

(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2006-66586

(P2006-66586A)

(43) 公開日 平成18年3月9日(2006.3.9)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 S 3/10 (2006.01)	HO 1 S 3/10 Z	5 F 1 7 2
HO 1 S 5/065 (2006.01)	HO 1 S 5/065	5 F 1 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2004-246504 (P2004-246504)	(71) 出願人	000000295 沖電気工業株式会社
(22) 出願日	平成16年8月26日 (2004.8.26)	(74) 代理人	100085419 弁理士 大垣 孝
		(72) 発明者	荒平 慎 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気工業株式会社内
		Fターム(参考)	5F172 AE26 AM03 DD04 NN14 NN25 NN33 NQ08 NS18 5F173 AB82 AD12 AH12 AR06 AR36 AS04

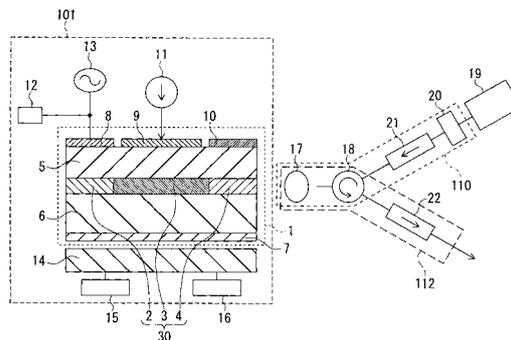
(54) 【発明の名称】 モード同期半導体レーザー装置及びモード同期半導体レーザー装置の波長制御方法

(57) 【要約】

【課題】 波長可変領域の波長幅が十分に広く、かつ周波数チャープングが光通信システムにおいて利用可能な程度に抑制された光パルスを発生する。

【解決手段】 MLLD 1を含む光パルス生成部101と、CW光源19と、第1光学的結合手段110と、第2光学的結合手段112とを具備して構成される。光利得領域3と光変調領域2と受動導波領域4とを含む光導波路30が、MLLD内に形成されている。光利得領域には、p側電極9とn側共通電極7とを介して第1電流源11から定電流が注入される。光変調領域2にはp側電極8とn側共通電極とを介して電圧源12によって逆バイアス電圧が印加される。また、変調電圧源13によりMLLDの有する共振器周回周波数の自然数倍の周波数の変調電圧が光変調領域に印加される。CW光源の出力光は第1光学的結合手段を介してMLLDの光導波路に入力され、MLLDの出力光は第2光学的結合手段を介して外部に出力される。

【選択図】 図1



第1実施例の波長可変モード同期半導体レーザーの概略的構成図

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反転分布が形成される光利得領域と光強度を変調する機能を有する光変調領域とを含み、該光利得領域と該光変調領域とが直列に配置された光導波路を具えるモード同期半導体レーザと、

該モード同期半導体レーザの発振縦モードのうちのいずれか一つの縦モードの波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長の連続波光を発生する連続波光出力光源と、

該連続波光出力光源の出力光を、前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力し、前記モード同期半導体レーザの前記光導波路内において該連続波光出力光源の出力光の偏光方向が前記モード同期半導体レーザの発振光の偏光方向と合致するように、該連続波光出力光源の出力光の偏光方向を制御する偏光面調整素子を含む第1光学的結合手段と、

前記モード同期半導体レーザが出力する光パルスを外部に出力させるための第2光学的結合手段と

を有することを特徴とするモード同期半導体レーザ装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載のモード同期半導体レーザ装置において、

前記光導波路が前記光利得領域と前記光変調領域とに加えて受動導波領域を含み、該光利得領域と該光変調領域と該受動導波領域とが直列に配置されて形成されており、

該受動導波領域に発振波長調整手段が形成されていることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置。

20

【請求項 3】

請求項 1 に記載のモード同期半導体レーザ装置において、

前記連続波光出力光源から出力される連続波光が前記第1光学的結合手段を介して前記モード同期半導体レーザの光導波路の一方の入力端から前記モード同期半導体レーザの光導波路に入力され、前記モード同期半導体レーザの光導波路から出力される光パルスは前記モード同期半導体レーザの光導波路の他方の出力端から前記第2光学的結合手段を介して外部に出力されるように配置されて構成されること

を特徴とするモード同期半導体レーザ装置。

30

【請求項 4】

請求項 2 に記載のモード同期半導体レーザ装置において、

前記連続波光出力光源から出力される連続波光が前記第1光学的結合手段を介して前記モード同期半導体レーザの光導波路の一方の入力端から前記モード同期半導体レーザの光導波路に入力され、前記モード同期半導体レーザの光導波路から出力される光パルスは前記モード同期半導体レーザの光導波路の他方の出力端から前記第2光学的結合手段を介して外部に出力されるように配置されて構成されること

を特徴とするモード同期半導体レーザ装置。

【請求項 5】

請求項 1 又は 3 に記載のモード同期半導体レーザ装置が出力する光パルスの波長を制御する方法であって、

40

(A) 前記モード同期半導体レーザを発振させるステップと、

(B) 前記光変調領域において前記モード同期半導体レーザの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによって該モード同期半導体レーザのモード同期動作を実現させるステップと、

(C) 前記連続波光出力光源から、前記モード同期半導体レーザの発振縦モードのうちのいずれか一つの縦モード波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長の連続波光を出力させるステップと、

(D) 前記モード同期半導体レーザの前記光導波路内において該連続波光出力光源の出力光の偏光方向が前記モード同期半導体レーザの発振光の偏光方向と合致するように、前記偏光面調整素子によって該連続波光出力光源の出力光の偏光方向を調整し、該出力光を

50

前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力するステップと、

(E) 前記モード同期半導体レーザから、前記連続波光出力光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスが前記モード同期半導体レーザから出力されるように、前記連続波光出力光源から前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力される連続波光強度を調整するステップと、

(F) 前記モード同期半導体レーザから光パルスを出力するステップとを具えることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置の波長制御方法。

【請求項6】

請求項2又は4に記載のモード同期半導体レーザ装置が出力する光パルスの波長を制御する方法であって、

10

(A) 前記モード同期半導体レーザを発振させるステップと、

(B1) 光変調領域において前記モード同期半導体レーザの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによってこの前記モード同期半導体レーザのモード同期動作を実現させるステップと、

(C) 前記連続波光出力光源から、前記モード同期半導体レーザの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長の連続波光を出力させるステップと、

(B2) 前記連続波光の波長と、モード同期動作している前記モード同期半導体レーザの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、前記発振波長調整手段によって前記モード同期半導体レーザの縦モードの位置を調整するステップと、

20

(D) 前記モード同期半導体レーザの前記光導波路内において該連続波光出力光源の出力光の偏光方向が前記モード同期半導体レーザの発振光の偏光方向と合致するように、前記偏光面調整素子によって該連続波光出力光源の出力光の偏光方向を調整し、該出力光を前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力するステップと、

(E) 前記モード同期半導体レーザから、前記連続波光出力光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスが前記モード同期半導体レーザから出力されるように、前記連続波光出力光源から前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力される連続波光強度を調整するステップと、

(F) 前記モード同期半導体レーザから光パルスを出力するステップとを具えることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置の波長制御方法。

30

【請求項7】

請求項2又は4に記載のモード同期半導体レーザ装置において、

前記発振波長調整手段が、前記受動導波領域を含んで形成されているp-i-n接合に電流注入するための手段であることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置。

【請求項8】

請求項7に記載のモード同期半導体レーザ装置が出力する光パルスの波長を制御する方法であって、

(A) 前記モード同期半導体レーザを発振させるステップと、

(b1) 前記光変調領域において前記モード同期半導体レーザの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによって該モード同期半導体レーザのモード同期動作を実現させるステップと、

40

(C) 前記連続波光出力光源から、前記モード同期半導体レーザの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長の連続波光を出力させるステップと、

(b2) 前記連続波光の波長と、モード同期動作している前記モード同期半導体レーザの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、前記受動導波領域を含んで形成されているp-i-n接合に電流を注入して前記モード同期半導体レーザの縦モードの位置を調整するステップと、

(D) 前記モード同期半導体レーザの前記光導波路内において該連続波光出力光源の出力光の偏光方向が前記モード同期半導体レーザの発振光の偏光方向と合致するように、前

50

記偏光面調整素子によって該連続波光出力光源の出力光の偏光方向を調整し、該出力光を前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力するステップと、

(E) 前記モード同期半導体レーザから、前記連続波光出力光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスが前記モード同期半導体レーザから出力されるように、前記連続波光出力光源から前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力される連続波光強度を調整するステップと、

(F) モード同期半導体レーザから光パルスを出力するステップと
を具えることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置の波長制御方法。

【請求項 9】

請求項 2 又は 4 に記載のモード同期半導体レーザ装置において、

前記発振波長調整手段が、前記受動導波領域を含んで形成されている p-i-n 接合に逆バイアス電圧を印加するための手段であることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載のモード同期半導体レーザ装置が出力する光パルスの波長を制御する方法であって、

(A) 前記モード同期半導体レーザを発振させるステップと、

(b1) 前記光変調領域において前記モード同期半導体レーザの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによって該モード同期半導体レーザのモード同期動作を実現させるステップと、

(C) 前記連続波光出力光源から、前記モード同期半導体レーザの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長の連続波光を出力させるステップと、

(b3) 前記連続波光の波長と、モード同期動作している前記モード同期半導体レーザの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、前記受動導波領域を含んで形成されている p-i-n 接合に逆バイアス電圧を印加して前記モード同期半導体レーザの縦モードの位置を調整するステップと、

(D) 前記モード同期半導体レーザの前記光導波路内において該連続波光出力光源の出力光の偏光方向が前記モード同期半導体レーザの発振光の偏光方向と合致するように、前記偏光面調整素子によって該連続波光出力光源の出力光の偏光方向を調整し、該出力光を前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力するステップと、

(E) 前記モード同期半導体レーザから、前記連続波光出力光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスが前記モード同期半導体レーザから出力されるように、前記連続波光出力光源から前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力される連続波光強度を調整するステップと、

(F) モード同期半導体レーザから光パルスを出力するステップと
を具えることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置の波長制御方法。

【請求項 11】

請求項 2 又は 4 に記載のモード同期半導体レーザ装置において、

前記発振波長調整手段が、前記受動導波領域の温度を制御するための受動導波領域温度制御手段であることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置。

【請求項 12】

請求項 11 に記載のモード同期半導体レーザ装置が出力する光パルスの波長を制御する方法であって、

(A) 前記モード同期半導体レーザを発振させるステップと、

(b1) 前記光変調領域において前記モード同期半導体レーザの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによって該モード同期半導体レーザのモード同期動作を実現させるステップと、

(C) 前記連続波光出力光源から、前記モード同期半導体レーザの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長の連続波光を出力させるステップと、

10

20

30

40

50

(b4) 前記連続波光の波長と、モード同期動作している前記モード同期半導体レーザの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、受動導波領域温度制御手段を用いて前記受動導波領域の温度を制御して縦モードの位置を調整するステップと、

(D) 前記モード同期半導体レーザの前記光導波路内において該連続波光出力光源の出力光の偏光方向が前記モード同期半導体レーザの発振光の偏光方向と合致するように、前記偏光面調整素子によって該連続波光出力光源の出力光の偏光方向を調整し、該出力光を前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力するステップと、

(E) 前記モード同期半導体レーザから、前記連続波光出力光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャージングが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスが前記モード同期半導体レーザから出力されるように、前記連続波光出力光源から前記モード同期半導体レーザの前記光導波路に入力される連続波光強度を調整するステップと、

(F) モード同期半導体レーザから光パルスを出力するステップと
を具えることを特徴とするモード同期半導体レーザ装置の波長制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、超高速光通信等に用いられる、モード同期法によって高い繰返し周波数を有する超短光パルス列を発生させるモード同期半導体レーザ (MLLD: Mode-Locked Laser Diode) 装置、及びMLLD装置の波長制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体レーザや光ファイバレーザを用いた超短光パルス発生技術は、光時分割多重方法による光ファイバ通信の高速化・大容量化に向けて、重要な技術として注目されている。光ファイバ通信の高速化に伴い、より短い繰返し周期で光パルスを発生できる光パルス光源が必要となる。また、それと同時に、発生する光パルス列が、周波数チャージングが抑制されかつ位相雑音が低いといった、品質が高いことも光ファイバ通信において重要な要素である。

【0003】

以後の記述において、時間軸上で等間隔に並ぶ光パルスの列のことを光パルス列というものとするが、混同の恐れが生じない範囲で、光パルス列を単に光パルスということもある。

【0004】

周波数チャージングが抑制されかつ位相雑音が高い光パルス列を得るという観点から、GHzレベルないしはそれ以上の高い繰返し周波数で光パルスを発生させる方法としては、モード同期法が有力な方法である。モード同期法は、これまで光ファイバレーザあるいは半導体レーザを用いて実現されている。

【0005】

一方、波長多重方式による通信の大容量化の要請に応えるために、MLLDから出力される光パルスの波長を可変化することが重要な課題である。実現できる可変波長範囲は、光利得媒体が有する利得帯域と、発振波長を制御するために利用される光波長フィルタや回折格子の可変波長領域とによって制限される。

【0006】

また、上述したように光通信等に利用される光パルス光源は、その出力される光パルスの周波数チャージングが抑制されていることが要請される。光利得媒体の利得全帯域にわたって、モード同期された状態でレーザ発振動作を実現させて、かつ、発生される光パルスの周波数チャージングを抑制することは、非常に高度な技術が必要である。

【0007】

そこで、光通信に使われるモード同期レーザは、それから出力される光パルスの周波数チャージングを抑制するために、レーザ共振器内に波長フィルタや回折格子を挿入し、利得媒体の有する利得帯域の一部を選択して利用する構成とするのが一般的である。このよ

10

20

30

40

50

うな構成のモード同期レーザにおいては、その波長可変帯域は挿入された波長フィルタや回折格子の有する透過あるいは回折中心波長の可変範囲に制限される。すなわち、レーザ共振器内に挿入された波長フィルタや回折格子の、機械的な手段あるいは電気的手段による透過あるいは回折中心波長の可変範囲に、モード同期レーザの波長可変帯域が制限される。

【0008】

波長フィルタや回折格子の透過あるいは回折中心波長を変化させることで、モード同期レーザから得られる光パルスの波長を変化させた例が複数報告されている（例えば、非特許文献1乃至3参照）。

【0009】

第1の例は、光ファイバ型モード同期レーザによって波長可変光パルス発生に成功した例である（例えば、非特許文献1参照）。この例では、7 nmの波長幅にわたって波長制御が実現されている。最近、同様の構造を有する市販されている光ファイバ型モード同期レーザでは、波長幅30 nmにわたって波長制御が実現されている。

【0010】

また、第2の例として、外部共振器型MLLDを用いて40 nmの波長幅にわたって波長制御が実現された例（例えば、非特許文献2参照）や、第3の例として、120 nmの波長幅にわたって波長制御が実現された例（例えば、非特許文献3参照）が報告されている。

【0011】

上述の非特許文献1乃至3に開示されている波長可変モード同期レーザによる光パルス発生装置は、そのサイズが大きな光ファイバレーザや外部共振器型半導体レーザを利用したものである。これらの光パルス発生装置は、そのサイズが大きいことと、サイズが大きいために機械的な安定性に欠けるといった問題点がある。すなわち、装置が機械的な力を受けて歪むことによって、発生される光パルスの時間波形形状や光パルスの繰り返し周波数が揺らぐといった、動作の不安定が現れる。

【0012】

発生される光パルスの時間波形や光パルスの繰り返し周波数の揺らぎは、何らかの帰還回路を用いてフィードバックをかけることで防止されるが、このような帰還回路を装置に組み込むことで製造コストが高くなり、また装置の消費電力も増大する。すなわち、実用的であるためには、光ファイバレーザや外部共振器型半導体レーザを利用してモード同期レーザ装置を構成することは得策でない。

【0013】

従って、光ファイバレーザや外部共振器型半導体レーザを用いて構成されるモード同期レーザと同程度の波長制御特性が得られるモード同期レーザを、機械的な安定性に優れ、かつ、低コスト・低消費電力化が可能な、集積化MLLDを用いて構成できれば実用上好ましい。

【0014】

MLLDにおいて波長制御を実現するために従来行われてきた方法は二つある。まず、第1の方法はレーザ活性媒質の温度を変化させる方法である。ファブリ・ペロ（FP: Fabry-Pérot）共振器型半導体レーザの発振波長は、利得ピーク波長の温度変化特性によってほぼ決定され、その変化量は1 nm/ 程度である。また、分布ブラッグ反射鏡（DBR: Distributed Bragg Reflector）を具えた半導体レーザの発振波長は、DBRを構成する部分の屈折率の温度変化特性によってほぼ決定され、その波長変化量は0.1 nm/ 程度である。DBR半導体レーザは、その共振器構造をブラッグ反射器によって構成されるものであり、このブラッグ反射器は一種の波長フィルタとして機能する。

【0015】

実際には、FP共振器型半導体レーザを用いて構成されるFP共振器型MLLD装置で、半導体レーザ素子温度を変化させることによって、発振される光パルスの波長制御を実現させた例がある（例えば、非特許文献4参照）。

【0016】

10

20

30

40

50

しかしながら、FP共振器型MLLD装置は、既に述べたように出力される光パルスの周波数チャープが抑制されず、この周波数チャープがMLLDの駆動条件に強く依存するため、取り扱いが難しい。一般的に、MLLDへ注入する利得電流を増加させると周波数チャープは増大する（例えば、非特許文献5参照）。周波数チャープを抑制するためにはMLLDへ注入する利得電流を減少させればよいが、出力される光パルスのパワーが低下する。この場合に、相対雑音強度（RIN: Relative Intensity Noise）も増加する。いずれにしても、FP共振器型MLLD装置は光通信システムに組み込むには不向きである。

【0017】

第2の方法は、DBR型半導体レーザを用いて構成されるDBR型MLLD装置において、DBRのブラッグ波長を外部からの制御信号に基づいて制御して、DBR型MLLDから発生される光パルスの波長を変化させる方法である。この方法では、DBRが有する波長選択機能によって発振される光の波長が制限される性質を利用して、出力される光パルスの周波数チャープが抑制されている。従って、DBR型MLLDは光通信システムにおいて利用可能な、周波数チャープが抑制された光パルスを発生させることができる。

10

【0018】

DBRのブラッグ波長を変化させるためにDBRに外部から入力される制御信号としては電気信号が利用される。例えば、p-i-n接合部のp-i接合部にDBRを形成し、このp-i-n接合部に電流注入してプラズマ効果によりDBRの実効屈折率を変化させて、ブラッグ波長を変化させた例が報告されている（例えば、非特許文献6参照。この例は非特許文献6において素子Aとして報告されている。）。また、DBRの上部に電気抵抗として機能する白金薄膜を形成し、この電気抵抗に電流を流してその結果発生するジュール熱によるDBRの温度変化を利用してブラッグ波長を変化させる例も報告されている（例えば、非特許文献6参照。この例は非特許文献6において素子Bとして報告されている。）。

20

【0019】

また、光パルスを発生するレーザに外部の光源から出力されるCW光を注入することで光注入同期を実現させたという発明が開示されている（例えば、非特許文献7及び非特許文献8参照）。

【0020】

上述の非特許文献7では、光パルスを発生するレーザとして外部共振器型レーザが使われている例が開示されている。外部共振器型レーザが使われているためコンパクト化することが難しく、動作の安定性を確保することが難しい。その上、外部共振器型レーザを用いると周囲温度の変化によって、モード同期特性の変化が生じたり複合共振器モードが出現したりといった、光学系の位置ずれにもなう諸問題が生じやすい。また、周囲温度が変化することによって光共振器周回周波数の変化に起因する周波数同調範囲から逸脱するといった諸問題が生じやすい。

30

【0021】

一方、非特許文献8では、光パルスを発生するレーザとして利得スイッチ型レーザが使われている例が開示されている。利得スイッチ型レーザが使われているため、光パルスの時間ジッタや周波数チャープを抑制することに限界がある。

【非特許文献1】H. Takara, S. Kawanishi, and M. Saruwatari, "20 GHz transform-limited optical pulse generation and bit-error-free operation using a tunable actively mode locked Er-doped fiber ring laser," *Electron. Lett.*, vol. 29, pp. 1149-1150, 1993.

40

【非特許文献2】D. M. Bird, R. M. Fatah, M. K. Cox, P. D. Constantine, J. C. Regnault, and K. H. Cameron, "Miniture packaged actively mode-locked semiconductor laser with tunable 20 ps transform limited pulses," *Electronics Letters*, vol. 26, pp. 2086-2087, 1990.

【非特許文献3】R. Ludwig and A. Ehrhardt, "Turn-key-ready wavelength-, repetition rate- and pulsewidth-tunable femtosecond hybrid mode locked semiconductor laser," *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 1165-1167, 1995.

50

【非特許文献4】M. C. Wu, Y. K. Chen, T. Tanbun-Ek, R. A. Logan, and M. A. Chin, "Tunable monolithic colliding pulse mode-locked quantum-well lasers," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 3, pp. 874-976, 1991.

【非特許文献5】S. Arahira, Y. Katoh, and Y. Ogawa, "20GHz subpicosecond monolithic modelocked laser diode," Electron. Lett., vol. 36, pp. 454-456, 2000.

【非特許文献6】H. F. Liu, S. Arahira, T. kunii, and Y. Ogawa, "Tuning characteristics of monolithic passively mode-locked distributed Bragg reflector semiconductor lasers," IEEE J. Quantum Electron., vol. 32, pp. 1965-1975, 1996.

【非特許文献7】L. G. Joneckis, P. T. Ho, and G. L. Burdge, "CW injection seeding of a mode locked semiconductor laser," IEEE J. Quantum Electron. vol. 27, pp. 1854-1858, 1991. 10

【非特許文献8】Y. Matsui, S. Kutsuzawa, S. Arahira, and Y. Ogawa, "Generation of wavelength tunable gain-switched pulses from FP MQW lasers with external injection seeding," IEEE Photon. Technol. Lett., vol 9, pp. 1087-1089, 1997.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

上述のDBR型MLLDにおいて実現される波長可変領域の広さは、非特許文献6において素子Aとして報告されているDBR型MLLDが波長幅にして4 nm程度であり、非特許文献6において素子Bとして報告されているDBR型MLLDが波長幅にして9 nm程度である。この値は、非特許文献1に開示されている光ファイバレーザ、あるいは非特許文献2及び3に開示されている外部共振器型半導体レーザを利用したMLLD装置の場合の1/10程度である。 20

【0023】

従って、この発明の目的は、MLLD装置のコンパクト化及び動作の安定化が十分に図られた上で、波長可変領域の波長幅が十分に広く、かつ周波数チャープングが光通信システムにおいて利用可能な程度に光パルスを発生することが可能である光パルス発生光源を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0024】

上述の目的を達成するため、この発明のMLLD装置は、MLLDと、連続波光出力光源と、第1光学的結合手段と、第2光学的結合手段とを具備して構成される。 30

【0025】

MLLDは、反転分布が形成される光利得領域と光強度を変調する機能を有する光変調領域とを含み、光利得領域と光変調領域とが直列に配置された光導波路を具備している。

【0026】

連続波光出力光源は、MLLDの発振縦モードのうちのいずれか一つの縦モードの波長に近接した波長の連続波光を発生する。ここで、MLLDの発振縦モードのうちのいずれか一つの縦モードの波長と連続波光出力光源が出力する連続波光の波長とは、MLLDが光注入同期現象を起こすことが可能な範囲で近接している必要がある。以後、連続波光をCW (Continuous Wave) 光と記載し、CW光を出力する光源をCW光源と記載することもある。 40

【0027】

第1光学的結合手段は、CW光源の出力光をMLLDの光導波路に入力し、MLLDの光導波路内においてCW光源の出力光の偏光方向がMLLDの発振光の偏光方向と合致するように、CW光源の出力光の偏光方向を制御する偏光面調整素子を含んで構成される。また、第2光学的結合手段は、MLLDが出力する光パルスを外部に出力させるために設置される。

【0028】

また、上述の目的を達成するため、この発明のMLLD装置の波長制御方法は、上述のMLLD装置を用いて得られる光パルスの波長を制御するために、以下に記す(A)乃至(F)のステップを含んでいる。

(A) MLLDを発振させるステップ：

(B) 光変調領域においてMLLDの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによってMLLDのモード同期動作を実現させるステップ：

(C) CW光源からMLLDの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に近接した波長のCW光を出力させるステップ：

(D) MLLDの光導波路内においてCW光源の出力光の偏光方向がMLLDの発振光の偏光方向と合致するように、偏光面調整素子によってCW光源の出力光の偏光方向を調整し、出力光をMLLDの光導波路に入力するステップ：

(E) MLLDから、CW光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープングが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスがMLLDから出力されるように、CW光源からMLLDの光導波路に入力されるCW光強度を調整するステップ：

10

(F) MLLDから光パルスを出力するステップ：

ここで、MLLDの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モードの波長とCW光源が出力するCW光の波長とは、MLLDが光注入同期現象を起こすことが可能な範囲で近接している必要がある。

【発明の効果】

【0029】

この発明のMLLD装置は、反転分布が形成される光利得領域と光強度を変調する機能を有する光変調領域とを含み光利得領域と光変調領域とが直列に配置された光導波路を具えたMLLDを具えているので、このMLLDにおいてモード同期動作を実現させることができる。

【0030】

20

また、CW光源及び第1光学的結合手段を具えているので、モード同期動作しているこのMLLDの発振縦モードのうち一つの縦モードの波長に近接した波長のCW光をCW光源から出力して、第1光学的結合手段を介してこのCW光をMLLDの光導波路に入力することができる。そして、CW光源はMLLDの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モードの波長に、MLLDが光注入同期現象を起こすことが可能な程度近接した波長の連続波光を発生する機能を有している。

【0031】

第1光学的結合手段は、CW光源の出力光の偏光方向を制御する偏光面調整素子を含んで構成されているので、MLLDの光導波路内においてCW光源の出力光の偏光方向がMLLDの発振光の偏光方向と合致するように調整することができる。すなわち、第1光学的結合手段によって、MLLDの光導波路内においてCW光源の出力光の偏光方向をMLLDの発振光の偏光方向と合致するように調整して、CW光源の出力光をMLLDの光導波路に入力することができる。

30

【0032】

モード同期動作しているMLLDの発振縦モードのうち一つの縦モードの波長に近接した波長のCW光を、MLLDの発振光の偏光方向と合致させてMLLDの光導波路に入力することができるので、MLLDにおいて光注入同期現象を起こすことができる。

【0033】

詳細は後述するが、MLLDの光導波路に入力するCW光の強度が弱いと光注入同期の効果は微小である。また、強すぎるとMLLDから出力される発振光は、入力されるCW光の波長に完全に固定されてCW発振するようになり、モード同期動作が消失する。従って、光注入同期の効果十分に現れる程度の強度であって、かつモード同期動作が消失しない程度の強度のCW光を注入することで、波長可変領域の波長幅が十分に広く、かつ周波数チャープングが抑制された光パルスが得られることを実験によって確かめた。

40

【0034】

上述の光注入同期が実現されてMLLDから出力される周波数チャープングが抑制された光パルスを第2光学的結合手段によって、MLLDが出力する光パルスを外部に出力させることができる。

【0035】

また、この発明のMLLD装置は、反転分布が形成される光利得領域と光強度を変調する機能を有する光変調領域とを含み、光利得領域と光変調領域とが直列に配置された光導波路

50

を具えたMLLDを利用しており、そのサイズが大きな光ファイバレーザや外部共振器型半導体レーザを利用しないので、コンパクト化及び動作の安定化が十分に図られる。

【0036】

また、上述の(A)乃至(F)のステップを具えたこの発明のMLLD装置の波長制御方法を実行することで、この発明のMLLD装置から所望の波長の光パルスを得ることができる。

【0037】

(A) MLLDを発振させるステップは、MLLDの光利得領域に順方向に電流を流してキャリア注入を行えば実現される。

【0038】

(B) 光変調領域においてMLLDの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことは、変調電圧源を利用して光変調領域にMLLDの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数に等しい交流電圧を印加すれば実現できるので、MLLDのモード同期を実現させるステップは実現できる。

【0039】

(C) CW光源からMLLDの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に近接した波長のCW光を出力させることは、この波長の光を発振波長帯域にもつ半導体レーザをCW動作させればよい。

【0040】

(D) MLLDの光導波路内においてCW光源の出力光の偏光方向がMLLDの発振光の偏光方向と合致するように、CW光源の出力光の偏光方向を調整することは、波長板等の偏光面調整素子を用いることで実行できる。また偏光方向が調整された出力光をMLLDの光導波路に入力するには第1光学的結合手段を介して実行できる。

【0041】

(E) MLLDから、CW光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープングが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスがMLLDから出力されるように、CW光源からMLLDの光導波路に入力されるCW光強度を調整するステップでは、CW光源の駆動電流を調整すればよい。

【0042】

(F) MLLDから光パルスを出力するステップは第2光学的結合手段を介して実行できる。

【0043】

以上説明したMLLD装置の出力光パルスの波長制御方法によれば、ステップ(A)及び(B)において、MLLDがモード同期動作し、ステップ(C)、(D)、(E)において、光注入同期の効果が十分に現れる程度の強度であって、かつモード同期動作が消失しない程度の強度のCW光をMLLDの光導波路に入力することで、波長可変領域の波長幅が十分に広く、かつ周波数チャープングが抑制された光パルスが得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0044】

以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。なお、構成図は、この発明に係る一構成例を図示するものであり、この発明が理解できる程度に各構成要素の配置関係等を概略的に示しているに過ぎず、この発明を図示例に限定するものではない。また、以下の説明において、特定の機器及び条件等を用いることがあるが、これら機器及び条件は好適例の一つに過ぎず、したがって、何らこれらに限定されない。また、各図において同様の構成要素については、その重複する説明を省略することもある。

【実施例】

【0045】

<第1実施例>

(構成)

図1を参照してこの発明の第1実施例の波長可変MLLDの構成を説明する。この発明の第1実施例のMLLD装置は、MLLD 1と、CW光源19と、第1光学的結合手段110と、第2光学的結合手段112とを具えて構成されている。そして、光パルス生成部101がMLLD 1を含んで構成さ

10

20

30

40

50

れている。

【0046】

MLLD 1は、反転分布が形成される光利得領域3と光強度を変調する機能を有する光変調領域2と受動導波領域4が、それぞれが直列に配置された光導波路30を具えて形成されており、この光導波路30を発振光が伝播する。受動導波領域4は、MLLD 1の発振光に対して透明な材料で構成されている。第1実施例においては、MLLD 1内に形成される光導波路30が、光利得領域3、光変調領域2及び受動導波領域4の3つの領域から構成されている。

【0047】

光導波路30の光利得領域3、光変調領域2及び受動導波領域4の3つの領域は、一本の光導波路として一様に形成されており、これら3つの領域を区別する境界が明瞭に存在するわけではない。光利得領域3は反転分布を形成させるための電流注入が行なわれる領域であり、光変調領域2は透過率が外部から変調される領域であることを意味している。また、後述するように、受動導波領域4は外部から実効屈折率が調整される領域である。

【0048】

すなわち、光変調領域2は、モード同期に必要な光変調機能を有する、いわゆる受動モード同期レーザにおける可飽和吸収帯や、能動モード同期レーザにおける電界吸収型光変調器などの光変調器に相当する役割を担う領域である。この領域（光変調領域2）はモードロッカーとも呼ばれる。光利得領域3はレーザ発振を起こすための光増幅機能を有する領域であり、半導体レーザダイオードを利用して構成されるこの発明のMLLD 1では、光増幅機能を実現するために、p-n接合を含んで構成される光活性領域に電流注入を行なって反転分布が形成されている。受動導波領域4はMLLD 1のレーザ発振光の波長の光に対して透明な素材で構成される光導波路である。

【0049】

この発明の第1実施例をはじめとして後述する第2実施例以降の実施例においては、光利得領域3、光変調領域2及び受動導波領域4の3つの領域から構成される光導波路30を具えるMLLD 1を用いるが、これら3つの領域から構成される光導波路30を具えるMLLD 1に限定されることなく、光利得領域が2箇所以上の複数箇所に設けられている構成や、受動導波領域を持たない構成、更には光利得領域のみで構成され、この光利得領域に変調電圧を印加することで光変調領域としての機能も兼ね備えさせる構成のMLLDを利用してこの発明を実施することができる。

【0050】

すなわち、MLLD 1に設定される光導波路30が、光利得領域3、光変調領域2及び受動導波領域4の3つの領域から構成されることは本質的な事項ではない。MLLDを電流注入励起してレーザ発振させることができることと、MLLDの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによってモード同期を実現させることができる構造であれば、いかなる構造のMLLDでも利用できる。

【0051】

MLLD 1の基本構造は、p-n接合を含んで構成される光活性領域に電流注入を行なって反転分布を形成してレーザ発振を実現する半導体レーザダイオード構造である。図1に示すMLLD 1は、光利得領域3、光変調領域2及び受動導波領域4の3つの領域から構成される光導波路30を、p型クラッド層5とn型クラッド層6とで挟み込んだ構造である。もちろん、p型クラッド層5をp型ではなくn型のクラッド層、n型クラッド層6をn型ではなくp型のクラッド層とする構造の半導体レーザダイオードを採用してもよく、この点は単なる設計的な事項に属する。ここでは、3つの領域から構成される光導波路30をp型クラッド層5とn型クラッド層6とで挟み込んだ構造のMLLDを採用して説明する。

【0052】

光利得領域3には、p側電極9とn側共通電極7とを介して第1電流源11から定電流が注入されて、その結果レーザ発振に必要な反転分布が光利得領域3に形成される。また、光変調領域2にはp側電極8とn側共通電極7とを介して電圧源12によって逆バイアス電圧が印加される。また、変調電圧源13によりMLLDの有する共振器周回周波数の自然数倍の周波数の変

10

20

30

40

50

調電圧が印加される。これら第1電流源11、電圧源12及び変調電圧源13の電流値あるいは電圧値が特定の条件を満足するように設定することによって、MLLD 1のモード同期動作を実現することができる。

【0053】

MLLD 1は、温度モニター15、ペルチエ素子等の発熱及び吸熱を行なう発熱・吸熱素子14及び発熱・吸熱素子制御器16によって一定温度で動作するように温度制御される。

【0054】

CW光源19は、MLLD 1の外部に用意された単一波長のCW光を出力する光源である。CW光源19の出力光は第1光学的結合手段110を介してMLLD 1の光導波路30に入力される。以後の説明において、CW光をMLLD 1の光導波路30に入力することを、MLLD 1にCW光を注入するということもある。 10

【0055】

第1光学的結合手段110は、CW光源の出力光をその偏光方向がMLLD 1の光導波路30内においてMLLD 1の発振光の偏光方向と合致するように調整してMLLD 1の光導波路30に入力するために設置されるものであり、偏光面調整素子20、第1光アイソレータ21、光サーキュレータ18及び結合レンズ17を具えて構成されている。

【0056】

また、MLLD 1の出力光は第2光学的結合手段112を介して外部に出力される。すなわち、第2光学的結合手段112は、MLLD 1の出力光パルスを外に出力させるために設置されるものであり、結合レンズ17、光サーキュレータ18及び第2光アイソレータ22を具えて構成され 20

【0057】

また、光パルス生成部101は所望の波長の光パルスを生成する部分であり、MLLD 1、第1電流源11、電圧源12、変調電圧源13、発熱・吸熱素子14、温度モニター15及び発熱・吸熱素子制御器16を具えている。

【0058】

(動作)

図2(A)及び(B)を参照して、光注入同期について説明する。図2(A)及び(B)は、横軸に光周波数を、縦軸に光強度をそれぞれ任意スケールで目盛りして示したMLLD 1の発振スペクトルを表している。モード周期周波数の間隔で並んだ直線は、発振スペクトルの縦モードを示している。発振スペクトルの縦モードの一つ一つの半値幅はきわめて狭いので、ここではこの半値幅を無視して示してある。 30

【0059】

図2(A)は、モード同期動作をしているMLLD 1の発振スペクトルであり、図2(B)は、MLLD 1の光導波路30に周波数 f_{CW} ($= c / \lambda_{CW}$)のCW光源からの出力光が入力されて光注入同期が起こった場合の、MLLD 1の発振スペクトルを表している。ここで、 c は光速度であり、 λ_{CW} はCW光源からの出力光の波長である。光注入同期が起こったために、MLLD 1の出力光パルスのピーク周波数は、入力されたCW光の周波数 f_{CW} に等しくなっている。MLLD 1の出力光パルスのピーク周波数とは、図2(B)に示すように、MLLD 1の出力光パルスの発振スペクトルの縦モードのうち最大の強度を有する縦モードの周波数をいう。 40

【0060】

以後の説明において、CW光源あるいは出力光パルスに対して波長で特定したり周波数で特定したりすることがあるが、両者は(周波数) = (光速度) / (波長)の関係で結ばれているので、波長あるいは周波数のいずれで特定しても、その物理的な価値に違いはない。したがって、波長あるいは周波数のいずれで特定するかによって、特別な意味を含ませることはない。例えば、波長可変と表現しても周波数可変と表現しても、その物理的な意味に相違はない。

【0061】

図2(A)及び(B)に示すように、光注入同期が起る前のMLLD 1の出力光パルスの発振スペクトルのピーク周波数は、周波数 f_{CW} とは異なる位置に存在した。しかし、MLLD 1の光導 50

波路30に周波数 $f_{CW} (= c / \lambda_{CW})$ のCW光源からの出力光が入力されて光注入同期が起こると、CW光源からの出力光の周波数 f_{CW} に等しい周波数の縦モードが最大の強度となる。すなわち、所望の周波数の光パルスを得る目的で、モード同期動作をしているMLLD 1に対して、MLLD 1に所望の周波数に等しい周波数のCW光を注入することによって、MLLD 1から出力される光パルスの周波数が所望の周波数に等しくなるようにMLLD 1を制御できることを意味している。

【0062】

このとき、MLLD 1の光導波路30に入力するCW光のMLLD 1の光導波路30における偏光方向とMLLD 1の光導波路30内で発生するレーザー光の偏光方向とを一致させる必要がある。偏光面調整素子20はこのために第1光学的結合手段110に設置される。偏光面調整素子20は1/2波長板等を用いて構成することができ、CW光源19の出力光の偏光面を自由に回転させることができる。例えば、1/2波長板の結晶軸（進相軸あるいは遅相軸）を回転させることでCW光源19の出力光の偏光面を回転させて、MLLD 1の光導波路30に入力するCW光のMLLD 1の光導波路30における偏光方向とMLLD 1の光導波路30内で発生するレーザー光の偏光方向とを一致させることができる。

【0063】

光アイソレータ21及び22は、それぞれ第1光学的結合手段110及び第2光学的結合手段112に、反射戻り光を遮断するために設置される。CW光源の出力光は、偏光面調整素子20でその偏光面が調整され、光アイソレータ21を通過して光サーキュレータ18及び結合レンズ17を介してMLLD 1の光導波路30に入力される。一方、MLLD 1の光導波路30から出力される光パルスは、結合レンズ17及び光サーキュレータ18を介して、光アイソレータ22を通過して外部に取り出される。

【0064】

以上説明したことから、この発明の第1実施例であるMLLD装置は、光パルス生成部101で生成される光パルスの周波数を制御するためのCW光を発生するCW光源19からの出力光を、第1光学的結合手段110を介して光パルス生成部101に入力させ、光パルス生成部101で生成された所望の周波数を有する光パルスを第2光学的結合手段112を介して外部に取り出すことを特徴とするMLLD装置であるということが出来る。

【0065】

光アイソレータ21及び22は、それぞれ第1光学的結合手段110及び第2光学的結合手段112に必ず設置する必要があるわけではない。反射戻り光を遮断しなければ、MLLD 1のモード同期動作が不安定になるとか、光パルス生成部101で生成される光パルスを利用する外部装置に不具合が発生する等の理由がない場合は設置する必要がある。また、第1光学的結合手段110及び第2光学的結合手段112が、偏波面保存光ファイバ等の光の偏光状態が保存される光学系で構成される場合には、偏光面調整素子20を設置する必要は必ずしもない。

【0066】

MLLD 1に注入するCW光の強度が弱いと、光注入同期の効果は微少しか現れない。すなわち、光注入同期が起こることによって、MLLD 1から出力される光パルスの周波数チャージング量が小さくなり光パルスの時間軸上での強度波形が好ましい形に改善されるが、MLLD 1に注入するCW光の強度が弱いと、この周波数チャージング量がCW光を入力しない場合と比べてほとんど減少しない。

【0067】

一方、MLLD 1に注入するCW光の強度が強すぎると、MLLD 1の発振周波数はMLLD 1に注入するCW光の周波数に完全にロックされる。その結果、MLLD 1は単一の周波数でCW発振するようになり、モード同期動作そのものが消失してしまう。

【0068】

したがって、MLLD 1に注入するCW光の強度が上述のように弱すぎず、かつ強すぎない範囲の強度となるように調整することによって、MLLD 1を、モード同期動作を維持しながら周波数チャージングが抑制された光パルスを出力するように制御することができる。

このことを、実験を通じて確かめたので、以下においてこれらの実験結果を説明し、この発明の効果を説明する。

【0069】

図1に示すMLLD 1の光導波路30に作り込まれている光変調領域2は、電界吸収型光変調器として機能する構造となっている。また、光導波路30に作り込まれている光利得領域3は、量子井戸が圧縮歪率0.6%のInGaAsPで構成された歪量子井戸であり、障壁(バリア)が無歪のInGaAsPで構成されている。

【0070】

この多重量子井戸構造の有するバンドギャップ波長は1.562 μm である。光変調領域2及び受動導波領域4は、バンドギャップ波長が1.48 μm であるInGaAsPで形成されている。MLLD 1の素子長は1050 μm で、共振器周回周波数はほぼ40 GHzである。 10

【0071】

なお、発熱・吸熱素子14として機能させるために、ペルチエ素子をMLLD 1のn側共通電極7に電気的に絶縁した上で接触させて設置した。そして、MLLD 1の温度を計測するための温度モニター15を設置した。

【0072】

モード同期動作を実現するために、変調電圧源13によって周波数が39.81312 GHzでRF(Radio Frequency)波強度25 dBmである正弦波電圧を光変調領域2に印加した。第1電流源11によって光利得領域3に注入された電流は83 mAである。電圧源12によって光変調領域2に印加した直流バイアス電圧は-0.52 Vである。 20

【0073】

温度モニター15によって計測されるMLLD 1の温度を20 に設定して、MLLD 1にCW光を注入せずに、MLLD 1をモード同期動作させて出力されるモード同期光パルスの半値全幅は3.9 psであった。また、このモード同期光パルスのスペクトルの中心波長及びスペクトル幅は、それぞれ1560.9 nm及び2.2 nmであった。また、時間帯域幅積は0.91であった。この値はフーリエ変換リミット値として想定される0.315の約3倍の値である。この結果、MLLD 1にCW光を注入せずにMLLD 1をモード同期動作させて出力されるモード同期光パルスは、大きな周波数チャープングを有していることが分かった。因みに、モード同期光パルスの光強度は6.1 dBmであった。

【0074】

ここで、時間帯域幅積とは、光パルスの時間軸上での強度波形の半値全幅と時間平均光スペクトルの周波数軸上での強度波形の半値全幅との積で与えられる、無次元量である。一方、フーリエ変換リミット値とは、時間帯域幅積が取り得る最小値を意味する。光パルスが周波数チャープングを有していなければ、時間帯域幅積はフーリエ変換リミット値を取ることで、時間帯域幅積を計測することで、その光パルスがどの程度周波数チャープングを有しているかについて評価することができる。 30

【0075】

一般に、光パルスが光変調器を通過することによって、そこで起こる位相変調効果によって光パルスには周波数チャープングが発生する。すなわち、MLLD 1にCW光を注入せずにMLLD 1をモード同期動作させて出力されるモード同期光パルスが有している周波数チャープングの発生の原因の一つは、光変調部2で生じる位相変調効果に起因するものである。 40

【0076】

図3(A)、(B)及び(C)を参照して、MLLD 1に波長1560.9 nmのCW光を注入したことによる、MLLD 1から出力される光パルスのスペクトルの変化の様子を観測した結果を説明する。これらの図において横軸はnm単位で目盛りされた波長を、縦軸はdBm単位で目盛りされた光強度を示している。図3(A)はMLLD 1にCW光が注入されない場合、図3(B)はMLLD 1に強度-12.6 dBmのCW光が注入された場合、図3(C)はMLLD 1に強度+1.4 dBmのCW光が注入された場合の、MLLD 1から出力される光パルスのスペクトルをそれぞれ示している。

【0077】

MLLD 1に注入されるCW光の強度が増大するにつれて、MLLD 1から出力される光パルスの 50

スペクトルの包絡線の半値全幅が減少しており、図3(C)に示すMLLD 1に強度+1.4 dBmのCW光が注入された場合に出力される光パルスのスペクトルの半値全幅(点線で示す包絡線のピーク値から3 dB低い位置での幅)は0.72 nmと、CW光が注入されない場合(図3(A))と比較して1/3程度まで減少していることが分かる。なお、図3(A)及び図3(C)におけるスペクトルの半値幅はいずれも包絡線のピーク値から3 dB低い位置での幅を意味しており、これらの半値幅の実測値は図3(A)及び図3(C)に示された光強度の実測値から計算して求めている。

【0078】

図4を参照して、MLLD 1から出力される光パルスの時間軸上での光パルス幅及び時間帯域幅積の、MLLD 1へ入力されるCW光の強度依存性を観測した結果を説明する。横軸はMLLD 1へのCW光の入力強度をdBm単位で目盛って示しており、左側の縦軸はMLLD 1から出力される光パルスの時間軸上での半値全幅をps単位で目盛って示しており、右側の縦軸は時間帯域幅積を示している。そして、MLLD 1から出力される光パルスの時間軸上での半値全幅を 印で、時間帯域幅積を 印でそれぞれ示してある。

10

【0079】

MLLD 1へのCW光の入力強度が-5 dB程度まで(図4中aで示してある範囲)は、光パルスの時間軸上での半値全幅はほとんど変化していない。一方、時間帯域幅積はMLLD 1へのCW光の入力強度が増大するにつれて急激に減少し、CW光の入力強度が-12 dBでは(図4中bで示してある位置)においてほぼ0.4となっている。この時間帯域幅積0.4という値は、フーリエ変換リミット値0.351に近い値である。

20

【0080】

すなわち、MLLD 1へのCW光の入力強度を増大させていって-5 dB程度に達するまでは、CW光を注入することによる効果は光パルスの時間軸上での半値全幅の変化としては現れず、時間帯域幅積を小さくする効果として現れる。つまり、MLLD 1へのCW光の入力強度を増大させていって-5 dB程度に達するまでは、周波数チャージングの出現を抑制する効果が支配的であり、周波数チャージングによる光パルスのスペクトル幅の広がりを抑制する効果がある。

【0081】

一方、MLLD 1へのCW光の入力強度を増大させていって-5 dBを超えると、時間帯域幅積はほとんど変化していない。周波数チャージングが抑制された状態で、光パルスの時間軸上での半値全幅が広がっていく。この実験結果から、-5 dBを超えてCW光の入力強度を増大させることによって、光パルスのスペクトル幅の広がりに対して過度に抑制され、光パルスの時間軸上での半値全幅が広がっていく。光パルスの時間軸上での半値全幅に光パルスのスペクトル幅を乗じた値が時間帯域幅積を与えるので、この時間帯域幅積にほとんど変化がない条件下では、光パルスのスペクトル幅が狭まれば光パルスの時間軸上での半値全幅が広がるという関係にある。すなわち、光パルスのスペクトル幅広がりへの過度な抑制によってスペクトル幅が過度に狭くなり、その結果として光パルスの時間軸上での半値全幅が広がってしまうという結果となったものと理解される。

30

【0082】

上述の図4を参照して説明した実験結果をより詳細に検証するために、MLLD 1へCW光を注入することによって、MLLD 1の光利得がどのように変化するかを観測した。この観測結果を図5に示す。図5の横軸はnm単位で目盛った光の波長を示し、縦軸はこの光の波長に対する光利得の大きさをdB単位で目盛って示してある。ここでいう光利得の大きさとは、MLLD 1の光導波路30を一方方向に光が一回だけ通過して得られる光利得を意味し、単一通過利得ということもある。ここでは、MLLD 1の光導波路30に入力されてこの光導波路30を一方方向に通過させるCW光の波長を1558 nmとした。

40

【0083】

図5においては、MLLD 1の光導波路30に入力する波長1558 nmのCW光の強度を-8 dB、-3 dB、+2 dBと変化させた場合の単一通過利得を、CW光を入力しない場合と比較して示してある。図5中で「注入光なし」として示されている曲線がCW光を入力しない場合の単一通

50

過利得を示している。

【0084】

MLLD 1の光導波路30に入力するCW光の強度を-8 dB、-3 dB、+2 dBと増大させると、それに伴ってそれぞれの強度に対応する単一通過利得を与える曲線が図中の下方に位置している。すなわち、CW光を注入すると光利得が低減されることが分かる。これは、CW光を注入するとこのCW光の波長に相当するエネルギー準位間での誘導放出が増大し、キャリア密度が減少することによるものであると考えられる。光利得が減少すれば、光利得帯域の両端から順次閾値利得に到達してレーザ発振するモードの数が減少し、そのためにMLLD 1から出力される光パルスのスペクトル広がりが減少する。このことによって、周波数チャープが抑制されるものと考えられる。

10

【0085】

以上説明した実験結果から、MLLD 1にCW光を注入することによって周波数チャープが抑制された光パルスが発生させることができることが明らかとなった。上述のCW光を注入することによる光パルスのスペクトル広がりが減少するという現象は、注入するCW光の波長がMLLD 1の発振スペクトルの中心波長からずれていても発現する。一方、CW光が注入された状態でMLLD 1から出力される光パルスの波長は、この注入されたCW光の波長によって律則される。したがって、注入するCW光の波長に応じてMLLD 1の出力光パルスの波長を制御することができ、解決すべき課題であったMLLD装置が実現される。

【0086】

図6(A)、(B)及び(C)を参照してMLLD 1に注入するCW光の波長の変化に対してMLLD 1の出力光パルスの性質について測定した結果を説明する。図6(A)、(B)及び(C)において、横軸はCW光の波長をnm単位で目盛って示してある。

20

【0087】

図6(A)は、MLLD 1に注入するCW光の波長に対する出力光パルスの時間軸上での半値全幅及び時間帯域幅積を示している。図6(A)の左側の縦軸は出力光パルスの時間軸上での半値全幅をps単位で目盛って示してあり、右側の縦軸は時間帯域幅積を示している。図6(A)において、出力光パルスの時間軸上での半値全幅を 印で示してあり、時間帯域幅積を 印で示してある。

【0088】

図6(B)は、MLLD 1に注入するCW光の波長に対する時間ジッタ及びRINを示している。図6(B)の左側の縦軸は時間ジッタをps単位で目盛って示してあり、右側の縦軸はRINをdB/Hz単位で目盛って示している。図6(B)において、時間ジッタを 印で示してあり、RINを 印で示してある。

30

【0089】

図6(C)は、MLLD 1に注入するCW光の波長に対するMLLD 1の出力光パルスの強度及び光注入同期動作が実現されるために必要とされるCW光のMLLD 1への入力強度を示している。図6(C)の左側の縦軸はMLLD 1の出力光パルスの強度をdBm単位で目盛って示してあり、右側の縦軸はCW光のMLLD 1への入力強度をdBm単位で目盛って示している。図6(C)において、MLLD 1の出力光パルスの強度を 印で示してあり、CW光のMLLD 1への入力強度を 印で示してある。

40

【0090】

図6(A)から、光の波長1546 nmから1568 nmの22 nm範囲内で、出力光パルスの時間軸上での半値全幅が最小で2.9 psであり最大で3.9 psであると読み取れるので、出力光パルスの時間軸上での半値全幅が1 ps変化していることが分かる。また、時間帯域幅積は同一の光波長範囲において最小で0.34最大で0.48であることが読み取れるので、図6(A)から光通信システムにおいて要請される程度に出力光パルスの時間軸上での半値全幅が狭く、かつ、周波数チャープの小さい光パルスが得られていることが分かる。

【0091】

また、図6(B)から時間ジッタは0.18 ps程度であると読み取れる。この値は変調電圧源13の有する時間ジッタと同程度の値であり、時間ジッタでも十分に低い値の光パルスが得

50

られることを意味している。RINは、最大で-130 dB/Hzと読み取ることができ、RINに関しても光通信システムにおいて要請される程度に十分に低雑音の光パルスが得られている。

【0092】

更に、図6(C)からMLLD 1の出力光パルスの強度が最小で3.2 dBm、最大で5.2 dBmであると読み取れるから、出力光パルスの強度揺らぎは2 dB以内であることが分かる。これも光通信システムにおいて要請される程度に十分に小さな値である。また、光注入同期動作が実現されるために必要とされるCW光のMLLD 1への入力強度は、CW光の測定波長範囲の短波長側及び長波長側の両端で増加しているが、その値は最大でも2.0 dBm程度であり、MLLD 1の出力強度の最小値である2.5 dBmよりも小さな値である。すなわち、MLLD 1に注入されるCW光に対して出力される光パルスの強度が大きくなっていることからMLLD 1において増幅効果が得られていることが分かる。

10

【0093】

以上の説明から、この発明の第1実施例によれば、波長可変範囲が20 nmと十分に広く、しかも周波数チャープングが小さく、低雑音であるという高品質の光パルスを生成できることが分かる。更に、第1実施例において利用したMLLD 1はFP型半導体レーザダイオードであるので、その発振波長の温度変化を有効に利用することができる。図7(A)及び(B)を参照して、MLLD 1の素子温度を変化させたときの、出力光パルスの時間軸上での半値幅及びその強度の依存性について観測した実験結果を説明する。

【0094】

図7(A)及び(B)において、横軸はCW光の波長をnm単位で目盛って示してある。図7(A)の縦軸は出力光パルスの時間軸上での半値全幅をps単位で目盛って表示してある。図7(B)の縦軸は出力光パルスの強度をdBm単位で目盛って表示してある。図7(A)において、MLLD 1の素子温度が0 の場合を 印で、20 の場合を 印で、44 の場合を 印でそれぞれ示してある。また、図7(B)において、MLLD 1の素子温度が0 の場合を 印で、20 の場合を 印で、44 の場合を 印でそれぞれ示してある。

20

【0095】

これらの量の測定は上述した設定条件と同一の条件下で行なった。すなわち、変調電圧源13によって周波数39.81312 GHz、RF波強度25 dBmの正弦波電圧を光変調領域2に印加した。第1電流源11によって光利得領域3に注入された電流は83 mAである。電圧源12によって光変調領域2に印加した直流バイアス電圧は-0.52 Vである。

30

【0096】

CW光の波長の1530 nmから1592 nmに至るまでの62 nm幅にわたって、MLLD 1の素子温度を0 から44 までの範囲で変化させて、出力光パルスの時間軸上での半値全幅及びその強度の依存性を観測した。図7(A)から、時間軸上での半値全幅が2.7 psから4.0 psの範囲である出力光パルスが得られることが分かる。また、出力光パルスの強度は最小値が1.5 dBm、最大値は5.5 dBmであった。出力光パルスの強度変動幅は4.0 dB程度と小さく抑えることができた。

【0097】

CW光源19はMLLD 1の発振縦モードの内のいずれか一つの縦モードの波長に近接した波長のCW光を発生する役割を果たす。そして、もちろんCW光源19が出力するCW光の波長は、MLLD 1が光注入同期現象を起こすことが可能な範囲で近接している必要がある。

40

【0098】

また、この発明のMLLD装置を利用して出力される光パルスの周波数を制御するには次の(A)乃至(F)に示すステップを実行すればよい。

【0099】

(A)MLLDを発振させるステップ：

MLLD 1を発振させるステップは、MLLD 1の光利得領域3に順方向に電流を流してキャリア注入を行なえば実現される。この順方向電流は第1電流源11によって光利得領域3のp側電極9を介して供給される。

【0100】

50

(B) 光変調領域においてMLLDの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによってMLLDのモード同期動作を実現させるステップ：

光変調領域2においてMLLD 1の共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことは、変調電圧源13を利用して光変調領域2にMLLD 1の共振器の周回周波数の自然数倍の周波数に等しい交流電圧を印加すれば実現できる。MLLD 1の共振器は、光変調領域2、光利得領域3及び受動導波領域4を含む光導波路30の両端を反射鏡として形成されるFP型光共振器である。

【0101】

(C) CW光源からMLLDの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード周波数に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した周波数のCW光を出力させるステップ

：
CW光源19からMLLD 1の発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード周波数に近接した周波数のCW光を出力させることは、この周波数の光を発振周波数帯域にもつ半導体レーザをCW動作させればよい。このCW光の周波数に等しい光パルスがMLLD 1から発振される。すなわち、このCW光の周波数を変化させることによって、MLLD 1から発振される光パルスの周波数を制御することができる。

【0102】

(D) MLLDの光導波路内においてCW光源の出力光の偏光方向がMLLDの発振光の偏光方向と合致するように、偏光面調整素子によってCW光源の出力光の偏光方向を調整し、出力光をMLLDの光導波路の入力端に入力するステップ：

MLLD 1の光導波路30内においてCW光源19の出力光の偏光方向がMLLD 1の発振光の偏光方向と合致するように、CW光源19の出力光の偏光方向を調整することは、波長板等の偏光面調整素子20を用いることで実行できる。また偏光方向が調整された出力光をMLLD 1の光導波路30に入力するには第1光学的結合手段110を介して実行できる。

【0103】

(E) MLLDから、CW光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープングが抑制されており位相雑音が高いモード同期光パルスがMLLDから出力されるように、CW光源からMLLDの光導波路に入力されるCW光強度を調整するステップ：

MLLD 1から、CW光源19の出力光の周波数に等しくかつ周波数チャープングが抑制されており位相雑音が高いモード同期光パルスがMLLD 1から出力されるように、CW光源19からMLLD 1の光導波路30に入力されるCW光強度を調整して出力させるステップでは、CW光源19の駆動電流を調整すればよい。

【0104】

(F) MLLD 1から光パルスを出力するステップ：

MLLD 1から光パルスを出力するステップは第2光学的結合手段112を介して実行できる。

【0105】

以上説明したように、この発明の第1実施例によれば、FP型MLLDに外部に設置したCW光源から出力されるCW光を注入してこのCW光源の周波数とMLLDの素子温度を調整することによって、光通信等に利用することが可能な程度に、波長可変領域の波長幅が十分に広くかつ周波数チャープングが抑制された光パルスを発生させることができる。

【0106】

< 第2実施例 >

(構成)

図8を参照して、この発明の第2実施例のMLLD装置の構成を説明する。上述の第1実施例と異なる点は、受動導波領域4に発振波長調整手段が形成されている点である。具体的には、受動導波領域4に形成されている発振波長調整手段は、p側電極10とn側共通電極7とを介して第2電流源23によって、光導波路30の受動導波領域4を含んで形成されているp-i-n接合に電流を注入できる構造となっている。このp-i-n接合は、p型クラッド層5、i層(真性半導体層)である光導波路30の受動導波領域4及びn型クラッド層6で形成される。すなわち、このp-i-n接合に電流を注入するための手段を有している点がこの発明の第1の実施例

10

20

30

40

50

と異なる点である。この点以外は第1実施例のMLLD装置の構成と同一であるので、この同一部分についてはその重複する説明を繰り返さない。

【0107】

(動作)

第1実施例のMLLD装置を、出力される光パルスの周波数が所望の周波数となるように制御して駆動するには、MLLD 1の光導波路30に入力するCW光の周波数を、MLLD 1にCW光が注入されない状態でのモード同期動作による発振縦モードのうちのいずれかの縦モード周波数に近接する周波数を有するCW光を注入する必要がある。そして、MLLD 1に注入するCW光の周波数を変化させて光注入同期を起こさせることによってMLLD 1から出力される光パルスの周波数は、次のような制限がある。すなわち、MLLD 1から出力される光パルスの周波数は、発生する光パルスの繰り返し周波数であるモード同期周波数に相当する周波数の間隔で並ぶ離散的な周波数に限られる。

【0108】

上述のような制限をなくし、MLLD 1から出力される光パルスの周波数を連続的に任意に選択できるようにするためには、MLLD 1の縦モード位置(縦モードの周波数)を連続的に変化させることができる仕組みを導入する必要がある。この仕組みが発振波長調整手段である。この発振波長調整手段をどのように形成するかについては、複数の手法がある。

【0109】

そこで、MLLD 1から出力される光パルスの周波数を連続的に任意に選択できるようにするための発振波長調整手段として、第2の実施例の光パルス生成部102においては、受動導波領域4に電流を注入しこれによるプラズマ効果によって受動導波領域4の実効屈折率を変化させる構造を導入する。図9を参照して、受動導波領域4の実効屈折率を変化させることによる、MLLD 1の縦モード位置が変化の様子を説明する。

【0110】

図9は受動導波領域4の実効屈折率によってMLLD 1の縦モード位置が変化の様子を示す図であり、横軸がMLLD 1の光導波路30内に発生する光の周波数を任意スケールで目盛って示してある。縦モードは横軸に直交する線分で示してあり、実線で示す線分が受動導波領域4の実効屈折率が変化する前の縦モードを示し、破線で示す線分で実効屈折率が変わった場合の縦モードを示している。それぞれの線分の間隔がモード同期周波数に相当する。

【0111】

縦モードの位置は、受動導波領域4に注入する電流を第2電流源23を用いて連続的に変化させることで、連続的に変化させることができる。すなわち、任意のCW光の波長に応じて縦モードの位置を変化させることができる。したがって、光パルス生成部102から所望の波長の光パルスを発生させるには、縦モードのうちのいずれかをこの波長に対応する周波数に合わせて、CW光源19の出力CW光の波長をこの波長に一致させればよい。

【0112】

受動導波領域4に第2電流源23を用いて電流を注入しない場合のMLLD 1の縦モード(実線で示されている。)の内には、光パルス生成部102から出力させたい光パルスの波長に対応する周波数 $f_{CW} (= c / \lambda_{CW})$ の等しい縦モードが存在しない。そこで、受動導波領域4に電流を注入し受動導波領域4の実効屈折率を調整することによって、周波数 f_{CW} に等しい縦モードが存在するように、受動導波領域4に第2電流源23から電流を注入し縦モード位置を調整する。このようにすれば、波長 λ_{CW} のCW光をMLLD 1の光導波路30に注入すれば、光注入同期が起こって波長 λ_{CW} の光パルスが光パルス生成部102から出力される。

【0113】

光パルス生成部102を用いて得られる光パルスの波長を制御するために、上述の第1の実施例において説明した(A)乃至(F)のステップに、受動導波領域4を含んで形成されているp-i-n接合に電流を注入し、縦モードの位置を調整するステップを加えればよい。このステップを含むMLLD装置の出力光パルスの波長制御方法によれば、所望の波長 λ_{CW} の光パルスを光パルス生成部102から出力させることができる。

【0114】

10

20

30

40

50

すなわち、第2実施例のMLLD装置の出力光パルスの波長制御方法は次のステップを含んで実行される。

【0115】

(A) MLLDを発振させるステップ：

(B1) 光変調領域においてMLLDの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによってこのMLLDのモード同期動作を実現させるステップ：

(C) CW光源から、MLLDの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長のCW光を出力させるステップ：

(B2) CW光の波長と、モード同期動作しているMLLDの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、発振波長調整手段によってMLLDの縦モードの位置を調整するステップ：

(D) MLLDの光導波路30内においてCW光源の出力光の偏光方向がMLLDの発振光の偏光方向と合致するように、偏光面調整素子によってこのCW光源の出力光の偏光方向を調整し、この出力光をMLLDの光導波路30に入力するステップ：

(E) MLLDから、CW光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープングが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスがMLLDから出力されるように、CW光源からMLLDの光導波路30に入力されるCW光強度を調整するステップ：

(F) MLLDから光パルスを出力するステップ：

ここでは、上述の(B2)のステップを、

(b2) CW光の波長と、モード同期動作しているMLLDの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、受動導波領域を含んで形成されているp-i-n接合に電流を注入してMLLDの縦モードの位置を調整するステップ、として構成する。

【0116】

プラズマ効果による縦モード位置の変化の最大値が、MLLD 1の縦モード間隔よりも大きければ、完全に連続的な波長可変を実現できる。図10を参照して、受動導波領域4への注入電流を変化させつつCW光の波長を連続的に変化させ、光パルス生成部102から出力される光パルスの波長を制御した実験の結果を説明する。

【0117】

図10の横軸は受動導波領域4への注入電流の大きさをmA単位で目盛って示している。左側の縦軸はMLLD 1の光導波路30に入力したCW光の波長をnm単位で目盛って示しており、右側の縦軸は光パルス生成部102から出力される光パルスの時間軸上での強度波形の半値全幅をps単位で目盛って示してある。MLLD 1の光導波路30に入力したCW光の波長を印で示し、光パルス生成部102から出力される光パルスの時間軸上での強度波形の半値全幅を印で示してある。

【0118】

MLLD 1の光導波路30に入力するCW光の波長がMLLD 1の縦モードのいずれか一つの縦モードの周波数に相当する波長に等しくなるように受動導波領域4への注入電流を調整しつつ実験を行なった。実験では、図10に示すように、MLLD 1の光導波路30に入力するCW光の波長を6通り任意に選択して、それぞれのCW光の波長に相当する周波数に等しい縦モードが存在するように、受動導波領域4への注入電流を調整しつつ実験を行なった。

【0119】

この実験では、受動導波領域4への注入電流を0 mAから29 mAまで変化させるとMLLD 1の縦モード位置を0.4 nm変化させることができた。この値は、MLLD 1の縦モード間隔(0.33 nm)より大きな値であり、第2実施例におけるMLLD装置の出力光パルスの波長制御方法によって、光パルス生成部102から出力される光パルスの波長を連続的に変化させることができることが確かめられた。

【0120】

< 第3実施例 >

(構成)

図11を参照してこの発明の第3実施例のMLLD装置の構成を説明する。上述の第2実施例と

10

20

30

40

50

異なる点は、上述の発振波長調整手段が、p型クラッド層5、i層(真性半導体層)である光導波路30の受動導波領域4、及びn型クラッド層6で形成されるp-i-n接合に、p側電極10とn側共通電極7とを介して逆バイアス電圧源24によって、逆バイアス電圧を印加できる構造によって構成している点である。すなわち、このp-i-n接合に逆バイアス電圧を印加するための手段を有している点がこの発明の第1の実施例と異なる点である。この点以外は第1実施例のMLLD装置の構成と同一であるので、この同一部分についてはその重複する説明を繰り返さない。

【0121】

(動作)

第3実施例のMLLD装置も、第2実施例のMLLD装置と同様に、出力される光パルスの波長を連続的に制御することができるようにするための発振波長調整手段が具えられている。この発振波長調整手段が、第2実施例のMLLD装置と異なるのは、次のように構成される点である。すなわち、ここでの発振波長調整手段は、受動導波領域4を含んで形成されているp-i-n接合に逆バイアス電圧を印加することにより、受動導波領域4において発現するポッケルス効果によって受動導波領域4の実効屈折率を変化させる。

【0122】

第2実施例のMLLD装置においては、受動導波領域4に電流を注入しこれによるプラズマ効果によって受動導波領域4の実効屈折率を変化させている。しかし、受動導波領域4に電流を注入することによって自由キャリア吸収が増加し、MLLD 1が具える光導波路30の受動導波領域4における光損失量が増大する。このために、第2実施例のMLLD装置の光パルス生成部102から出力される光パルスの強度が減少するという問題がある。

【0123】

第3実施例のMLLD装置においては、受動導波領域4を含んで形成されているp-i-n接合に逆バイアス電圧を印加することにより、受動導波領域4において発現するポッケルス効果を利用しており、受動導波領域4に電流が流れることはない。したがって、受動導波領域4において自由キャリア吸収は発生しない。このため、第3実施例のMLLD装置の光パルス生成部103から出力される光パルスの強度が減少することがないという利点がある。

【0124】

光パルス生成部103を用いて得られる光パルスの波長を制御するためには、上述の第1の実施例において説明した(A)乃至(F)のステップに、受動導波領域4を含んで形成されているp-i-n接合に逆バイアス電圧を印加し、縦モードの位置を調整するステップを加えればよい。このステップを含むMLLD装置の出力光パルスの波長制御方法によれば、所望の波長 λ_{cw} の光パルスを光パルス生成部103から出力させることができる。

【0125】

すなわち、第3実施例のMLLD装置の出力光パルスの波長制御方法は次のステップを含んで実行される。

【0126】

(A) MLLDを発振させるステップ:

(B1) 光変調領域においてMLLDの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによってこのMLLDのモード同期動作を実現させるステップ:

(C) CW光源から、MLLDの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長のCW光を出力させるステップ:

(B2) CW光の波長と、モード同期動作しているMLLDの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、発振波長調整手段によってMLLDの縦モードの位置を調整するステップ:

(D) MLLDの光導波路30内においてCW光源の出力光の偏光方向がMLLDの発振光の偏光方向と合致するように、偏光面調整素子によってこのCW光源の出力光の偏光方向を調整し、この出力光をMLLDの光導波路30に入力するステップ:

(E) MLLDから、CW光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャープングが抑制されており位相雑音が高いモード同期光パルスがMLLDから出力されるように、CW光源からMLLDの

光導波路30に入力されるCW光強度を調整するステップ：

(F) MLLDから光パルスを出力するステップ：

ここでは、上述の(B2)のステップを、

(b3) CW光の波長と、モード同期動作しているMLLDの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、受動導波領域を含んで形成されているp-i-n接合に逆バイアス電圧を印加してMLLDの縦モードの位置を調整するステップ、として構成する。

【0127】

ポッケルス効果による縦モード位置の変化の最大値が、MLLD 1の縦モード間隔よりも大きければ、完全に連続的な波長可変を実現できる。

【0128】

< 第4実施例 >

(構成)

図12を参照してこの発明の第4実施例のMLLD装置の構成を説明する。上述の第1実施例と異なる点は、発振波長調整手段として、受動導波領域4の温度を制御するための受動導波領域温度制御手段を付加した点にある。受動導波領域4の温度を制御するために、受動導波領域4の直上にp型クラッド層5を挟んで絶縁層25を形成し、この絶縁層25の直上に白金薄膜等の抵抗膜26を形成することによって構成する。抵抗膜26には第3電流源27によって電流を供給して発熱させる。

【0129】

すなわち、受動導波領域温度制御手段は、p型クラッド層5を挟んで絶縁層25が形成されており、この絶縁層25の直上に白金薄膜等の抵抗膜26が形成されて、抵抗膜26に電流を供給する第3電流源27を有して構成される。

【0130】

受動導波領域温度制御手段以外は、第1実施例のMLLD装置の構成と同一であるので、この同一部分についてはその重複する説明を繰り返さない。

【0131】

(動作)

第4実施例のMLLD装置も、第2実施例及び第3実施例のMLLD装置と同様に、出力される光パルスの波長を連続的に制御することができるようにするための発振波長調整手段が具えられている。第2実施例及び第3実施例のMLLD装置と異なるのは、この発振波長調整手段として受動導波領域4の実効屈折率を変化させるために受動導波領域温度制御手段が設けられる点である。

【0132】

発振波長調整手段として、この受動導波領域温度制御手段は次のように構成される。すなわち、受動導波領域温度制御手段は、p型クラッド層5を挟んで形成されている絶縁層25の直上に形成されている白金薄膜等の抵抗膜26に第3電流源27から電流を供給できるように構成される。抵抗膜26に電流を流すことによって、受動導波領域4の温度を上昇させて受動導波領域4の実効屈折率を変化させる。

【0133】

第2実施例のMLLD装置においては、プラズマ効果によって受動導波領域4の実効屈折率を変化させている。また、第3実施例のMLLD装置においては、ポッケルス効果を発現させて受動導波領域4の実効屈折率を変化させている。

【0134】

受動導波領域4の温度を上昇させることによって受動導波領域4の実効屈折率を変化させれば、プラズマ効果によって受動導波領域4の実効屈折率を変化させる以上に大きく実効屈折率を変化させることができる。その上自由キャリア吸収も起こらない。すなわち、モード同期周波数が高く、縦モード間隔が数nm以上ある場合には、縦モードの位置を数nm以上変化させて調整する必要が生じ得る。このような場合に、第4の実施例のMLLD装置を利用する利点がある。

【0135】

10

20

30

40

50

光パルス生成部104を用いて得られる光パルスの波長を制御するためには、上述の第1の実施例において説明した(A)乃至(F)のステップに、受動導波領域温度制御手段を用いて受動導波領域4の温度を制御して縦モードの位置を調整するステップを加えればよい。このステップを含むMLLD装置の出力光パルスの波長制御方法によれば、所望の波長 λ_{CW} の光パルスを光パルス生成部104から出力させることができる。

【0136】

すなわち、第4実施例のMLLD装置の出力光パルスの波長制御方法は次のステップを含んで実行される。

【0137】

(A) MLLDを発振させるステップ：

(B1) 光変調領域においてMLLDの共振器の周回周波数の自然数倍の周波数で光変調を行なうことによってこのMLLDのモード同期動作を実現させるステップ：

(C) CW光源から、MLLDの発振縦モードのうちいずれか一つの縦モード波長に、光注入同期現象を生じさせることが可能な範囲で、近接した波長のCW光を出力させるステップ：

(B2) CW光の波長と、モード同期動作しているMLLDの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、発振波長調整手段によってMLLDの縦モードの位置を調整するステップ：

(D) MLLDの光導波路30内においてCW光源の出力光の偏光方向がMLLDの発振光の偏光方向と合致するように、偏光面調整素子によってCW光源の出力光の偏光方向を調整し、この出力光をMLLDの光導波路30に入力するステップ：

(E) MLLDから、CW光源の出力光の波長に等しくかつ周波数チャージングが抑制されており位相雑音が低いモード同期光パルスがMLLDから出力されるように、CW光源からMLLDの光導波路30に入力されるCW光強度を調整するステップ：

(F) MLLDから光パルスを出力するステップ：

ここでは、上述の(B2)ステップを、

(b4) CW光の波長と、モード同期動作しているMLLDの縦モードのいずれか一つの縦モードの波長が合致するように、受動導波領域温度制御手段を用いて受動導波領域4の温度を制御して縦モードの位置を調整するステップ、として構成する。

【0138】

受動導波領域4の温度を制御することによる縦モード位置の変化の最大値が、MLLD 1の縦モード間隔よりも大きければ、完全に連続的な波長可変を実現できる。

【0139】

< 第5実施例 >

第5実施例のMLLD装置の特徴は、第1光学的結合手段114及び第2光学的結合手段116と、光パルス生成部105との配置の関係にある。図13を参照して第5実施例のMLLD装置の構成を説明する。第1光学的結合手段114は、偏光面調整素子120、第1光アイソレータ121及び結合レンズ17-1を具えて構成される。第2光学的結合手段116は、結合レンズ17-2及び第2光アイソレータ122を具えて構成される。

【0140】

CW光源119から出力されるCW光は第1光学的結合手段114を介してMLLD 1の光導波路30の一方の入力端PからMLLD 1の光導波路30に入力され、MLLD 1の光導波路30から出力される光パルスは、MLLD 1の光導波路30の他方の出力端Qから第2光学的結合手段116を介して外部に出力される。

【0141】

光パルス生成部105は、第1実施例乃至第4実施例のMLLD装置を構成する光パルス生成部101乃至104のいずれを採用してもよい。光パルス生成部101乃至104のいずれを採用するかによって、上述の第1実施例乃至第4実施例のMLLD装置と同様の利点が見られる。

【0142】

第5実施例のMLLD装置の主要な構成要素は以下のとおりとなる。すなわち、この発明のMLLD装置は、MLLD 1、CW光源119と、第1光学的結合手段114と、第2光学的結合手段116とを

10

20

30

40

50

具えて構成される。

【0143】

MLLD 1は、反転分布が形成される光利得領域3と光強度を変調する機能を有する光変調領域2とを含み、光利得領域3と光変調領域2とが直列に配置された光導波路30を具えている。

【0144】

CW光源119は、MLLD 1の発振縦モードのうちのいずれか一つの縦モードの波長に近接した波長のCW光を発生する。第1光学的結合手段114は、CW光源119の出力光をMLLD 1の光導波路30に入力し、MLLD 1の光導波路30内においてCW光源119の出力光の偏光方向がMLLD 1の発振光の偏光方向と合致するように、CW光源119の出力光の偏光方向を制御する偏光面調整素子120を含んで構成される。また、第2光学的結合手段116は、MLLD 1の出力光パルスを外部に出力させるために設置される。そして、CW光源119から出力されるCW光が第1光学的結合手段114を介してMLLD 1の光導波路30の一方の入力端PからMLLD 1の光導波路30に入力され、MLLD 1の光導波路30から出力される光パルスは、MLLD 1の光導波路30の他方の出力端Qから第2光学的結合手段116を介して外部に出力されるように配置されて構成されている。

10

【0145】

第5実施例のMLLD装置においては、上述の第1実施例乃至第4実施例のMLLD装置と異なり、光サーキュレータが不要である。このために第5実施例のMLLD装置は低コスト化が実現する。光パルス生成部105と第1光アイソレータ121と第2光アイソレータ122とをモジュールとして一体化して形成することは容易に実現できるので、第5実施例のMLLD装置は、CW光源119以外を一体化して波長可変MLLDモジュール化することができる。この結果第1実施例乃至第4実施例より一層のMLLD装置のコンパクト化及び安定化が実現される。

20

【0146】

なお、この発明のMLLD装置において実現される光注入同期の効果は、上述の第1実施例乃至第5実施例において実験によって確かめられたが、これらの実施例において採用した能動モード同期動作するMLLD 1のみならず、受動モード同期レーザや、能動モード同期レーザと受動モード同期レーザとを併用したハイブリッドモード同期レーザのいずれに対しても同様に得られる効果である。受動モード同期レーザを採用して波長可変モード同期レーザ装置を構成すれば、変調電圧源を必要としないため、モード同期レーザ装置を構成する電子デバイスの動作可能速度を越えた高い繰り返し周期で動作するモード同期レーザに対してもこの発明の光注入同期を実現できる。

30

【0147】

また、第2実施例及び第3実施例において、発振波長調整手段として利用した受動導波領域の実効屈折率の変化を生じさせる物理法則として、プラズマ効果やポッケルス効果以外にも、バンドフィリング効果やフランツケルディッシュ効果等も利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0148】

【図1】第1実施例の波長可変MLLDの概略的構成図である。

【図2】第1実施例の波長可変MLLDの動作説明に供する図である。

40

【図3】外部からのCW光注入によるMLLD出力光の光スペクトルの変化の説明に供する図である。

【図4】光パルス幅及び時間帯域幅積のMLLDに入力されるCW光の強度依存性を示す図である。

【図5】MLLDの光利得スペクトルのCW光注入強度依存性を示す図である。

【図6】MLLDに入力されるCW光波長に対する、光パルス幅及び時間帯域幅積、時間ジッタ及び相対強度雑音、MLLDからの出力光パルス強度及びMLLDへの入力CW光強度の関係を示す図である。

【図7】MLLDから出力される光パルス幅及び出力の素子温度依存性を示す図である。

【図8】第2実施例の波長可変MLLDの概略的構成図である。

50

【図9】縦モードの位置の変化の説明に供する図である。

【図10】光パルスの半値全幅の受動導波領域に注入される電流依存性を示す図である。

【図11】第3実施例の波長可変MLLDの概略的構成図である。

【図12】第4実施例の波長可変MLLDの概略的構成図である。

【図13】第5実施例の波長可変MLLDの概略的構成図である。

【符号の説明】

【0149】

1：モード同期半導体レーザ（MLLD）

2：光変調領域

3：光利得領域

4：受動導波領域

5：p型クラッド層

6：n型クラッド層

7：n側共通電極

8：光変調領域のp側電極

9：光利得領域のp側電極

10：受動導波領域のp側電極

11：第1電流源

12：電圧源

13：変調電圧源

14：発熱・吸熱素子

15：温度モニター

16：発熱・吸熱素子制御器

17、17-1、17-2：結合レンズ

18：光サーキュレータ

19、119：CW光源

20、120：偏光面調整素子

21、121：第1光アイソレータ

22、122：第2光アイソレータ

23：第2電流源

24：逆バイアス電源

25：絶縁膜

26：抵抗膜

27：第3電流源

30：光導波路

101、102、103、104、105：光パルス生成部

110、114：第1光学的結合手段

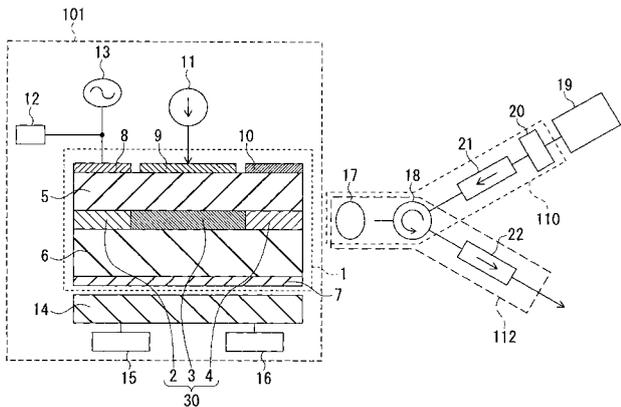
112、116：第2光学的結合手段

10

20

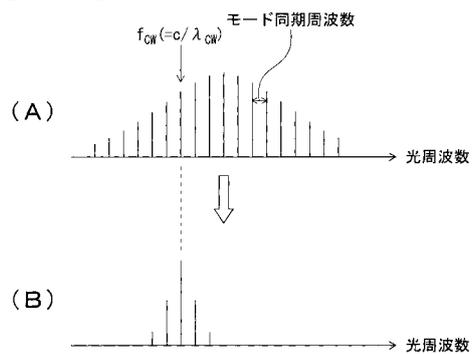
30

【 図 1 】



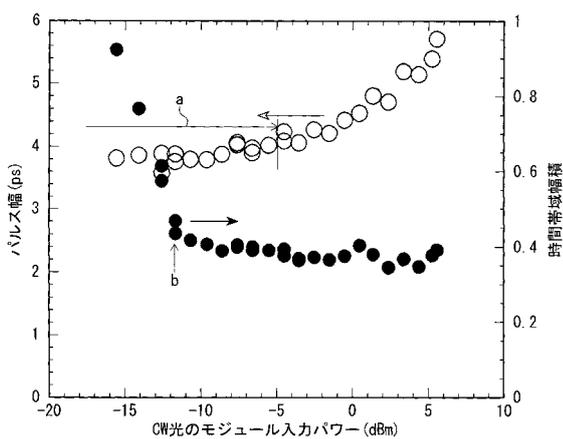
第1実施例の波長可変モード同期半導体レーザの概略的構成図

【 図 2 】

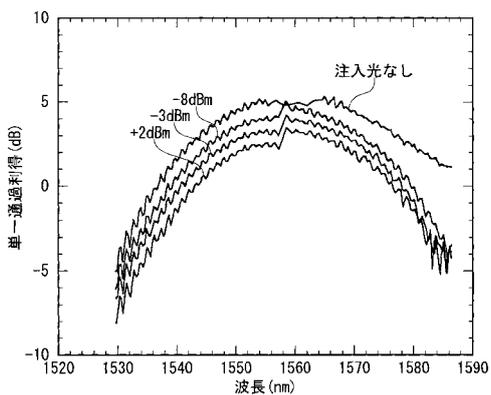


第1実施例の波長可変モード同期半導体レーザの動作説明

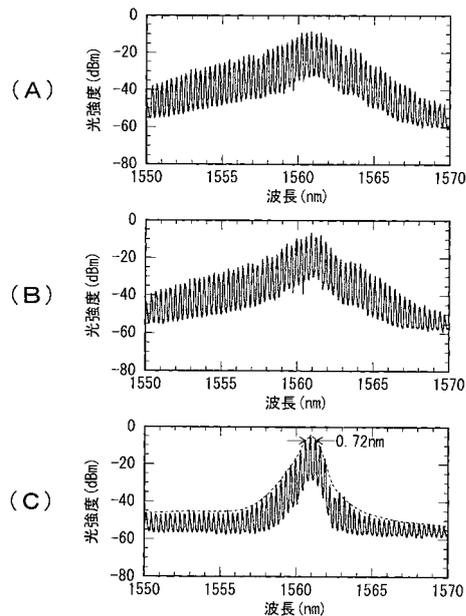
【 図 4 】



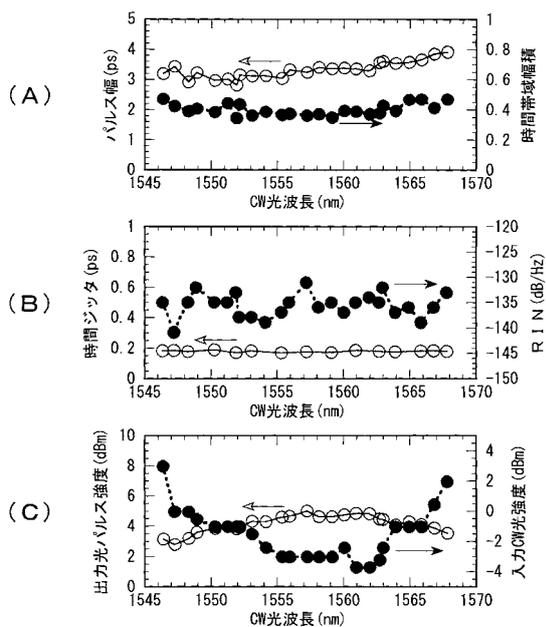
【 図 5 】



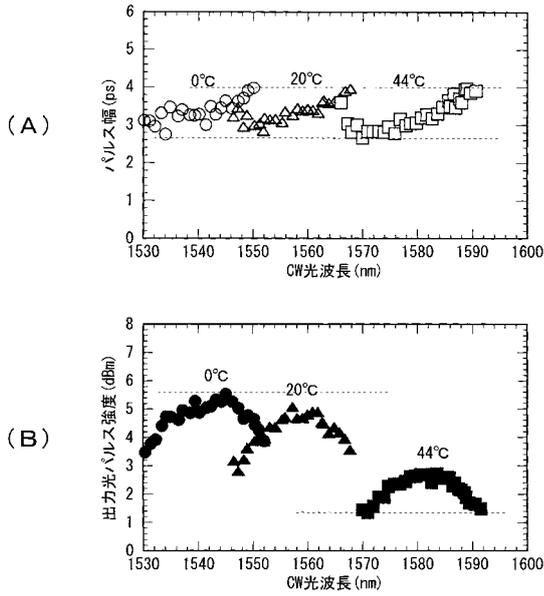
【 図 3 】



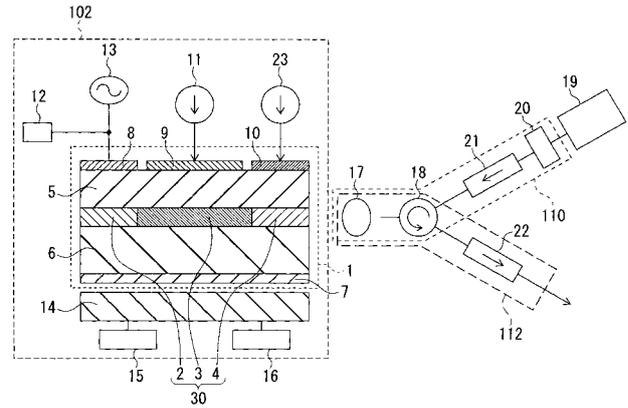
【 図 6 】



【図7】

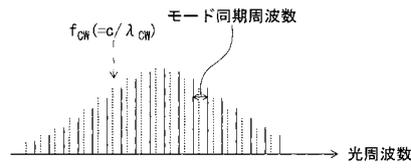


【図8】



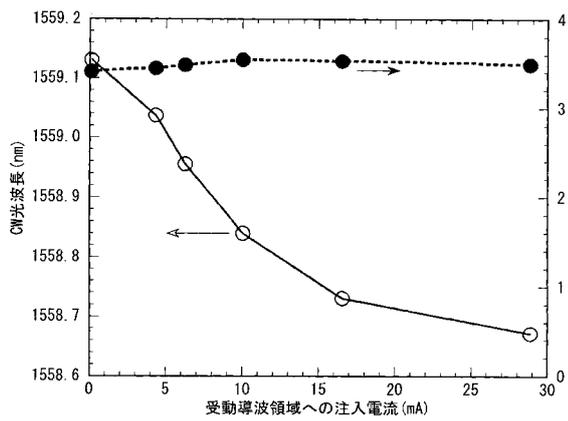
第2実施例の波長可変モード同期半導体レーザーの概略的構成図

【図9】

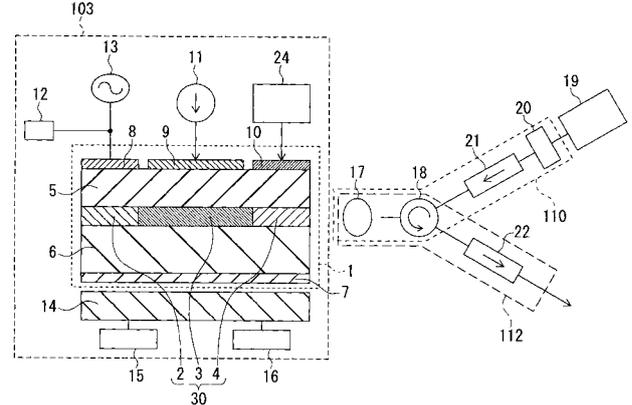


縦モードの位置の変化の説明に供する図

【図10】

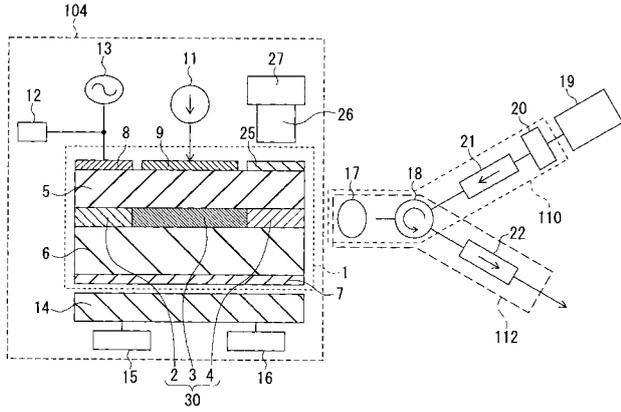


【図11】



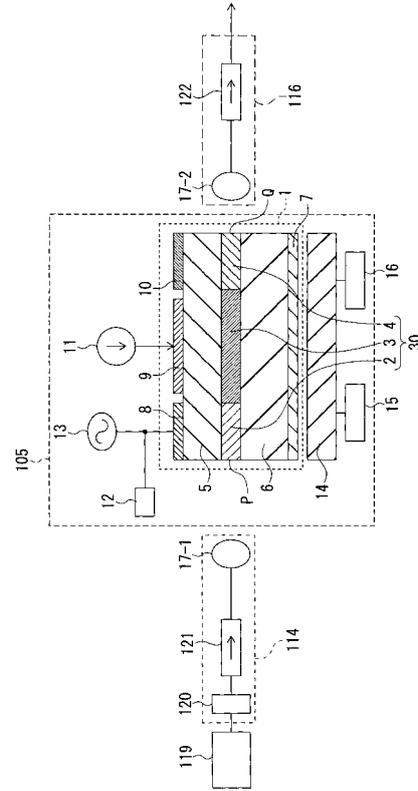
第3実施例の波長可変モード同期半導体レーザーの概略的構成図

【図12】



第4実施例の波長可変モード同期半導体レーザーの概略的構成図

【図13】



第5実施例の波長可変モード同期半導体レーザーの概略的構成図