

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4435137号
(P4435137)

(45) 発行日 平成22年3月17日(2010.3.17)

(24) 登録日 平成22年1月8日(2010.1.8)

(51) Int. Cl.	F 1		
GO 1 N 21/01 (2006.01)	GO 1 N 21/01		D
HO 1 S 3/106 (2006.01)	HO 1 S 3/106		
GO 1 N 21/17 (2006.01)	GO 1 N 21/17	6 2 5	
GO 1 N 21/39 (2006.01)	GO 1 N 21/39		

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2006-287558 (P2006-287558)	(73) 特許権者	000000572
(22) 出願日	平成18年10月23日(2006.10.23)		アンリツ株式会社
(65) 公開番号	特開2008-107096 (P2008-107096A)		神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号
(43) 公開日	平成20年5月8日(2008.5.8)	(72) 発明者	斉藤 崇記
審査請求日	平成19年11月20日(2007.11.20)		神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号 アンリツ株式会社内
		審査官	尾崎 淳史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高速波長掃引光源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の波長範囲の光を含んで所定の掃引周期で波長掃引された光を半導体レーザ(1)で発振させることを可能にした光源であって、入力されるパルスで前記半導体レーザの駆動電流をオン/オフさせることによって、前記所定の波長範囲の光でなる光パルスを発生させる波長可変光源(10)と、

該波長可変光源から出力される前記波長掃引を行うための掃引信号を受け、該掃引信号に基づいて、前記所定の掃引周期と同一の周期の前記光パルスを発生させるための前記パルス出力するパルス発生器(15)と、

ファイバ(14a)及び光増幅器(14b)を含んで構成され、前記光パルスの周期T及びパルス幅 に対して、その周回周期tが $t = T / N$ (ただし、 $t >$ 、 $N = 2$ 以上の整数)で表されるループ長L(ただし、 $L = t C / n$ 、 $n =$ ファイバの屈折率、 $C =$ 真空中の光速)を有するファイバループ(14)と、

該ファイバループの一部に設けられており、前記波長可変光源から出射される前記光パルスを2つに分波して一方を出力端(16)に出射し他方を前記ファイバループに入射させるとともに、該ファイバループ内を周回して戻ってきた前記他方の光パルスを2つに分波して一方をさらに周回させ他方を前記出力端に出射する光カプラ(13)とを備え、

前記波長可変光源から出射される周期Tの前記光パルスが前記ファイバループによって周期 T / N の光パルスに変換されて前記出力端から出力されることを特徴とする高速波長掃引光源。

10

20

【請求項 2】

所定の波長範囲の光を含んで所定の掃引周期で波長掃引された光を半導体レーザ(1)で発振させる波長可変光源(10)と、

該波長可変光源から出射される光を受け、該光の透過を入力されるパルス信号でオン/オフさせることによって、前記所定の波長範囲の光でなる光パルスを発生させる光スイッチ(11)と、

前記波長可変光源から出力される前記波長掃引を行うための掃引信号を受け、該掃引信号に基づいて、前記所定の掃引周期と同一の周期の前記光パルスを発生させるための前記パルスを出力するパルス発生器(15)と、

ファイバ(14a)及び光増幅器(14b)を含んで構成され、前記光パルスの周期 T 及びパルス幅 に対して、その周回周期 t が $t = T / N$ (ただし、 $t >$ 、 $N = 2$ 以上の整数)で表されるループ長 L (ただし、 $L = t C / n$ 、 $n =$ ファイバの屈折率、 $C =$ 真空中の光速)を有するファイバループ(14)と、

該ファイバループの一部に設けられており、前記光スイッチから出射される前記光パルスを2つに分波して一方を出力端(16)に出射し他方を前記ファイバループに入射させるとともに、該ファイバループ内を周回して戻ってきた前記他方の光パルスを2つに分波して一方をさらに周回させ他方を前記出力端に出射する光カプラ(13)とを備え、

前記光スイッチから出射される周期 T の光パルスが前記ファイバループによって周期 T / N の光パルスに変換されて前記出力端から出力されることを特徴とする高速波長掃引光源。

【請求項 3】

所定の波長範囲の光を含んで所定の掃引周期で波長掃引された光を半導体レーザ(1)で発振させる波長可変光源(10)と、

該波長可変光源から出射され光を受け、該光の増幅を入力されるパルス信号でオン/オフさせることによって、前記所定の波長範囲の光でなる光パルスを発生させる第1の光増幅器(12)と、

前記波長可変光源から出力される前記波長掃引を行うための掃引信号を受け、該掃引信号に基づいて、前記所定の掃引周期と同一の周期の前記光パルスを発生させるための前記パルスを出力するパルス発生器(15)と、

ファイバ(14a)及び第2の光増幅器(14b)を含んで構成され、前記光パルスの周期 T 及びパルス幅 に対して、その周回周期 t が $t = T / N$ (ただし、 $t >$ 、 $N = 2$ 以上の整数)で表されるループ長 L (ただし、 $L = t C / n$ 、 $n =$ ファイバの屈折率、 $C =$ 真空中の光速)を有するファイバループ(14)と、

該ファイバループの一部に設けられており、前記第1の光増幅器から出射される前記光パルスを2つに分波して一方を出力端(16)に出射し他方を前記ファイバループに入射させるとともに、該ファイバループ内を周回して戻ってきた前記他方の光パルスを2つに分波して一方をさらに周回させ他方を前記出力端に出射する光カプラ(13)とを備え、

前記第1の光増幅器から出射される周期 T の光パルスが前記ファイバループによって周期 T / N の光パルスに変換されて前記出力端から出力されることを特徴とする高速波長掃引光源。

【請求項 4】

前記ファイバループは、前記ループ長 L を調整するためのループ長調整手段(14c)を備えたことを特徴とする請求項1~3のいずれかに記載の高速波長掃引光源。

【請求項 5】

前記波長可変光源は、

一方のレーザ光出射端面がARコートされている前記半導体レーザ(1)と、

該半導体レーザのARコートされている端面から出射された光をコリメートするコリメートレンズ(2)と、

該コリメートレンズから出射されたコリメート光を受けて波長に応じた角度で回折させる回折格子(3)と、

10

20

30

40

50

反射体(35)と反射体駆動手段(50)とを含んで構成され、前記回折格子から入射される前記コリメート光に対する回折光が、前記反射体の反射面で該回折格子へ反射されて、再び該回折格子で回折され、それによって得られた回折光が前記コリメートレンズを介して前記半導体レーザに入射されるとき、該半導体レーザに入射される回折光が所望の波長の光となるようにするとともに、該所望の波長が前記所定の波長範囲を含んで往復掃引されるように前記反射体の反射面の角度を前記反射体駆動手段により前記所定の掃引周期で繰り返し変化させるMEMSスキャナ(60)とを備えたことを特徴とする請求項1~4のいずれかに記載の高速波長掃引光源。

【請求項6】

前記MEMSスキャナの反射体は、

固定基板(36、37)と、

該固定基板の縁部から所定幅で所定長さ延設され、その長さ方向に沿って捩じれ変形可能な軸部(38、39)と、

該軸部の先端に自身の縁部で連結されて形成され、一面側に前記回折格子からの回折光を反射させるための前記反射面が設けられた反射板(40)とを有しており、かつ、

前記MEMSスキャナの反射体駆動手段は、

前記反射体の軸部と反射板とからなる部分の固有振動数に対応した周波数の駆動信号によって前記反射板に力を与えて、該反射板を前記固有振動数又はそれに近い振動数の前記所定の掃引周期で往復回転させるように構成されていることを特徴とする請求項5に記載の高速波長掃引光源。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体レーザを用いた高速波長掃引光源に関し、特に所定の波長範囲の光となる光パルスを発生させ、その光パルスをファイバリングで周回させつつその一部を順次出力光として出射させるようにした高速波長掃引光源に関する。

【0002】

本発明の高速波長掃引光源は、OCT(光コヒーレンストモグラフィ)技術を用いて生体の断面断層画像等の測定を行うためのOCT用光源、FBG(ファイバブラッググレーティング)を用いて歪測定や温度測定等を行うためのFBG用光源等として利用できる。

【背景技術】

【0003】

近年、本出願人は、MEMSスキャナを利用した高速波長掃引の可能な波長可変光源を提案した(特許文献1参照)。なお、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)スキャナとは、マイクロ電気機械式構造体(電気信号の制御を受けて機械的に動作する構造体)によって形成されたスキャナである。

【0004】

この従来的高速波長掃引の可能な波長可変光源の概略構成を図8に示す。波長可変光源10において、半導体レーザ(LD)1のARコートされている端面から出射された光をコリメートレンズ2によってコリメート光に変換して回折格子3へ入射し、その入射光に対して回折格子3が出射する回折光をMEMSスキャナ60に入射する。MEMSスキャナ60は、反射体35と反射体駆動手段50で構成され、回折格子3から入射されるコリメート光に対する回折光が、反射体35の反射面で回折格子3へ反射されて、再び回折格子3で回折され、それによって得られた回折光がコリメートレンズ2を介してLD1に入射されるとき、LD1に入射される回折光が所望の波長の光となるようにするとともに、この所望の波長が所定の波長範囲を含んで往復掃引されるように反射体35の反射面の角度を反射体駆動手段50により所定の掃引周期で往復回転させている。なお、反射体駆動手段50は、反射体35の反射面の角度を往復回転させるための駆動信号(波長範囲、掃引周期を決めている)を自身で発生している。

【0005】

10

20

30

40

50

このような構成によって、波長掃引された光が発振されて、LD1のARコートされていない端面から出射されて出力光となる。すなわち、例えば、FBG用光源の測定光として、1520～1580nmの波長範囲（測定波長範囲）を出力するような場合、図7（a）、（b）に示すように、この測定波長範囲を含んだ1500～1600nmの波長範囲（掃引波長範囲）の光が、掃引周期0.2ms（掃引周波数5kHz）の駆動信号（掃引信号）によって正弦波状に波長掃引されて出力される。なお、掃引波長範囲は、図7（b）から分かるように、測定波長範囲が正弦波状に変化する波形の直線に近い部分に来るように、測定波長範囲に対して充分広く設定されている。

【特許文献1】特開2006-49785号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、このような従来の高速波長掃引の可能な波長可変光源の場合、波長掃引の掃引周期（掃引周波数）の上限は、主に反射体35の機械的な固有振動数に依存しており、温度等の環境条件を考慮すると10kHz未満が限界となっている。したがって、高画質化のために20kHz～30kHzの掃引周波数が要求されるOCT用光源として利用できないという問題を生じる。

【0007】

本発明は、所定の波長範囲の光でなる光パルスを発生させ、その光パルスをファイバリングで周回させつつその一部を順次出力光として出射させることによって、この課題を解決し、掃引周波数として数10kHzが要求されるOCT用光源にも利用できる高速波長掃引光源を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するために、本発明の請求項1の高速波長掃引光源では、所定の波長範囲の光を含んで所定の掃引周期で波長掃引された光を半導体レーザ（1）で発振させることを可能にした光源であって、入力されるパルスで前記半導体レーザの駆動電流をオン/オフさせることによって、前記所定の波長範囲の光でなる光パルスを発生させる波長可変光源（10）と、該波長可変光源から出力される前記波長掃引を行うための掃引信号を受け、該掃引信号に基づいて、前記所定の掃引周期と同一の周期の前記光パルスを発生させるための前記パルスを出力するパルス発生器（15）と、ファイバ（14a）及び光増幅器（14b）を含んで構成され、前記光パルスの周期T及びパルス幅 に対して、その周回周期tが $t = T / N$ （ただし、 $t >$ 、 $N = 2$ 以上の整数）で表されるループ長L（ただし、 $L = tC / n$ 、 $n =$ ファイバの屈折率、 $C =$ 真空中の光速）を有するファイバリング（14）と、該ファイバリングの一部に設けられており、前記波長可変光源から出射される前記光パルスを2つに分波して一方を出力端（16）に出射し他方を前記ファイバリングに入射させるとともに、該ファイバリング内を周回して戻ってきた前記他方の光パルスを2つに分波して一方をさらに周回させ他方を前記出力端に出射する光カプラ（13）とを備え、前記波長可変光源から出射される周期Tの前記光パルスが前記ファイバリングによって周期T/Nの光パルスに変換されて前記出力端から出力されるようにした。

【0009】

また、本発明の請求項2の高速波長掃引光源では、所定の波長範囲の光を含んで所定の掃引周期で波長掃引された光を半導体レーザ（1）で発振させる波長可変光源（10）と、該波長可変光源から出射される光を受け、該光の透過を入力されるパルス信号でオン/オフさせることによって、前記所定の波長範囲の光でなる光パルスを発生させる光スイッチ（11）と、前記波長可変光源から出力される前記波長掃引を行うための掃引信号を受け、該掃引信号に基づいて、前記所定の掃引周期と同一の周期の前記光パルスを発生させるための前記パルスを出力するパルス発生器（15）と、ファイバ（14a）及び光増幅器（14b）を含んで構成され、前記光パルスの周期T及びパルス幅 に対して、その周回周期tが $t = T / N$ （ただし、 $t >$ 、 $N = 2$ 以上の整数）で表されるループ長L（た

10

20

30

40

50

だし、 $L = t C / n$ 、 n = ファイバの屈折率、 C = 真空中の光速) を有するファイバルー
 プ(14)と、該ファイバルーブの一部に設けられており、前記光スイッチから出射され
 る前記光パルス(16)に出力し他方を前記ファイバルーブに入射させるとともに、該ファイバルーブ内を周回して戻ってきた前記他方の光パルスを2つに分波して一方をさらに周回させ他方を前記出力端に出射する光カプラ(13)とを備え、前記光スイッチから出射される周期 T の光パルスが前記ファイバルーブによって周期 T/N の光パルスに変換されて前記出力端から出力されるようにした。

【0010】

また、本発明の請求項3の高速波長掃引光源では、所定の波長範囲の光を含んで所定の掃引周期で波長掃引された光を半導体レーザ(1)で発振させる波長可変光源(10)と、該波長可変光源から出射され光を受け、該光の増幅を入力されるパルス信号でオン/オフさせることによって、前記所定の波長範囲の光でなる光パルスを発生させる第1の光増幅器(12)と、前記波長可変光源から出力される前記波長掃引を行うための掃引信号を受け、該掃引信号に基づいて、前記所定の掃引周期と同一の周期の前記光パルスを発生させるための前記パルス出力するパルス発生器(15)と、ファイバ(14a)及び第2の光増幅器(14b)を含んで構成され、前記光パルスの周期 T 及びパルス幅 に対して、その周回周期 t が $t = T/N$ (ただし、 $t >$ 、 $N = 2$ 以上の整数)で表されるループ長 L (ただし、 $L = t C / n$ 、 n = ファイバの屈折率、 C = 真空中の光速)を有するファイバルーブ(14)と、該ファイバルーブの一部に設けられており、前記第1の光増幅器から出射される前記光パルスを2つに分波して一方を出力端(16)に出射し他方を前記ファイバルーブに入射させるとともに、該ファイバルーブ内を周回して戻ってきた前記他方の光パルスを2つに分波して一方をさらに周回させ他方を前記出力端に出射する光カプラ(13)とを備え、前記第1の光増幅器から出射される周期 T の光パルスが前記ファイバルーブによって周期 T/N の光パルスに変換されて前記出力端から出力されるようにした。

【0011】

また、本発明の請求項4の高速波長掃引光源では、上述した請求項1~3のいずれかの高速波長掃引光源において、前記ファイバルーブは、前記ループ長 L を調整するためのループ長調整手段(14c)を備えた。

【0012】

また、本発明の請求項5の高速波長掃引光源では、上述した請求項1~4のいずれかの高速波長掃引光源において、前記波長可変光源は、一方のレーザ光出射端面がARコートされている前記半導体レーザ(1)と、該半導体レーザのARコートされている端面から出射された光をコリメートするコリメートレンズ(2)と、該コリメートレンズから出射されたコリメート光を受けて波長に応じた角度で回折させる回折格子(3)と、反射体(35)と反射体駆動手段(50)とを含んで構成され、前記回折格子から入射される前記コリメート光に対する回折光が、前記反射体の反射面で該回折格子へ反射されて、再び該回折格子で回折され、それによって得られた回折光が前記コリメートレンズを介して前記半導体レーザに入射されるとき、該半導体レーザに入射される回折光が所望の波長の光となるようにするとともに、該所望の波長が前記所定の波長範囲を含んで往復掃引されるように前記反射体の反射面の角度を前記反射体駆動手段により前記所定の掃引周期で繰り返し変化させるMEMSスキャナ(60)とを備えた。

【0013】

また、本発明の請求項6の高速波長掃引光源では、上述した請求項5の高速波長掃引光源において、前記MEMSスキャナの反射体は、固定基板(36、37)と、該固定基板の縁部から所定幅で所定長さ延設され、その長さ方向に沿って捩じれ変形可能な軸部(38、39)と、該軸部の先端に自身の縁部で連結されて形成され、一面側に前記回折格子からの回折光を反射させるための前記反射面が設けられた反射板(40)とを有しており、かつ、前記MEMSスキャナの反射体駆動手段は、前記反射体の軸部と反射板とからなる部分の固有振動数に対応した周波数の駆動信号によって前記反射板に力を与えて、該反

射板を前記固有振動数又はそれに近い振動数の前記所定の掃引周期で往復回転させるように構成した。

【発明の効果】

【0014】

本発明の請求項1～4の高速波長掃引光源では、所定の掃引周期で波長掃引された所定の波長範囲の光でなる光パルスを上記所定の掃引周期と同一の周期で発生させ、その光パルスをファイバで周回させつつその一部を順次出力光として出射させるようにしたので、上記所定の波長範囲の光を上記所定の掃引周期よりも数倍速い周期で出力できる。

【0015】

本発明の請求項5及び6の高速波長掃引光源では、波長可変光源の往復掃引をMEMSスキャナで行うようにしたので、高速波長掃引ができる。その結果、波長掃引の掃引周期（掃引周波数）として数10kHzが要求されるOCT用光源としても利用できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下に本発明の実施形態を記載する。

【0017】

[第1実施形態]

本発明の第1実施形態の高速波長掃引光源の構成を図1に示す。従来の高速波長掃引の可能な波長可変光源と同一要素には同一符号を付す。波長可変光源10において、半導体レーザ(LD)1のARコートされている端面から出射された光をコリメートレンズ2によってコリメート光に変換して回折格子3へ入射し、その入射光に対して回折格子3が出射する回折光をMEMSスキャナ60に入射する。MEMSスキャナ60は、反射体35と反射体駆動手段50で構成され、回折格子3から入射されるコリメート光に対する回折光が、反射体35の反射面で回折格子3へ反射されて、再び回折格子3で回折され、それによって得られた回折光がコリメートレンズ2を介してLD1に入射されるとき、LD1に入射される回折光が所望の波長の光となるようにするとともに、この所望の波長が所定の波長範囲を含んで往復掃引されるように反射体35の反射面の角度を反射体駆動手段50により所定の掃引周期で往復回転させている。

【0018】

なお、上記の波長可変光源10の動作は、パルス発生器15からのパルスb（詳細は後述する）がLD1の駆動電流をオンにしてLD1が発振状態にされている場合である。また、MEMSスキャナ60を構成する反射体35及び反射体駆動手段50については、後に図4及び図5を用いて詳述する。

【0019】

このような構成によって、パルスbでLD1の駆動電流をオンにしているときには、波長掃引された光が発振されて、LD1のARコートされていない端面から出射されて出力となる。なお、反射体駆動手段50は、反射体35の反射面の角度を往復回転させるために自身で発生している駆動信号（波長範囲、掃引周期を決めている）を、掃引信号aとしてパルス発生器15へ出力する。

【0020】

なお、図1において、波長可変光源10は、LD1のARコートされている端面から出射された光をコリメートレンズ2によってコリメート光に変換して回折格子3へ入射するようにしたが、LD1とコリメートレンズ2との間に集光レンズとファイバを設け、LD1のARコートされている端面から出射された光を集光レンズで集光してファイバに入射し、ファイバを通った光をコリメートレンズ2によってコリメート光に変換して回折格子3へ入射するようにしてもよい。また、図1において、波長可変光源10は、LD1のARコートされていない端面から出射された光を出力としたが、回折格子3の0次光を出力としてもよい。

【0021】

次に、パルス発生器15は、波長可変光源10からの掃引信号aに基づいて、波長可変

10

20

30

40

50

光源 10 で発振される所定の波長範囲の光でなる光パルスが発生させるための、上記所定の掃引周期と同一の周期のパルス b を発生させる。すなわち、上述の図 7 に関係づけて、測定波長範囲（上記所定の波長範囲）を 1520 ~ 1580 nm、掃引波長範囲を 1500 ~ 1600 nm、掃引周期を 0.2 ms（掃引周波数 5 kHz）とすると、図 6（b）に示す太線部分を光パルスとするための、幅 0.04 ms、周期 0.2 ms のパルス b（図 6（c））が掃引信号 a（図 6（a））に同期して発生される。そして、このパルス b で LD 1 の駆動電流がオン/オフされて、図 6（d）に示すような、0.2 ms 周期（掃引周波数 5 kHz）で 0.04 ms 間だけ 1520 から 1580 nm まで波長掃引されてなる光（すなわち光パルス）が出力として波長可変光源 10 から出射される。

【0022】

光カプラ 13 は、ファイバ 14 の一部に設けられており、波長可変光源 10 から出射される光パルスを 2 つに分波して一方を出力端 16 に出射し他方をファイバ 14 に入射させるとともに、ファイバ 14 内を周回して戻ってきた上記他方の光パルスを 2 つに分波して一方をさらに周回させ、他方を出力端 16 に出射する。

【0023】

ファイバ 14 は、光カプラ 13、ファイバ 14 a、光増幅器 14 b、ループ長調整手段 14 c を直列にループ状に接続して構成されており、波長可変光源 10 から出射された光パルスの、光カプラ 13 で分波された上記他方の光パルスを周回させる。光増幅器 14 b は、例えば E D F A（エルビウムドープ光ファイバ増幅器）で構成され、光カプラ 13、ファイバ 14 a 等での損失を補う。ループ長調整手段 14 c は、長さの異なる複数のファイバあるいは可変遅延器で構成され、ファイバ 14 のループ長 L の調整を行う。なお、このループ長 L の調整は、等価的に、波長可変光源 10 の掃引信号 a の掃引周期を変えることによっても行うことができる。

【0024】

ファイバ 14 の動作とループ長 L の設定について説明する。波長可変光源 10 から出射された、図 6（d）に示す周期 T、パルス幅 の光パルス S_1 がファイバ 14 に入射されて周回されると、周回される毎に図 6（e）に示すように、光パルス P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 が周期 t で順次出力端 16 に出射される。そして、次の光パルス S_2 に対しても同様に光パルス P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 が周期 t で順次出力端 16 に出射される。これによって、波長可変光源 10 から出射される周期 T の光パルス（図 6（d））が、ファイバ 14 によって周期 $t = T / N$ （ただし、この場合 $P_1 \sim P_4$ であるために $N = 4$ となる）の光パルス（図 6（e））に変換されて出力端 16 から出力される。すなわち、出力端 16 からは、図 6（f）に示すような波長の出力光が出射される。

【0025】

したがって、ループ長 L は、このようなファイバ 14 の動作に基づいて、（1）式で表される周回周期 t（上記周期 t と同一）によって（2）式から求められる。

【0026】

$$t = T / N \quad (1)$$

$$L = t C / n \quad (2)$$

【0027】

ただし、 $t >$ （上記パルス幅）、 $N = 2$ 以上の整数、 $n =$ ファイバの屈折率、 $C =$ 真空中の光速である。

【0028】

ここで、図 6（d）に示す周期 $T = 0.2 \text{ ms}$ （掃引周波数 5 kHz）、パルス幅 $= 0.04 \text{ ms}$ の光パルスを、図 6（e）に示す周期 $t = T / N = 0.2 \text{ ms} / 4$ （掃引周波数 20 kHz）の光パルスに変換する場合のループ長 L について説明する。上記（1）式から周回周期 t は $t = T / N = 0.2 \text{ ms} / 4 = 0.05 \text{ ms}$ となる。この $t = 0.05 \text{ ms}$ は $t >$ （ $= 0.04 \text{ ms}$ ）の条件を満たす。そして、上記（2）式からループ長 L は $L = t C / n = (0.05 \times 10^{-3} \text{ s}) \times (3 \times 10^5 \text{ km} / \text{s}) / 1.5 = 10 \text{ km}$ と求まる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

次に、図 1 に示した波長可変光源 10 の一部を構成する MEMS スキャナ 60 の反射体 35 及び反射体駆動手段 50 について詳述する。反射体 35 は、図 4 に示すように、横長矩形で互いに平行に配置された一対の固定基板 36、37 と、この一対の固定基板 36、37 の長辺側縁部の中央からこの固定基板 36、37 と直交する方向に所定幅、所定長さで延設され、その長さ方向に沿って捩じれ変形可能な一対の軸部 38、39 と、横長矩形で一方の長辺側縁部の中央部で軸部 38 の先端に連結され、他方の長辺側縁部の中央部で軸部 39 の先端に連結された反射板 40 とを有している。この反射板 40 は、捩じれ変形可能な軸部 38、39 に中心部が支持されているので、この軸部 38、39 を結ぶ線を中心軸として固定基板 36、37 に対して回転することができる。また、軸部 38、39 と反射板 40 とからなる部分の固有振動数 f_0 は、反射板 40 自体の形状や質量及び軸部 38、39 のバネ定数によって決まる。

10

【 0 0 3 0 】

また、反射板 40 の一面側には、光を反射するための反射面 41 が形成されている。この反射面 41 は、反射板 40 自体を鏡面仕上げして形成したり、反射率の高い膜（図示しない）を蒸着あるいは接着して形成したりしたものであってもよい。なお、この反射体 35 は、薄い半導体基板からエッチング処理等により一体的に切り出されたもので、金属膜の蒸着加工により高導電性を有している。

【 0 0 3 1 】

支持基板 45 は絶縁性を有する材料からなり、その一面側の上部と下部には、前方へ突出する支持台 45a、45b が形成されており、反射体 35 の固定基板 36、37 は、この上下の支持台 45a、45b に接した状態で固定されている。また、支持基板 45 の一面側中央部の両端には、反射体 35 の反射板 40 の両端にそれぞれ対向する電極板 46、47 がパターン形成されている。この電極板 46、47 は、後述する駆動信号発生器 55 とともに反射体駆動手段 50（図 1 参照）を構成するものであり、反射板 40 の両端部に静電力を交互にかつ周期的に印加して、反射板 40 を、軸部 38、39 を結ぶ線を中心に往復回転運動させる。なお、反射板 40 の回転軸は回折格子 3（図 1 参照）の回折溝と平行となるように設定されている。このように構成された反射体 35 は、回折格子 3 からの回折光を反射板 40 の反射面 41 で受けて、その反射光を回折格子 3 へ入射させて、再度回折させる。

20

30

【 0 0 3 2 】

一方、反射体駆動手段 50（図 1 参照）の一部を構成する駆動信号発生器 55 は、例えば図 5（a）、（b）に示すように、反射体 35 の電位を基準として電極板 46、47 に対して、固有振動数 f_0 に対応した周波数（あるいは固有振動数 f_0 の近傍の振動数に対応した周波数）を有し、位相が 180° ずれた駆動信号 D_a 、 D_b を印加して、電極板 46 と反射板 40 の一端側との間及び電極板 47 と反射板 40 の他端側との間に、交互にかつ周期的に静電力（引力）を与え、反射板 40 を固有振動数 f_0 あるいはその近傍の振動数で所定角度範囲を往復回転させる。また、この駆動信号発生器 55 は、2 つの駆動信号 D_a 、 D_b のいずれか一方を掃引信号 a としてパルス発生器 15（図 1 参照）に出力する。なお、図 5 では、2 つの駆動信号 D_a 、 D_b がデューティ比 50% の矩形波の場合を示しているが、両信号のデューティ比は 50% 以下であってもよく、また、波形も矩形波に限らず、正弦波、三角波等であってもよい。

40

【 0 0 3 3 】

このような反射体 35 及び反射体駆動手段 50 によって構成された MEMS スキャナ 60（図 1 参照）では、反射体 35 を、一対の固定基板 36、37 と、その縁部から所定幅で所定長さ延設され、その長さ方向に沿って捩じれ変形可能な軸部 38、39 と、軸部 38、39 の先端に自身の縁部で連結され、軸部 38、39 に対して対称な形状に形成され、一面側に反射面 41 が形成された反射板 40 とによって構成するとともに、反射体 35 の軸部 38、39 と反射板 40 とからなる部分の固有振動数 f_0 に対応した周波数の駆動信号によって反射板 40 に力を与えて、反射板 40 を固有振動数 f_0 又はその近傍の振動

50

数で往復回転させている。

【 0 0 3 4 】

このため、僅かな電気エネルギーで反射板 4 0 を高速に往復回転させることができ、しかも、その回転中心が反射板 4 0 の内部（この場合、中央部）にあるので、反射板 4 0 の反射面 4 1 への入射光の反射角の変化量を大きくすることができる。なお、軸部 3 8、3 9 のバネ定数は、軸部 3 8、3 9 の長さ、幅、厚み、材質によって決まり、このバネ定数と、反射板 4 0 の形状、厚み、材質等で固有振動数 f_0 が決定され、これらのパラメータを選ぶことにより、固有振動数 f_0 を数 1 0 0 H z ~ 1 0 k H z 未満の範囲内で設定することができる。

【 0 0 3 5 】

したがって、本発明の高速波長掃引光源の波長可変光源 1 0（図 1 参照）は、上記のような反射体 3 5 及び反射体駆動手段 5 0 を用いて MEMS スキャナ 6 0 を構成するようにしたので、掃引速度の高速化（最大数 1 0 k H z 未満）ができる。

【 0 0 3 6 】

なお、上述の図 4 の説明では、反射体 3 5 を導電性の高い材料で構成していたが、反射体 3 5 を導電性の低い材料で構成する場合には、反射板 4 0 の反射面 4 1 と反対面の両側（全面でもよい）に電極板 4 6、4 7 と対向する電極板をそれぞれ設け、更に固定基板 3 6、3 7 の背面側にも電極板を設け、それらの電極板の間をパターン等によって接続する。そして、支持基板 4 5 の支持台 4 5 a、4 5 b の表面に、固定基板 3 6、3 7 の背面側の電極板と接触する電極板をパターン形成して、その少なくとも一方を基準電位ラインとして上述した駆動信号発生器 5 5 に接続すればよい。

【 0 0 3 7 】

また、固定基板 3 6、3 7 の一端側同士の間あるいは両端の間を連結して、固定基板をコの字枠あるいは矩形枠状に形成してもよい。また、反射板 4 0 の形状も任意であり、上述の横長矩形の他に、円形、楕円形、長円形、菱形、正方形、多角形等であってもよい。また、高速往復回転時の空気抵抗を減らすために、反射板 4 0 の内側に大きな穴あるいは多数の小さな穴を設けてもよい。

【 0 0 3 8 】

また、上述の図 4 の説明では、反射体 3 5 の反射板 4 0 の両端にそれぞれ対向する 2 つの電極板 4 6、4 7 を設けていたが、一方側の電極板（例えば電極板 4 6）だけによって静電力を印加してもよい。また、駆動方式についても、上述の静電力の他に、電磁力によって反射板 4 0 を往復回転させてもよい。この場合、例えば、上述の電極板 4 6、4 7 の代わりにコイルを用い、反射板 4 0 の両端部に磁性体あるいはコイルを設け、コイル間あるいはコイルと磁性体との間に発生する磁界による吸引力及び反発力によって、反射板 4 0 を往復回転させる。

【 0 0 3 9 】

また、上述の静電力や電磁力を反射板 4 0 に直接与える方法の他に、超音波振動子等によって上述の固有振動数 f_0 又はその近傍の振動を反射体 3 5 全体に加えて、その振動を反射板 4 0 に伝達させて往復回転させることも可能である。この場合、振動子を支持基板 4 5 の背面側や支持台 4 5 a、4 5 b の部分に設けることで、その振動を反射板 4 0 に効率的に伝達することができる。

【 0 0 4 0 】

[第 2 実施形態]

本発明の第 2 実施形態の高速波長掃引光源の構成を図 2 に示す。図 1 に示した第 1 実施形態では、パルス発生器 1 5 から出力されるパルス b で波長可変光源 1 0 の LD 1 の駆動電流をオン/オフすることによって光パルスを発生して光カプラ 1 3 に出射するようにしたが、第 2 実施形態では、波長可変光源 1 0 と光カプラ 1 3 との間に光スイッチ（光 SW）1 1 を備え、この光スイッチ 1 1 をパルス発生器 1 5 から出力されるパルス b でオン/オフすることによって、波長可変光源 1 0 の波長掃引された出力から光パルスを発生して光カプラ 1 3 に出射するようにした。第 1 実施形態とは、この点のみ異なり他は同一であ

10

20

30

40

50

る。したがって詳細説明は省略する。

【0041】

[第3実施形態]

本発明の第3実施形態の高速波長掃引光源の構成を図3に示す。図1に示した第1実施形態では、パルス発生器15から出力されるパルスbで波長可変光源10のLD1の駆動電流をオン/オフすることによって光パルスが発生して光カプラ13に出射するようにしたが、第3実施形態では、波長可変光源10と光カプラ13との間に光増幅器12を備え、この光増幅器12を通る光の増幅をパルス発生器15から出力されるパルスbでオン/オフすることによって、波長可変光源10の波長掃引された出力から光パルスが発生して光カプラ13に出射するようにした。第1実施形態とは、この点のみ異なり他は同一である。したがって詳細説明は省略する。

10

【0042】

なお、上述の第1～3実施形態では、波長可変光源10として、LD1、回折格子3、MEMSスキャナ60を組み合わせた外部共振器型の光源について説明したが、これに限定されるわけではなく、例えば、LD、単一キャビティ型波長可変バンドパスフィルタ、反射ミラーを組み合わせた外部共振器型の光源における、その単一キャビティ型波長可変バンドパスフィルタの透過波長を可変するための印加電圧を高速掃引することによって波長掃引を行うようにした光源であってもよい(例えば特開2005-37762号公報参照)。

【図面の簡単な説明】

20

【0043】

【図1】本発明の第1実施形態の構成を示す図

【図2】本発明の第2実施形態の構成を示す図

【図3】本発明の第3実施形態の構成を示す図

【図4】MEMSスキャナを説明するための分解斜視図

【図5】駆動信号を説明するための図

【図6】本発明の波長掃引を説明するための図

【図7】従来例の波長掃引を説明するための図

【図8】従来例の概略構成を示す図

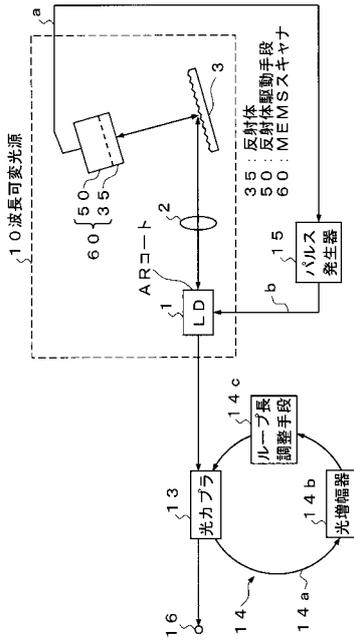
【符号の説明】

30

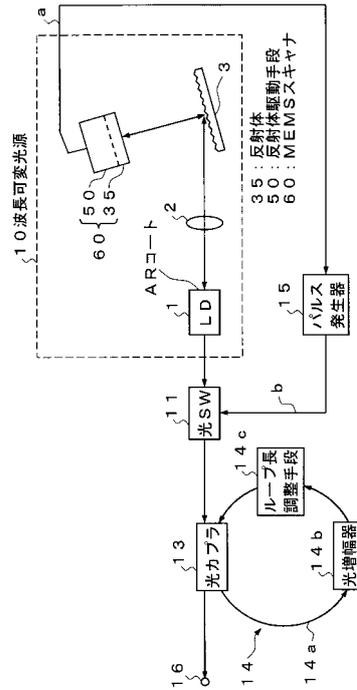
【0044】

1・・・半導体レーザ(LD)、2・・・コリメートレンズ、3・・・回折格子、10・・・波長可変光源、11・・・光スイッチ(光SW)、12, 14b・・・光増幅器、13・・・光カプラ、14・・・ファイバループ、14a・・・ファイバ、14c・・・ループ長調整手段、15・・・パルス発生器、16・・・出力端、35・・・反射体、36, 37・・・固定基板、38, 39・・・軸部、40・・・反射板、41・・・反射面、45・・・支持基板、45a, 45b・・・支持台、46, 47・・・電極板、50・・・反射体駆動手段、55・・・駆動信号発生器、60・・・MEMSスキャナ。

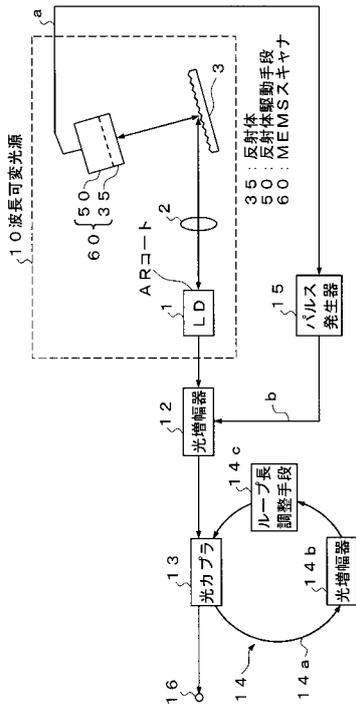
【図1】



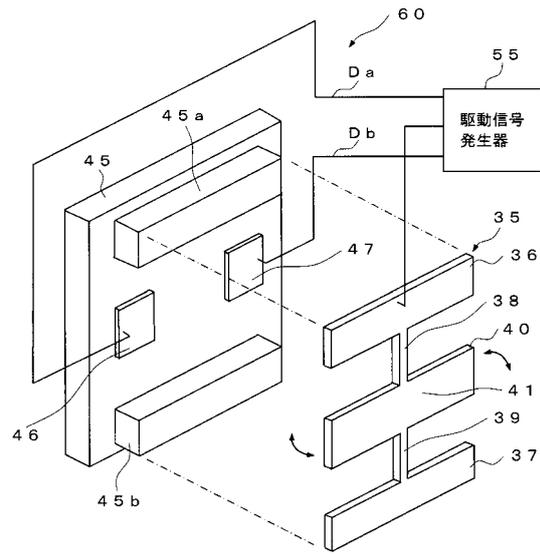
【図2】



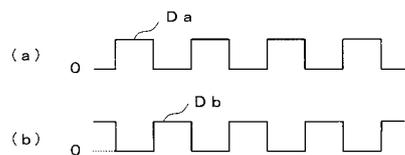
【図3】



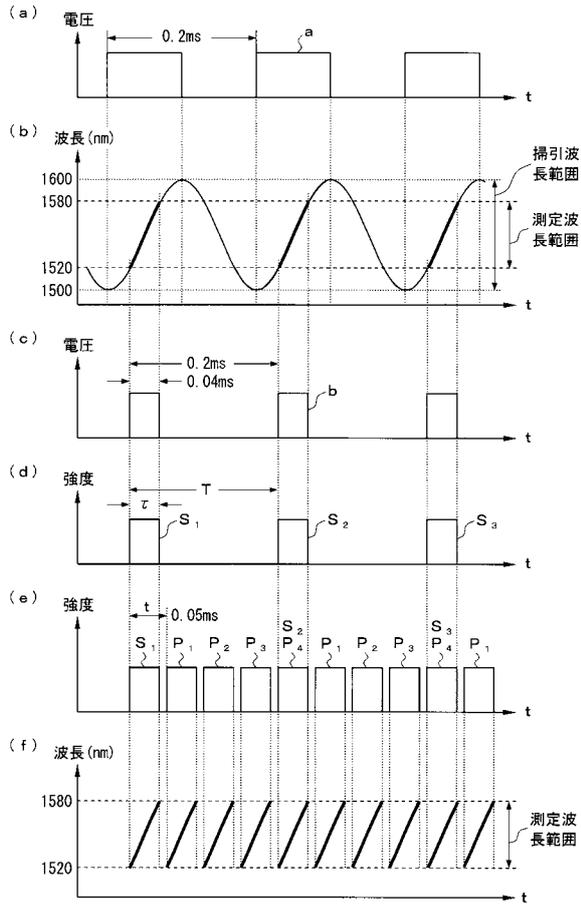
【図4】



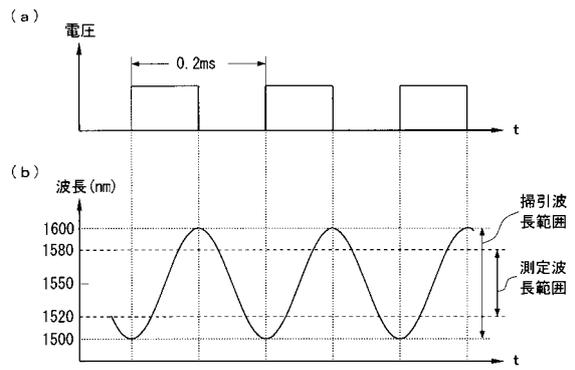
【図5】



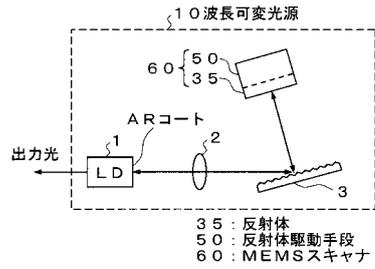
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2009-536740(JP,A)
特開2007-117723(JP,A)
特開2002-164614(JP,A)
特開2006-049785(JP,A)
特開2006-266771(JP,A)
特開2006-140269(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/01, 21/17 - 21/61
H01S 3/106