

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013 年 5 月 2 日(02.05.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/061708 A1

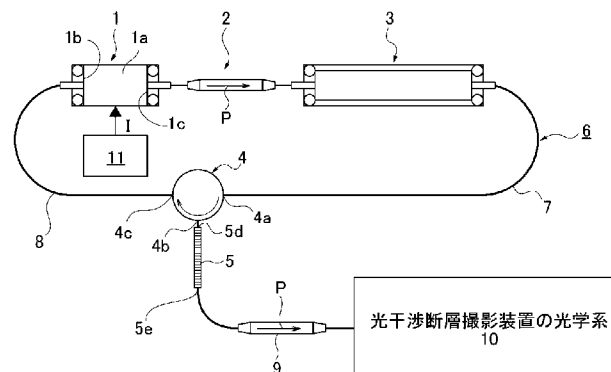
- (51) 国際特許分類:
G02F 1/35 (2006.01) *H01S 3/098* (2006.01)
G01N 21/17 (2006.01) *H01S 3/106* (2006.01)
G02F 1/015 (2006.01) *H01S 5/065* (2006.01)
H01S 3/083 (2006.01) *H01S 5/14* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/073620
- (22) 国際出願日: 2012 年 9 月 14 日(14.09.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-232586 2011 年 10 月 24 日(24.10.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社トプコン (Kabushiki Kaisha TOPCON) [JP/JP]; 〒1748580 東京都板橋区蓮沼町 7 5 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高田 聡 (TAKADA, Akira) [JP/JP]; 〒1748580 東京都板橋区蓮沼町 7 5 番 1 号 株式会社トプコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 西脇 民雄 (NISHIWAKI, Tamio); 〒1030028 東京都中央区八重洲一丁目 4 番 1 6 号 東京建物八重洲ビル 2 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: MODE-LOCKED LASER LIGHT SOURCE DEVICE AND OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY APPARATUS USING SAME

(54) 発明の名称: モード同期レーザ光源装置及びこれを用いた光干渉断層撮影装置

[図1]



10... OPTICAL SYSTEM OF OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY APPARATUS

(57) Abstract: Provided is a mode-locked laser light source device capable of implementing laser light with a narrow oscillation spectral distribution. This mode-locked laser light source device comprises: a semiconductor optical amplifier (1) wherein carriers are generated by the injection of an injection current (I) thereinto, a pulse of laser light (P) is amplified by the consumption of the carriers, and phase modulation equivalent to self-phase modulation depending on the pulse intensity of the laser light (P) occurs due to a change in the density of carriers; a sweep modulation unit (3) which makes the oscillation wavelength of the pulse of the laser light (P) emitted from the semiconductor optical amplifier (1) variable; a ring resonator (6) which returns the pulse of the laser light (P) modulated by the sweep modulation unit (3) to the semiconductor optical amplifier (1) to cause a laser oscillation phenomenon; and a dispersion compensator (5) which is used in an abnormal dispersion region and changes the return time of the pulse of the laser light (P) depending on the wavelength of the pulse of the laser light (P) that is being guided in the ring resonator (6).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2013/061708 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

発振スペクトル分布が狭いレーザ光を実現可能なモード同期レーザ光源装置を提供する。本発明のモード同期レーザ光源装置は、注入電流 I が注入されてキャリアが生成されかつキャリアの消費によりレーザ光(P)のパルスを増幅すると共にキャリアの密度変化によりレーザ光(P)のパルス強度に依存する自己位相変調と等価な位相変調を生じる半導体光増幅器(1)と、半導体光増幅器(1)から射出されるレーザ光(P)のパルスの発振波長を可変とする掃引用変調部(3)と、掃引用変調部(3)により変調されたレーザ光(P)のパルスを半導体光増幅器(1)に帰還させてレーザ発振現象を生じさせるリング共振器(6)と、異常分散領域で用いられかつリング共振器(6)を導波中のレーザ光(P)のパルスの波長に依存してレーザ光(P)のパルスの帰還時間を変化させる分散補償器(5)とを有する。

明 細 書

発明の名称：

モード同期レーザ光源装置及びこれを用いた光干渉断層撮影装置

技術分野

[0001] 本発明は、発振スペクトル分布が狭いレーザ光（狭線幅のレーザ光）を実現可能なモード同期レーザ光源装置及びこれを用いた光干渉断層撮影装置に関する。

背景技術

[0002] 従来から、光干渉断層撮影装置としてオプティカル・コヒーレンス・トモグラフィ（Optical Coherence Tomography; OCT）が知られている（例えば、特許文献1参照。）。
この光干渉断層撮影装置には、レーザ光源として波長掃引型のモード同期レーザ装置が用いられている。

[0003] この光干渉断層撮影装置では、レーザ光の波長を連続的に変化させながら、測定対象物にそのレーザ光が照射される。そのレーザ光の照射による測定対象物の異なる深さの部位からの反射レーザ光と参照光とが干渉計において干渉される。この干渉計により得られた干渉信号の周波数成分を分析することによって、測定対象物の断層画像が構築される。

[0004] なお、半導体光増幅器（Semiconductor Optical Amplifier; SOA）、ファイバーブラッググレーティング（Fiber Bragg Grating; FBG）を用いた波長掃引モード同期レーザ光源装置も知られている（例えば、非特許文献1参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2011-113048号公報の段落番号「0001」、「0002」

非特許文献

- [0006] 非特許文献1: Yuichi Nakazaki and Shinji Yamashita 11 May 2009/Vol.17, No 10/OPTICSEXRESS 8310 "Fast and Wide tuning range wavelength-swept fiber laser based on dispersion tuning and its application to dynamic FBG sensing

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] ところで、光干渉断層撮影装置では、高速の掃引時にも可干渉性（コヒーレント性）が良好で、深い箇所まで計測するために、波長掃引型のモード同期レーザ光源装置として、より一層掃引時の発振スペクトル分布の狭線幅化が要望されている。

本発明は、上記の事情に鑑みて為されたもので、その目的は、発振波長が可変でかつ発振スペクトル分布が狭いレーザ光を実現可能なモード同期レーザ光源装置を提供するところにある。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明のモード同期レーザ光源装置は、注入電流が注入されてキャリアが生成されかつこのキャリアの消費によりレーザ光のパルスを増幅すると共にキャリアの密度変化によりレーザ光のパルス強度に依存する自己位相変調と等価な位相変調を生じる半導体光増幅器と、半導体光増幅器から射出されるレーザ光のパルスの発振波長を可変とする掃引用変調部と、掃引用変調部により変調されたレーザ光のパルスを半導体光増幅器に帰還させてレーザ発振現象を生じさせる共振器と、異常分散領域で用いられかつ共振器を導波中のレーザ光のパルスの波長に依存してそのレーザ光のパルスの帰還時間を変化させる分散補償器とを有することを特徴とする。

発明の効果

- [0009] 本発明によれば、共振器に組み込まれた分散補償器を異常分散領域で用いて、発振波長が可変のモード同期レーザ光源装置を構成したので、掃引時の発振スペクトル分布が狭い発振波長が可変のモード同期レーザ光源装置を提

供でき、光干渉断層撮影装置に用いるのに好適である。

図面の簡単な説明

[0010] [図1] 図1は本発明の実施例1に係るモード同期レーザ光源装置の要部構成を示す光学系の模式図である。

[図2A] 図2Aは図1に示す分散補償器の概念を説明する図であって、分散補償器としてのリニアチャープファイバブラッググレーティングを模式的に示す斜視図である。

[図2B] 図2Bは図2Aに示す分散補償器を異常分散領域で用いるための接続の仕方を示す説明図である。

[図3] 図3は図1に示す半導体光増幅器に入射するレーザ光のパルスの波形とその半導体光増幅器から射出されるレーザ光のパルスの波形とを模式的に示すグラフである。

[図4] 図4は半導体光増幅器から射出されるレーザ光のパルスの周波数チャープを示すグラフである。

[図5] 図5は正常分散領域で用いた場合にその半導体光増幅器から射出されたレーザ光のパルスの波形と異常分散領域で用いた場合にその半導体光増幅器から射出されたレーザ光のパルスの波形との一例を示すグラフである。

[図6] 図6は図5の正常分散領域で用いた場合にその半導体光増幅器から射出されたレーザ光のパルスの波形に対応するスペクトル分布と図5の異常分散領域で用いた場合にその半導体光増幅器から射出されたレーザ光のパルスの波形に対応するスペクトル分布とを示すグラフである。

[図7] 図7は本発明の実施例2に係るモード同期レーザ光源装置の要部構成を示す光学系の模式図である。

[図8] 図8は本発明の実施例3に係るモード同期レーザ光源装置の要部構成を示す光学系の模式図である。

[図9] 図9は本発明の実施例4に係るモード同期レーザ光源装置の要部構成を示す光学系の模式図である。

発明を実施するための形態

実施例

[0011] (実施例 1)

以下に、本発明に係るモード同期レーザ光源装置の実施例を図面を参照しつつ説明する。

図 1 は本発明に係るモード同期レーザ光源装置を備えた光干渉断層撮影装置の要部構成を示す模式図である。

[0012] その図 1 において、1 は半導体光増幅器 (SOA)、2 は光アイソレータ、3 は掃引用変調部、4 はサーキュレータ、5 は分散補償器である。その半導体光増幅器 1 とアイソレータ 2 と掃引用変調部 3 とサーキュレータ 4 と分散補償器 5 とはリング共振器 6 を構成している。

[0013] 半導体光増幅器 1 は導波路構造体 1 a を有する。その導波路構造体 1 a の一端面が入射端面 1 b とされ、その導波路構造体 1 a の他端面が射出端面 1 c とされている。

その導波路構造体 1 a に注入電流 I が注入されて、導波路構造体 1 a にキャリアが生成される。その導波路構造体 1 a の入射端面 1 b に入射する光パルスによる誘導放出現象により、そのキャリアが消費される。その結果、レーザ光のパルスが増幅され、そのレーザ光のパルスが射出端面 1 c から射出される。

ここでは、半導体光増幅器 1 には、利得 3 -dB、幅 80.6 nm の SOA モジュールが用いられている。

[0014] その射出端面 1 c から射出されたレーザ光 P のパルスは、光を一方向だけ通過させ、戻り光を遮断する光学素子としての光アイソレータ 2 を経由して掃引用変調部 3 に導かれる。その光アイソレータ 2 には、例えば、偏光依存型アイソレータ、偏光無依存型アイソレータを用いる。

[0015] 掃引用変調部 3 は、この掃引用変調部 3 に入射するレーザ光 P のパルスの強度又は位相を変調する機能を有するものを用いることができ、ここでは、強度を変調する電気光学変調器 (Electro-Optic Modulator; EOM) を用いる。

[0016] サーキュレータ 4 には、ここでは、3 ポートを有するものが用いられる。

このサーキュレータ 4 の第 1 ポート 4 a には掃引用変調部 3 から出力されるレーザ光 P のパルスを送入する導光ファイバ 7 が接続されている。

[0017] そのサーキュレータ 4 の第 2 ポート 4 b には、分散補償器 5 が接続されている。この分散補償器 5 には、図 2 A、図 2 B に概念的に示すリニアチャープファイバブラッググレーティング (LC-FBG) が用いられる。

[0018] このリニアチャープファイバブラッググレーティングは、パルス中の低周波成分と高周波成分の反射位置がリニアに異なるようにグレーティングの周期が変化しているファイバブラッググレーティングであり、ファイバ内に回折格子を形成することによって構成されている。

[0019] ここでは、このリニアチャープファイバブラッググレーティングのチャープレートは、 10 nm/cm 、ピーク反射率は 70% 、反射率の 3-dB 幅は 60 nm (すなわち、 1520 nm から 1580 nm) のものを用いる。

[0020] このリニアチャープファイバブラッググレーティングは、その向きによって正常分散、異常分散の両特性を有し、リニアチャープファイバブラッググレーティングのサーキュレータ 4 の第 2 ポート 4 b の接続の仕方によって正常分散領域、異常分散領域での使用が変更される。

[0021] すなわち、このリニアチャープファイバブラッググレーティングは、長波長のパルス成分が先に反射されかつ短波長のパルス成分が後から反射される正常分散領域での使用と、短波長のパルス成分が先に反射されかつ長波長のパルス成分が後から反射される異常分散領域での使用とを行うことができる。

[0022] この実施例 1 では、短波長のパルス光成分が先に反射されかつ長波長のパルス光成分が後から反射されるという異常分散領域で使用するため、リニアチャープファイバブラッググレーティングが第 2 ポート 4 b に接続されており、図 1、図 2 A、図 2 B において、5 d は入射側端面、5 e は透過側端面を示している。

[0023] そのサーキュレータ 4 の第 3 ポート 4 c は、リニアチャープファイバブ

ラッググレーティングにより反射されたレーザパルス光を半導体光増幅器 1 に帰還する帰還用導光ファイバ 8 に接続されている。

[0024] そのリニアチャープファイバブラッググレーティングの透過側端面 5 e から出力されるレーザ光 P のパルスはアイソレータ 9 を介して後段の光干渉断層撮影装置の光学系 10 に導かれるものであるが、この実施例 1 では、実験結果の評価のため、図示を略すカップラを介して図示を略す干渉計とオシロスコープとに接続される。

[0025] なお、光干渉断層撮影装置の光学系 10 に用いるレーザ光（パルス光）P の波長帯域幅は $1 \mu\text{m}$ 程度であるが、ここでは、実験のためにパルス光の波長帯域幅として異なるものが用いられている。

[0026] ここでは、リング共振器 6 の共振器長 L は、高速掃引を行うため、約 2.7 m とされている。このリング共振器 6 は、分散特性を有するため、 m 次の共振周波数 f は、以下の式を用いて表される。

$$f(\lambda) = m \cdot c / \{ n \cdot (L + 2L_f(\lambda)) \}$$

[0027] ここで、符号 m は正の整数であり、 $f(\lambda)$ は波長 λ における m 次の共振周波数、符号 c は真空中の光速、符号 $L_f(\lambda)$ はリニアチャープファイバブラッググレーティングの長さ、符号 n はこのリング共振器 6 を構成する射出用導光ファイバ 7、帰還用導光ファイバ 8、リニアチャープファイバブラッググレーティングの等価屈折率であり、屈折率 n は一定として計算した。

[0028] ここで、波長 λ_0 の共振周波数を $L_f(\lambda_0) = 0$ として表すと、波長 λ_0 の共振周波数 $f(\lambda_0)$ は、

$$f(\lambda_0) = (m \cdot c) / (n \cdot L)$$

このとき、波長 λ_1 における共振周波数 $f(\lambda_1)$ は、チャープレートを A とすると、

$$f(\lambda_1) = m \cdot c / \{ n \cdot (L + 2(\lambda_1 - \lambda_0) / A) \}$$

[0029] 上記式をテーラー展開して近似すると、2 つの波長間の共振周波数差 Δf は、以下の式を用いて表される。

$$\Delta \lambda = (L \cdot A) \cdot \Delta f / 2 f (\lambda_0)$$

$$\text{ただし、} \Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_0$$

[0030] この式により、リング共振器 6 内の強度変調周波数により、発振波長を変化させることが理解できる。共振器内に分散媒質があるため、共振器内を伝搬する光が周回する時間は、波長により異なる。共振器内に強度変調が与えられ、変調周波数と一致した波長のみが共振器内で発振することになる。

[0031] また、波長掃引幅であるフリースペクトルレンジ (Free Spectral Range; FSR) は、以下の式により表される。

$$\text{FSR} = (c \cdot A) / (2 \cdot n \cdot f)$$

[0032] 半導体光増幅器 1 には、注入電流制御部 11 から一定の電流 I が注入される。半導体光増幅器 1 には、電流 I が注入されるとキャリアが生成され、レーザ光 P のパルスの入射によりそのキャリアが消費されて、レーザ光 P のパルスを増幅すると共にそのキャリアの密度変化によりレーザ光のパルス強度に依存する自己位相変調と等価な位相変調が生じる。

[0033] 図 3 はその半導体光増幅器 1 の入射端面 1b に入射するレーザ光 P のパルスの波形とその半導体光増幅器 1 の射出端面 1c から射出されるレーザ光 P のパルスの波形とを示している。その図 3 において、符号 P_1 は入射端面 1b に入射するレーザ光 P のパルス波形であり、符号 P_2 はその射出端面 1c から射出されるレーザ光 P のパルス波形であり、横軸は時間、縦軸は規格化されたレーザ光 P のパルスの強度を示している。

[0034] その図 3 においては、入射端面 1b に入射するレーザ光 (パルス光) P の半導体光増幅器 1 への入射パルス幅 τ_p を用いて時間軸を規格化している。この図 3 には、半導体光増幅器 1 の入射端面 1b に入射するレーザ光 P のパルス波形 P_1 は時間軸に関して正規分布をしているものとして、半導体光増幅器 1 の射出端面 1c から射出されるレーザ光 P のパルス波形 P_2 が描画されている。

[0035] 半導体光増幅器 1 がレーザ光のパルス強度に依存する自己位相変調と等価な位相変調を起こすと、パルスの立ち上がりで周波数が減少し (波長が長くなり)、パルスの立ち下がりで周波数が高くなる (波長が短くなる)。なお

、このようなパルスの立ち上がりから立ち下がりにかけての周波数の変化をチャープという。

[0036] 図4はその周波数のチャープを視覚的に理解しやすく描画した図であり、横軸は時間軸であり、縦軸は、周波数のチャープを示している。

その図4から、パルス波形P2の立ち上がり部分P2'（図3参照）では、図4に示す基準値を「0」として周波数がマイナス「-」側に変化しているので、赤方にシフトし、パルス波形P2の立ち下がり部分P2''では基準値を「0」としてプラス側「+」に変化しているので、青方にシフトしていることが見てとれる。

[0037] このような自己位相変調（Self Phase Modulation; SPM）と等価な位相変調が生じると、正常分散領域では、波長の長い立ち上がり部分P2'の周波数成分の伝播速度は速く、波長の短い立ち下がり部分P2''の成分の伝播速度は遅いため、パルスの時間軸幅が広がる。

また、自己位相変調（SPM）と等価な位相変調は、正常分散により発生する時間軸上での位相変調と同符号であるため、パルスの波長幅は自己位相変調（SPM）と等価な位相変調の影響により広がる。

[0038] これに対して、異常分散領域では、パルス波形P2の立ち上がり部分P2'の伝播速度が遅く、パルス波形P2の立ち下がり部分P2''の伝播速度が速く伝播する。

すなわち、長波長側であるパルス波形P2の立ち上がり部分P2'が周回する時間は長くかかる。これに対して、短波長側であるパルス波形P2の立ち下がり部分P2''が周回する時間は短い。

[0039] 異常分散領域でも、波長分散によりパルス幅が広がるが、このとき、自己位相変調（SPM）と等価な半導体光増幅器1の位相変調は、レーザ光のパルスを圧縮する方向に機能する。

[0040] また、自己位相変調（SPM）と等価な位相変調は、異常分散により発生する時間軸上での位相変調と符号が異なるため、自己位相変調（SPM）と等価な位相変調による波長広がりを抑制できる。そのため、異常分散と自己位相変調

(SPM) と等価な位相変調の量を調整することによりスペクトル分布を任意に変えることができる。

[0041] すなわち、異常分散領域における波長分散によるレーザ光のパルスの広がり半導体光増幅器 1 の非線形効果によるレーザ光のパルス圧縮の効果が釣り合うような状態になると、レーザ光 P のパルスが波形を保持したまま伝播するという光ソリトンの発生と同様な効果が生じる。

[0042] 図 5 は、正常分散領域におけるレーザ光のパルス波形と異常分散領域におけるパルス波形とを描画した図であって、この図 5 において、横軸は時間軸であり、縦軸は、規格化したレーザ光の強度であり、符号 Q 1 は正常分散領域における射出パルス波形を示し、符号 Q 2 は異常分散領域における射出パルス波形を示している。

[0043] 図 6 は、図 5 に示す両射出パルス波形の波長特性を示し、符号 Q 1' は分散補償器 5 を正常分散領域で用いた場合の波長特性（スペクトル分布）を示し、符号 Q 2' は分散補償器 5 を異常分散領域で用いた場合の波長特性（スペクトル分布）を示している。

[0044] この図 6 から明らかなように、分散補償器 5 を異常分散領域で用いた場合の波長特性 Q 2' は、分散補償器 5 を正常分散領域で用いた場合の波長特性 Q 1' に対してスペクトル分布の狭窄化（狭線幅化）が実現されている。

[0045] すなわち、このモード同期レーザ光源装置では、所定の電流 I が注入されると、半導体光増幅器 1 の射出端面 1 c からレーザ光 P のパルスが射出される。そして、掃引用変調部 3 を操作してレーザ光 P のパルス強度を変更すると、この変調されたレーザ光 P のパルス強度の光が射出用導光ファイバ 7、サーキュレータ 4 を経由して分散補償器 5 に導かれる。

[0046] そのレーザ光 P は、この分散補償器 5 において短波長成分が先に反射されかつ長波長成分が後から反射されて、帰還用導光ファイバ 8 を経由して半導体光増幅器 1 に戻る。このレーザ光 P がリング共振器 6 を周回する。その結果、この分散補償器 5 の異常分散領域での使用による波長分散と半導体光増幅器 1 によるパルス圧縮効果とにより光ソリトンと同様な効果が生じ、スペクト

ル分布の狭線幅化が実現される。

[0047] この狭線幅化されたレーザ光のパルスは、その分散補償器 5 の透過側端面 5 e から取り出され、アイソレータ 9 を介して後段の光干涉断層撮影光学系 10 に導かれる。

ところで、スペクトル分布は、上記したように異常分散と SPM と等価な位相変調の量とを調整することにより変更が可能である。

[0048] 自己位相変調 (SPM) と等価な位相変調の大きさを、異常分散により発生する位相変調の大きさに等しくなるように近づけると、スペクトル分布が狭まり、自己位相変調 (SPM) と等価な位相変調の大きさと異常分散により発生する位相変調の大きさとの差が大きくなるように、自己位相変調 (SPM) と等価な位相変調の大きさを、異常分散により発生する位相変調の大きさから遠ざけると、スペクトル幅が広がる。

[0049] 自己位相変調 (SPM) と等価な位相変調は、3 つの要素によって大きさを变化させることができる。その第 1 の要素は、半導体光増幅器 1 に入射するレーザ光 P のパルス強度である。レーザ光 P のパルス強度を大きくすると、自己位相変調 (SPM) と等価な位相変調が大きくなる。このパルス強度は、掃引用変調部 3 の変調波形や分散補償器 5 の反射率等によって変化させることが可能である。

[0050] 第 2 の要素は、半導体光増幅器 1 への注入電流 I である。注入電流 I を大きくすると、SPM と等価な位相変調が生じやすくなる。

その第 3 の要素は、半導体光増幅器 1 の種類である。量子ドットの半導体光増幅器と量子井戸の半導体光増幅器とでは後者の方が SPM と等価な位相変調を生じやすくなる。

一方、異常分散により発生する位相変調は、分散補償器 5 を変更することにより、その位相変調の大きさを変更できる。

[0051] なお、この実施例 1 では、掃引用変調部 3 に強度変調器を用いたが位相変調器を用いても良い。また、掃引用変調部 3 を、半導体光増幅器 1 の射出端面 1 c とサーキュレータ 4 の第 3 ポート 4 c との間に配置し、光アイソレー

タ 2 を省略する構成としても良い。

[0052] (実施例 2)

図 7 はモード同期レーザ光源装置の実施例 2 を示し、この実施例 2 では、掃引用変調部 3 を半導体光増幅器 1 への注入電流 I をパルス制御する注入電流制御部 11 により構成したものであり、残余の構成要素は実施例 1 と同様であるので、同一構成要素に同一符号を付して、その詳細な説明は省略する。

[0053] この実施例 2 では、半導体光増幅器 1 には、パルス電流が注入電流 I として注入され、この注入電流 I のパルス波形、周期、パルス幅、パルス電流の大きさを変更することにより、変調を発生させるものである。

[0054] (実施例 3)

図 8 は、モード同期レーザ光源装置の実施例 3 を示し、この実施例 3 では、リング共振器 6 が半導体光増幅器 1 の反射端面 1d に対向する入・出射端面 1e から射出されたレーザ光のパルスを導光・帰還する導光ファイバ 12 から構成されている。

[0055] この導光ファイバ 12 に分散補償器 5 が接続されている。この分散補償器 5 も異常分散領域で用いられ、レーザ光 P のパルスは透過側端面 5e から出力される。その分散補償器 5 には、リニアチャープファイバブラッググレーティングが用いられている。

[0056] (実施例 4)

図 9 は、モード同期レーザ光源装置の実施例 4 を示し、この実施例 4 では、実施例 3 の分散補償器 5 としてリニアチャープファイバブラッググレーティングを用いる代わりにボリュームホログラムを用いることにしたものである。

[0057] この実施例 4 では、半導体光増幅器 (SOA) として、導波路構造体 1a の導光路に対して入・出射端面 1e が斜めになることによりその反射を 0.001% 以下に抑制したものが用いられている。

[0058] 入・出射端面 1e から射出されるレーザ光 P のパルスは、コリメートレンズ 13 により平行光束とされて、ポラライザー (偏光子) 14 に導かれ、ポリ

ュームホログラムを通して異常分散領域による分散を受けた後、集束レンズ 15 に導かれる。その後、そのレーザ光のパルスは、導光ファイバ 16 に入射されて、後段の光干渉断層撮影装置の光学系 10 に導かれる。なお、ポラライザー 14 は省略可能である。

[0059] 以上、実施例では、分散補償器 5 として、リニアチャープファイバーブラッググレーティング又はボリュームホログラムを用いることにしたが、本発明は、これらに限られるものではなく、チャープミラーを用いても良い。

関連出願の相互参照

[0060] 本出願は、2011年10月24日に日本国特許庁に出願された特願2011-232586号に基づいて優先権を主張し、その全ての開示は完全に本明細書で参照により組み込まれる。

符号の説明

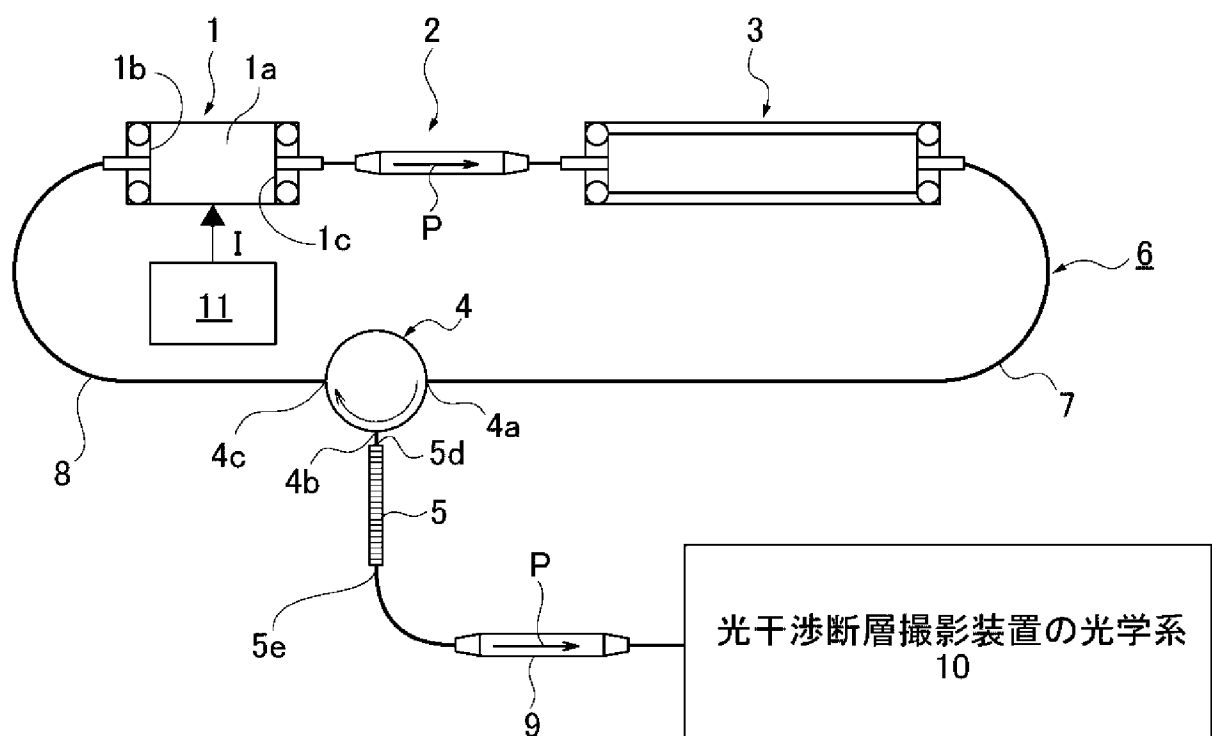
[0061] 1…半導体光増幅器
3…掃引用変調部
4…サーキュレータ
5…分散補償器
6…リング共振器

請求の範囲

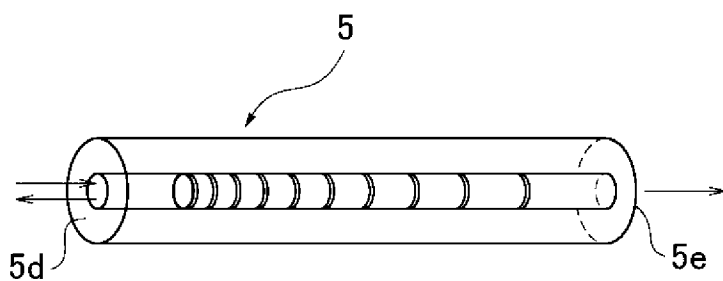
- [請求項1] 注入電流が注入されてキャリアが生成されかつ前記キャリアの消費によりレーザ光のパルスを増幅すると共に前記キャリアの密度変化により前記レーザ光のパルス強度に依存する自己位相変調と等価な位相変調を生じる半導体光増幅器と、
- 該半導体光増幅器から射出されるレーザ光のパルスの発振波長を可変とする掃引用変調部と、
- 該掃引用変調部により変調された前記レーザ光のパルスを前記半導体光増幅器に帰還させてレーザ発振させる共振器と、
- 異常分散領域で用いられかつ前記共振器を導波中の前記レーザ光のパルスの波長に依存して該レーザ光のパルスの帰還時間を変化させる分散補償器とを有することを特徴とするモード同期レーザ光源装置。
- [請求項2] 前記共振器が前記半導体光増幅器の射出端面から射出されたレーザ光のパルスを導光する射出用導光ファイバと、該射出用導光ファイバを伝播するレーザ光のパルスを前記半導体光増幅器の入射端面に導光する帰還用導光ファイバと、前記射出用導光ファイバと前記帰還用導光ファイバとがそれぞれポートに接続されしかも両ポートの間に前記分散補償器が接続され、該分散補償器から前記レーザ光のパルスが出力されることを特徴とする請求項1に記載のモード同期レーザ光源装置。
- [請求項3] 前記共振器が前記半導体光増幅器の反射端面に対向する入出射端面から射出されたレーザ光のパルスを導光・帰還する導光ファイバから構成され、該導光ファイバに前記分散補償器が接続され、該分散補償器から前記レーザ光のパルスが出力されることを特徴とする請求項1に記載のモード同期レーザ光源装置。
- [請求項4] 前記掃引用変調部が前記半導体光増幅器から射出されたレーザ光のパルスの強度又は位相を変調する変調器から構成されていることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のモード同期レーザ光源装置。

- [請求項5] 前記掃引用変調部が前記半導体光増幅器への注入電流をパルス制御する注入電流制御部であることを特徴とする請求項1又は請求項3に記載のモード同期レーザ光源装置。
- [請求項6] 前記分散補償器がリニアチャープファイバブラッググレーティング又はチャープミラー又はボリウムホログラムであることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載のモード同期レーザ光源装置。
- [請求項7] 請求項1ないし請求項6のいずれか1項記載のモード同期レーザ光源装置を有する光干渉断層撮影装置。

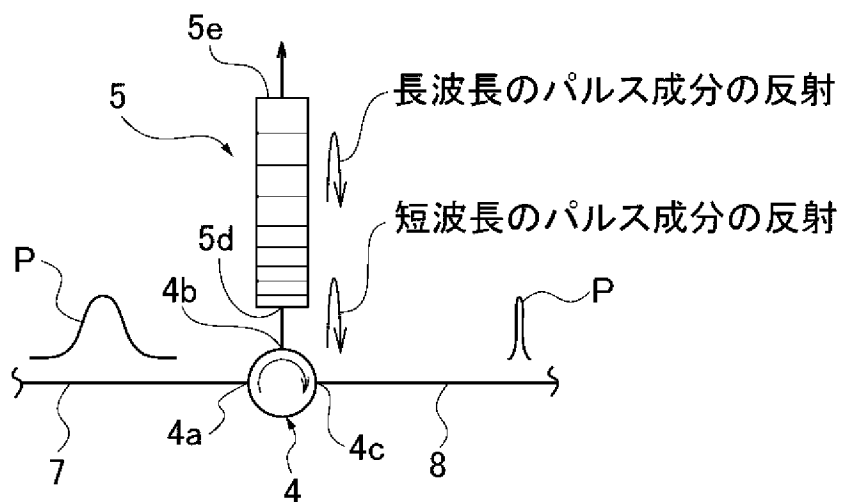
[図1]



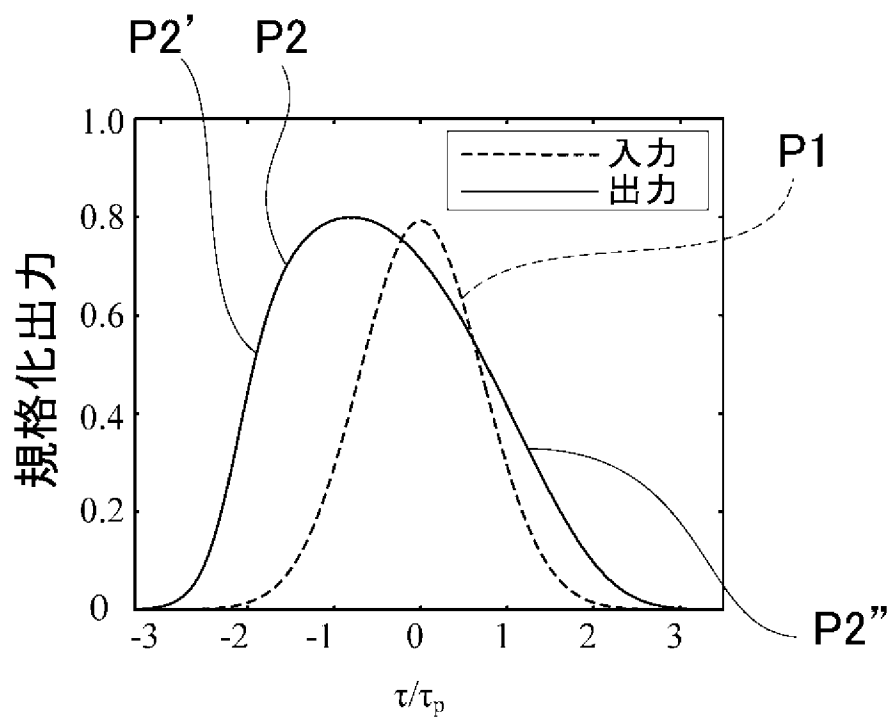
[図2A]



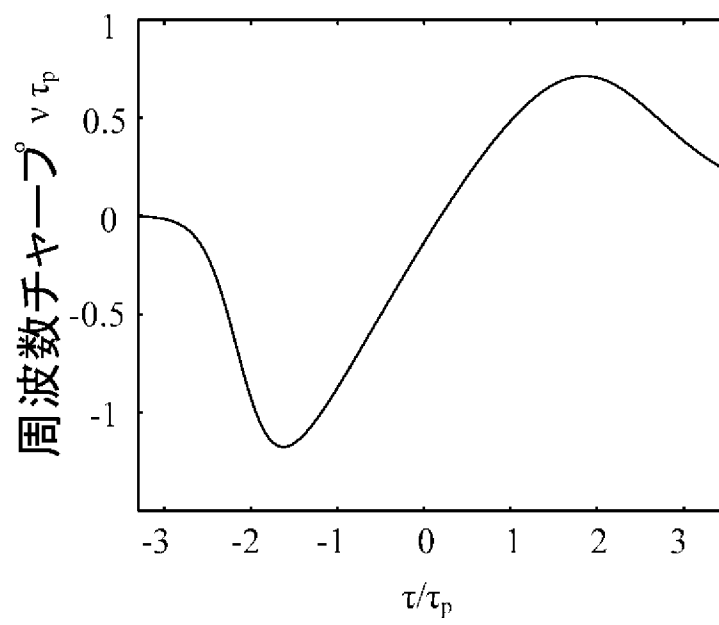
[図2B]



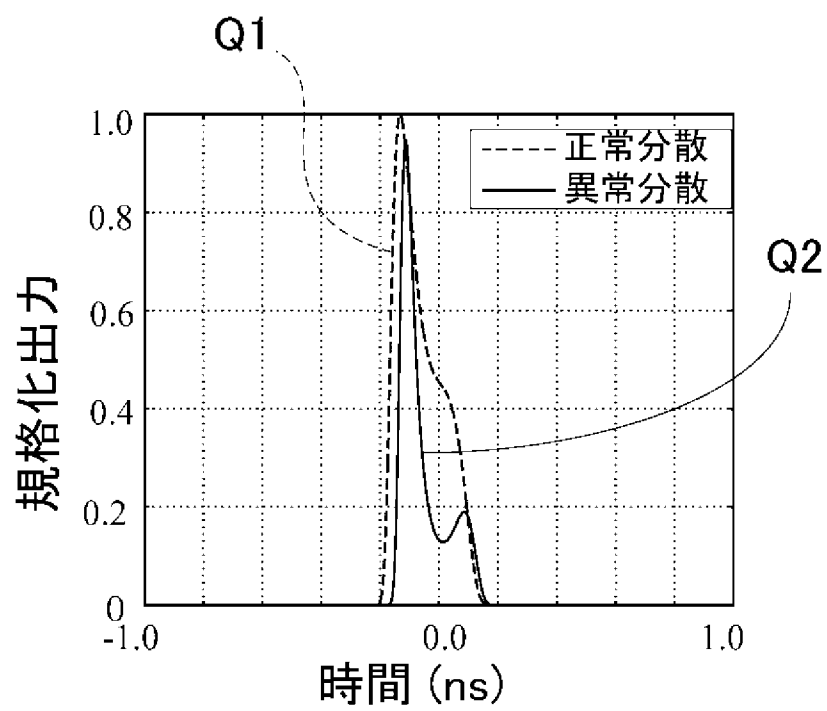
[図3]



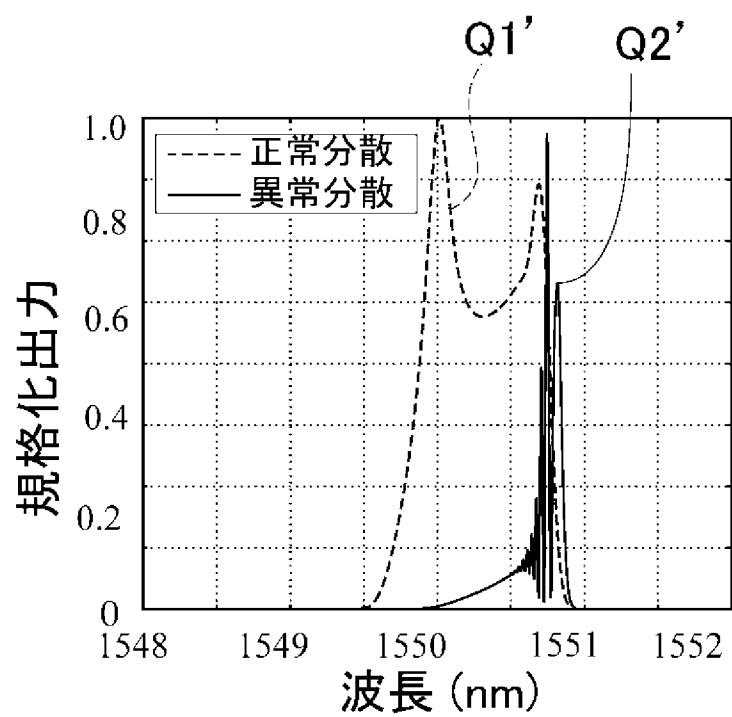
[図4]



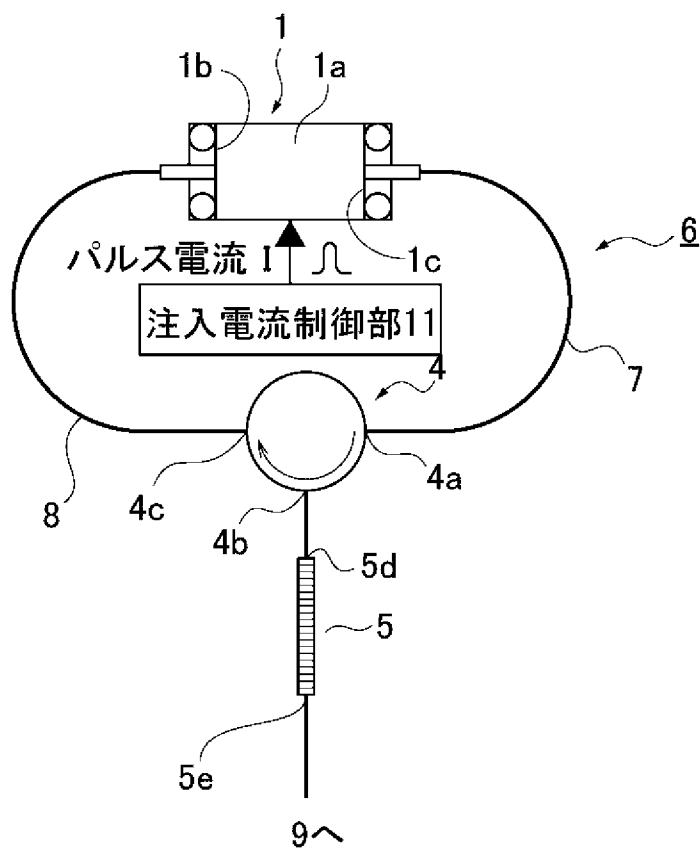
[図5]



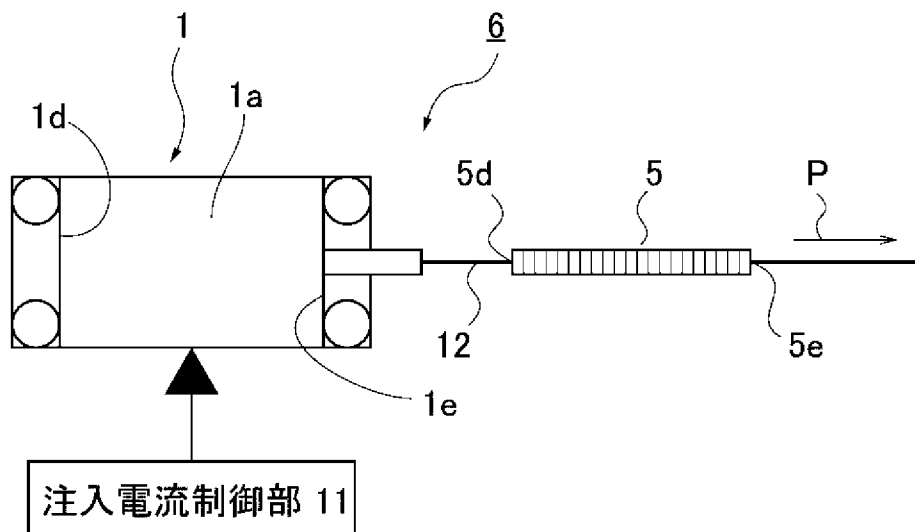
[図6]



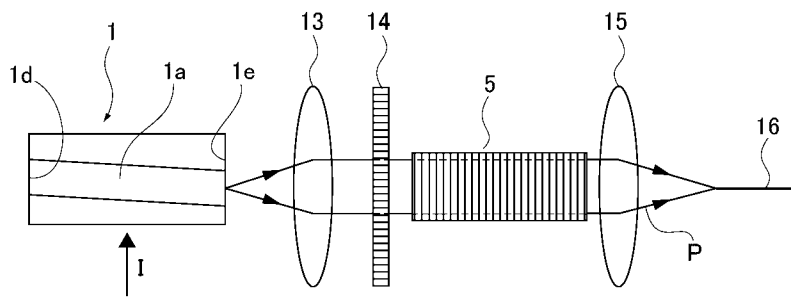
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/073620

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/35(2006.01)i, G01N21/17(2006.01)i, G02F1/015(2006.01)i, H01S3/083(2006.01)i, H01S3/098(2006.01)i, H01S3/106(2006.01)i, H01S5/065(2006.01)i, H01S5/14(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F1/35, G01N21/17, G02F1/015, H01S3/083, H01S3/098, H01S3/106, H01S5/065, H01S5/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JST7580(JDreamII), Science Direct, IEEE Xplore, CiNii

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	S. Yamashita, et al., "Fast wavelength-swept dispersion-tuned fiber laser over 500kHz using a wideband chirped fiber Bragg grating", Proceedings of SPIE 21st International Conference on Optical Fiber Sensors, 2011.05.15, Vol.7753 Pt.2, p.77537W-1 - 77537W-4	1, 2, 7 3-6
Y	Ryosei KONISHI et al., "Widely and Fast Wavelength-Tunable Mode-Locked Linear Cavity Fiber Laser", IEICE 2007 Nen Electronics Society Taikai Koen Ronbunshu 1, 10 September 2007 (10.09.2007), page 210	3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 October, 2012 (10.10.12)

Date of mailing of the international search report
30 October, 2012 (30.10.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/073620

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010-515919 A (LightLab Imaging, Inc.), 13 May 2010 (13.05.2010), paragraphs [0036], [0039], [0041]; fig. 2 & US 2008/165366 A1 & US 2011/101207 A1 & EP 2106240 A	4
Y	JP 2011-18833 A (Fujitsu Ltd.), 27 January 2011 (27.01.2011), paragraph [0009] & US 2011/006124 A1	5
Y	JP 2005-91451 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 07 April 2005 (07.04.2005), paragraph [0020]; fig. 2(1) (Family: none)	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/073620

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
(See extra sheet.)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/073620

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

The invention of claim 1, the invention of claim 3, and the invention of claim 5 have a common technical feature, i.e., "a mode-locked laser source device comprising: a semiconductor optical amplifier into which an injection current is injected; a sweep modulator unit; a resonator; and a dispersion compensator."

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature, since the technical feature does not make a contribution over the prior art in the light of the contents disclosed in the document 1.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature among these inventions.

Accordingly, the following three inventions (invention groups) are involved in claims.

(Invention 1) the inventions of claims 1, 2, 4, 6 and 7

A mode-locked laser source device comprising: a semiconductor optical amplifier into which an injection current is injected; a sweep modulator unit; a resonator; and a dispersion compensator.

(Invention 2) claim 3

A mode-locked laser source device wherein a resonator is made up of a light-guide fiber through which a laser pulse is guided and fed back, the laser pulse being emitted from an input and output end opposed to a reflecting end of a semiconductor optical amplifier; the light-guide fiber is connected with a dispersion compensator; and the dispersion compensator outputs a laser pulse.

(Invention 3) claim 5

A mode-locked laser source device wherein a sweep modulator unit serves as an injection current control unit for providing pulse control to an injection current into a semiconductor optical amplifier.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02F1/35(2006.01)i, G01N21/17(2006.01)i, G02F1/015(2006.01)i, H01S3/083(2006.01)i, H01S3/098(2006.01)i, H01S3/106(2006.01)i, H01S5/065(2006.01)i, H01S5/14(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02F1/35, G01N21/17, G02F1/015, H01S3/083, H01S3/098, H01S3/106, H01S5/065, H01S5/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JST7580(JDreamII), Science Direct, IEEE Xplore, CiNii

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	S. Yamashita, et al., "Fast wavelength-swept dispersion-tuned fiber laser over 500kHz using a wideband chirped fiber Bragg grating", Proceedings of SPIE 21st International Conference on Optical Fiber Sensors, 2011.05.15, Vol.7753 Pt.2, p.77537W-1 - 77537W-4	1, 2, 7
Y		3-6

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 0 . 1 0 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

3 0 . 1 0 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

林 祥恵

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

2 X

4 0 8 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	小西 諒生, 他, 直線型共振器を用いた広帯域・高速波長可変モード同期ファイバレーザ, 電子情報通信学会 2007 年エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集 1, 2007.09.10, p.210	3
Y	JP 2010-515919 A (ライトラボ・イメージング・インコーポレーテッド) 2010.05.13, 段落【0036】, 【0039】, 【0041】, 図 2 & US 2008/165366 A1 & US 2011/101207 A1 & EP 2106240 A	4
Y	JP 2011-18833 A (富士通株式会社) 2011.01.27, 段落【0009】 & US 2011/006124 A1	5
Y	JP 2005-91451 A (松下電器産業株式会社) 2005.04.07, 段落【0020】, 図 2(1) (ファミリーなし)	6

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（P C T 17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってP C T規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
（特別ページ参照）

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

(第Ⅲ欄の続き)

請求項 1 に係る発明、請求項 3 に係る発明、請求項 5 に係る発明は、「注入電流が注入される半導体光増幅器と、掃引用変調部と、共振器と、分散補償器を有するモード同期レーザ光源装置」という共通の技術的特徴を有している。しかしながら、当該技術的特徴は、文献 1 の開示内容に照らして、先行文献に対する貢献をもたらすものではないから、当該技術的特徴は、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

そして、請求の範囲には、以下に示す 3 の発明（群）が含まれる。

(発明 1) 請求項 1、2、4、6、7 に係る発明

注入電流が注入される半導体光増幅器と、掃引用変調部と、共振器と、分散補償器を有するモード同期レーザ光源装置。

(発明 2) 請求項 3

共振器が半導体光増幅器の反射端面に対向する入出射端面から射出されたレーザ光のパルスを導光・帰還する導光ファイバから構成され、導光ファイバに分散補償器が接続され、分散補償器からレーザ光のパルスが出力されるモード同期レーザ光源装置。

(発明 3) 請求項 5

掃引用変調部が半導体光増幅器への注入電流をパルス制御する注入電流制御部であるモード同期レーザ光源装置。