半導体レーザ 30 の出力光強度が所望の値に制御される。

#### 【0048】

また、コントローラ 70 は、自動波長制御として、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  $I_{m2} / I_{m1}$  が目標値  $I_{m2} / I_{m1}$  となるように、半導体レーザ 30 の温度を制御する。それにより、半導体レーザ 30 の出力光波長が基本波長に制御される。なお、中間波長を表すフラグが設定されている場合には、基本波長と反対側のスロープを用いる。コントローラ 70 は、基本波長に対応する初期温度値  $T_{Etalon}$  が実現されるように、第 2 温度制御装置 53 の駆動電力を制御している。第 2 温度制御装置 53 に供給する電力は、第 2 サーミスタ 56 の検知結果に基づくフィードバック制御がなされており、エタロン 52 の温度は所定の値に制御される。

#### 【0049】

ここで、比  $I_{m2} / I_{m1}$  を用いた波長制御の原理について説明する。エタロン 52 は図 6 に示す特性を有していることから、エタロン 52 へ入力される光強度とエタロン 52 から出力される光強度の比を得ることで、エタロン 52 に入力される光の波長を特定することができる。エタロン 52 へ入力される光強度は、第 1 受光素子 42 が出力する光電流  $I_{m1}$  によって示される。エタロン 52 から出力される光強度は、第 2 受光素子 54 が出力する光電流  $I_{m2}$  によって示される。このため  $I_{m2} / I_{m1}$  によってエタロン 52 に

10

20

30

40

50

入力される光の波長が特定できる。そこで、比  $I_{m2} / I_{m1}$  を波長制御のための目標値として、半導体レーザ 30 のパラメータをフィードバック制御することによって、所望の波長出力が実現される。本実施例の半導体レーザ 30 では、波長パラメータとして第 1 温度制御装置 31 の温度を制御する。

#### 【0050】

続いて、コントローラ 70 は、要求波長と基本波長との差に基づいて、初期設定値あるいはフィードバック制御目標値を演算する。なお、本実施例において上記基本波長は第 1 波長と称することができ、前記要求波長は第 2 波長と称することができる。本実施例では、選択された基本波長の初期設定値のうち、第 2 温度制御装置 53 の目標値  $T_{etalon}$  を演算により修正し、これをもって半導体レーザ 30 を基本波長と異なる要求波長で発振させる。

#### 【0051】

図 7 は、本実施例に係る波長制御方法の原理を示す図である。図 7 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 7 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、本実施例では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。

#### 【0052】

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。

#### 【0053】

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

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

第 2 温度制御装置 53 の温度を設定温度  $T_{etaln\_A}$  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。

#### 【0054】

以下に具体例を示す。要求波長とスタートグリット波長の差を求め、これをグリット間隔波長で除した整数部を、チャンネル番号  $Ch$  として採用する演算が実施される。そして、コントローラ 70 は、得られたチャンネル番号  $Ch$  に対応した初期設定値のうち、エタロン温度  $T_{etalon}$  をエタロン温度  $T_{etaln\_B}$  として取得する。ここでは、 $T_{etaln\_B}$  は  $40.000 [ ]$  であったとする。また、コントローラ 70 は、演算によって得られたチャンネル番号  $Ch$  に対応するグリット波長を基本波長として求め、基本波長と要求波長との波長の差 (波長差分  $F$ ) を演算する。基本波長を得るための典型的な演算は、前記チャンネル番号  $Ch$  として得られた値にグリット間隔波長を乗じた値を前記スタート

グリット波長に加算することで実行される。ここでは、基本波長は  $196.1000$  [THz] であった。要求波長と、このようにして得られた基本波長との差を演算することで、波長差分  $F$  を得ることができる。ここでは、演算によって得られた波長差分  $F$  は  $+7.0$  [GHz] であった。

【0055】

コントローラ 70 は、メモリ 60 から温度補正係数  $C_1$  を参照する。温度補正係数  $C_1$  は、エタロン 52 の特性によって定まっており、メモリ 60 にあらかじめ記録されるのが典型的である。ここでは温度補正係数  $C_1$  が  $-1.800$  [GHz / ] であったとする。次に、コントローラ 70 は、式 (1) を用いて  $T_{\text{etl n}}\_A$  を演算する。ここで演算された  $T_{\text{etl n}}\_A$  は、 $36.111$  [ ] となる。

10

【0056】

次に、コントローラ 70 は、エタロン 52 の温度を  $T_{\text{etl n}}\_A$  に定めた状態で、波長可変レーザ 100 の制御を実行する。これにより、エタロン 52 の波長特性がシフトする。これを実現するために、エタロン 52 の温度は可変であることが必要である。

【0057】

この制御において、コントローラ 70 は、エタロン 52 の温度が  $T_{\text{etl n}}\_A$  に定められた状態で、フィードバック目標値である比  $I_{m2} / I_{m1}$  を達成するように半導体レーザ 30 の波長を制御する。ここで採用されるフィードバック目標値 (比  $I_{m2} / I_{m1}$ ) は、基本波長に対応したチャンネル番号  $Ch$  に与えられたフィードバック目標値である。また、波長可変レーザ 100 の各部に与えられる他の設定値も、同じく基本波長に対応するチャンネル番号  $Ch$  に与えられた初期設定値が採用される。

20

【0058】

以上の動作を実行することにより、図 7 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。

【0059】

図 8 は、半導体レーザ 30 の要求波長を実現するための起動手順を説明するためのフローチャートである。図 8 に示すように、コントローラ 70 は、波長要求  $F'$  を受ける (ステップ S1)。この要求波長  $F'$  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、要求波長  $F'$  に最も近い基本波長  $F$  を選択する (ステップ S2)。

30

【0060】

次に、コントローラ 70 は、基本波長  $F$  と要求波長  $F'$  との波長差分  $F$  の絶対値を算出する (ステップ S3)。次に、コントローラ 70 は、波長差分  $F$  の絶対値がエタロン 52 の  $FSR$  の  $1/4$  未満であるか否かを判定する (ステップ S4)。ステップ S4 で「Yes」と判定された場合、コントローラ 70 は、基本波長と同じスロープを選択する (ステップ S5)。ステップ S4 で「No」と判定された場合、コントローラ 70 は、基本波長と反対のスロープを選択する (ステップ S6)。図 4 の例では、要求波長  $F'$  が基本波長  $F$  と同じスロープに位置しているため、 $|F|$  が  $FSR$  の  $1/4$  未満となっている。したがって、基本チャンネルと同じスロープが選択されることになる。ここで、スロープを選択するという動作は、この後に実施される自動波長制御 (ステップ S13) において、半導体レーザ 30 の駆動条件をフィードバック制御により訂正する場合の制御に關与する。すなわち、基本波長  $F$  と同じスロープに要求波長  $F'$  が位置している場合と、このスロープに隣接する別のスロープに位置している場合とでは、波長変化に対するエタロンの出力変化の向きが反転する。すなわち、フィードバック制御を行う際に、半導体レーザ 30 の駆動条件を訂正するが、この訂正の符号を要求波長  $F'$  が基本波長  $F$  と同じスロープであるか否かによって反転するか否かを判定するのである。これによって、要求波長  $F'$  が基本波長  $F$  と異なるスロープに位置している場合でも、正常に自動波長制御をなすことができる。

40

【0061】

50

ステップS5またはステップS6の実行後、コントローラ70は、半導体レーザ30の更新設定値をRAMに書き込む(ステップS7)。更新設定値は、ステップS2で選択された基本波長の初期設定値から波長差分  $F$  を演算した設定値が含まれている。ステップS7では、コントローラ70は、上記式(1)に従って、波長差分  $F$  から設定温度  $T_{et1n\_A}$  を算出する。波長差分  $F$  は、 $|F|$  が  $F_{SR}$  の4分の1よりも小さい場合、 $F = F' - F$  で求められ、 $|F|$  が  $F_{SR}$  の4分の1以上の場合、 $F = F' - (F - F_{SR} / 2)$  で求められる。コントローラ70は、基本波長に対応した初期温度値  $T_{etalon}$  を初期温度  $T_{et1n\_B}$  として読み込む。また、メモリ60から温度補正係数  $C1$  を読み込む。これら読み込んだ値と  $F$  とに基づいて、設定温度  $T_{et1n\_A}$  を算出する。図3の例では、基本チャンネルがフラグとして設定される。

10

#### 【0062】

次に、コントローラ70は、ステップS7で書き込まれた更新設定値に基づいて、半導体レーザ30を駆動させる(ステップS8)。なお、この時点における第1温度制御装置31の制御は、第1温度制御装置31の温度が目標温度  $T_{LD}$  になるように制御される。なお、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。

#### 【0063】

次に、コントローラ70は、第1サーミスタ32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S9)。ここで  $T_{LD}$  の範囲とは、目標温度  $T_{LD}$  を中心とする所定範囲である。ステップS9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  $T_{H1}$  が初期温度値  $T_{LD}$  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。

20

#### 【0064】

コントローラ70は、ステップS9と並行して、第2サーミスタ55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S10)。この場合の設定範囲は、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S10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  $T_{H2}$  が設定温度  $T_{et1n\_A}$  に近づくように第2温度制御装置53に供給される電流値を変更する。

#### 【0065】

30

コントローラ70は、ステップS9およびステップS10の両方で「Yes」と判定されるまで待機する。ステップS9およびステップS10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S11)。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から要求波長のレーザ光が出力される。

#### 【0066】

次に、コントローラ70は、第1温度制御装置31による  $T_{LD}$  を制御目標とした温度制御を終了する(ステップS12)。次に、コントローラ70は、第1温度制御装置31による自動波長制御を開始する(ステップS13)。つまり、第1温度制御装置31の温度が、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52の入力光と出力光の比(前後比)は、半導体レーザ30の発振波長を示している。また、第1温度制御装置31は半導体レーザ30の波長を制御するパラメータである。すなわちステップS10では、前後比が  $I_{m2} / I_{m1}$  になるように第1温度制御装置31の温度をフィードバック制御することで、半導体レーザ30の波長を制御する。なお、中間波長を表すフラグが設定されている場合には、基本波長と反対側のスロープを用いる。反対側のスロープを用いる場合、自動波長制御(フィードバック制御)において、半導体レーザ30の駆動条件を訂正するための符号は、基本波長と同じスロープを用いる場合とは反対の符号が採用される。第1温度制御装置31に供給される電流値の制御は、所定の刻み値(固定値)によって実行される。コントローラ70は、比  $I_{m2} / I_{m1}$  を目標値  $I_{m2} / I_{m1}$  に近づけるための温度制御符号を発生する。温度制御符号は、温度上昇を示す符号、温

40

50

度下降を示す符号、温度変更が不要な場合の符号を含む。この符号に基づいて、前記刻み値だけ、第1温度制御装置31へ供給する電流値を増大あるいは減少させる制御がなされる。あるいは比 $I_{m2}/I_{m1}$ が目標値 $I_{m2}/I_{m1}$ に対して所定の範囲内に遷移した場合には、温度制御不要の符号がコントローラ70から出力され、第1温度制御装置31の電流量は変更されない。前記したように、エタロン52の温度がステップS4によって算出された値に変更されているので、基本波長における比 $I_{m2}/I_{m1}$ をフィードバック目標値としてフィードバック制御すると、半導体レーザ30の発振波長は、基本波長ではなく、要求波長になる。

#### 【0067】

コントローラ70は、比 $I_{m2}/I_{m1}$ がステップS2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S14)。

#### 【0068】

本実施例では、エタロン52としてソリッドエタロンを採用したが、それ以外のエタロンを用いることもできる。例えば、ミラー間に液晶層が介在する液晶エタロンをエタロン52として用いてもよい。この場合、液晶に印加される電圧を制御することによって、液晶エタロンの波長特性をシフトさせることができる。また、印加電圧に応じてミラー間のギャップ長を変更可能なエアギャップエタロンをエタロン52として用いてもよい。この場合、印加電圧を制御することによって、エアギャップエタロンの波長特性をシフトさせることができる。これら液晶エタロンあるいはエアギャップエタロンのいずれの場合であっても、第2温度制御装置53によって温度制御がなされる。ただし、この場合の温度制御は波長特性のシフトのためではなく、温度要因による波長特性の変動を防止するためである。このため温度は一定に制御される。

#### 【0069】

本実施例によれば、要求波長が基本波長と同じスロープに位置していれば、基本波長と同じ傾きのスロープを用いて波長制御がなされる。一方、要求波長が基本波長と異なるスロープに位置していれば、基本波長のスロープを反転させることによって得られる反対の傾きのスロープを用いて波長制御がなされる。それにより、中間波長に対応する初期設定値などをメモリ60に格納しておかなくてもよい。その結果、メモリ60の容量の増大化を抑制することができる。また、中間波長の試験を行わなくてもよくなるため、試験時間の短縮化を図ることができる。

#### 【0070】

##### (変形例)

上記例では、スロープの選択をしている。スロープの選択は、自動波長制御におけるフィードバック制御により半導体レーザ30の駆動条件を訂正する場合の符号を選択することと同じことを表す。そこで、スロープの選択をせずに、半導体レーザ30の駆動条件を訂正する場合の符号の反転・非反転を判定するだけでもよい。

#### 【0071】

図9は、半導体レーザ30の要求波長を実現するための起動手順の他の例を表すフローチャートである。図8のフローチャートと異なる点について説明する。ステップS4で「Yes」と判定された場合、コントローラ70は、ステップS13におけるフィードバック制御における半導体レーザ30の駆動条件の訂正に係る符号を反転させない(ステップS5')。具体的には、コントローラ70は、基本波長のフラグを設定する。ステップS4で「No」と判定された場合、コントローラ70は、ステップS13におけるフィードバック制御における半導体レーザ30の駆動条件の訂正に係る符号を反転させる(ステップS6')。具体的には、コントローラ70は、中間波長のフラグを設定する。

#### 【0072】

ステップS13においては、コントローラ70は、第1温度制御装置31の温度が、比 $I_{m2}/I_{m1}$ を満たすようにフィードバック制御を行う。基本波長のフラグが設定されている場合には、コントローラ70は、基本波長のスロープに対応したフィードバック制

10

20

30

40

50

御を行う。中間波長のフラグが設定されている場合には、コントローラ 70 は、半導体レーザの駆動条件の訂正に係る符号を反転させて、フィードバック制御を行う。

#### 【0073】

本変形例によれば、半導体レーザ 30 の駆動条件の訂正に係る符号の反転・非反転を行うだけで、基本波長および中間波長に基づく波長制御を行うことができる。それにより、中間波長に対応する初期設定値などをメモリ 60 に格納しておかなくてもよい。その結果、メモリ 60 の容量の増大化を抑制することができる。また、中間波長の試験を行わなくてもよくなるため、試験時間の短縮化を図ることができる。

#### 【実施例 2】

#### 【0074】

実施例 1 では、波長の任意設定制御（グリッドレス制御）について説明したが、波長が固定されたグリッド制御についても本発明を適用することができる。図 10 は、半導体レーザ 30 の要求波長（いずれかのグリッド波長）を実現するため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 に示すように、コントローラ 70 は、波長要求  $F'$  を受ける（ステップ S21）。この要求波長  $F'$  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、要求波長  $F'$  が基本波長  $F$  のいずれかであるか否かを判定する（ステップ S22）。

#### 【0075】

ステップ S22 で「Yes」と判定された場合、コントローラ 70 は、基本波長と同じスロープを選択する（ステップ S23）。ステップ S22 で「No」と判定された場合、コントローラ 70 は、基本波長と反対のスロープを選択する（ステップ S24）。ステップ S23 またはステップ S24 の実行後、コントローラ 70 は、半導体レーザ 30 の更新設定値を RAM に書き込む（ステップ S25）。要求波長が基本波長である場合、更新設定値には、基本波長の初期設定値、フィードバック制御目標値が含まれる。要求波長が中間波長である場合、更新設定値には、中間波長と隣接するいずれかの基本波長の初期設定値、フィードバック制御目標値に加えて、ステップ S24 で選択されたスロープに関するフラグが含まれている。

#### 【0076】

次に、コントローラ 70 は、ステップ S25 で書き込まれた更新設定値に基づいて、半導体レーザ 30 を駆動させる（ステップ S26）。次に、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 S27）。ここで  $T_{LD}$  の範囲とは、目標温度  $T_{LD}$  を中心とする所定範囲である。ステップ S27 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  $TH1$  が初期温度値  $T_{LD}$  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。

#### 【0077】

コントローラ 70 は、ステップ S27 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 S28）。この場合の設定範囲は、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 S10 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  $TH2$  が設定温度  $T_{et1n\_A}$  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。

#### 【0078】

コントローラ 70 は、ステップ S27 およびステップ S28 の両方で「Yes」と判定されるまで待機する。ステップ S27 およびステップ S28 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 S29）。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 から要求波長のレーザ光が出力される。

#### 【0079】

10

20

30

40

50

次に、コントローラ 70 は、第 1 温度制御装置 31 による  $T_{LD}$  を制御目標とした温度制御を終了する（ステップ S30）。次に、コントローラ 70 は、第 1 温度制御装置 31 による自動波長制御を開始する。（ステップ S31）。つまり、第 1 温度制御装置 31 の温度が、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 52 の入力光と出力光の比（前後比）は、半導体レーザ 30 の発振波長を示している。また、第 1 温度制御装置 31 は半導体レーザ 30 の波長を制御するパラメータである。すなわちステップ S31 では、前後比が  $I_{m2} / I_{m1}$  になるように第 1 温度制御装置 31 の温度をフィードバック制御することで、半導体レーザ 30 の波長を制御する。なお、中間波長を表すフラグが設定されている場合には、基本波長と反対側のスロープを用いる。第 1 温度制御装置 31 に供給される電流値の制御は、所定の刻み値（固定値）によって実行される。コントローラ 70 は、比  $I_{m2} / I_{m1}$  を目標値  $I_{m2} / I_{m1}$  に近づけるための温度制御符号を発生する。温度制御符号は、温度上昇を示す符号、温度下降を示す符号、温度変更が不要な場合の符号を含む。この符号に基づいて、前記刻み値だけ、第 1 温度制御装置 31 へ供給する電流値を増大あるいは減少させる制御がなされる。あるいは比  $I_{m2} / I_{m1}$  が目標値  $I_{m2} / I_{m1}$  に対して所定の範囲内に遷移した場合には、温度制御不要の符号がコントローラ 70 から出力され、第 1 温度制御装置 31 の電流量は変更されない。

10

#### 【0080】

コントローラ 70 は、比  $I_{m2} / I_{m1}$  がステップ S2 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 S32）。

20

#### 【0081】

本実施例によれば、要求波長が基本波長と同じスロープに位置していれば、基本波長と同じ傾きのスロープを用いて波長制御がなされる。一方、要求波長が基本波長と異なるスロープに位置していれば、基本波長のスロープを反転させることによって得られる反対の傾きのスロープを用いて波長制御がなされる。それにより、中間波長に対応する初期設定値などをメモリ 60 に格納しておかなくてもよい。その結果、メモリ 60 の容量の増大化を抑制することができる。また、中間波長の試験を行わなくてもよくなるため、試験時間の短縮化を図ることができる。

#### 【0082】

（変形例）

30

上記例では、スロープの選択をしている。スロープの選択は、自動波長制御におけるフィードバック制御により半導体レーザ 30 の駆動条件を訂正する場合の符号を選択することと同じことを表す。そこで、スロープの選択をせずに、半導体レーザ 30 の駆動条件を訂正する場合の符号の反転・非反転を判定するだけでもよい。

#### 【0083】

図 11 は、半導体レーザ 30 の要求波長を実現するための起動手順の他の例を表すフローチャートである。図 10 のフローチャートと異なる点について説明する。ステップ S2 で「Yes」と判定された場合、コントローラ 70 は、ステップ S31 におけるフィードバック制御における半導体レーザ 30 の駆動条件の訂正に係る符号を反転させない（ステップ S23'）。具体的には、コントローラ 70 は、基本波長のフラグを設定する。ステップ S22 で「No」と判定された場合、コントローラ 70 は、ステップ S31 におけるフィードバック制御における半導体レーザ 30 の駆動条件の訂正に係る符号を反転させる（ステップ S24'）。具体的には、コントローラ 70 は、中間波長のフラグを設定する。

40

#### 【0084】

ステップ S31 においては、コントローラ 70 は、第 1 温度制御装置 31 の温度が、比  $I_{m2} / I_{m1}$  を満たすようにフィードバック制御を行う。基本波長のフラグが設定されている場合には、コントローラ 70 は、基本波長のスロープに対応したフィードバック制御を行う。中間波長のフラグが設定されている場合には、コントローラ 70 は、半導体レーザの駆動条件の訂正に係る符号を反転した状態で、フィードバック制御を行う。

50

## 【 0 0 8 5 】

本変形例によれば、半導体レーザ 3 0 の駆動条件の訂正に係る符号の反転・非反転を行うだけで、基本波長および中間波長に基づく波長制御を行うことができる。それにより、中間波長に対応する初期設定値などをメモリ 6 0 に格納しておかなくてもよい。その結果、メモリ 6 0 の容量の増大化を抑制することができる。また、中間波長の試験を行わなくてもよくなるため、試験時間の短縮化を図ることができる。

## 【 0 0 8 6 】

以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明は係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

10

## 【符号の説明】

## 【 0 0 8 7 】

- 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 0 出力検知部
- 4 1 ビームスプリッタ
- 4 2 第 1 受光素子
- 5 0 波長ロッカ部
- 5 1 ビームスプリッタ
- 5 2 第 2 受光素子
- 5 3 エタロン
- 5 4 第 2 温度制御装置
- 5 5 第 3 受光素子
- 5 6 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



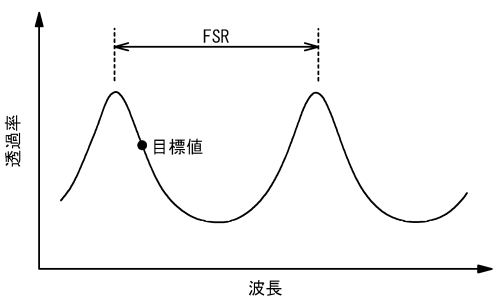


【図5】

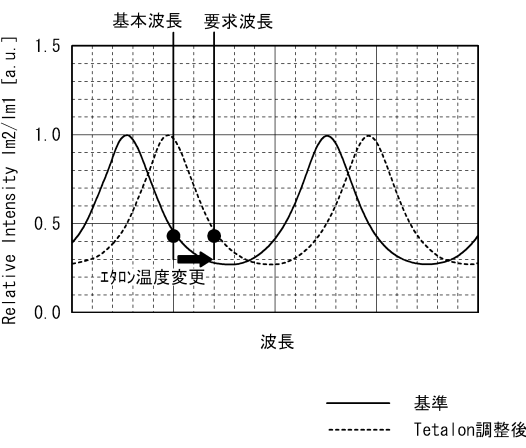
Ch	初期設定値							フィードバック制御目標値		温度補正係数
	$I_{LD}$ [mA]	$I_{SOA}$ [mA]	$T_{LD}$ [degC]	$T_{Etalon}$ [degC]	$P_{heater1}$ [mW]	$P_{heater2}$ [mW]	$P_{heater3}$ [mW]	$I_{m1}$ [μA]	$I_{m2}/I_{m1}$ A.U.	$C1$ [GHz/°C]
1	150.00	67.39	52.508	40.000	29.42	57.47	50.69	315.0	1.175	-1.800
3	150.00	47.74	34.533		64.38	81.31	72.45	317.5		
5	150.00	50.86	38.727		59.05	77.71	69.12	313.0		
n-1	150.00	54.77	54.046		41.24	43.32	11.69	317.2		

Ch	初期設定値							フィードバック制御目標値		温度補正係数
	$I_{LD}$ [mA]	$I_{SOA}$ [mA]	$T_{LD}$ [degC]	$T_{Etalon}$ [degC]	$P_{heater1}$ [mW]	$P_{heater2}$ [mW]	$P_{heater3}$ [mW]	$I_{m1}$ [μA]	$I_{m2}/I_{m1}$ A.U.	$C1$ [GHz/°C]
1	150.00	67.39	52.508	40.000	29.42	57.47	50.69	315.0	1.175	-1.800

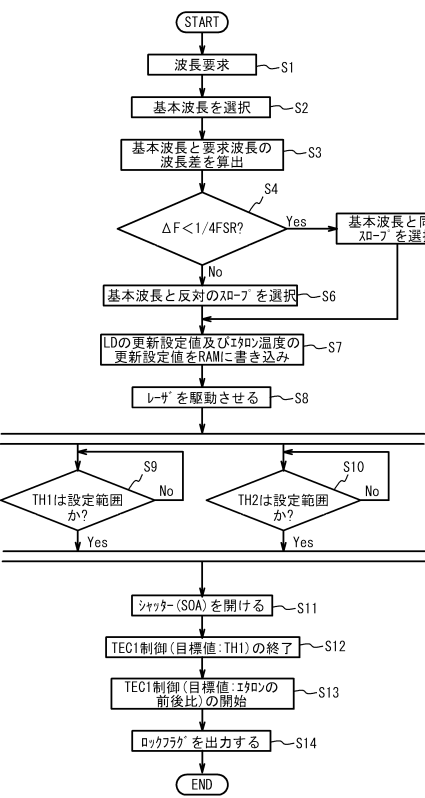
【図6】



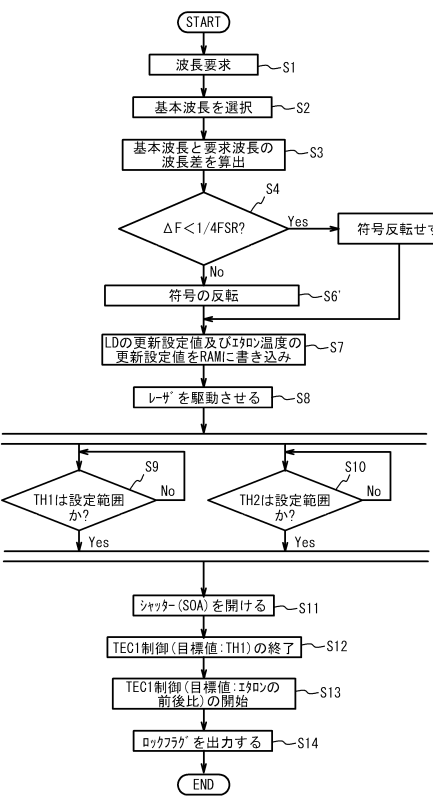
【図7】



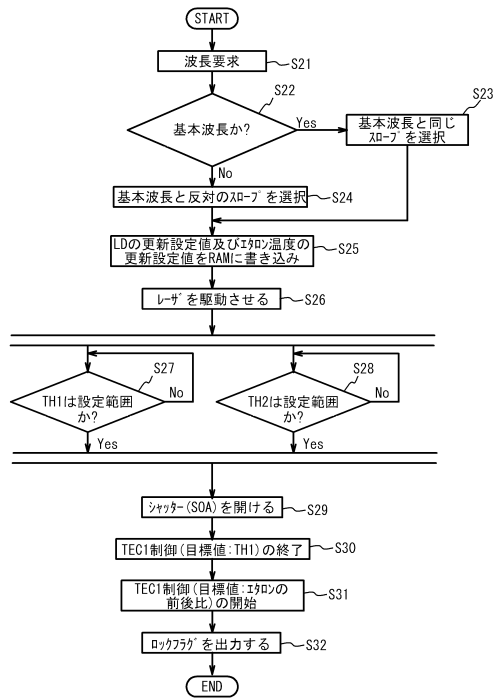
【図8】



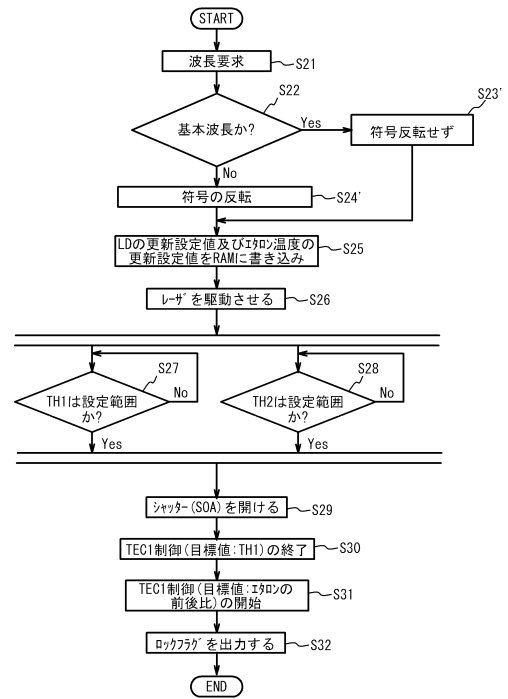
【図9】



【図 10】



【図 11】



---

フロントページの続き

審査官 小濱 健太

(56)参考文献 特開平04-335588(JP,A)  
特開2011-054714(JP,A)  
特開2011-108910(JP,A)  
米国特許第06291813(US,B1)  
米国特許出願公開第2002/0101898(US,A1)

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